

PEMETAAN LAJU DOSIS GAMMA DI GREEN HOUSE DENGAN METODE MONTE CARLO PROGRAM PHITS

GAMMA DOSE RATE MAPPING IN GREEN HOUSE ROOM USING MONTE CARLO METHOD PHITS CODE

Rasito Tursinah, Putu Sukmabuana

Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan – BATAN, Jl. Tamansari 71 Bandung, Indonesia
E-mail: rasito@batan.go.id

Diterima 8 September 2016, diterima dalam bentuk perbaikan 15 Oktober 2016, disetujui 24 Oktober 2016.

ABSTRAK

PEMETAAN LAJU DOSIS GAMMA DI GREEN HOUSE DENGAN METODE MONTE CARLO PROGRAM PHITS. Penelitian faktor transfer dan remediasi di green house PSTNT dilakukan dengan mengkontaminasi ^{134}Cs atau ^{60}Co aktivitas 2 MBq ke dalam air dan tanah. Air terkontaminasi tersebut ditempatkan di dalam wadah polietilen bentuk oval dengan panjang 1,7 m, lebar 0,5 m dan tinggi 0,5 m, sedangkan tanah yang dikontaminasi ditempatkan dalam 6 buah kotak kayu ukuran $1 \times 1 \times 0,5 \text{ m}^3$. Keberadaan kontaminan radionuklida pemancar gamma dan selama periode tertentu akan meningkatkan dosis radiasi bagi pekerja. Untuk mengetahui dosis radiasi yang dihasilkan akan aman atau tidak bagi pekerja maka dilakukan pemetaan dosis di green house. Pemetaan dilakukan secara simulasi menggunakan metode Monte Carlo dengan program komputer PHITS. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa laju dosis gamma di ruang green house yang dihasilkan adalah antara $0,1 \mu\text{Sv/jam} - 1 \mu\text{Sv/jam}$, untuk sumber ^{134}Cs maupun ^{60}Co . Berdasarkan hasil pemetaan dapat diketahui bahwa dosis gamma akibat kontaminasi ^{134}Cs ataupun ^{60}Co aktivitas 2 MBq ke dalam air dan tanah masih terkategori aman karena di bawah nilai batas yang diijinkan untuk pekerja maupun publik.

Kata kunci: laju dosis gamma, green house, metode Monte Carlo, PHITS

ABSTRACT

GAMMA DOSE RATE MAPPING IN GREEN HOUSE ROOM USING MONTE CARLO METHOD PHITS CODE. Research of transfer factor and remediation in the green house of PSTNT is done using 2 MBq of ^{134}Cs or ^{60}Co as radionuclides contaminant in the water and soil. The contaminated water is placed in the polyethylene oval tubs 1.7 m long, 0.5 m wide and 0.5 m high, while the contaminated soil is placed in the 6 pieces of wood box the size of $1 \times 1 \times 0.5 \text{ m}^3$. This contaminant emits gamma radiation and over a long period slightly increases the radiation dose for workers. To determine this gamma radiation is safe or unsafe for workers need gamma dose mapping in the green house room. The gamma dose mapping was done by simulation using Monte Carlo method with PHITS code system. The simulation result was shown that the gamma dose rate in the green house room is $0.1 \mu\text{Sv/h} - 1 \mu\text{Sv/h}$ for ^{134}Cs or ^{60}Co sources. Based on this map can be known that the gamma dose rate value from contaminated water and soil by 2 MBq of ^{134}Cs or ^{60}Co is safe because it is still lower than the dose limit for workers and the public.

Keywords: gamma dose rate, green house, Monte Carlo methods, PHITS

PENDAHULUAN

Menurut Perka BAPETEN no. 4 th 2009 dalam program dekomisioning diperlukan kegiatan dekontaminasi yang akan dilaksanakan pada struktur terkontaminasi, sistem dan peralatan yang terkontaminasi, tanah, air permukaan dan air tanah yang diantaranya adalah keselamatan terkait tindakan remedial pada tanah dan air. Keselamatan yang dimaksud mencakup juga keselamatan radiasi dari petugas. Radiasi tersebut berasal dari radionuklida kontaminan dalam air dan tanah sebelum, selama proses dan setelah dipindahkan. Di dalam penelitian mengenai faktor transfer maupun remediasi di ruang *green house* menggunakan radionuklida untuk mengkontaminasi medium, baik tanah ataupun air. Adanya kontaminan radionuklida pemancar gamma akan menghasilkan paparan radiasi di ruang green house dan meningkatkan dosis radiasi yang diterima pekerja.

Laju dosis radiasi yang akan diterima oleh pekerja tidak boleh melebihi nilai batas dosis (NBD) yang ditetapkan dan juga nilai dosis pembatas di PSTNT. Untuk mengetahui laju dosis yang diterima nantinya melebihi

atau tidak dari NBD maka dapat dilakukan menggunakan suatu metode perhitungan. Salah satu metode perhitungan yang dapat digunakan untuk menyelesaikan kasus geometri kompleks adalah Monte Carlo. Pada tahun 2010 pernah dilakukan analisis serapan sinar gamma dari radionuklida alam dalam material tanah menggunakan metode Monte Carlo dengan program komputer *Monte Carlo N-Particle version 5 (MCNP5)* yang memberikan perbedaan simulasi dengan hasil pengukuran sangat kecil yaitu 1,8% [1]. Pengembangan metode tersebut akan digunakan untuk pemetaan laju dosis gamma akibat kontaminasi radionuklida pemancar gamma di dalam medium air dan tanah.

Particle and heavy ion transport code system (PHITS) adalah salah satu program komputer berbasis metode Monte Carlo yang dikembangkan oleh *Japan Atomic Energy Agency (JAEA)* yang memiliki kemampuan untuk menyimulasikan partikel dengan beragam material dan rentang energi yang luas[2]. Iwamoto telah menggunakan PHITS untuk menyimulasikan reduksi dosis akibat dekontaminasi tanah[3]. Perbandingan penggunaan PHITS dengan program komputer yang berbasis Monte Carlo lainnya juga telah banyak dilakukan, seperti Hasyimoto, dkk untuk pemetaan dosis dari kegiatan dekontaminasi[4] maupun Mishev, dkk untuk perhitungan laju dosis ketinggian[5]. Pada penelitian ini PHITS digunakan untuk menyimulasikan laju dosis radiasi gamma dari kontaminan radionuklida di dalam tanah dan air. Simulasi menggunakan PHITS ini menghasilkan peta laju dosis di ruang *green house* dan perkiraan dosis radiasi yang diterima pekerja.

METODOLOGI

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data geometri dan material *green house*, data bahan dan geometri sumber radiasi, dan program komputer PHITS. Adapun peralatan yang diperlukan hanya sebuah komputer dengan memori (RAM) minimal 2 GB.

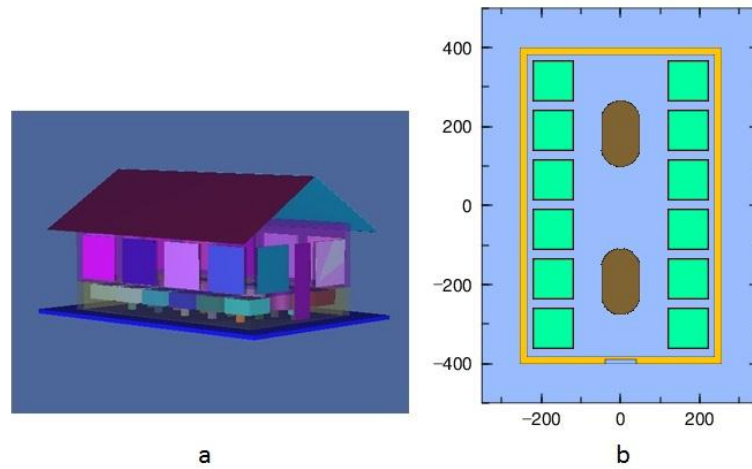
Untuk melakukan perhitungan laju dosis radiasi di *green house* diperlukan tiga tahapan. Pertama adalah membuat inputan PHITS dari data geometri dan material *green house* serta sumber radiasi. Kedua, menjalankan inputan program komputer PHITS tersebut dalam sebuah komputer. Ketiga, plotting data hasil perhitungan program komputer ke dalam sebuah grafik kontur menggunakan program komputer Angel. Pada Gambar 1 diperlihatkan wujud *green house* PSTNT dari luar dan dalam ruang. Pada Gambar 2 diperlihatkan model *green house* PSTNT dari luar dan dalam ruang menggunakan PHITS dan Angel.



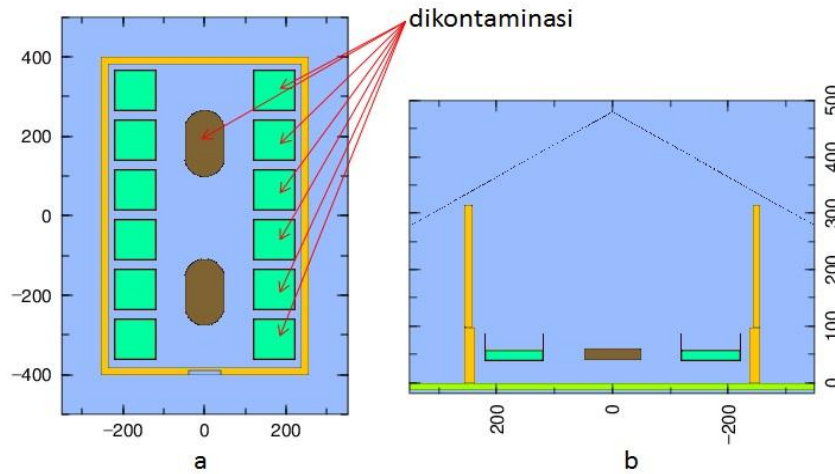
Gambar 1. *Green house* PSTNT, (a) Tampak luar, dan (b) Tampak dalam

Di dalam ruang *green house* terdapat 6 kotak di sebelah kanan dan 6 kotak di sebelah kiri. Kotak di sebelah kanan digunakan untuk penempatan tanah kontaminasi, sementara kotak sebelah kiri untuk penempatan tanah tak terkontaminasi atau tanah kontrol. Di tengah ruang terdapat 2 buah bak oval berisi air, dengan 1 bak depan berisi air terkontaminasi dan 1 bak belakang berisi air tak terkontaminasi atau air kontrol. Tampilan kotak tanah dan bak air dalam ruang *green house* diperlihatkan pada Gambar 3.

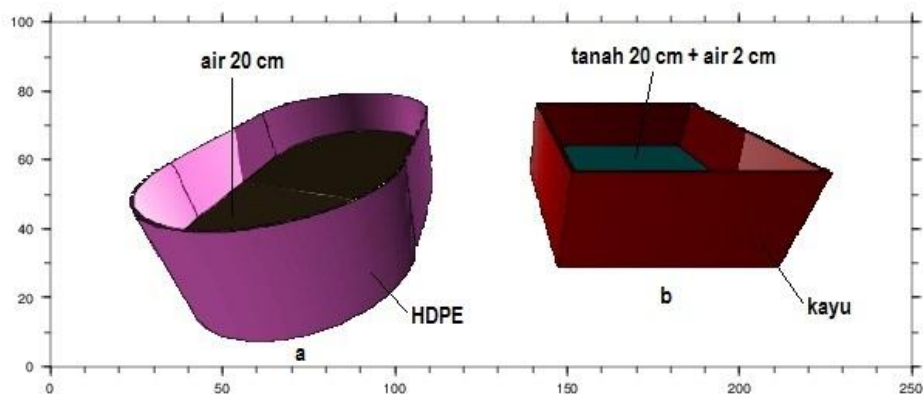
Kotak tanah terbuat dari bahan kayu dengan ukuran panjang x lebar x tinggi adalah 1 m x 1 m x 0,5 m. Setiap kotak diisi tanah dengan ketinggian 20 cm dan air hingga 2 cm di atas permukaan tanah. Untuk 6 kotak di sebelah kanan ruangan diisi tanah yang dikontaminasi radionuklida ^{134}Cs maupun ^{60}Co secara homogen dengan aktivitas maksimal 10 MBq. Bak air terbuat dari bahan polietilen (HDPE) dengan diameter panjang 1,7 m, lebar 1 m dan tinggi 0,5 m. Bak diisi dengan air hingga ketinggian 20 cm. Untuk 1 bak di bagian depan diisi air yang dikontaminasi ^{134}Cs maupun ^{60}Co dengan aktivitas maksimal 10 MBq. Tampilan kotak tanah dan bak air diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 2. Model *green house* PSTNT, (a) Tampak luar, dan (b) Tampak dalam



Gambar 3. Posisi sumber di ruang *green house*,
(a) Tampak atas, dan (b) Tampak samping



Gambar 4. Geometri sumber radiasi di ruang *green house*,
(a) Tipe kolam air, dan (b) Tipe kotak tanah

Radionuklida ^{134}Cs maupun ^{60}Co merupakan pemancar beta dan gamma dengan waktu paruh 2,06 tahun dan 5,27 tahun. Radionuklida ^{134}Cs memancarkan radiasi beta dengan energi 0,157 MeV, sedangkan ^{60}Co memancarkan radiasi beta dengan energi 0,3178 MeV (99,92 %). Radionuklida ^{134}Cs dan ^{60}Co memancarkan radiasi gamma karakteristik sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1. Radiasi beta sangat mudah terserap bahan

seperti air dan tanah sehingga laju dosis beta tidak akan signifikan. Berbeda dengan sinar gamma yang dihasilkan, karena daya tembusnya yang sangat tinggi maka sinar gamma akan memberikan laju dosis radiasi di ruangan yang cukup signifikan.

Tabel 1. Sumber radiasi gamma

Radionuklida	Energi Gamma (MeV)	Kelimpahan (%)	Laju emisi (foton/s) per 2 MBq
¹³⁴ Cs	0,563	8,4	1,68×10 ⁵
	0,569	15,4	3,08×10 ⁵
	0,605	97,6	1,52×10 ⁶
	0,796	85,5	1,71×10 ⁶
	0,802	8,7	1,74×10 ⁵
⁶⁰ Co	1,174	100	2,00×10 ⁶
	1,333	100	2,00×10 ⁶

Sinar gamma dengan energi sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1 akan berinteraksi dengan material, mulai dari tanah atau air kemudian dengan wadah kayu dan HDPE, dengan udara dan akhirnya dengan beton dinding *green house*. Interaksi yang terjadi adalah interaksi fotoatomik antara sinar gamma yang berasal dari kedua nuklida dengan atom-atom dari material dengan komposisi atom sebagaimana diperlihatkan dalam Tabel 2.

Dengan menggunakan metode Monte Carlo PHITS maka fluks sinar gamma di beberapa lokasi di *green house* dapat dihitung. Nilai fluks tersebut selanjutnya dikonversi menjadi laju dosis menggunakan faktor konversi fluks ke dosis yang dikeluarkan *International Commission of Radiological Protection (ICRP)*[6]. Nilai faktor konversi fluks foton ke laju dosis untuk rentang energi 1 MeV – 1,5 MeV di dalam ICRP116 diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Data material[7]-[8]

Unsur	Fraksi berat					
	Tanah	Air	Udara	Beton	Kayu	HDPE
ρ (g/cm ³)	1,4	1,0	0,0012	2,3	0,64	0,93
¹ H	-	0,112	-	0,01	0,060	0,144
⁶ C	2	-	0,00012	0,001	0,497	0,856
⁷ N	0,1	-	0,75527	-	0,005	-
⁸ O	49	0,888	0,23178	0,529	0,427	-
¹¹ Na	0,63	-	-	0,016	-	-
¹² Mg	0,63	-	-	0,002	0,002	-
¹³ Al	7,1	-	-	0,034	-	-
¹⁴ Si	33	-	-	0,337	-	-
¹⁵ P	0,08	-	-	-	-	-
¹⁶ S	0,09	-	-	-	0,005	-
¹⁸ Ar	-	-	0,0128	-	-	-
¹⁹ K	1,36	-	-	0,013	0,002	-
²⁰ Ca	1,37	-	-	0,044	0,002	-
²² Ti	0,46	-	-	-	-	-
²⁶ Fe	3,8	-	-	0,014	-	-

Tabel 3. Faktor konversi dosis per fluks foton ICRP116[6]

Energi (MeV)	Fak, Konversi (pSv/jam/cm ² .s)	Energi (MeV)	Fak, Konversi (pSv/jam/cm ² .s)
0,01	0,0685	0,3	1,51
0,015	0,156	0,4	2,00

0,02	0,225	0,5	2,47
0,03	0,313	0,511	2,52
0,04	0,351	0,6	2,91
0,05	0,370	0,662	3,17
0,06	0,390	0,8	3,73
0,07	0,413	1,0	4,49
0,08	0,444	1,117	4,90
0,1	0,519	1,33	5,59
0,15	0,748	1,5	6,12
0,2	1,00		

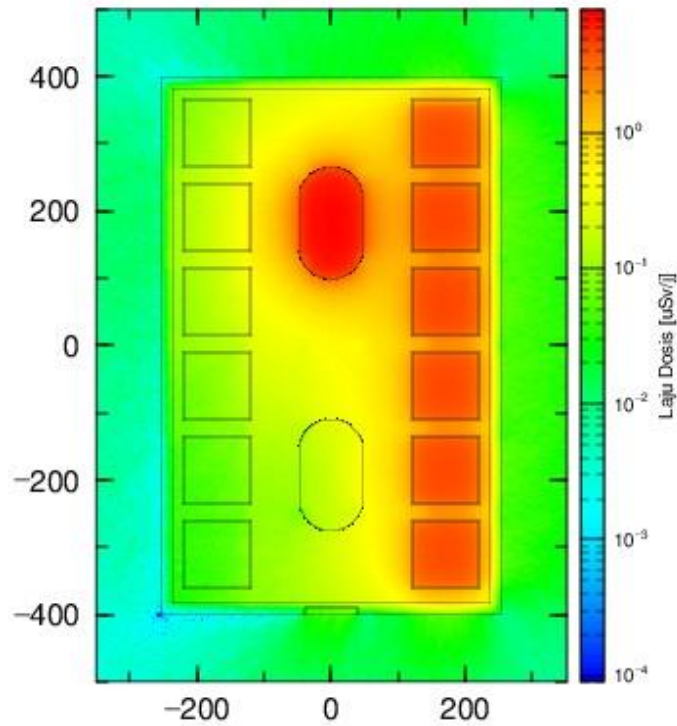
HASIL DAN PEMBAHASAN

Input PHITS berupa geometri dan material *green house* serta sumber radiasi berupa puncak energi gamma dari radionuklida ^{134}Cs dan ^{60}Co di jalankan dalam sebuah laptop dengan *processor intel core i5-4200U* 2.3 GHz, RAM 4 GB, dan sistem operasi windows 8.1 64-bit. Untuk mendapatkan kesalahan statistik < 1 % maka disimulasikan 7×10^6 partikel dan waktu yang dibutuhkan komputer adalah 1 hari. Waktu simulasi ditentukan oleh geometri inputan, *hardware* komputer dan jumlah partikel yang disimulasi.

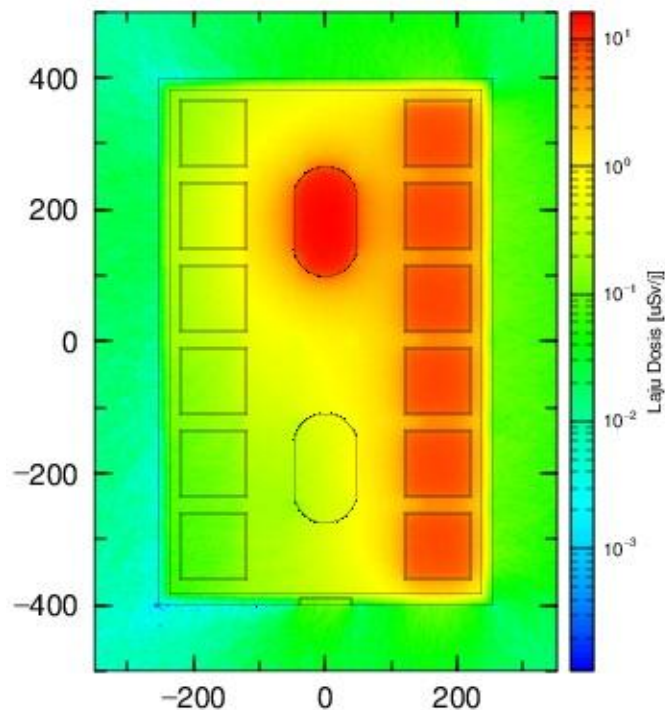
Radionuklida ^{134}Cs dengan aktivitas 2 MBq menghasilkan radiasi gamma dengan energi dan laju emisi masing-masing sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1 yang kemudian berinteraksi dengan atom-atom penyusun tanah dan air. Dengan PHITS, sesuai data tampang lintang atom maka interaksi fotoatomik yang meliputi hamburan Compton dan fotolistrik dihitung. Hasil interaksi fotoatomik foton dengan atom penyusun tanah dan air menyebabkan fluks foton yang keluar dari tanah maupun air mengalami penurunan [9][10]. Interaksi selanjutnya adalah foton dengan wadah yang berupa kayu dan polietilen. Fluks foton di udara dalam ruang *green house* dihitung oleh PHITS dan dikonversi ke nilai laju dosis. Untuk pemetaan laju dosis di luar dinding *green house* maka foton yang ada di dalam ruang diinteraksikan dengan atom material dinding yang terbuat dari beton ringan. Fluks foton di udara luar ruang *green house* dihitung oleh PHITS dan juga dikonversi ke nilai laju dosis. Nilai laju dosis gamma di dalam dan luar ruang *green house* selanjutnya dibuat kontur laju dosis menggunakan program Angel dengan tampilan sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.

Jumlah fluks gamma yang dihasilkan dari sumber ^{60}Co dan ^{134}Cs mendekati sama yaitu 4×10^6 . Namun karena ^{60}Co memiliki energi gamma yang lebih tinggi serta nilai faktor konversi fluks ke dosis lebih besar yaitu 1,5 kali ^{134}Cs maka laju dosis gamma yang dihasilkan oleh radionuklida ^{60}Co menjadi lebih besar. Di dalam penelitiannya, Medhat pernah melakukan pengukuran faktor serapan gamma ^{60}Co oleh tanah dengan densitas $1,3 \text{ g/cm}^3$ dengan hasil $0,46 - 0,48 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ [11][12][13][14]. Namun demikian berdasarkan hasil simulasi untuk dimensi ruang yang besar maka perbedaan ^{60}Co dan ^{134}Cs tersebut tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap nilai laju dosis gamma di dalam maupun luar ruang *green house*. Untuk kasus yang sedikit berbeda yaitu simulasi kontaminasi ^{60}Co , Bin Han dkk menyimulasikan kontaminan ^{60}Co di atas permukaan tanah dengan hasil bahwa kontribusi laju dosis dari adanya kontaminan ^{60}Co mengikuti faktor kesebandingan $1 \mu\text{Sv/jam}$ per 1 MBq/m^2 aktivitas per satuan luas [15]. Yoo, dkk juga telah menyimulasikan untuk kasus yang sedikit berbeda yaitu untuk menentukan faktor konversi dosis gamma energi 1 MeV pada medium air dan tanah dengan hasil bahwa untuk tanah memiliki faktor konversi dosis $4,3\text{E-}7 \text{ uSv/j}$ per Bq/m^3 untuk tadah dan $4,3\text{E-}6 \text{ uSv/j}$ per Bq/m^3 untuk air [3]. Berdasarkan perbandingan dengan dua penelitian tersebut menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan hasil dari simulasi.

Pada Gambar 5 dan 6 diperlihatkan laju dosis gamma di ruang *green house* dengan tingkat laju dosis disajikan berdasarkan warna. Untuk warna merah menunjukkan tingkat radiasi $10 \mu\text{Sv/jam}$, warna jingga $1 - 10 \mu\text{Sv/jam}$, warna kuning $0,1 - 1 \mu\text{Sv/jam}$, dan warna hijau $< 0,1 \mu\text{Sv/jam}$. Di dalam tanah dan air memiliki laju dosis gamma $10 \mu\text{Sv/jam}$, di ruang antar kotak tanah maupun bak air $1 \mu\text{Sv/jam}$, sementara di luar dinding *green house* $< 0,1 \mu\text{Sv/jam}$. Serapan diri air maupun tanah serta wadah polietilen dan kayu cukup efektif hingga mampu menurunkan laju dosis gamma hingga 10%. Dinding ruang *green house* yang terbuat dari beton ringan juga cukup efektif menurunkan laju dosis gamma hingga 10%.



Gambar 5. Laju dosis radiasi di *green house* dari sumber ^{134}Cs



Gambar 6. Laju dosis radiasi di *green house* dari sumber ^{60}Co

KESIMPULAN

Tampilan kontur laju dosis di *green house* berdasarkan hasil perhitungan PHITS untuk di dalam ruang adalah $1 \mu\text{Sv/jam}$ dan di luar dinding *green house* $0,1 \mu\text{Sv/jam}$. Laju dosis tersebut masih terkategori aman karena masih di bawah nilai batas yang diijinkan, baik untuk pekerja maupun publik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Bpk. Widanda dan Ibu Neneng NA atas bantuannya dalam pengumpulan data geometri dan material dari *green house* dan fasilitasnya pendukungnya. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada PSTNT BATAN atas dukungannya sehingga kegiatan penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rasito; R.H. Oetami; Zulfakhri; Tri Cahyo L.; S. Sofyan; Z. Arifin, "Penentuan Dosis Radiasi Gamma Terrestrial Dengan Teknik Spektroskopi Gamma dan Monte Carlo," in *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, (2010):146–156.
2. K. Niita; T. Sato; H. Iwase; H. Nose; H. Nakashima; L. Sihver, "PHITS-a particle and heavy ion transport code system," *Radiat. Meas.*,41(2006): 1080–1090
3. S. J. Yoo, H. K. Jang, J. K. Lee, S. Noh, and G. Cho, "External dose-rate conversion factors of radionuclides for air submersion, ground surface contamination and water immersion based on the new ICRP dosimetric setting," *Radiat. Prot. Dosimetry*,156.1 (2013):7–24
4. T. Hashimoto, M. Kondo, H. Gamo, R. Tayama, and T. Tsukiyama, "Development of a new calculation system to estimate decontamination effects," *Prog. Nucl. Sci. Technol.*, 4(2014): 27–31
5. A. L. Mishev, F. Adibpour, I. G. Usoskin, and E. Felsberger, "Computation of dose rate at flight altitudes during ground level enhancements no. 69, 70 and 71," *Adv. Sp. Res.*, 55.1(2015): 354–362
6. ICRP, Conversion coefficients for radiological protection quantities for external radiation exposures ICRP Publication 116 (2010)
7. Wielopolski L.; Doron O., "Nuclear spectroscopy for in situ soil elemental analysis: Monte Carlo simulations," *Appl. Radiat. Isot.*,70 (2012): 1085–1088
8. R. J. McConn, C. J. Gesh, R. T. Pagh, R. A. Rucker, and R. G. Williams, *Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling* (2011).
9. A. Clouvas; S. Xanthos; M. Antonopoulos-Domis; J. Silva, "Monte carlo calculation of dose rate conversion factors for external exposure to photon emitter in soil," *Health Phys.*,78.3(2000): 295–302
10. W. J.D., "Monte Carlo modelling of large scale NORM source using MCNP," *Journal of Environmental Radioactivity* 125 (2013): 55 – 60
11. M. M.E., "Application of gamma ray transmission method for study the properties of cultivated soil," *Ann. Nucl. Energy*, 40 (2012): 53–59
12. U. Akar Tarim; O. Gurler; E.N. Ozmutlu; S. Yalcin, "Monte carlo calculations for gamma-ray mass attenuation coefficients of some soil samples," *Ann. Nucl. Energy*, 58 (2013): 198–201
13. Gurler O.; Akar Tarim U., "An investigation on determination of attenuation coefficients for gamma-rays by monte Carlo method," *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 293 (2013): 397–401
14. F. A. A. Study, B. Singh, J. S. Dhillon, and G. S. Sidhu, "Gamma Ray Photon Exposure Buildup Factors in Some," vol. 2, no. 9, pp. 1–9, 2012.
15. Bin Han; Juying Zhang; Yong Hum Na; Peter F. Caracappa; X. George Xu, "modelling and monte carlo organ dose calculations forworkers walking on ground contaminated with cs-137 and co-60 gamma sources," *Radiat. Prot. Dosimetry*, 141. 3 (2010): 299–304