

## PENENTUAN *DECAY GAMMA* REAKTOR HTGR 10 MWth PADA BERBAGAI TINGKAT DAYA

Anis Rohanda

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

**PENENTUAN DECAY GAMMA REAKTOR HTGR 10 MWth PADA BERBAGAI TINGKAT DAYA.** Reaksi fisi yang terjadi dalam reaktor menghasilkan sejumlah energi dalam bentuk radiasi gamma. Salah satu bentuk radiasi gamma yang penting untuk diketahui adalah gamma peluruhan (decay gamma). Decay gamma memegang peranan penting dalam perhitungan tebal perisai radiasi teras reaktor dan penentuan dosis radiasi bagi pekerja radiasi. Gamma peluruhan merupakan gamma yang berasal dari peluruhan inti dari produk fisi, produk aktivasi dan produk aktinida & anak luruhnya. Gamma peluruhan dapat ditentukan dengan code ORIGEN2.1 yang telah diverifikasi penggunaan library yang bersesuaian untuk reaktor jenis HTGR. Untuk itu perlu dilakukan penelitian untuk menentukan gamma peluruhan dalam teras HTGR dengan daya 10 MWth yang identik dengan jenis reaktor yang akan dibangun oleh BATAN yaitu Reaktor Daya Eksperimental (RDE). Parameter penting yang diperlukan dalam perhitungan antara lain variasi daya (mulai dari 1 hingga 10 MWth), siklus operasi EFPD dan komposisi massa penyusun teras. Hasil analisis menunjukkan bahwa gamma peluruhan yang dihasilkan selama reaktor beroperasi sebanding dengan daya operasi dan berbanding terbalik dengan waktu peluruhan hingga 32 tahun. Spektrum foton gamma peluruhan yang dihasilkan memiliki nilai yang tinggi pada rentang energi gamma yang rendah yaitu pada mean energy 0,01 MeV dan cenderung semakin kecil pada mean energy gamma yang tinggi. Kontribusi terbesar pada gamma peluruhan diperoleh dari gamma peluruhan hasil dari produk fisi.

**Kata kunci:** gamma peluruhan, HTGR, RDE, ORIGEN2.1

### ABSTRACT

**DETERMINATION OF 10 MWth HTGR DECAY GAMMA AT VARIOUS POWER LEVELS.** Fission reactions that occur in the reactor produce an amount of energy in the gamma radiation form. One form of gamma radiation that is important to know is decay gamma. The decay gamma plays an important role in the calculation of reactor shielding thickness and the determination of the radiation dose for radiation workers. The decay gamma is derived from nuclei decay of fission products, activation products and actinides & daughters, which can be determined by ORIGEN2.1 code, that has been verified using the corresponding library for HTGR type reactor. Hence, it is need to perform a research to determine the decay gamma of 10 MWth HTGR core, which is identical to the reactor to be built by BATAN, which is Experimental Power Reactor (RDE). Important parameters required in the calculation are power level variation (ranging from 1 to 10 MWth), EFPD operating cycle and the mass composition of core. Based on the analysis results, the decay gamma generated during reactor operation is proportional to the operating power and inversely proportional to the decay time up to 32 years. The spectrum of gamma photons has a high value on the low gamma energy range of 0.01 MeV and tends to be smaller in the mean high energy gamma. The largest contribution to the decay gamma obtained from the result is from fission products decay.

**Keywords:** decay gamma, HTGR, RDE, ORIGEN2.1

## PENDAHULUAN

Reaksi nuklir yang terjadi di dalam reaktor menghasilkan produk radionuklida hasil fisi dan sejumlah energi, salah satunya dalam bentuk radiasi gamma. Karakteristik radiasi gamma dalam teras sangat berguna sebagai dasar perhitungan tebal perisai teras reaktor dan untuk penentuan dosis radiasi guna menunjang keselamatan radiasi<sup>[1]</sup>. Salah satu jenis radiasi gamma yang penting untuk diketahui adalah gamma hasil peluruhan atau *decay gamma*. *Decay gamma* merupakan gamma yang berasal dari peluruhan inti dari produk fisi, produk aktivasi dan juga produk aktinida & anak luruhnya. Informasi gamma peluruhan sangat berguna untuk perhitungan kuat sumber dalam teras, perhitungan tebal perisai radiasi atau perisai biologi di sekitar teras reaktor dan untuk penentuan dosis pekerja radiasi yang berguna dalam pengaturan jam kerja bagi pekerja radiasi.

Radiasi gamma yang dihasilkan dalam reaktor dapat diestimasi dengan menggunakan *code* ORIGEN2.1 yaitu program penghitung inventori dan deplesi radioaktif yang cukup populer digunakan. Penggunaan ORIGEN2.1 untuk analisis sumber gamma pada reaktor jenis berpendingin air ringan (*Light Water Reactor*) telah banyak dilakukan, namun tidak demikian pada reaktor jenis berpendingin gas. Ardani (2010) telah melakukan analisis aktivitas dan intensitas sumber gamma di reaktor PWR 1000 MWe dan juga dengan metode yang sama diterapkan pada reaktor riset berbahan bakar uranium molibdenum<sup>[2, 3]</sup>. Penggunaan ORIGEN2.1 untuk analisis sumber gamma pada

reaktor jenis HTGR telah diverifikasi oleh Rohanda dkk dengan membandingkan hasil perhitungan inventori pada ORIGEN2.1 dengan menggunakan *library* bersesuaian terhadap hasil perhitungan ORIGEN-ARP<sup>[4]</sup>. *Library* tersebut merupakan hasil generasi yang dilakukan oleh mahasiswa MIT sebagai acuan *library* perhitungan inventori<sup>[5]</sup>. Kegiatan verifikasi serupa juga telah dilakukan oleh Hadad K *et al* (2015) dengan menggenerasi *library* ORIGEN2 untuk diaplikasikan pada *Bushehr Nuclear reactor* atau BNPP yang merupakan reaktor tipe VVER-1000. Hasil generasi *library* baru tersebut divalidasi dengan MCNP pada perhitungan fraksi bakar<sup>[6]</sup>. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan *decay gamma* reaktor jenis HTGR berdaya 10 MWth yang identik dengan reaktor daya non komersial yang direncanakan akan dibangun BATAN atau biasa disebut dengan RDE (Reaktor Daya Eksperimental). Mengingat *decay gamma* merupakan fungsi daya dan waktu, maka analisis dilakukan pada berbagai tingkatan daya reaktor dan berbagai waktu pengamatan setelah reaktor beroperasi.

## METODOLOGI

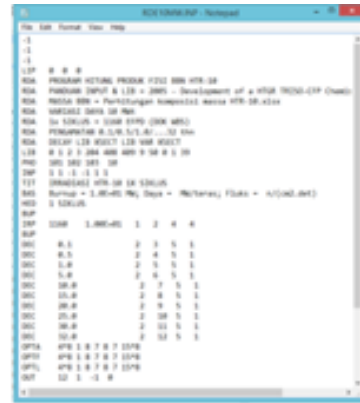
Penelitian ini diawali dengan tahapan mempersiapkan data teknis reaktor HTGR berdaya 10 MWth. Data teknis yang disiapkan adalah berupa variasi daya termal, siklus operasi *equilibrium full power day* (EFPD) dan komposisi massa penyusun teras yang merupakan parameter data masukan (*input*) dari ORIGEN2.1. Data teknis reaktor HTGR

10 MWth ditunjukkan pada Tabel 1.

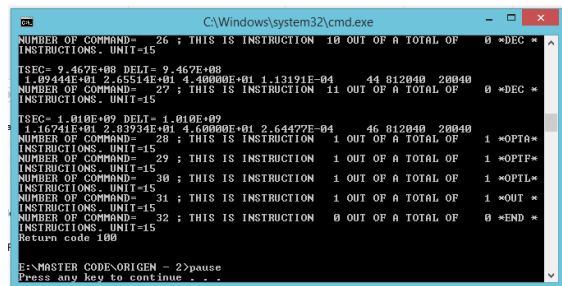
Tabel 1. Data teknis HTGR 10 MWth<sup>[7, 8, 9]</sup>

Parameter	Keterangan	
Variasi daya termal reaktor	1, 3, 5, 7 dan 10 MW	
Siklus operasi EFPD	1060 hari	
Tingkat pengkayaan U-235	17 %	
Komposisi massa penyusun teras (gram)	U-235	12156,78070
	U-238	59353,69401
	C	5257712,2535
	Si	6213,02705
	O	9635,50124
Waktu pengamatan ( <i>decay</i> )	0,1; 0,5; 1,5; 2; 2,5; 3; 32 tahun	

Setelah data masukan diperoleh, langkah berikutnya adalah melakukan perhitungan dengan ORIGEN2.1 berdasarkan input yang telah disiapkan. Untuk keperluan analisis dipersiapkan juga parameter seperti variasi daya yaitu 1, 3, 5, 7 dan 10 MWth. Pada file FILSPECS.DAT diset dengan menggunakan library HTGR 10 MWth, dalam hal ini diberi nama LIBRDE.Lib. Pengamatan analisis dilakukan terhadap hasil keluaran (*output*) pada bagian "18 GROUP PHOTON RELEASE RATES, PHOTONS/SECOND" baik pada PHOTON SPECTRUM FOR ACTIVATION PRODUCTS, FISSION PRODUCTS maupun ACTINIDE & DAUGHTERS. Salah satu tampilan persiapan *input* dan hasil *running* ORIGEN2.1 ditunjukkan pada Gambar 1.



(a) Penyiapan input

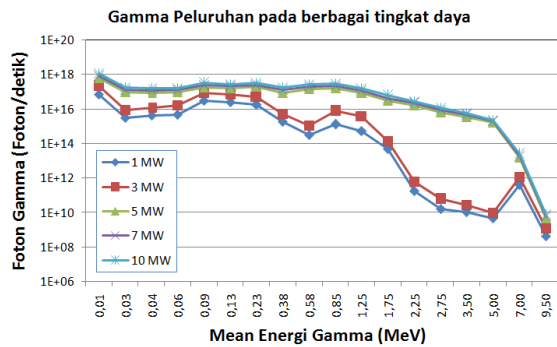


(b) Running ORIGEN2.1

Gambar 1. Tampilan persiapan input dan *running* ORIGEN2.1

## HASIL DAN PEMBAHASAN

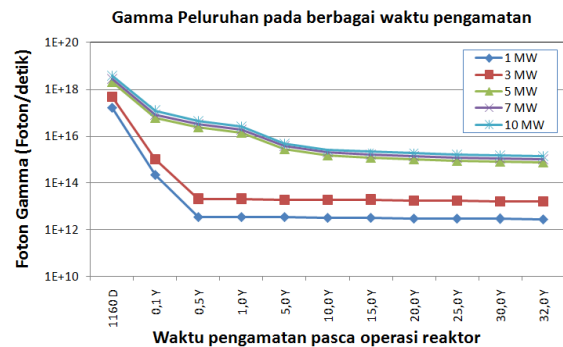
Perhitungan gamma peluruhan (*decay gamma*) pada berbagai tingkat daya reaktor HTGR mulai dari daya 1 MWth hingga 10 MWth telah dilakukan dengan code ORIGEN2.1. Hasil perhitungan gamma peluruhan pada berbagai tingkat daya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Gamma peluruhan sebagai fungsi daya reaktor

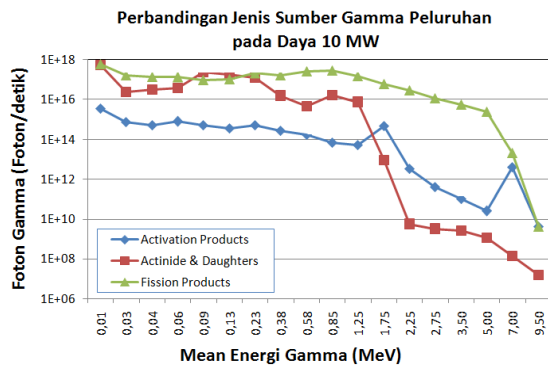
Gambar di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi daya reaktor (mulai dari 1 MWth hingga 10 MWth) maka gamma peluruhan yang dihasilkan selama operasi reaktor semakin besar. Reaktor beroperasi selama 1160 hari (EFPD). Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa spektrum foton gamma yang dihasilkan memiliki nilai yang tinggi pada rentang energi gamma yang rendah, yaitu pada *mean energy* atau energi rerata gamma 0,01 MeV dan cenderung semakin kecil pada *mean energy* gamma yang tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil analisis intensitas sumber gamma peluruhan Rohanda A. dkk (2013) dan Ardani (2012) pada jenis reaktor riset<sup>[3,10]</sup>.

Pengamatan berikutnya adalah gamma peluruhan yang dihasilkan setelah reaktor beroperasi sebagai fungsi waktu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Gamma peluruhan pada berbagai waktu pengamatan pasca operasi reaktor

Waktu pengamatan mulai dari akhir siklus operasi 1160 hari dan diamati sejak 0,1 tahun hingga 32 tahun pasca operasi reaktor. Gamma peluruhan pasca reaktor beroperasi mengalami penurunan secara signifikan pada rentang waktu akhir operasi hingga 0,5 tahun pasca operasi dan cenderung lambat turun pada waktu pengamatan setelahnya hingga 32 tahun. Kecenderungan turun ini karena gamma peluruhan yang dihasilkan merupakan fungsi waktu dan akan semakin kecil setelah melewati waktu paro dari setiap radionuklida yang dihasilkan. Gamma peluruhan yang dihasilkan merupakan jumlahan dari gamma peluruhan produk aktivasi, aktinida & anak luruhnya dan produk fisi. Bila ditilik lebih lanjut, misalnya saja pada daya 10 MWth maka komposisi gamma peluruhan yang dihasilkan dari ketiga jenis gamma peluruhan yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Komposisi Gamma peluruhan pada daya 10 MW

Gambar di atas merupakan perbandingan ketiga jenis gamma penyusun gamma peluruhan total yang dihasilkan selama operasi reaktor. Dari gambar tersebut terlihat bahwa gamma peluruhan dari radionuklida produk fisi memberikan kontribusi paling besar bila dibandingkan dengan gamma peluruhan dari radionuklida aktinida & anak luruhnya dan produk aktivasi. Hal ini disebabkan selama reaktor beroperasi banyak dihasilkan radionuklida produk fisi pemancar gamma dibandingkan radionuklida jenis lainnya. Ketiga jenis sumber gamma peluruhan memiliki kecenderungan turun dengan semakin besarnya *mean energy* gamma pada spektrum gamma yang dihasilkan.

## KESIMPULAN

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gamma peluruhan yang dihasilkan selama reaktor beroperasi sebanding dengan daya operasi dan berbanding terbalik dengan waktu peluruhan. Spektrum foton gamma peluruhan yang dihasilkan memiliki nilai yang tinggi pada rentang energi gamma yang rendah dan kontribusi terbesar diperoleh dari gamma peluruhan hasil dari produk fisi.

## DAFTAR PUSTAKA

- MARTIN A, HARBISON S.A, "An Introduction to Radiation Protection", 5th edition., ISBN 10-0340885432 (2006).
- ARDANI, "Analisis Aktivitas Sumber Radiasi dan Intensitas Sinar Gamma di Teras Reaktor PWR 1000 MWe", Tri Dasa Mega, Vol. 12, No. 3 Oktober 2010, Hal. 67-74, ISSN 1411-240X, 2010.
- ANIS ROHANDA, ARDANI, " Penentuan Intensitas Sumber Gamma Di Teras Reaktor Riset Berbahan Bakar Uranium Molibdenum ", Sigma Epsilon, Vol 16 No. 3-4, Hal. 111-121, 2013.
- ANIS ROHANDA, JUPITER SITURUS PANE, AMIR HAMZAH, "Verifikasi Penggunaan Library ORIGEN2.1 untuk Perhitungan Inventori Teras Reaktor Tipe HTGR 10 MWth ", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV, 2016.
- DIECKER, T.J, "Development of a High Temperature Gas-Cooled Reactor TRISO-Coated Particle Fuel Chemistry Model", Tesis, Massachusetts Institute of Technology, 2005.
- HADAD, K, NEMATOLAH, M.R, GOLESTANI, A, "VVER-1000 cross-section library generation for ORIGEN-II based on MCNP calculations", International Journal of Hydrogen Energy 40, 2015.

7. LOHNERT, G, “Technical Design Features and Essential Safety-related Properties of the HTR-module”. *Nuclear Engineering and Design* 121 (2), 259–276, 1990.
8. ZONGXIN WU, DENGCAI LIN, DAXIN ZHONG, “The Design Features of the HTR-10”, Institute of Nuclear Energy and Technology, Tsinghua University, Beijing100084, China, *Nuclear Engineering and Design* 218, 25–32, 2002.
9. WILLIAM K. TERRY, “Evaluation of The Initial Critical Configuration of The HTR-10 Pebble-Bed Reactor”, HTR10-GCR-RESR-001, Idaho National Laboratory, 2006.
10. ARDANI, “Analisis Dosis Gamma di Luar Dinding Perisai Radiasi Reaktor Riset“, *Prosiding Seminar Nasional ke-18 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir Bandung*, 29 September 2012 Hal 293-304, ISSN: 0854 – 2910, 2012.