

## STUDI KOMPARASI PERHITUNGAN LAJU DOSIS PADA KASUS SUMBER TITIK ISOTROPIK

Anis Rohanda

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) - BATAN

### ABSTRAK

**STUDI KOMPARASI PERHITUNGAN LAJU DOSIS PADA KASUS SUMBER TITIK ISOTROPIK.** Perhitungan laju dosis dapat ditentukan dengan 2 jenis metode perhitungan, yaitu metode deterministik dan metode stokastik. Untuk berbagai aplikasi keperluan praktis, metode deterministik lebih baik mengingat waktu perhitungan yang jauh lebih cepat dan pemodelan yang jauh lebih sederhana daripada metode stokastik. Metode deterministik dapat dilakukan dengan menerapkan teknik penyelesaian ‘point kernel’ sebagai basis perhitungan. Salah satu program computer (*code*) yang mengadopsi teknik tersebut dan telah digunakan secara luas adalah QAD-CGGP-A. Selain dengan *code*, dewasa ini juga telah banyak dikembangkan program aplikasi sejenis yang bisa diakses dari personal komputer ataupun gadget seperti program aplikasi *freeware* “Rad Pro Calculator versi 3.26” dan aplikasi android “Radiation Calculator”. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *code* QAD-CGGP-A, program aplikasi Rad Pro Calculator dan Radiation Calculator untuk menghitung laju dosis gamma pada suatu sumber radiasi berbentuk sumber titik isotropik. Hasil perhitungan diverifikasikan dengan hasil perhitungan teoritis berdasarkan persamaan aproksimasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung penetrasi sumber gamma dalam bentuk laju dosis sumber standar Co-60 sebagai sumber titik isotropik dan juga untuk mengetahui dan memverifikasi sejauh mana komparasi hasil perhitungan berbasis program aplikasi dengan perhitungan teoritis. Secara umum, hasil perhitungan laju dosis dengan ketiga program menunjukkan hasil yang lebih kecil daripada hasil perhitungan teoritis berdasarkan rumus aproksimasi. Hasil perhitungan laju dosis dengan aplikasi Radiation Calculator memiliki perbedaan sekitar 11 %, sedangkan hasil perhitungan QAD-CGGP-A dan Rad. Pro Calculator memiliki perbedaan sekitar 26% dengan hasil teoritis.

**Kata kunci :** laju dosis, deterministik, QAD-CGGP, *point kernel*

### ABSTRACT

**COMPARATION STUDY OF DOSE RATE CALCULATION IN THE CASE OF ISOTROPIC POINT SOURCE.** Dose rate calculation can be determined by two types of methods, deterministic and stochastic methods. For various practical applications, deterministic method is preferred due to the much faster calculation time and much simpler modelling than the stochastic method. The deterministic method can be done by applying ‘point kernel’ completion technique as a basis of calculation. One computer program (*code*) which adopts that technique and has been used widely is QAD-CGGP-A. In addition to that code, there are many similar application programs that can be accessed from a personal computer or a gadget such as Calculator Pro Rad version 3.26 and Radiation Calculator. This research was conducted using a QAD-CGGP-A code, Rad Pro Calculator and Radiation Calculator apps to calculate the gamma dose rate from isotropic point source. The results were verified by the theoretical calculation based on the approximation formulas. The purpose of this study are to calculate the penetration of gamma source in the Co-60 standard source as an isotropic point source and also to determine and verify the comparison of calculation results based on the application program with theoretical calculations. In general, the dose rate calculation results using the three codes are smaller than the theoretical results. The results from Radiation Calculator has a difference about 11%, while the calculation results using QAD-CGGP-A and Rad. Pro Calculator has a difference about 26% with the theoretical results.

**Keywords:** dose rate, deterministic, QAD-CGGP, *point kernel*

## PENDAHULUAN

Sumber radiasi memiliki informasi aktivitas radiasi yang mencerminkan laju peluruhan inti atom tiap satuan waktu. Perhitungan laju dosis dapat ditentukan dari informasi aktivitas suatu sumber radioaktif tersebut. Secara umum, perhitungan laju dosis dapat ditentukan dengan 2 jenis metode perhitungan, yaitu metode deterministik dan metode stokastik. Metode perhitungan deterministik dapat dilakukan dengan program komputer (*code*) yang menerapkan teknik penyelesaian ‘point kernel’, diantaranya yaitu QAD-CGGP-A, CADREM, EASY-QAD, Point Kernel Integration (PKI) dan Mercure-3. Teknik ‘point kernel’ merupakan pendekatan makroskopik pada perhitungan dosis gamma yang memperlakukan propagasi radiasi gamma seperti berkas sinar dan efek interaksi radiasi dengan materi ditentukan melalui faktor atenuasi makroskopik linier<sup>[1]</sup>. Jenis metode perhitungan lainnya adalah metode perhitungan stokastik yang menggunakan pendekatan secara probabilistik. Metode ini dapat diimplementasikan dengan penggunaan teknik *Monte Carlo* yaitu dengan *code* MCNP/MCNPX<sup>[2]</sup>. Untuk berbagai aplikasi keperluan praktis, metode deterministik lebih disukai mengingat waktu perhitungan yang jauh lebih cepat dan pemodelan yang jauh lebih sederhana daripada metode stokastik.

Penggunaan metode deterministik telah digunakan secara luas untuk perhitungan laju dosis sumber radiasi gamma, seperti yang dilakukan Pudjijanto MS (2010) pada perhitungan laju dosis pada perisai biologi reaktor daya dengan CADREM1<sup>[3]</sup> dan Rohanda dkk

(2013, 2014) melakukan analisis laju dosis gamma pada perisai biologi dan daerah kerja bangunan reaktor daya dengan QAD-CGGP-A<sup>[4, 5]</sup>. Selain dapat ditentukan dengan berbagai *code*, perhitungan laju dosis dari suatu sumber radiasi berbentuk titik dapat ditentukan dengan persamaan aproksimasi secara teoritik yang dipengaruhi oleh faktor aktivitas sumber, energi, dan jarak antara sumber ke detektor<sup>[6]</sup>. Disamping itu, berbagai program aplikasi sederhana telah dikembangkan untuk perhitungan laju dosis pada sumber radiasi berbentuk titik (*point source*) yang memiliki sifat fisik yang sama di segala arah atau “isotropik”, diantaranya program aplikasi *freeware* “Rad Pro Calculator versi 3.26” dan aplikasi android “Radiation Calculator”.

Penelitian ini menggunakan *code* berbasis metode deterministik dan berbagai program aplikasi penghitung laju dosis gamma pada suatu sumber radiasi berbentuk sumber titik isotropik seperti QAD-CGGP-A, Rad Pro Calculator versi 3.26 dan Radiation Calculator. Hasil perhitungan diverifikasikan dengan hasil perhitungan teoritis berdasarkan persamaan aproksimasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung penetrasi sumber gamma dalam bentuk laju dosis sumber standar Co-60 sebagai sumber titik isotropik dan juga untuk mengetahui dan memverifikasi sejauh mana komparasi hasil perhitungan berbasis program aplikasi dengan perhitungan teoritis. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai ‘benchmark dasar’ berbagai *code* dan program aplikasi yang digunakan pada perhitungan laju dosis sumber gamma.

## DASAR TEORI

Nilai laju dosis suatu sumber radioaktif ditentukan oleh parameter radioaktivitas dan energi yang dimiliki oleh sumber radioaktif tersebut. Berdasarkan persamaan aproksimasi, nilai laju dosis sumber radioaktif berbentuk sumber titik isotropik dengan aktivitas dan energi yang dimiliki pada jarak tertentu dari sumber dirumuskan sebagai berikut<sup>[6]</sup>:

$$\dot{D} = \frac{A \times E}{6 \times r^2} \dots \dots \dots (1)$$

dengan,

$\dot{D}$  : Laju dosis ( $\mu\text{Sv/jam}$ )

$A$  : Aktivitas sumber (MBq)

$E$  : Energi sumber (MeV)

$R$  : Jarak dari sumber ke detektor atau titik pengamatan (m)

Pendekatan yang sama diterapkan pada perhitungan laju dosis dengan metode deterministik, termasuk dengan teknik penyelesaian 'point kernel'. Teknik ini diklaim mampu melakukan perhitungan penetrasi gamma pada berbagai konfigurasi dan lapisan media. Prinsip perhitungannya adalah dengan membagi sumber ke dalam sejumlah sel *mesh* (*mesh cells*) dengan tiap mesh dianggap sebagai titik sumber. Energi sumber diasumsikan berada pada titik tengah rentang energi tersebut. Laju dosis terhitung merupakan hasil kontribusi dari dosis pada tiap titik sumber tiap satuan waktu. QAD-CGGP merupakan salah satu *code* yang dikembangkan *Atomic Energy of Canada Limited* (AECL) dan *Candu Owner Group* (COG) yang telah menerapkan teknik penyelesaian 'point kernel' untuk estimasi dosis dan penetrasi gam

ma pada berbagai lapisan & konfigurasi perisai radiasi. Secara umum, perhitungan dosis ( $D$ ) pada QAD-CGGP-A mempertimbangkan faktor atenuasi, faktor penumpukan (*build up factor*) dan faktor konversi dari fluks ke dosis yang diformulasikan sebagai berikut<sup>[7]</sup>:

$$D_j = \sum_i K_j \frac{S_{ij}}{4\pi R_i^2} \exp[-\sum_k (\mu_j t)_k] B_{jk} (2)$$

dengan,

$j$  : Index kelompok energi

$i$  : Index titik sumber

$k$  : Index *region*

$K$  : Faktor konversi fluks ke dosis

$S$  : Kuat sumber (foton/detik)

$R$  : Jarak dari sumber ke detektor (cm)

$\mu$  : Koefisien atenuasi total ( $\text{cm}^{-1}$ )

$t$  : Jarak zona penetrasi (cm)

$B$  : Faktor *build up* dosis

## METODOLOGI

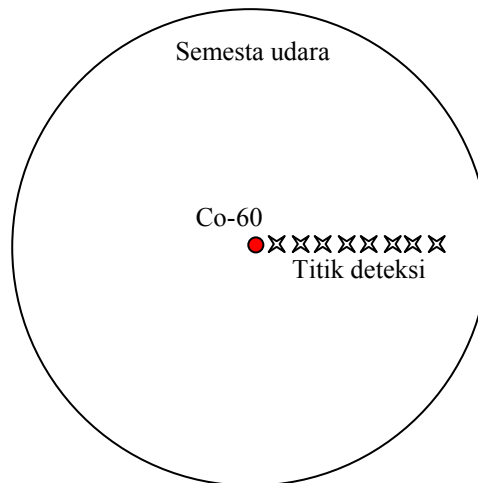
Penelitian ini dilakukan dengan 2 tahap kegiatan utama, yaitu pemodelan sumber titik isotropik dan perhitungan laju dosis dengan berbagai program aplikasi dan secara teoritis.

### 1. Pemodelan sumber titik isotropik

Kegiatan pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan sumber titik isotropik berupa Co-60 dengan batasan semesta udara untuk lokasi pengamatannya (detektor). Informasi pemodelan sumber titik ditabulasikan pada Tabel 1 sedangkan ilustrasi pemodelan sumber dalam batasan semesta udara ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Informasi pemodelan perhitungan laju dosis sumber titik isotropik

No.	Parameter	Keterangan
1	Sumber titik isotropik	Co-60
2	Energi	1,17 MeV & 1,33 MeV
3	Aktivitas	240 MBq
4	Jarak detektor ke sumber	0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 m



Gambar 1: Ilustrasi pemodelan sumber dan titik deteksinya dalam region bola

2. Perhitungan laju dosis dengan program aplikasi dan secara teoritis  
Perhitungan laju dosis dilakukan dengan menggunakan *code* QAD-CGGP-A dan program aplikasi *freeware* “Rad Pro Calculator versi 3.26” dan aplikasi android “Radiation

Calculator”. Hasil perhitungannya dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis (Persamaan 1). Hasil perhitungan laju dosis secara teoritis berdasarkan persamaan aproksimasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan laju dosis secara teoritis sebagai sebagai fungsi jarak

$r$ (m)	Laju dosis teoritis ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	$r$ (m)	Laju dosis teoritis ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )
0,5	400,00	6	2,78
1	100,00	7	2,04
2	25,00	8	1,56
3	11,11	9	1,23
4	6,25	10	1,00

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan laju dosis gamma dari sumber Cobalt-60 beraktivitas 240 MBq berbentuk titik dilakukan dengan menggunakan *code* penghitung QAD-CGGP-A serta aplikasi Rad Pro Calculator v3.26 & Radiation Calculator. Hasil perhitungan ketiga program tersebut

dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis berdasarkan rumus aproksimasi (1) pada jarak tertentu. Hasil perhitungan laju dosis ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ ) sebagai fungsi jarak (m), mulai jarak 0,5 m, 1 m hingga 10 m ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil komparasi perhitungan laju dosis sebagai fungsi jarak

<i>r</i> (m)	Laju dosis teoritis ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )					
	<i>code</i> QAD-CGGP-A	Beda (%)	<i>freeware</i> Rad Pro Calc.	Beda (%)	Aplikasi android Radiation Calc.	Beda (%)
0,5	293,20	26,70	294,62	26,35	355,49	11,13
1	73,23	26,77	73,53	26,47	88,87	11,13
2	18,28	26,90	18,32	26,72	22,22	11,13
3	8,11	27,01	8,11	27,01	9,87	11,13
4	4,55	27,13	4,55	27,20	5,55	11,14
5	2,91	27,24	2,90	27,50	3,55	11,15
6	2,02	27,35	2,01	27,64	2,47	11,15
7	1,48	27,46	1,47	27,97	1,81	11,16
8	1,13	27,56	1,12	28,32	1,39	11,17
9	0,89	27,67	0,88	28,72	1,10	11,14
10	0,72	27,78	0,71	29,00	0,89	11,20

Secara umum, hasil perhitungan dengan menggunakan ketiga program aplikasi tersebut lebih kecil daripada hasil perhitungan teoritis. Misalnya, pada perhitungan dengan *code* QAD-CGGP-A, diperlukan pemodelan media atau daerah antara sumber dengan titik deteksi yang berperan pula sebagai perisai (shielding). Media atau daerah yang dimodelkan berupa udara yang menyebabkan proses atenuasi/penyerapan energi radiasi sumber setelah melewati media tersebut sehingga laju dosis yang terjadi lebih kecil bila dibandingkan tanpa media atenuasi. Agar mendekati realita, pemodelan dilakukan

dengan mendefinisikan setiap media atau lapisan yang ada, yang berperan pula sebagai perisai radiasi atau media atenuasi. Pada perhitungan teoritik berdasarkan rumus aproksimasi, nilai laju dosis terhitung hanya ditentukan oleh aktivitas dan energi sumber gamma, serta jarak dari lokasi detektor ke sumber dan tanpa dipengaruhi oleh koefisien atenuasi ataupun faktor penumpukan (*build up factor*) akibat interaksi radiasi dengan materi dan juga faktor konversi dari fluks ke dosis<sup>[6]</sup>.

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan dengan *code* QAD-CGGP-A hampir sama dengan hasil dari Rad Pro Calculator. Bila ditelusuri lebih lanjut dari referensi data *library*, baik QAD-CGGP-A maupun Rad Pro Calculator menggunakan data koefisien faktor *build up* yang sama, yaitu ANSI/ANS-6.4.3. Perbedaan hanya terdapat pada modifikasinya, untuk QAD-CGGP-A menggunakan data ANSI/ANS-6.4.3 yang dimodifikasi pada tahun 1990<sup>[8]</sup>, sedangkan Rad Pro Calculator menggunakan data modifikasi pada tahun 1991<sup>[9]</sup>. Pada kasus benchmark *transfer flask* bahkan disebutkan bahwa hasil benchmark dengan *code* QAD-CGGP-A yang baru secara umum lebih baik bila dibandingkan dengan *code* yang lain seperti : QAD-CG (versi sebelum QAD-CGGP-A), Micro Shield-4, MCNP dan hasil terukur<sup>[10]</sup>.

Dari tabel di atas juga diperoleh informasi bahwa hasil perhitungan aplikasi Radiation Calculator memiliki perbedaan sekitar 11%, sedangkan hasil perhitungan QAD-CGGP-A maupun Rad Pro Calculator memiliki perbedaan mulai 26,35% hingga 29% dengan hasil teoritis. Diduga kuat, pada program aplikasi Radiation Calculator tidak terlalu banyak menggunakan parameter atenuasi dalam perhitungan seperti halnya pada parameter perhitungan QAD-CGGP-A dan Rad Pro Calculator yang mengadopsi prinsip perhitungan deterministik dengan teknik 'point-kernel' pada perhitungan jejak penetrasi radiasi gamma pada berbagai lapisan media perisai radiasi. Umumnya, aplikasi program sederhana pada sistem operasi android seperti halnya Radiation Calculator tidak melibatkan banyak faktor atau

parameter perhitungan yang terlibat pada perhitungannya, sehingga hasil perhitungannya cenderung mendekati perhitungan teoritis.

## KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa secara umum, hasil perhitungan laju dosis dengan *code* QAD-CGGP-A, freeware Rad. Pro Calculator maupun aplikasi android Radiation Calculator menunjukkan hasil yang lebih kecil daripada hasil perhitungan teoritis berdasarkan rumus aproksimasi. Hasil perhitungan laju dosis dengan aplikasi Radiation Calculator memiliki perbedaan sekitar 11 %, sedangkan hasil perhitungan QAD-CGGP-A dan Rad. Pro Calculator memiliki perbedaan mulai 26,35% hingga 29% dengan hasil teoritis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Ir. Tagor Malem Sembiring, Drs. Amir Hamzah, M.Si dan Ir. Pudjijanto MS atas saran dan arahannya terkait penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. I.M. PROKHORETS, S.I. PROKHORETS, M.A. KHAZHMURADOV, E.V.RUDYCHEV, D.V.FEDORCHENKO, "Problems of Atomic Science and Technology, N5. Series: Nuclear Physics Investigations (48)", p.106-109 (2007).
2. X-5 MONTE CARLO TEAM, "MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Vol. I: Over

- view and Theory”, LA-UR-03-1987. Los Alamos National Laboratory (2003).
3. PUDJIJANTO MS, “Analisis Tebal Perisai Biologi Reaktor Daya APR-1400 Menggunakan Kode CADREM1”, Prosiding Seminar Nasional ke-16 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, 25 Juli, Hal. 132-142, Surabaya (2010).
  4. ROHANDA, A., “Analisis Laju Dosis Gamma Rata-Rata pada Daerah Kerja Bangunan Reaktor Daya PWR 1000 Mwe”, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2014, 19 Juni, Hal. 371-378, Pontianak (2014).
  5. ROHANDA, A., “Analisis Laju Dosis Gamma di Perisai Biologi Reaktor Daya PWR 1000 MWe dengan QAD-CGGP”, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah – Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, 26 Juni, Hal. 187 – 192, Yogyakarta (2013).
  6. BATAN, “Buku panduan Diklat Proteksi Radiasi Pegawai Baru Golongan 3 : Dosimetri”, hal. 38, Pusdiklat BATAN (2008).
  7. ORNL, “QAD-CGGP-A: Point Kernel Code System for Neutron and Gamma-Ray Shielding Calculations using the GP Buildup Factor”, QAD-CGGP-A manual, Radiation Shielding Information Center at Oak Ridge National Laboratory CCC-645/QAD-CGGP-A (1995).
  8. ORNL, “EASY-QAD: A Visualization Code System for Gamma and Neutron Shielding Calculations Version 2”, EASY-QAD manual (August), Radiation Shielding Information Center at Oak Ridge National Laboratory and Innovative Technology Center for Radiation Safety (iTRS) and Nuclear Reactor Analysis Laboratory at Hanyang University, Seoul, Korea CCC-744 (2012).
  9. CHIBANI, OMAR, "New Photon Exposure Buildup Factors", Nuclear Science and Engineering, Volume 137, ANSI/ANS-6.4.3-1991, Gamma Ray Attenuation Coefficients and Buildup Factors for Engineering Materials, Low and High energy factors for selected materials updated with Monte Carlo code factors (2001).
  10. K.A. LITWIN, I.C. GAULD, G.R. PENNER, “Improvements to the Point Kernel Code QAD-CGGP: A Code Validation and User’s Manual”, RC-1214, COG-94-65, AECL Research, August (1994).