

Perkiraan Dosis Ekuivalen Neutron Cepat Pada Pasien Radioterapi *Linac* 15 MV

Dyah Fathonah Septiani¹, Johan A. E. Noor¹, Bunawas²

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya

²PTKMR-BATAN

Email: dyahfathonahs@gmail.com

Abstrak

Linac yang dioperasikan di atas 10 MV akan menghasilkan radiasi tambahan berupa neutron cepat, karena adanya interaksi antara foton dengan inti atom suatu material dengan nomor atom (Z) tinggi. Sehingga keberadaan partikel ini perlu diperhatikan guna mencegah timbulnya dampak dari radiasi sekunder. Kami telah melakukan pengukuran untuk memperkirakan distribusi dosis ekuivalen neutron cepat pada tubuh manusia dengan menggunakan fantom antropomorfik. Pengukuran neutron dilakukan dengan menggunakan detektor jejak nuklir CR-39 yang dilapisi dengan *filter* Cu serta radiator polietilen. Fantom yang telah dipasang detektor disinari dengan target di bagian *isocentre* dengan *linac* 15 MV dengan dosis terapi sebesar 2 Gy dan 3 Gy. Kami mendapatkan nilai sensitivitas detektor sebesar 211 jejak/cm².mSv serta dosis berkisar antara tidak terdeteksi hingga 2,92 mSv dengan ketidakpastian 0,4% (dosis terapi 2 Gy) dan antara tidak terdeteksi hingga 4,09 mSv dengan ketidakpastian 0,4% (dosis terapi 3 Gy).

Kata kunci : *linac*, neutron cepat, detektor jejak nuklir CR-39, kurva kalibrasi, etsa, dosis ekuivalen neutron cepat.

Pendahuluan

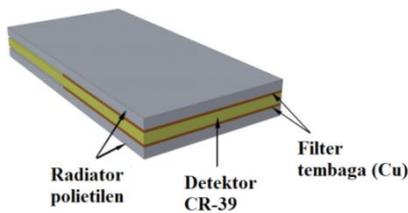
Kanker adalah sel yang pertumbuhan dan penyebarannya tidak terkontrol. Penanganan kanker dapat dilakukan salah satunya dengan radioterapi eksternal, seperti *linac*. *Linac* dengan energi di atas 10 MV selain menghasilkan foton juga menghasilkan radiasi tambahan neutron seperti neutron cepat. Neutron cepat diperoleh dari interaksi antara foton dengan inti atom suatu material dengan nomor atom (Z) tinggi, misalnya kolimator timbal (Pb), bahan target tungsten (W), *flattening filter* besi (Fe), MLC (*Multi Leaf Collimator*), serta pelindung (*shielding*) kepala *linac* [1]. Jika energi > 10 MV maka dosis fotoneutron akan meningkat, tetapi dosis neutron pada jaringan tidak akan melebihi 1% dari dosis foton [4].

Neutron cepat memiliki rentang energi antara 100 keV hingga 15 MeV. Neutron cepat salah satunya dapat dideteksi menggunakan detektor pasif berupa detektor jejak nuklir CR-39 karena bersifat sangat sensitif terhadap partikel α dan proton, pemudaran (*fading*) sangat rendah sekali tetapi tidak sensitif terhadap sinar-sinar (X , γ , β). Detektor ini masih memungkinkan digunakan untuk energi neutron rendah sebesar 144 keV. Detektor CR-39 apabila disinari dengan neutron cepat maka akan terjadi reaksi nuklir (n,p) sehingga menimbulkan jejak nuklir laten akibat proses ionisasi dan eksitasi. Jejak-jejak ini setelah melalui etsa kimia dapat dihitung jumlahnya per satuan luas dengan bantuan mikroskop [3]. Oleh karena itu, dipilih kanker abdomen yang merupakan bagian *isocentre* tubuh, dengan mensimulasikan tubuh manusia dengan fantom.

Sehingga akan diperoleh perkiraan distribusi dosis ekuivalen neutron cepat yang digunakan sebagai acuan untuk memperkirakan dosis ekuivalen neutron cepat yang diterima pasien.

Metode

Penelitian ini menggunakan dua buah fantom yaitu fantom *slab* dan antropomorfik. Bahan yang digunakan dalam pembuatan fantom ini ialah polietilen dengan densitasnya sebesar 0,92 g/cm³. Fantom *slab* digunakan untuk kalibrasi detektor CR-39 terhadap neutron cepat sehingga didapatkan kurva tanggapannya. Sedangkan untuk fantom antropomorfik digunakan sebagai simulasi yang menyerupai tubuh manusia sesungguhnya. Untuk fantom antropomorfik pada bagian paru-parunya menggunakan kayu sengon karena densitas paru-paru lebih rendah dibandingkan dengan organ lainnya. Detektor CR-39 ditempatkan pada 18-19 posisi di fantom antropomorfik, dikhususkan pada daerah organ kritis yang bereaksi tinggi saat mendapat paparan radiasi seperti paru-paru, hati, ginjal, dll. Dilakukan penyusunan detektor yang susunannya terdiri dari detektor CR-39 dengan ukuran 1 × 2 cm² dengan tebal 0,8 mm, kemudian dilapisi *filter* tembaga (Cu) dengan ukuran 1 × 1 cm² dengan tebal 0,1 mm pada kedua sisinya, setelah itu dilapisi radiator polietilen dengan ukuran 1 × 1 cm² dengan tebal 2 mm pada kedua sisinya, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Susunan detektor yang akan disinari

Tahap selanjutnya yaitu penyinaran kalibrasi yang bertujuan untuk mendapatkan kurva tanggapan detektor CR-39 antara dosis dengan jumlah jejak pada detektor. Penyinaran ini dilakukan dengan berbagai variasi dosis 2 mSv, 4 mSv, 6 mSv, 8 mSv serta 10 mSv pada jarak 25 cm dari detektor dengan sumber ^{252}Cf .

Setelah itu dilakukan penyinaran *linac* yang terdiri dari beberapa tahapan yaitu fantom antropomorfik di CT-Scan terlebih dahulu. Tujuan dari CT-Scan ialah untuk mengetahui posisi lubang-lubang yang akan diisi dengan detektor, serta untuk menentukan posisi *isocentre* yang nantinya digunakan pula sebagai *isocentre* saat penyinaran *linac*. Pada penelitian ini, dipilih bentuk kanker berupa silinder dengan diameternya 4,5 cm serta panjangnya 4,5 cm. Kemudian dilakukan proses TPS (*Treatment Planning System*) dengan mengolah data berupa *citra* dari CT-Scan yang diolah dengan *software external beam planning*. Tujuan dari TPS untuk memperkirakan dosis yang mengenai setiap organ. Pada proses TPS ini juga menentukan posisi GTV, CTV, PTV, serta *field size* yang telah terprogram pada *software external beam planning*. Detektor diletakkan ke dalam posisi yang telah ditentukan dan dilakukan proses penyinaran dengan *linac* berenergi 15 MV pada SAD 100 cm dengan sudut 0° , 90° , 180° dan 270° . Penyinaran dilakukan dengan dosis terapi 2 Gy dan 3 Gy.

Dilakukan proses etsa kimia biasa dengan menggunakan larutan NaOH 6,25 N dan dietsa selama 7 jam dengan suhu 70°C . Setelah dietsa, kemudian detektor dibersihkan dengan tujuan untuk menghilangkan larutan etsa yang masih menempel pada permukaan detektor dengan menggunakan aquades, kemudian detektor dibilas dengan air demi.

Langkah berikutnya yaitu dilakukan pembacaan jejak dengan menggunakan mikroskop binokuler yang terhubung dengan komputer dengan perbesaran 400 kali. Pembacaan jejak ini menggunakan teknik random sampling (*probability sampling*) dengan pengambilan cuplikan sebanyak 25 *field* secara random tetapi merata. Luas detektor CR-39 sebesar 1 cm^2 sedangkan setiap satu *field* luasnya sebesar 46750

μm^2 . Sehingga jejak/*field* perlu dikonversi ke jejak/ cm^2 , seperti pada persamaan (1) dengan n ialah banyaknya jejak yang muncul setiap satu *field*.

$$J = \frac{n \text{ jejak}}{\text{field}} \times \frac{\text{field}}{46750 \mu\text{m}^2} = \frac{n \text{ jejak}}{46750 \times 10^{-8} \text{cm}^2} \quad (1)$$

Setelah itu dibuat kurva tanggapan detektor CR-39 dari hasil pembacaan jejak pada penyinaran kalibrasi. Tujuan dari pembuatan kurva ini ialah untuk menentukan sensitivitas detektor CR-39, yang diperoleh dari hasil kemiringan gradien dari kurva tanggapan detektor CR-39, seperti pada persamaan (2) dengan J ialah banyak jejak dalam luasan 1 cm^2 serta D ialah dosis dari sumber ^{252}Cf .

$$S = \text{slope} \left(\frac{y}{x} \right) = \text{slope} \left(\frac{J(\text{jejak}/\text{cm}^2)}{D(\text{mSv})} \right) \quad (2)$$

Hasil dari sensitivitas tersebut digunakan untuk menentukan distribusi dosis ekuivalen neutron cepat dari hasil penyinaran *linac* 15 MV dengan dosis dosis terapi 2 Gy dan 3 Gy. Setelah itu, ditentukan *BTD* (Batas Terendah Deteksi), seperti pada persamaan (3) dengan BG ialah jumlah jejak *background* yang muncul pada luasan 1 cm^2 serta S ialah sensitivitas.

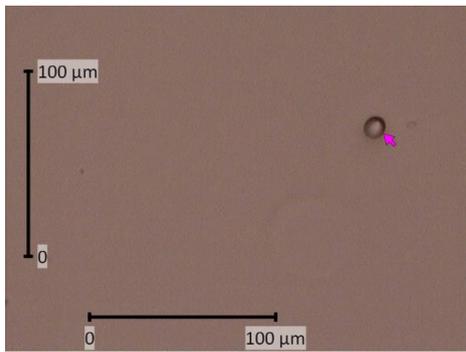
$$BTD = \frac{3\sqrt{BG}}{S} \quad (3)$$

Dengan mengetahui *BTD* dari detektor CR-39 maka dapat diketahui besarnya dosis terendah yang mampu dideteksi detektor CR-39. Setelah itu ditentukan besarnya persentase dosis neutron cepat terhadap dosis terapi, seperti pada persamaan (4) dengan a ialah dosis neutron cepat serta b ialah dosis terapi.

$$a(\%) = \frac{a}{a+b} \times 100\% \quad (4)$$

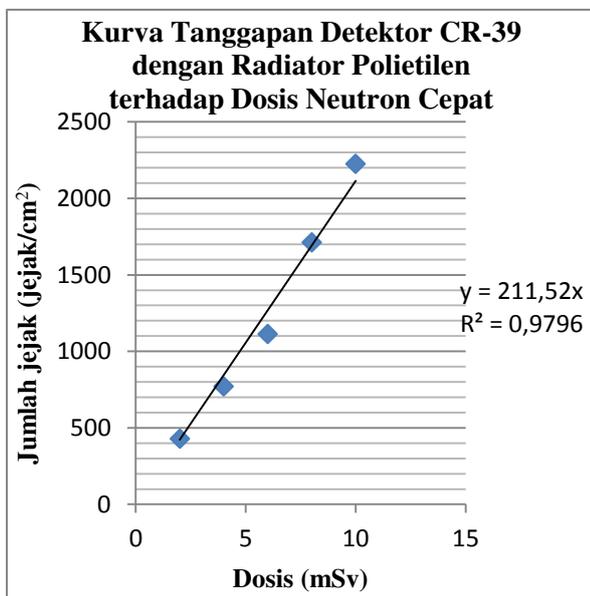
Hasil dan Pembahasan

Saat neutron cepat bertumbukan dengan radiator polietilen, maka proton akan keluar dari inti atom H dengan menghamburkan energinya $> 2\text{ MeV}$ yang dikenal dengan proton *recoil*, sehingga jumlah proton *recoil* akan semakin besar dan dapat menembus detektor lebih dalam. Kemudian saat proton *recoil* menumbuk *filter* Cu, maka energinya akan menurun sehingga diperoleh jejak yang optimal dan lebih jelas. Dosis ekuivalen neutron cepat diukur dari hasil perhitungan jejak proton *recoil* [2]. Dari Gambar 2 yang merupakan hasil foto yang terekam pada mikroskop, terlihat bahwa untuk 1 *field* probabilitas kemunculan jejak neutron cepat hanya 1. Probabilitas maksimum kemunculan jejak setiap *field* sebanyak 2 sedangkan untuk minimumnya sebesar 0.



Gambar 2 Hasil jejak yang tampak pada detektor CR-39 untuk penyinaran kalibrasi.

Berdasarkan hasil perolehan dari pembacaan jejak maka akan diperoleh kurva tanggapan detektor seperti pada Gambar 3. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat hubungan linear antara dosis dengan produksi jejak neutron cepat yang dihasilkan pada suatu detektor CR-39.



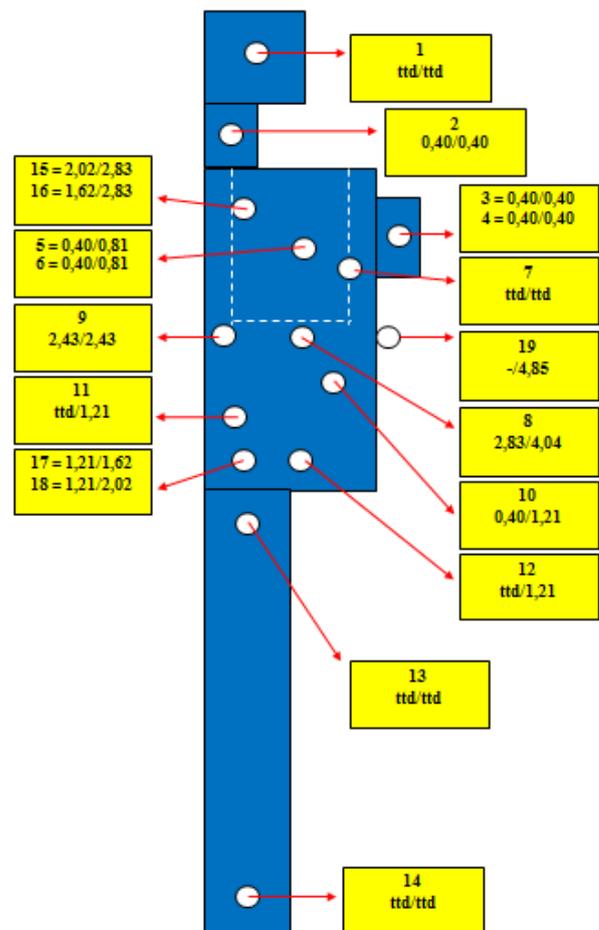
Gambar 3 Kurva tanggapan detektor CR-39 dengan radiator polietilen terhadap dosis ekuivalen neutron cepat.

Dari kurva tersebut dapat diperoleh besarnya sensitivitas suatu detektor, seperti pada persamaan (6). Dengan kata lain, besarnya sensitivitas sebesar 211,5 jejak/cm²mSv dengan nilai regresinya sebesar 0,979 yang berarti bahwa tingkat kelinearannya mendekati nilai 1. Tingkat kelinearan ini berfungsi untuk menyatakan seberapa bagus kurva tanggapan detektor yang menghubungkan antara variabel bebas (dosis) dengan variabel terikat (jumlah jejak).

$$y = 211,5x \quad (5)$$

$$\text{slope} \left(\frac{y}{x} \right) = 211,5 \text{ jejak/cm}^2 \text{mSv} \quad (6)$$

Unsur makro yang terdapat di dalam tubuh manusia terdiri C, H, O, dan N. Hidrogen merupakan unsur terbanyak di tubuh dibandingkan yang lainnya. Tubuh manusia dalam penelitian ini disimulasikan dengan fantom berbahan polietilen yang memiliki rumus molekul yaitu (C₂H₄)_n. Unsur C dan H dengan perbandingan 1:2 yang terdapat di fantom telah mewakili unsur makro di dalam tubuh manusia. Unsur hidrogen juga banyak terdapat di dalam fantom, sehingga dapat disimpulkan bahwa komposisi hidrogen pada fantom berbahan polietilen menyerupai dengan tubuh manusia.



Gambar 4 Dosis ekuivalen neutron cepat untuk dosis terapi 2 Gy dan 3 Gy.

Hasil dosis ekuivalen neutron cepat dengan dosis terapi antara 2 Gy dan 3 Gy dapat dilihat pada Gambar 3. Pada bagian target *isocentre* (posisi ke-19, 8, dan 9) dosisnya lebih besar dibandingkan dengan yang lain. Semakin dalam posisi detektor di fantom maka semakin kecil dosis neutron cepat yang diterima karena bahan polietilen dalam pembuatan fantom ini mengandung atom hidrogen (H) yang berfungsi sebagai moderator untuk menurunkan energi neutron dari cepat ke termal.

Pada bagian yang simetris (posisi ke-3/4, 5/6, 15/16, 17/18) dosis ekuivalen neutron cepatnya menghasilkan dosis yang hampir sama. Untuk dosis ekuivalen neutron cepat yang tidak terdeteksi disebabkan karena tidak terdapat produksi neutron cepat sama sekali pada 25 *field* yang terbaca tersebut. Akan tetapi dimungkinkan jejak terlihat di bagian *field* lainnya yang tidak dibaca dalam penelitian ini. Dosis ekuivalen neutron cepat yang nilainya tidak terdeteksi menandakan bahwa nilainya berada di bawah *BTD* suatu detektor CR-39 sebesar 0,13 mSv. Selain itu semakin dekat posisi detektor dengan target maka dosis neutron yang diterima akan lebih besar, begitupun sebaliknya.

Tabel 1 Persentase dosis tambahan neutron terhadap dosis terapi.

Posisi ke-	Organ	Persentase (%)	
		2 Gy	3 Gy
1	Kepala	0	0
2	Leher	0,02	0,01
3	Payudara kanan	0,02	0,01
4	Payudara kiri	0,02	0,01
5	Paru-paru kanan	0,02	0,03
6	Paru-paru kiri	0,02	0,03
7	Jantung	0	0
8	Abdomen/ <i>isocentre</i> dalam	0,14	0,13
9	Tulang belakang	0,12	0,08
10	Lambung	0,02	0,04
11	Ginjal	0	0,04
12	Prostat	0	0,04
13	Kaki kanan atas	0	0
14	Kaki kiri bawah	0	0
15	Badan samping kanan atas	0,10	0,09
16	Badan samping kiri atas	0,08	0,09
17	Badan samping kanan bawah	0,06	0,05
18	Badan samping kiri bawah	0,06	0,07
19	Permukaan kulit/ <i>isocentre</i> luar	-	0,16

Pergerakan distribusi dosis ekuivalen neutron cepat tidak konsisten pada tiap-tiap organ, karena pergerakan neutron tidak terkontrol. Kontribusi dosis neutron cepat memberikan dosis tambahan < 1% dari dosis terapi yang diberikan, seperti yang terlihat pada Tabel 1. Walaupun besarnya dosis ekuivalen neutron cepat cukup kecil, tetapi jika dilihat dari faktor bobot

radiasinya yang cukup besar maka neutron cepat tidak dapat diabaikan.

Kesimpulan

Dalam proses kalibrasi kami mendapatkan hubungan yang linear antara jumlah jejak dari detektor CR-39 dengan dosis yang dipaparkan oleh sumber ²⁵²Cf dengan nilai regresi sebesar 0,979 sehingga sensitivitas dari kurva kalibrasi sebesar 211 jejak/cm².mSv dapat diterima.

Dosis radiasi tambahan dari neutron cepat di daerah target mempunyai nilai maksimal 2,92 mSv dengan ketidakpastian 0,4% untuk dosis terapi 2 Gy dan 4,09 mSv dengan ketidakpastian 0,4% untuk dosis terapi 3 Gy. Dosis terapi untuk 2 Gy dan 3 Gy memiliki nilai terendah di posisi ke-1, 7, 13 dan 14 dan nilai tertinggi di bagian *isocentre* (posisi ke-8, 9 dan 19).

Daftar Pustaka

- [1] Al-Ghamdi, H., R. Fazal ur, M. I. Al-Jarallah dan N. Maalej. 2008. Photoneutron intensity variation with *field* size around radiotherapy linear accelerator 18-MeV X-ray beam. *Radiation Measurements*. 43: S495-S499.
- [2] Jahan, Q. M. 2008. Characterization of Neutron Dosimeters Containing Perforated Neutron Detectors. *Department of Mechanical and Nuclear Engineering College of Engineering*. Kansas, Kansas State University. Master of Science.
- [3] Sofyan, H. 1996. Tanggapan Detektor CR-39 terhadap Neutron Cepat Menggunakan Radiator D-Polietilen dan H-Polietilen. *Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan*.
- [4] Vukovic, B., D. Faj, M. Poje, M. Varga, V. Radolic, I. Miklavcic, A. Ivkovic dan J. Planinic. 2010. A neutron track etch detector for electron linear accelerators in radiotherapy. *Radiol Oncol*. 44(1): 62-6.