

Pengukuran Neutron Cepat di Ruang Linac Medis Menggunakan Detektor Jejak Nuklir CR-39

M. Agus Firmansyah¹, Unggul P. Juswono¹, Bunawas²

¹Jurusan Fisika FMIPA Univ. Brawijaya

²PTKMR-BATAN Jakarta

Email: gusmanfirman@gmail.com

Abstrak

Akselerator linear medis (linac) merupakan pesawat pemercepat partikel yang digunakan dalam radioterapi. Linac dapat menghasilkan foton sinar-X energi tinggi yang sangat efektif untuk menyembuhkan tumor atau kanker. Akan tetapi linac yang dioperasikan lebih dari 8 MV dapat menghasilkan radiasi tambahan berupa neutron. Neutron tersebut dapat meningkatkan dosis pada pasien selama proses terapi maupun pada pekerja. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran neutron untuk mengetahui distribusi dosis dan fluks neutron, khususnya neutron cepat, di ruang linac medis tersebut. Pengukuran neutron dilakukan dengan menggunakan detektor jejak nuklir CR-39, yang dilapisi radiator polietilen dan filter tembaga (Cu). Detektor dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan sumber neutron standar ²⁴¹Am-Be di laboratorium neutron PTKMR-BATAN dan diperoleh kurva kalibrasi berupa garis lurus linear. Sejumlah detektor kemudian diletakkan pada beberapa titik di ruangan 10 MV linac medis di rumah sakit Siloam Simatupang. Setelah penyinaran, detektor dietsa dengan larutan NaOH 6,25 N pada suhu 70°C selama 7 jam, kemudian jejak pada detektor dihitung dengan menggunakan mikroskop optik. Hasil pengukuran menunjukkan distribusi dosis dan fluks neutron cepat di ruang linac medis tersebut nilainya bervariasi mulai dari yang terbesar di titik isocenter pada meja pasien, kemudian menurun seiring semakin jauh jaraknya dari isocenter, dan minimum pada ruang kontrol.

Kata kunci : linac, neutron, neutron cepat, detektor jejak nuklir CR-39, kurva kalibrasi, dosis dan fluks neutron cepat

Pendahuluan

Akselerator linear medis (linac) merupakan salah satu aplikasi radiasi dalam bidang kesehatan khususnya untuk keperluan radioterapi. Linac tidak menggunakan sumber radioaktif seperti pada pesawat teleterapi cobalt dan cesium sehingga penggunaannya dirasa lebih aman. Selain itu, linac dapat menghasilkan foton sinar-X energi tinggi sehingga dapat meminimalisasi efek radiasi pada kulit dan jaringan permukaan, namun tetap efektif untuk menyembuhkan tumor atau kanker yang letaknya lebih dalam di bawah permukaan kulit [1].

Karena alasan itulah, kini radioterapi dengan linac sudah menggantikan posisi pesawat cobalt dan cesium dan juga menjadi alternatif penyembuhan tumor/kanker selain dengan operasi ataupun kemoterapi [2]. Akan tetapi, linac yang dioperasikan lebih dari 8 – 10 MV, selain menghasilkan foton energi tinggi, juga dapat menghasilkan radiasi tambahan berupa neutron.

Neutron dapat dihasilkan melalui reaksi fotonuklir (γ, n) antara foton energi tinggi dengan inti atom bahan bernomor atom (Z) tinggi, seperti bahan target tungsten (W), pada kolimator timah (Pb) dan besi (Fe), serta bagian-bagian lain di dalam kepala linac. Neutron-neutron yang dihasilkan memiliki jangkauan energi yang lebar, tetapi paling banyak adalah neutron cepat dengan puncak energi di sekitar 1 – 2 MeV [3,4,5].

Adanya dosis neutron ini dapat meningkatkan dosis radiasi pasien selama proses terapi dan jika mengenai organ tubuh yang sehat akan berpeluang untuk menimbulkan kanker sekunder atau penyakit non-kanker lainnya. Hal ini karena neutron termasuk jenis radiasi pengion, bahkan neutron cepat memiliki nilai faktor bobot radiasi 20 sehingga lebih menyebabkan kerusakan daripada foton yang hanya memiliki nilai faktor bobot radiasi 1 [5]. Maka dari itu penting untuk dilakukan pengukuran neutron cepat agar diketahui distribusinya di ruang linac dan dapat direncanakan proses proteksi radiasi yang tepat, baik untuk pasien maupun pekerja di ruang linac.

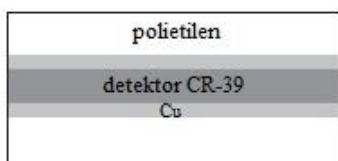
Salah satu metode untuk mengukur neutron yang banyak dikembangkan akhir-akhir ini karena memiliki efisiensi pengukuran yang bagus adalah dengan menggunakan detektor jejak nuklir [6]. Detektor jejak nuklir dapat mengukur neutron cepat berdasarkan jejak laten akibat ionisasi dari proton recoil (proton hamburan) pada bahan detektor. Proton recoil dihasilkan melalui reaksi penghamburan elastis (n,p) antara neutron cepat dengan inti atom bahan detektor maupun dengan bahan radiator.

Untuk melihat jejak laten, detektor harus diproses terlebih dahulu dengan proses etsa agar menjadi jejak tampak yang dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop optik [6,7]. Jumlah jejak per satuan luas pada detektor kemudian dapat

dianalisis dan dikonversi untuk menyatakan dosis maupun besaran lain dari neutron.

Metode

Detektor yang digunakan pada penelitian ini ini adalah detektor jejak nuklir CR-39 dengan tebal 0,8 mm. Detektor disiapkan dengan ukuran 1x2 cm² dan disusun dengan dilapisi radiator polietilen tebal 2 mm dan filter Cu tebal 0,1 mm pada kedua sisinya seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Polietilen dan Cu berfungsi untuk meningkatkan respon dari detektor dan agar dapat menghasilkan kualitas jejak optimal.



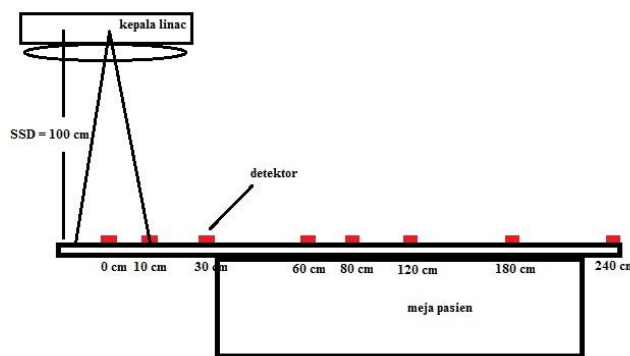
Gambar 1. Susunan detektor CR-39

Kalibrasi detektor

Sebelum dilakukan penyinaran di ruang linac medis, detektor harus dikalibrasi terlebih dahulu dengan sumber neutron standar ²⁴¹Am-Be 3 Ci di laboratorium neutron PTKMR-BATAN. Hal ini untuk menghasilkan kurva kalibrasi, yang menyatakan hubungan antara jumlah jejak yang dihasilkan pada detektor dengan dosis neutron yang diberikan. Detektor yang sudah disiapkan kemudian diletakkan pada permukaan fantom plexiglass dan disinari dengan berkas neutron dengan kekuatan 5,48 x 10⁶ neutron/s [8] di atas meja kalibrasi pada jarak 40 cm dengan variasi dosis 1 – 20 mSv.

Penyinaran di ruang linac medis

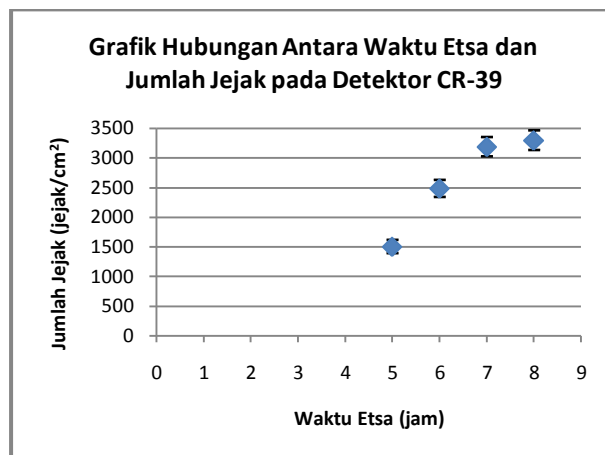
Penyinaran ini dilakukan di ruang 10 MV linac RS. Siloam Simatupang. Penyinaran dilakukan dua tahap, pertama beberapa detektor diletakkan pada meja pasien, seperti pada Gambar 2, dan disinari dengan dosis 8000 MU pada jarak SSD 100 cm dan luas lapangan 20 x 20 cm². Yang kedua, detektor disebar pada beberapa titik di dalam dan di luar ruangan linac dan kemudian disinari selama proses pembuatan PDD 10 MV untuk luas lapangan 4 x 4 sampai 40 x 40 cm². Hasil jejak yang diperoleh kemudian disubstitusi ke dalam persamaan kurva kalibrasi untuk mengetahui dosis neutronnya.



Gambar 2. Posisi detektor pada meja pasien

Optimalisasi etsa

Detektor yang telah disinari kemudian dietsa di laboratorium kimia lingkungan PTKMR-BATAN. Parameter etsa (konsentrasi larutan, suhu, dan waktu etsa) untuk detektor CR-39 adalah larutan NaOH 6,25 N pada suhu 70°C dan pada penelitian ini telah dilakukan optimasi etsa untuk menentukan waktu etsa optimal seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan antara waktu etsa dan jumlah jejak

Dari gambar di atas diketahui bahwa semakin lama waktu etsa, jumlah jejak semakin meningkat dan menjadi optimal pada waktu etsa 7 jam. Hal ini karena untuk waktu etsa yang lebih lama lagi, jumlah jejak tidak meningkat secara signifikan, yaitu hanya 3%. Parameter etsa ini kemudian digunakan untuk proses etsa pada proses penyinaran selanjutnya. Detektor yang tidak disinari juga dietsa bersamaan untuk penentuan jejak background. Detektor yang telah dietsa kemudian dibersihkan dengan akuades di dalam ultrasonic cleaner dan dikeringkan di dalam desikator.

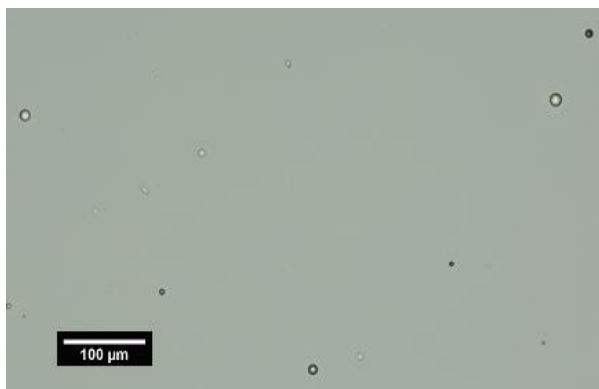
Pembacaan jejak

Detektor diletakkan di atas kaca preparat dan dihitung jejaknya secara manual menggunakan

mikroskop optik dengan perbesaran 400x. Jejak dihitung pada 25 field yang berbeda di sekitar pusat detektor. Sedangkan untuk jejak background dihitung hampir di seluruh permukaan detektor dan diperoleh sebesar 20 jejak/cm².

Hasil dan Pembahasan

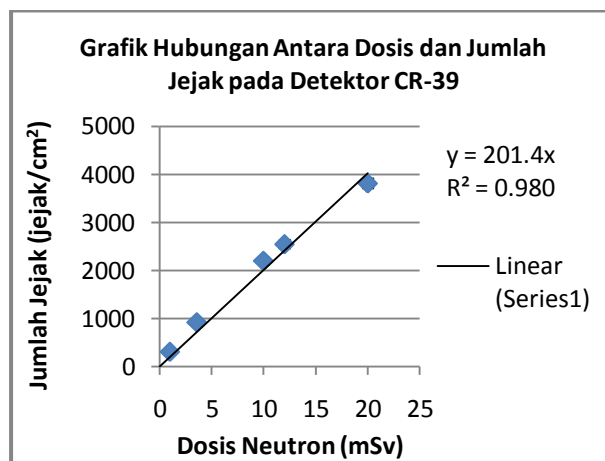
Gambar 4 menunjukkan contoh hasil jejak yang tampak pada detektor CR-39 pada penyinaran kalibrasi. Jumlah jejak persatuan luas akan semakin banyak seiring dengan semakin besarnya dosis neutron yang diberikan. Dari data hasil tersebut dapat ditentukan sensitivitas dari detektor yang dinyatakan sebagai banyaknya jejak per satuan dosis neutron ataupun per satuan fluks neutron. Diperoleh sensitivitas rata-rata adalah 238 jejak/cm².mSv atau $1,2 \times 10^{-4}$ jejak/neutron. Selain itu, diperoleh pula jejak minimum yang dapat dideteksi detektor sebesar 12 jejak/cm², berdasarkan jejak backgroundnya.



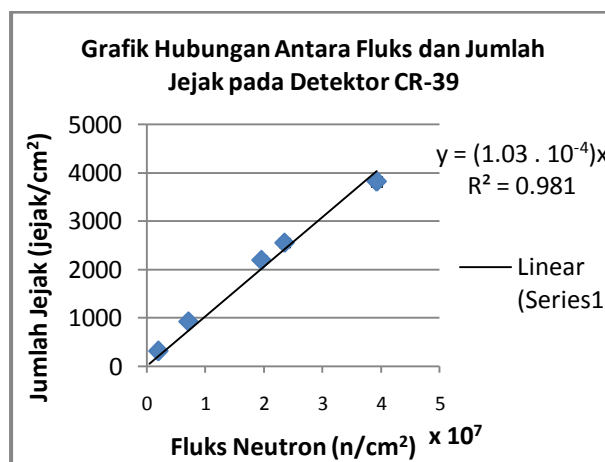
Gambar 4. Contoh jejak pada detektor CR-39

Gambar 5 menunjukkan kurva kalibrasi detektor CR-39 yang menyatakan hubungan antara dosis neutron dan jumlah jejak. Kurva yang dihasilkan berupa garis lurus (linear) dengan persamaan $y = 201,4x$. Hubungan antara fluks neutron dengan jumlah jejak juga dapat digambarkan seperti Gambar 6. Kurva yang dihasilkan juga berupa garis lurus dengan persamaan $y = (1,03 \cdot 10^{-4})x$.

Dengan mensubstitusi jejak minimum ke persamaan kalibrasi tersebut, maka diperoleh dosis minimum yang dapat dideteksi detektor sebesar 59,6 μ Sv atau sebanyak $1,2 \times 10^5$ n/cm². Dosis minimum ini masih dibawah dosis minimum yang direkomendasikan ICRP yaitu sebesar 80 μ Sv. Artinya detektor masih dalam keadaan bagus dan metode yang digunakan pada penelitian ini juga cukup bagus dan dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan dosis neutron di ruang linac.



Gambar 5. Grafik hubungan antara dosis dan jumlah jejak



Gambar 6. Grafik hubungan antara fluks dan jumlah jejak

Dari hasil penyinaran di ruang linac diperoleh dosis (mSv/Gy) dan fluks neutron (n/cm².Gy) pada meja pasien, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

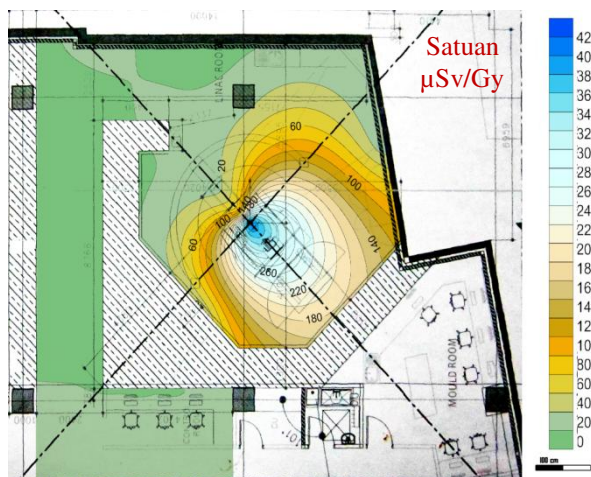
Tabel 1. Hasil pengukuran dosis dan fluks neutron pada meja pasien

No	Posisi	mSv/Gy	n/cm ² .Gy
1	0 cm (IC)	0.4255	8.32×10^5
2	10 cm	0.2331	4.56×10^5
3	30 cm	0.1275	2.49×10^5
4	60 cm	0.0479	9.38×10^4
5	80 cm	0.0360	7.04×10^4
6	120 cm	0.0217	4.24×10^4
7	180 cm	0.0105	2.05×10^4
8	240 cm	0.0071	1.40×10^4

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai dosis maksimum yaitu pada titik isocenter (0 cm) dan semakin berkurang seiring dengan semakin jauh jaraknya dengan isocenter. Nilai dosis ekuivalen pada isocenter ini hanya sebesar 0,04% Sv/Gy. Ini menunjukkan linac masih dalam keadaan bagus karena nilai tersebut masih

dibawah batas maksimum kebocoran neutron dari spesifikasi alatnya sendiri yaitu sebesar 0,2% Sv/Gy. Meskipun kontribusi dosis neutron ini cukup kecil, namun harus tetap diperhitungkan ke dalam *treatment planning system* (TPS) karena efeknya yang signifikan dalam memicu timbulnya kanker sekunder.

Untuk distribusi dosis di dalam dan di luar ruangan linac ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi dosis neutron di ruang linac 10 MV

Dari gambar tersebut diketahui bahwa semakin jauh posisi dari meja pasien, maka dosisnya akan semakin kecil sampai orde μSv . Bahkan untuk daerah *maze*, pintu, dan ruang kontrol nilai sangat kecil yang disebabkan oleh adanya tembok penghalang (*wall shielding*). Nilai dosis ekuivalen minimum, yaitu $0,8 \mu\text{Sv/Gy}$ pada ruang kontrol. Bagi para pekerja linac juga harus diperhatikan upaya proteksi radiasinya, terutama

mengenai manajemen waktu dan penggunaan pelindung radiasi saat bekerja di ruang linac. Hal ini untuk menghindari paparan radiasi neutron yang tidak diinginkan yang dapat meningkatkan dosis yang diterima pekerja radiasi.

Simpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran neutron cepat di ruang linac medis menggunakan detektor jejak nuklir CR-39. Hasil tanggapan yang optimal, ditandai dengan jejak yang banyak, jelas, dan mudah diamati pada detektor, diperoleh pada susunan detektor CR-39 yang dilapisi dengan radiator polietilen dan filter Cu, serta parameter etsa optimal pada konsentrasi larutan NaOH 6,25 N, suhu etsa 70°C , dan waktu etsa 7 jam.

Kurva kalibrasi hubungan antara dosis dan fluks neutron dengan jumlah jejak dari detektor CR-39 diperoleh berupa garis lurus linear dengan persamaan $y = 201,4x$ dan $y = (1,03 \cdot 10^{-4})x$, dimana y adalah jumlah jejak dan x masing-masing adalah dosis dan fluks neutron.

Sedangkan distribusi dosis dan fluks neutron di ruang linac medis 10 MV diperoleh nilainya bervariasi mulai dari yang tertinggi sebesar $0,4 \text{ mSv/Gy}$ atau $8,32 \times 10^5 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{Gy}$ di titik isocenter dan yang terendah $0,8 \mu\text{Sv/Gy}$ atau $2,35 \times 10^3 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{Gy}$ di ruang kontrol. Nilai dosis maksimum di titik isocenter ini masih berada di bawah batas yang telah ditentukan, namun tetap harus diperhatikan mengenai upaya proteksi radiasi dari neutron tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Hsu, F., Y. Chang, M. Liu, S. Huang dan C. Yu. 2010. Dose estimation of the neutrons induced by the high energy medical linear accelerator using dual-TLD chips. *Radiation Measurements*. 45: 739-741.
- [2] 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): 62-66.
- [3] Hashemi, S.M., B. Hashemi-Malayeri, G. Raisali, P. Shokrani, A.A. Sharafi dan F. Torkzadeh. 2008. Measurement of photoneutron dose produced by wedge filters of a high energy linac using polycarbonate films. *J. Radiat. Res.* 49(3): 279-283.
- [4] Szydowski, A., M. Jaskola, A. Malinowska, S. Pszona, A. Wysocka-Rabin, A. Korman, K. Pytel, R. Prokopowicz, J. Rostkowska, W. Bulski dan M. Kuk. 2013. Application of nuclear track detectors as sensors for photoneutrons generated by medical accelerators. *Radiation Measurements*. 50: 74-77.
- [5] Al-Othmany, D.S., S. Abdul-Majid dan M.W. Kadi. 2010. Fast neutron dose mapping in a linac radiotherapy facility. *Tenth Radiation Physics & Protection Conference, Cairo 27-30 November 2010*. 123-128.
- [6] Castillo, F., G. Espinosa, J.I. Golzarri, D. Osorio, J. Rangel, P.G. Reyes dan J.J.E. Herrera. 2013. Fast neutron dosimetry using CR-39 track detectors with polyethylene as radiator. *Radiation Measurements*. 50: 71-73.
- [7] Ramain, A., N. Rohmah dan Bunawas. 1992. Tanggapan detektor CR-39 terhadap neutron cepat dengan radiator polietilen. *Simposium Fisika Jakarta '92, Jakarta 2 September 1992*. 62-69.
- [8] Mendez-Villafane, R., J.M.L.A. Merino, E.G. Diaz dan A.L. Fillol. 2010. Determination of the emission rate of an Am-Be neutron sources with a Bonner sphere spectrometer. *Radiation Measurements*. 45: 1271-1275.