

Simulasi TLD-700 (Lif; Mg, Ti) untuk Penentuan Dosis Ekuivalen Hp(10) PADA Pekerja Radiasi (Gamma) dengan Pendekatan MCNPX

Aisyah. D. Pradipta¹⁾ *, Sugeng Rianto²⁾, Bunawas³⁾

¹⁾ Program Studi Magister Ilmu Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya

²⁾ Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya

³⁾ Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR), BATAN

Diterima 23 Januari 2017, direvisi 30 April 2017

ABSTRAK

Pekerja radiasi wajib melakukan pemantauan dosis radiasi untuk mengurangi dampak radiasi pengion pada tubuh. Pemerintah melalui BAPETEN menetapkan dosis ekuivalen maksimum untuk pekerja sebesar 20 mSv/tahun. Salah satu alat pantau personal yang banyak dipakai adalah TLD-700 (khususnya untuk radiasi gamma). Dosis ekuivalen pada tubuh pekerja radiasi untuk kedalaman 10 mm (Hp(10)) dapat diperkirakan melalui pendekatan simulasi MCNPX. Untuk melakukan simulasi dibutuhkan input model geometri yang disesuaikan dengan geometri pada eksperimen. Hasil simulasi pada posisi sumber tegak lurus diperoleh laju dosis 8,565mSv/jam, yang menunjukkan perbedaan sebesar 1,5% terhadap hasil eksperimen, sehingga dosis Hp(10) dapat ditentukan. Pada penelitian ini juga dapat mensimulasikan untuk posisi sumber kontaminasi ¹³⁷Cs dilantai yang tidak dapat dilakukan secara eksperimen. Perkiraan melalui simulasi, laju dosis pada lantai sebesar 14,920 mSv/jam. Hasil tersebut menunjukkan perbedaan laju dosis terhadap sumber tegak lurus sebesar 75% lebih besar dari arah tegak lurus. Berdasarkan hasil tersebut perlu dilakukan kalibrasi TLD-700 untuk posisi sumber dari arah bawah. Karena semakin besar laju dosis (dari arah bawah) maka semakin besar juga dosis Hp(10) yang diterima. Sehingga MCNPX cukup potensial dipakai untuk memperkirakan dosis personal Hp(10) bagi pekerja radiasi, terutama terkait kasus kecelakaan radiasi.

Kata Kunci: Dosis Hp(10), MCNPX, TLD-700.

ABSTRACT

Radiation workers are compulsory to monitoring radiation dose for reduce the effects of ionizing radiation on the body. Government through similar BAPETEN maximum dose for radiation workers is 20 mSv/year. One of the personal monitoring tool that is widely used is the TLD-700 (specially for gamma radiation). The equivalent dose to the worker's body to a depth of 10mm (Hp(10)) able to be predicted from a simulation approach MCNPX. To simulation needed input model of geometry which adapted to the geometry experiments. The simulation results at the source position vertical to the dose rate is obtained 8,565mSv/h, which shows a difference of 1.5% on the results of the experiment, so the Hp(10) dose can be determined. This experiment able to simulated for contamination source ¹³⁷Cs on the floor position unable to be done experimentally contamination source. Estimation through simulation, the dose rate on the floor at 14.920 mSv/h. The results showed the difference of dose rate through dose rate 75% vertical source larger than the vertical direction. According to the result need to be calibration TLD-700 for the source position from the bottom. Because the greater the dose rate (from below), the greater the Hp(10) dose is received. With the result clear that considerable potential MCNPX used to estimate personal Hp(10) dose for radiation workers, specially in relation to the case of a radiation accident.

Keywords: Hp(10) dose, MCNPX, TLD-700.

*Corresponding author:

E-mail: aisyahdianing.94@gmail.com

PENDAHULUAN

Penggunaan radiasi banyak di jumpai di berbagai bidang misalkan pada bidang medis (radioterapi), pembangkit listrik, dll. Suatu intansi yang memanfaatkan radiasi telah terjadi kecelakaan sehingga menyebabkan lantai sebuah ruangan telah terkontaminasi sumber ^{137}Cs maka pekerja radiasi harus mengecek aktivitas sumber di ruang tersebut yang artinya pekerja telah terpapar radiasi dari ^{137}Cs . Maka dosis yang diterima pekerja perlu di perhatikan agar tidak melampaui nilai batas dosis (NBD) yakni 20 mSv/tahun [1]. Inilah yang disebut dengan pemantau dosis personal yang bertujuan untuk meminimalisir terjadinya efek radisi pada pekerja baik efek stokastik maupun efek deterministik. Pemantau dosis biasanya dilakukan dengan cara menggunakan dosimeter personal.

Dosimeter personal yang digunakan pekerja radiasi harus memenuhi persyaratan dosimetriknya yaitu mampu mengukur besaran dosis personal diantaranya Hp(7) dan Hp(10). Hp(10) adalah kedalaman 10 mm dari permukaan tubuh yang menunjukkan dosis ekuivalen yang diterima seluruh tubuh. Sedangkan Hp(7) yakni kedalaman 0.07mm yang menunjukan besar dosis ekuivalen pada kulit. Dosimeter personal yang sering digunakan di Indonesia yaitu Termoluminesensi Dosimeter (TLD) karena relatif murah, kuat, kecil, dan dapat digunakan kembali setelah pembacaan TLD [2–4]. TLD secara konvensional digunakan untuk verifikasi dan mengukur radiasi [5–7]. Khususnya untuk dosimetri radiasi gamma yakni TLD-700. Bahan material TLD yang digunakan adalah Lithium floride dengan pengotor Magnesium dan Titanium (Lif; Mg, Ti). Material di pilih karena memiliki Z_{eff} 8.1 yang cukup mendekati dengan Z_{eff} jaringan tubuh yakni 7,4 [4].

Kecelakaan radiasi tersebut akan di lakukan penelitian untuk memaksimalkan pemantau dosis pekerja akan tetapi tidak dapat dilakukan secara eksperimen dikarenakan aktivitas sumber yang besar sehingga perludilakukan secara perhitungan dengan metode probabilitik (statistik) salah satunya yakni menggunakan metode Monte Carlo [8]. Penelitian ini focus untuk perhitungan dosis Hp(10) terhadap

radiasi gamma dari sumber ^{137}Cs dengan menggunakan metode simulasi Monte Carlo N-Partikel eXended (MCNPX) yang valid terhadap hasil eksperimen. MCNPX salah satu software dari perkembangan monte carlo, yang dapat menyimulasikan perjalanan partikel foton, elektron, dan neutron. Metode monte carlo adalah metode probabilitas yang menggunakan *radom number* [9,10]. Sistem kerjanya dengan mensimulasikan secara random dan diulang-ulang sampai mendapatkan hasil yang diinginkan. Tingkat akurasi dalam perhitungan sangat dipengaruhi oleh keakuratan model yang dibuat [11–13].

Simulasi laju dosis gamma dilakukan untuk memperkirakan dosis Hp(10) para pekerja radiasi yang aman sehingga meminimalisir efek radiasi dan tidak melampaui NBD yang sudah ditetapkan [1]. Kode F6 pada inputan MCNPX digunakan untuk menghitung laju dosis gamma sedangkan kode FM6 sebagai faktor pengali yang di perlukan untuk konversi dari satuan energi MeV/g ke satuan dosismSv.

METODE PENELITIAN

Prosedur pada penelitian ini ada dua kelompok yakni eksperimen dan simulasi. Eksperimen dilakukan dengan meletakkan TLD-700 di depan fantom PMMA berukuran 30×30×15 cm, lalu penyinaran dengan sumber ^{137}Cs yang di beri jarak 200cm dan energi 0,662 MeV sebagaimana di tunjukkan pada Gambar 1. Setelah itu pembacaan TLD sehingga mendapatkan nilai respon. Lalu di konversi ke dosis Hp(10) dengan cara nilai respon tersebut di kali dengan nilai faktor kalibrasi (FK) sebagaimana persamaan (1).

$$D = TL_{\text{total}} \times Fk \quad (1)$$

Dimana,

D = dosis serap (mSv)

TL_{total} = respon TLD (nC)

Fk = nilai faktor kalibrasi (nC)

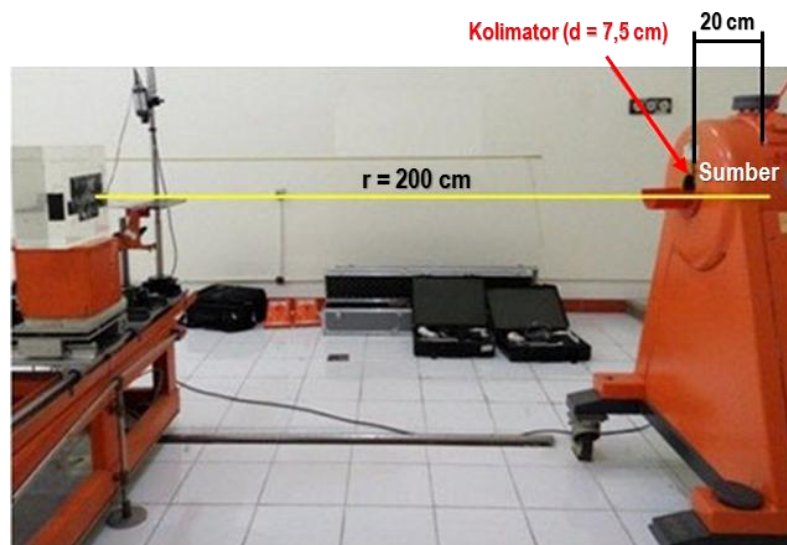
Untuk perhitungan dosis Hp(10) dengan MCNPX di butuhkan beberapa informasi data diantaranya, data geometri TLD-700, fantom, model sumber dan satuan yang diinginkan pada output. Geometri yang di modelkan meliputi TLD-700, fantom, dan sumber. Ada tiga tahapan dalam MCNPX, yakni input data, proses *running*, dan interpretasi *ouput*. Input

data dilakukan dengan mengisikan beberapa kartu diantaranya adalah kartu sel, kartu permukaan, dan kartu data. Kartu sel yaitu tiap bagian dari objek, bisa lebih dari satu sel jika materinya berbeda dan kartu permukaan adalah data geometri dari masing-masing obyek yang akan disimulasikan, sementara kartu data yakni informasi mengenai material dari obyek (massa densitas, fraksi atom), definisi sumber (energi, posisi, koordinat) serta *tally* atau besaran fisis yang akan dihitung di beri kode fm6. Kode ini

juga digunakan untuk mengkonver dari satuan energi ke dosis.

$$\begin{aligned} fm6 &= \text{aktifitas } ^{137}\text{Cs} \times \text{faktor konversi dari MeV/g ke } \mu\text{Sv} \\ &= (3,7 \times 10^{11}) \times (1,602 \times 10^{-4}) \\ &= 5,92 \times 10^7 \mu\text{Sv/s} \\ &= 5,92 \times 10^7 \times 3600 \\ &= 2,13 \times 10^{11} \mu\text{Sv/jam} \end{aligned}$$

Proses *running* memerlukan data pengulangan/nilai NPS tujuannya untuk meminimalisir nilai error.



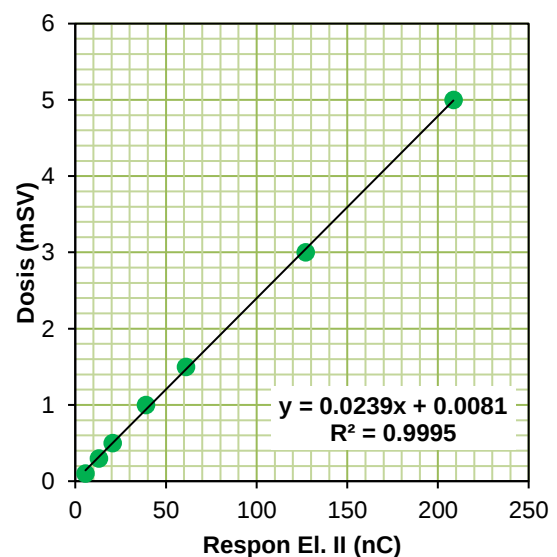
Gambar 1. Proses kalibrasi TLD-700 untuk gamma dengan posisi sumber tegak lurus

HASIL DAN PEMBAHASAN

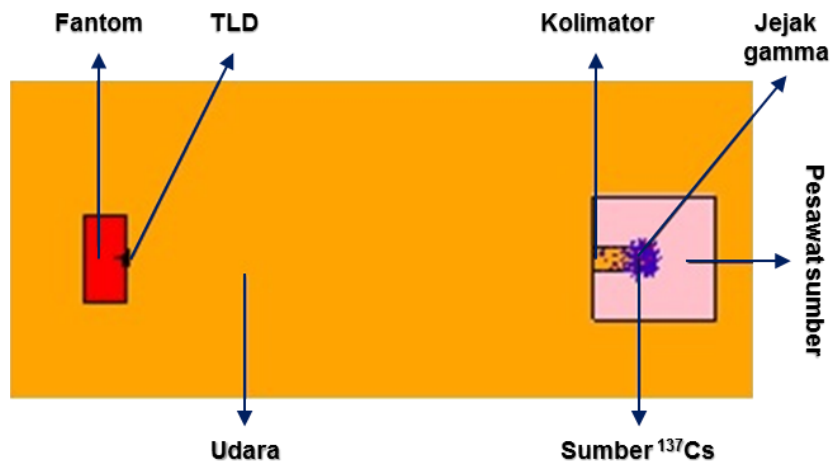
Pada eksperimen untuk posisi sumber tegak lurus menggunakan data sekunder dengan laju dosis sebesar 8,44 mSv/jam sebagaimana ditunjukkan dalam bentuk grafik pada Gambar 2. Sementara untuk hasil MCNPX secara visual ditunjukkan pada pada Gambar 3. Keluran yang diperoleh berupa laju dosis sebesar 8,565 mSv/jam. Keluaran tersebut dikonversi ke dosis Hp(10) dengan mengkalikannya terhadap waktu paparan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

Perbedaan laju dosis dari hasil eksperimen dengan MCNPX sebesar 1,5 %. Dari segi nilai eror hasil simulasi $\pm 6\%$ yang artinya tidak melebihi STDEV eksperimen yakni 1%-6%. Sebagaimana hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. Sementara simulasi MCNPX dengan posisi sumber kontaminasi ^{137}Cs di lantai dilakukan dengan membuat desain ruangan dengan ukuran 100×100 cm dan aktivitas

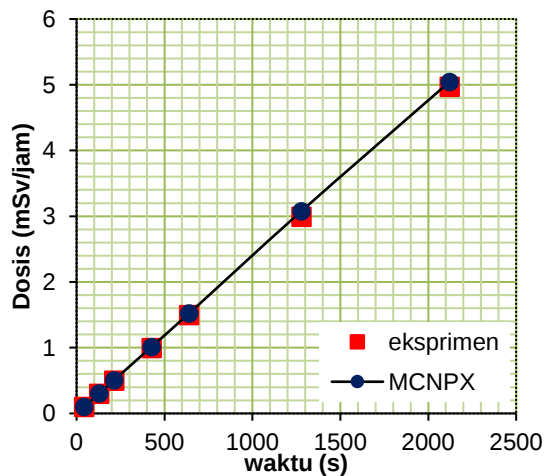
sumber yang sama yakni $3,7 \times 10^{11}$. Dalam inputan aktivitas sumber dalam satuan *perbequerel*. Karena nantinya hasil ini dapat



Gambar 2. Grafik kalibrasi TLD-700 dengan sumber tegak lurus



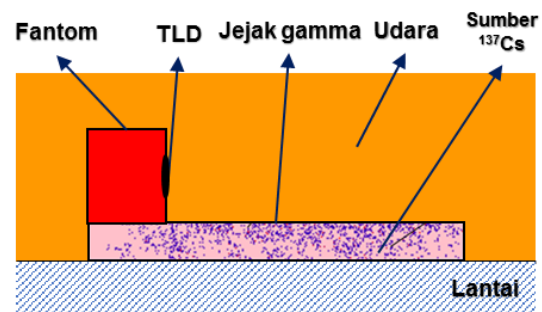
Gambar 3. Hasil masukan MCNPX pada posisi sumber tegak lurus



Gambar 4. Perbandingan hasil eksperimen dengan MCNPX

Laju dosis dari output MCNPX sebesar 14,920 mSv/jam. Selanjutnya di konversi ke dosis Hp(10) (Gambar 5) yang kemudian digunakan untuk kasus radiasi yang lain dengan mengubah luas ruangan yang terkontaminasi, jenis sumber dan menyesuaikan besar aktivitas sumber. Selanjutnya mencari faktor koreksi

antara sumber tegak lurus dengan sumber dilantai. Tujuannya untuk mengetahui seberapa besar perbedaan laju dosis dan dosis Hp(10) antara sumber tegak lurus dengan sumber dari arah bawah. Laju dosis posisi sumber di lantai lebih besar dari pada sumber tegak selisihnya sebesar 75% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pentingnya di lakukan kalibrasi TLD-700 dengan posisi sumber dari arah bawah karena dengan laju dosis yang besar maka dosis Hp(10) yang didapat juga semakin besar.



Gambar 5. Hasil MCNPX pada posisi sumber dari arah bawah

Tabel 1. Faktor koreksi kalibrasi TLD-700 antara sumber tegak lurus dengan sumber di lantai

No	Satuan	Waktu (s)	Sumber Tegak lurus	Sumber di Lantai
1.	Laju Dosis	-	8,565	14,920
		43	0,101	0,176
		128	0,304	0,529
		213	0,506	0,881
		426	1,013	1,765
2.	Dosis	640	1,522	2,651
		1279	3,078	5,362
		2121	5,045	8,789

KESIMPULAN

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa MCNPX cukup potensial untuk memperkirakan dosis ekuivalen personal (Hp(10)) para pekerja radiasi yakni dengan cara menghitung laju dosis. Perbedaan laju dosis yang didapat dari MCNPX dengan hasil eksperimen hanya sebesar 1,5%. Hasil simulasi untuk faktor koreksi menunjukkan laju dosis pada posisi sumber dari arah bawah lebih besar sekitar 75% dari laju dosis sumber yang datang dari depan. Hasil tersebut menandakan perlu adanya kalibrasi TLD-700 dengan posisi sumber dari arah bawah

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2013) Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Indonesia. p. 1–29.
- [2] Azorín, J., Furetta, C. and Scacco, A. (1993) Preparation and properties of thermoluminescent materials. *Physica Status Solidi (a)*, **138**, 9–46. <https://doi.org/10.1002/pssa.2211380102>
- [3] Furetta, C., Roman, J., Rivera, T., Azorín, J., Azorín, C.G. and Vega-Carrillo, H.R. (2010) Modeling the thermoluminescent response of CaSO₄:Dy by the MCNPX method. *Applied Radiation and Isotopes*, **68**, 967–9. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2009.12.025>
- [4] Podgorsak, E.B. (2005) Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- [5] DeWerd, L. (1986) Practical Aspects of Thermoluminescence Dosimetry Conference Report Series 43 edited by A. P. Hufton. *Medical Physics*, **13**, 968–968. <https://doi.org/10.1118/1.595799>
- [6] Mansfield, C.M. and Suntharalingam, N. (1976) Thermoluminescence dosimetry in radiation oncology. *Applied Radiology*, **2**, 43–8.
- [7] McKinlay, A.F. (1981) Thermoluminescence Dosimetry (Medical Physics Handbooks no 5). Adam Hilger, Bristol, UK.
- [8] Rasito. (2013) Materi Kuliah: Pengenalan MCNP untuk Pengkajian Dosis. Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
- [9] Hammersley, J.M. and Handscomb, D.C. (1964) Monte Carlo Methods [Internet]. Springer Netherlands, Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-5819-7>
- [10] Sheikh-Bagheri, D., Rogers, D.W., Ross, C.K. and Seuntjens, J.P. (2000) Comparison of measured and Monte Carlo calculated dose distributions from the NRC linac. *Medical Physics*, **27**, 2256–66. <https://doi.org/10.1118/1.1290714>
- [11] Baluti, F. (2009) Monte Carlo Simulations of Chemical Vapour Deposition Diamond Detectors. University of Canterbury, New Zealand.
- [12] van Elmpt, W., McDermott, L., Nijsten, S., Wendling, M., Lambin, P. and Mijnheer, B. (2008) A literature review of electronic portal imaging for radiotherapy dosimetry. *Radiotherapy and Oncology: Journal of the European Society for Therapeutic Radiology and Oncology*, **88**, 289–309. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2008.07.008>
- [13] Reynaert, N., van der Marck, S.C., Schaart, D.R., Van der Zee, W., Van Vliet-Vroegindewij, C., Tomsej, M. et al. (2007) Monte Carlo treatment planning for photon and electron beams. *Radiation Physics and Chemistry*, **76**, 643–86. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2006.05.015>