
PEMANFAATAN GAMMA SPEKTROMETRI UNTUK PENGAMATAN DISTRIBUSI PEMBELAHAN DALAM PELAT ELEMEN BAKAR NUKLIR

Yusuf Nampira^{*}, Sri Ismarwanti^{*}, Asnul Sufmawan^{**}, Kawkap Mustofa^{**}

^{*} Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

^{**} Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15314

e-mail : ynampira@gmail.com

(Naskah diterima: 25-04-2014, disetujui: 26-05-2014)

ABSTRAK

PEMANFAATAN GAMMA SPEKTROMETRI UNTUK PENGAMATAN DISTRIBUSI PEMBELAHAN DALAM ELEMEN BAKAR NUKLIR PASCA IRADIASI TELAH DILAKUKAN.

Unjuk kerja pelat elemen bakar nuklir selama digunakan di reaktor dapat diketahui melalui pengujian pascairadiasi. Salah satu pengujian pasca iradiasi adalah mengamati distribusi hasil belah, yang digunakan untuk menentukan distribusi pembelahan dari bahan dapat belah dalam elemen bakar. Pengamatan ini umumnya dilakukan secara *gamma scanning* dengan mengamati paparan radiasi- γ pada energi tertentu. Pada umumnya penentuan distribusi hasil belah bahan bakar nuklir dilakukan dengan menggunakan spektrometer gamma. Pengamatan yang dilakukan cara manual, yaitu mengkombinasikan antara gerak elemen bakar dan pencacahan aktifitas radionuklida pemancar radiasi- γ . Distribusi hasil belah dalam pelat elemen bakar U_3Si_3-Al diperoleh dengan mencacah radiasi gamma yang dipancarkan oleh sampel, dengan waktu pencacahan 300 detik pada setiap jarak 5 mm. Hasil pencacahan diolah dengan program exel sehingga diperoleh pola distribusi radioaktivitas gamma dalam pelat elemen bakar. Pola distribusi radioaktivitas ^{137}Cs dalam pelat elemen bakar yang diperoleh dari pengamatan ini sesuai dengan pengamatan menggunakan *gamma scanning*. Pola distribusi hasil belah pemancar- γ lainnya di dalam elemen bakar dapat juga dilakukan dengan cara pengamatan ini.

Kata kunci : gamma spektrometri, distribusi pembelahan, elemen bakar nuklir, pasca iradiasi.

ABSTRACT

EXPLOITING OF SPECTROMETRY GAMMA FOR PERCEPTION OF NUCLEAR FISSION DISTRIBUTION IN POST IRRADIATED NUCLEAR FUEL ELEMENT HAVE BEEN DONE.

Product of plate of nuclear fuel development performance can be known by post irradiated examination. One of test of post irradiated examination is perceiving of fission product distribution, what is used to determine of fission distribution from fissil material in the fuel element. This perception is generally done by automatically perceivedly of g-radiation at certain energy. In this research the perception of fission product distribution in nuclear nuclear fuel element by used spectrometry of gamma method were done by manual, that is combine between motion of fuel element and count of radio activites of radionuclide of γ -radiation transmitter. Distribution of fission

product in Nuclear fuel element plate of U_3Si_3-Al were obtained with count of γ -radiation in the count time are 300 second at each distance 5 mm. Datas of this measurements are processed with excel program. pattern of Distribution of count of radioactivity in plate of element burn as according to perception use gamma scanning. Distribution pattern of other fission product γ -transmitter in plate of fuel element can be done by this perception.

Keywords : *gamma spectrometry, fission distribution, nuclear fuel element, post irradiated.*

PENDAHULUAN

Dalam rangka mengetahui unjuk kerja hasil pengembangan elemen bakar nuklir untuk digunakan di dalam reaktor sebagai bahan bakar, maka hasil pengembangan elemen bakar nuklir tersebut diiradiasi di reaktor dan kemudian dilakukan uji pasca iradiasi. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis unjuk kerja dan kehandalan elemen bakar. Lingkup pengujian pasca iradiasi tersebut adalah pengujian tidak merusak dan pengujian merusak terhadap elemen bakar setelah diiradiasi didalam reaktor. Pengujian tidak merusak yang dilakukan diantaranya mengamati pola distribusi pembelahan dari bahan dapat belah dalam pelat elemen bakar.

Elemen bakar nuklir terdiri dari bahan bakar nuklir (dalam hal ini digunakan uranium) yang terbungkus dalam *cladding*. Bahan bakar nuklir tersebut mengandung atom dapat belah yaitu ^{235}U . ^{235}U dalam elemen bakar nuklir dalam reaktor nuklir mengalami reaksi dengan neutron dan menghasilkan nuklida-nuklida hasil belah^[1]. Radionuklida hasil belah ^{235}U tersebut yang dapat digunakan sebagai indikator distribusi pembelahan ^{235}U mempunyai dengan persyaratan^[2,3]: (1). merupakan radionuklida yang berada dalam daerah mayoritas *fission yield* dari reaksi pembelahan ^{235}U , (2). mempunyai tampang serapan neutron kecil, dan (3) mempunyai umur paro panjang. Uranium dalam bahan bakar juga mengandung ^{235}U juga mengandung isotop

uranium lainnya diantaranya. Sementara itu, isotop uranium lainnya terutama ^{238}U akan mengalami reaksi tangkapan neutron dan menghasilkan ^{239}U dan meluruh menghasilkan ^{239}Np yang akan mengalami peluruhan dan membentuk ^{239}Pu . Elemen bakar pasca iradiasi mempunyai paparan radiasi yang sangat tinggi yang dipancarkan oleh radionuklida hasil belah dan setiap radionuklida mempunyai energi gamma yang karakteristik, maka pengamatan pola distribusi pembelahan ^{235}U dalam bahan bakar dapat dilakukan dengan melakukan pencacahan radioaktifitas- γ hasil belah dalam bahan bakar yang bersangkutan.

Pola distribusi pembelahan ini dilakukan dengan mencacah radiasi gamma dari hasil belah. Pengamatan distribusi pembelahan ini dilakukan dengan metode gamma scanning pencacahan radiasi gamma pada daerah energi tertentu (umumnya pada daerah sekitar energi 661 keV), pengukuran tersebut berlangsung secara otomatis antara gerakan bahan bakar dan pencacahan radiasi- γ ^[3,4,5]. Sementara itu, untuk penentuan distribusi hasil belah pemancar radiasi- γ dengan gamma spektrometri dilakukan secara manual. *Gamma* spektrometri merupakan metode pengukuran kandungan radionuklida dalam suatu sampel, sehingga dari pengukuran ini dapat diperoleh radioaktifitas masing masing radionuklida pemancar radiasi-g dalam posisi pengukuran pada elemen bakar. Presisi pengukuran ditentukan berdasarkan kestabilan hasil pencacahan. Sehubungan dengan hal tersebut di atas maka dalam

penggunaan metode spektrometri gamma ini untuk pengamatan distribusi pembelahan bahan bakar nuklir perlu dilakukan penetapan parameter pengukuran hingga diperoleh pola distribusi yang sesuai dengan pembakaran bahan bakar dalam elemen bakar nuklir.

TATA KERJA

Bahan dan peralatan

Standar ^{60}Co , digunakan sebagai kalibrator energi gamma spektrometer, standar ^{152}Eu sebagai kalibrator efisiensi pengukuran radionuklida, bahan bakar uranium silisida tingkat muat uranium $4,8 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi digunakan sebagai bahan uji metode.

Dudukan elemen bakar dan sistem penggerak elemen bakar digunakan untuk menggerakkan elemen bakar secara *axial*, spektrometer gamma digunakan untuk melakukan pencacahan radionuklida pemancar- γ dalam elemen bakar, kolimator hotcell digunakan sebagai pembatas area aktif bahan bakar yang diukur.

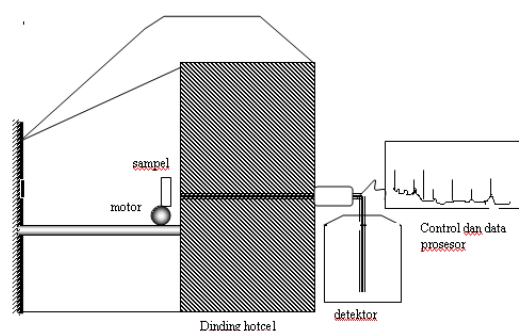
Langkah kerja

Steper motor sistem penggerak elemen bakar dijalankan 10 putaran maka elemen bakar akan bergerak, jarak tempuh axial elemen bakar tersebut diukur dengan alat ukur panjang, kemudian, capaian jarak tempuh diukur panjang yang dicapai jika motor dijalankan 20 putaran, 40 putaran dan 100 putaran. Spektrometer- γ dikalibrasi energi dengan mencacah radioaktivitas- γ dari bahan standar ^{60}Co dalam waktu 200 detik, setelah itu dilakukan kalibrasi efisiensi deteksi dengan melakukan pencacahan standar ^{152}Eu selama 300 detik. Setelah spektrometer- γ dikalibrasi, kestabilan hasil pencacahan radionuklida dala pelat elemen bakar ditentukan, yaitu dengan mencacah radioaktifitas nuklida pada posisi bawah dan posisi tengah elemen bakar uranium silisida dengan $\text{TMU } 4,8 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi.

Pencacahan dilakukan selama 100 detik, 200 detik, 300detik, dan 500 detik dan setiap pengukuran dilakukan 5 kali. Pola distribusi pembelahan bahan dapat belah dalam pelat elemen bakar uranium silisida dengan $\text{TMU } 4,8 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi diperoleh dengan melakukan pencacahan radiasi-g dengan menggunakan spektrometer- γ . Pencacahan radiasi-g dilakukan mulai dari posisi terdeteksinya radiasi-g hingga posisi tidak terdeteksinya radiasi-g, pencacahan ini dilakukan pada setiap perbedaan posisi variasi 0,5 cm dicacah dalam waktu 300 detik.

HASIL PEMBAHASAN

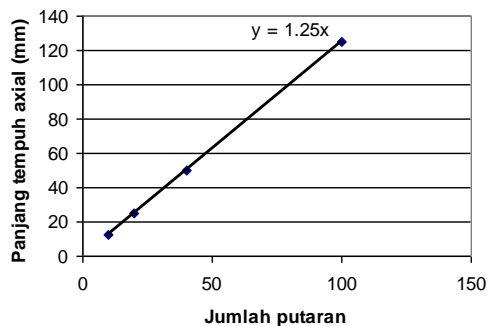
Proses penyapuan gamma (*gamma scanning*) pada bahan bakar nuklir digunakan untuk mengetahui pola distribusi fraksi bakar dalam bahan bakar yang ditunjukkan dari pengamatan distribusi hasil belah dalam bahan bakar. Elemen bakar yang diuji berada dalam *hotcell* sedangkan alat cacah radiasi- γ berada diluar *hotcell*, radiasi- γ dari bahan bakar ke detektor melalui celah kolimator panjang 100 cm lebar 0,2 cm, keadaan ini ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Skema alat ukur penyapuan gamma

Pengamatan pola tersebut didasarkan pengukuran radioaktivitas dari beberapa posisi *axial* elemen bakar dengan cara menggerakkan bahan bakar secara *axial* dengan menggunakan *steper* motor yang dihubungkan dengan gigi ulir. Korelasi antara jumlah putaran motor dengan

panjang tempuh axial menunjukkan mempunyai nilai tetap sesuai dengan jarak antara gigi ulir. Hubungan jumlah putaran dengan jarak tempuh ditunjukkan dalam Gambar 2. Persamaan hubungan yang diperoleh $y = 1,25x$, yang menunjukkan bahwa jarak tempuh (y) untuk satu putaran motor (x) adalah sebesar 1,25 mm. Sehubungan dengan hal tersebut di atas maka kemampuan sistem penggerak elemen bakar tersebut minimum dapat menggerakkan dalam jarak 1,25 mm, hal ini sesuai dengan lebar celah kolimator pada dinding bilik radiasi (2mm).



Gambar 2. Hubungan antara perputaran motor dengan jangkauan gerak axial

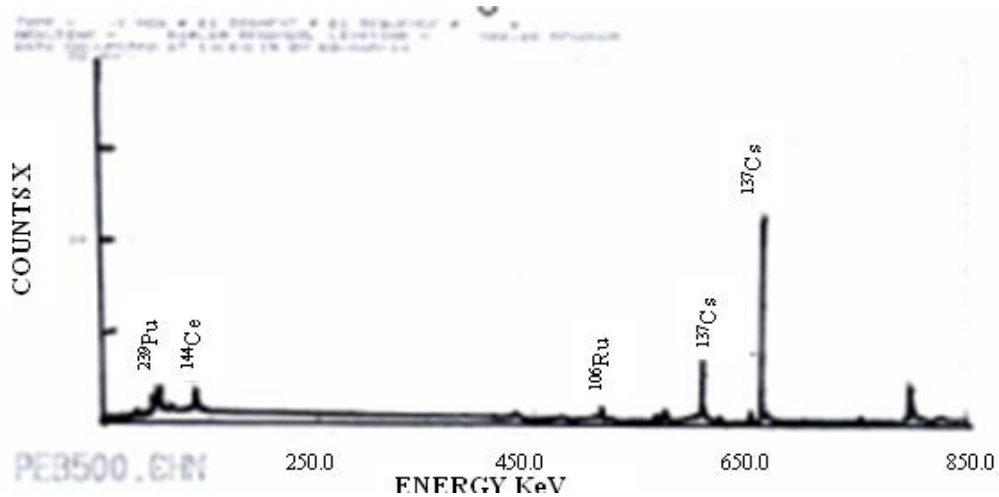
Dalam pelat elemen bakar nuklir segar, bahan bakar (U_3Si_2) terdispersi merata dalam matrik aluminium pada *meat* bahan bakar. ^{235}U dalam bahan bakar tersebut akan mengalami pembelahan. Besarnya pembelahan ini dinyatakan sebagai fraksi bakar. Fraksi bakar bahan bakar dalam elemen bakar ditentukan berdasarkan pada pencacahan radionuklida hasil belah pemancar gamma sebagai indikator pengukuran. Spektrum hasil pencacahan radiasi gamma dari pelat elemen bakar pasca iradiasi, yang telah mengalami proses pendinginan selama 101 hari, seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Pada spektrum tersebut menunjukkan adanya radionuklida yang dihasilkan dari pengaktifan neutron serta hasil reaksi neutron dengan isotop uranium dalam bahan bakar. Reaksi antara neutron dengan

^{235}U akan terjadi reaksi pembelahan, adapun hasil belah yang dapat dideteksi yaitu : ^{177}Lu , ^{144}Ce , ^{106}Ru , ^{134}Cs dan ^{137}Cs . Sementara itu radionuklida hasil reaksi tangkapan neutron oleh ^{238}U yang dapat dideteksi oleh spektrometer- γ adalah ^{239}Pu ditunjukkan oleh pucak spektrum pada energi 94,54 keV .

Presisi hasil pengamatan pola distribusi pembelahan dalam pelat elemen bakar nuklir sangat dipengaruhi oleh kestabilan pencacahan radionuklida di dalamnya, hal ini diperlukan karena waktu pengamatan yang diperlukan relatif lebih lama bila dibandingkan dengan menggunakan alat otomatis *gamma scanning* (penyapuan gamma). Oleh sebab itu faktor kestabilan tersebut akan mempengaruhi gambaran pola pembelahan bahan bakar dalam elemen bakar. Berdasarkan distribusi kebolehjadian pembentukan hasil belah berdasarkan massa nuklida hasil belah yang terbentuk nilai *fission yield* ^{134}Cs dan ^{137}Cs termasuk dalam hasil belah yang mempunyai nilai *fission yield* diantara 7,5% sampai 7%, nilai ini lebih besar dibandingkan dengan radionuklida lain dalam pelat elemen bakar nuklir pasca iradiasi yang terdeteksi dengan spektrometer- γ ^[1]. Diantara kedua radioisotop cesium tersebut dalam proses iradiasi di dalam reaktor, ^{134}Cs mempunyaiampang serapan neutron sangat besar dibandingkan dengan ^{137}Cs (Tabel 1). Sehubungan dengan keadaan ini maka dalam proses iradiasi bahan bakar sebagian ^{134}Cs akan mengalami reaksi penangkapan neutron, hal ini saat akhir iradiasi ^{134}Cs yang ada dalam bahan bakar merupakan selisih antara ^{134}Cs hasil pembelahan ^{235}U dengan ^{134}Cs yang mengalami reaksi tangkapan neutron dan yang mengalami peluruhan. Oleh sebab itu nilai hasil pencacahan ^{134}Cs lebih kecil dibandingkan dengan ^{137}Cs . Tingkat radioaktivitas dari radionuklida ini berpengaruh pada kualitas cacahan radiasi yang dipancarkannya terutama pada

kestabilan nilai cacah pada puncak spektrum yang dihasilkan, yang ditunjukkan dalam Gambar 4. Keadaan tersebut di atas ditunjukkan oleh hasil pengamatan cacahan- γ dengan berbagai radionuklida, yang menunjukkan bahwa nilai cacahan per waktu pencacahan ^{137}Cs memberikan harga yang relatif stabil dibandingkan dengan

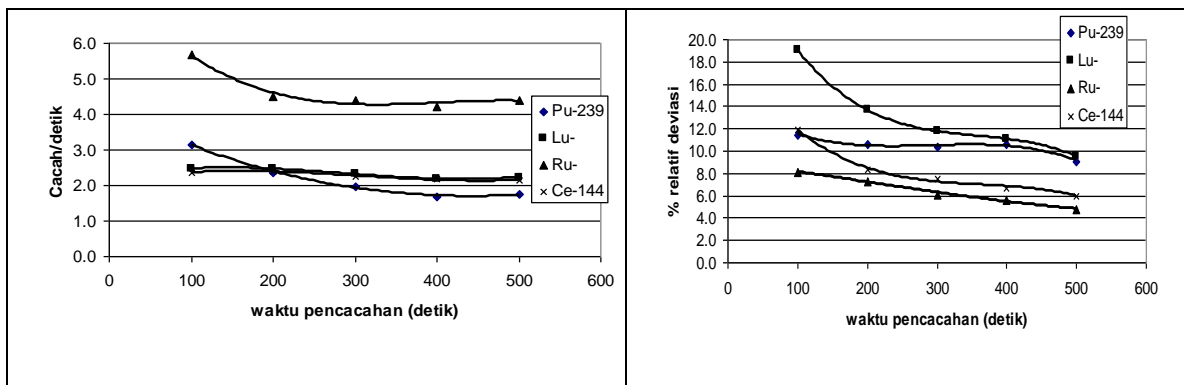
radionuklida lain yang diamati. Simpangan cacahan radiasi ^{137}Cs dari setiap waktu pencacahan juga mempunyai nilai simpangan yang kecil. Keadaan ini diperoleh dari pencacahan dengan waktu pencacahan mulai dari 300 detik.

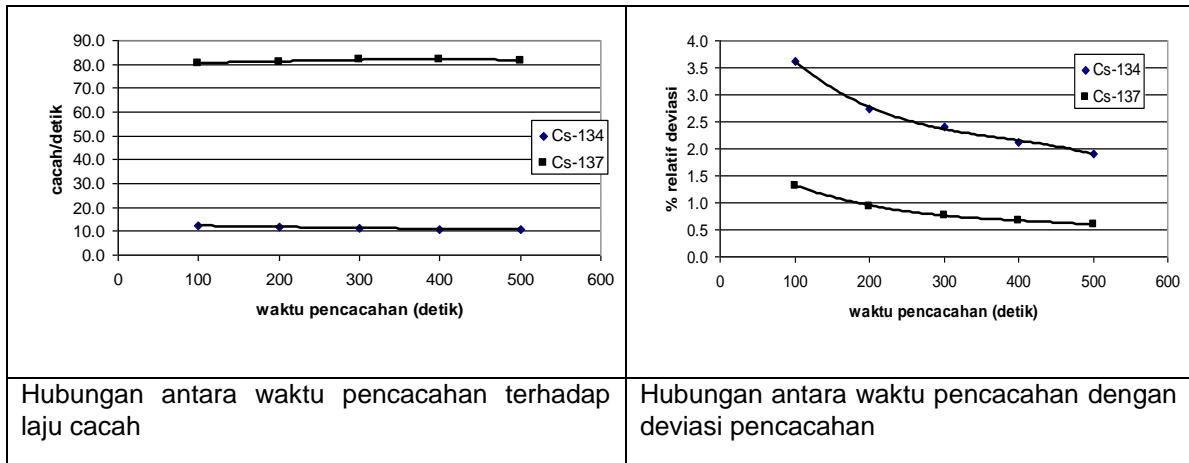


Gambar 3. Spektrum- γ dari elemen bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi

Tabel 1. Data radionuklida hasil belah pemancar- γ dalam pelat elemen bakar nuklir ^[1]

Nuklida	Energi (keV)	Gamma yield	$T_{1/2}$	Fission yield	Tampang serapan neutron mikroskopik, σ_a (barn)
Pu-239	94,54				
Ce-144	133,54	10,8 %	284 hari	1%	6
Ru-106	511,85	20,6 %	367 hari	3%	0,12
Cs-134	604,70	97,6 %	2,1 tahun	7,5%	140
Cs-137	661,66	85,1 %	30,2 tahun	7%	0,11

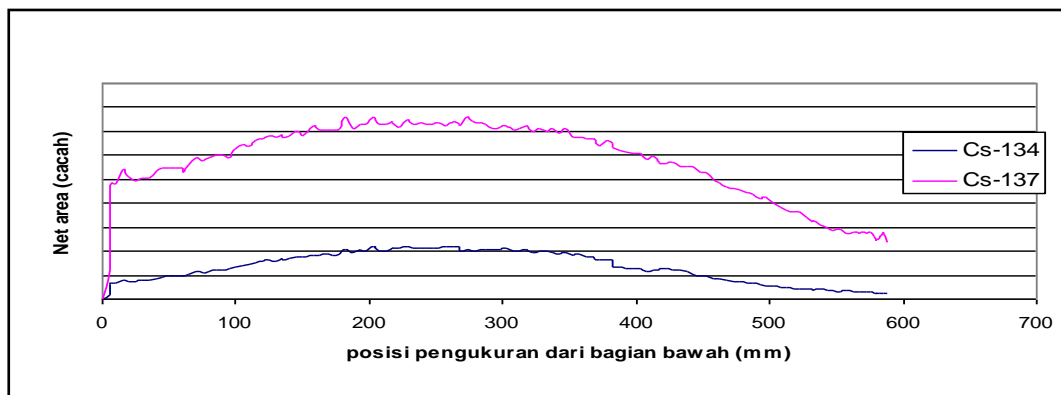




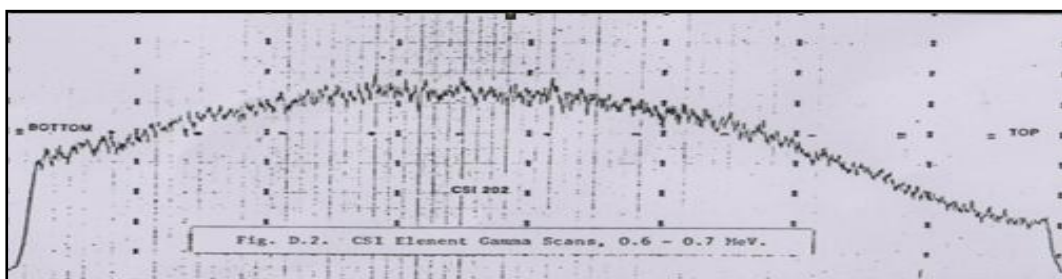
Gambar 4. Tingkat kestabilan hasil pencacahan radionuklida hasil belah dalam bahan bakar pasca iradiasi

Penyapuan gamma dengan parameter optimal tersebut (waktu pencacahan dengan *live time* (300 detik) terhadap sampel pelat elemen bakar pasca iradiasi menunjukkan hasil seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5a. Pola distribusi hasil ¹³⁴Cs dan ¹³⁷Cs ini

menunjukkan pola distribusi hasil belah dengan yang sama dengan hasil pengukuran menggunakan peralatan gama scanning yang diperoleh melalui pemantauan pada energi sekitar 661 keV, ditunjukkan dalam Gambar 5b.



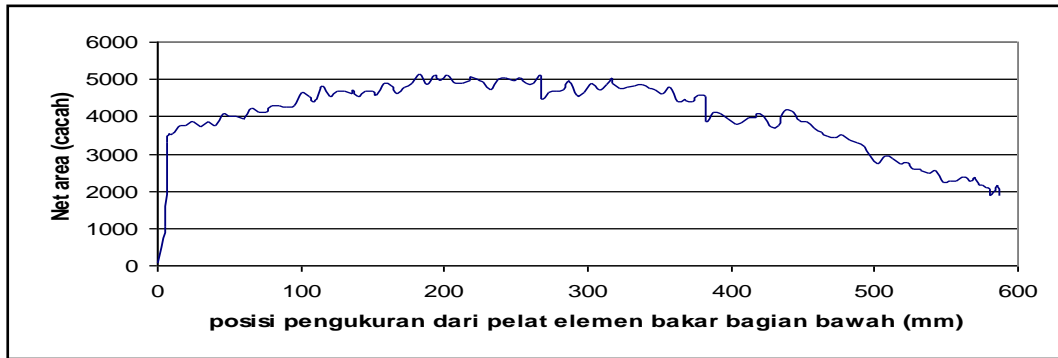
Gambar 5a. Pola distribusi ²³⁴Cs dan ¹³⁷Cs dalam pelat bahan bakar



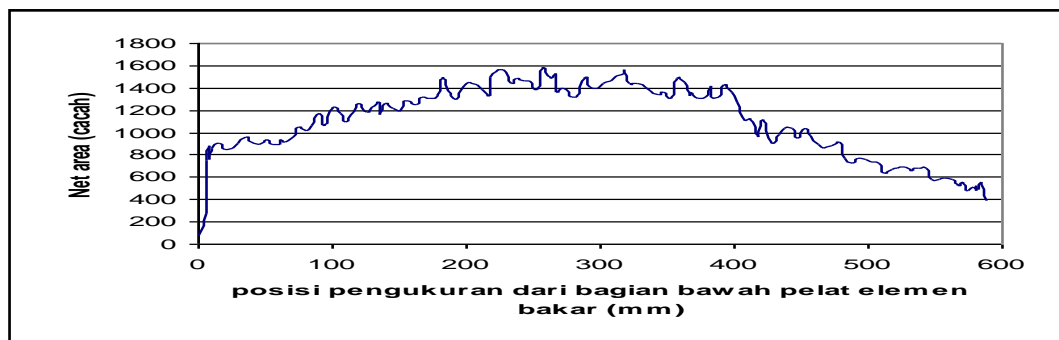
Gambar 5b. Pola distribusi hasil *gamma scanning* pada energi antara 600-700 keV^[5]

Berdasarkan dari hasil pencacahan radio-nuklida hasil belah ^{235}U , diperoleh beberapa nuklida diantaranya ^{144}Ce , Ru dan ^{239}Pu sebagai hasil tangkapan neutron oleh ^{238}U menunjukkan pola distribusi yang sama dengan dengan pola distribusi ^{137}Cs .

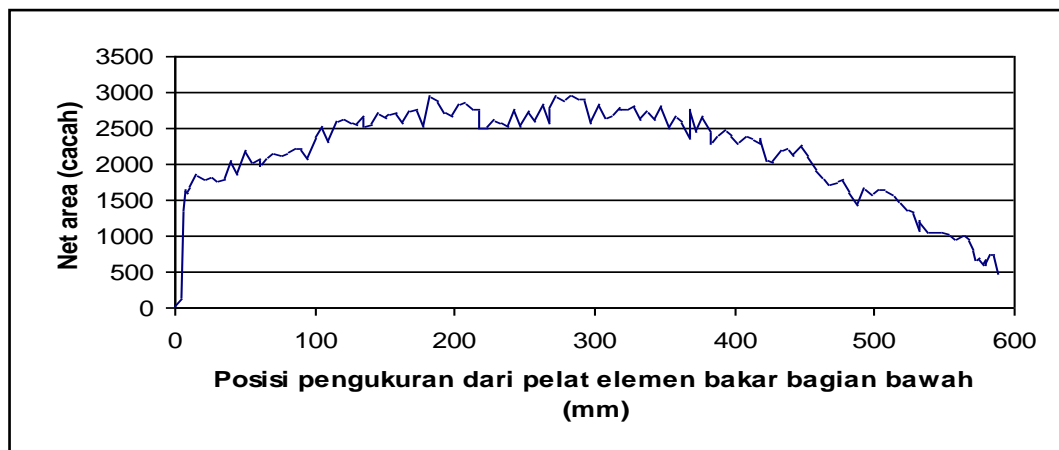
Keadaan tersebut ditunjukkan dalam Gambar 6, 7, dan 8. Hal ini sesuai dengan keadaan bahan bakar dispersi $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$, yaitu uranium silisida terdispersi di dalam matrik aluminium.



Gambar 6. Pola distribusi ^{144}Ce dalam pelat bahan bakar



Gambar 7. Pola distribusi ^{106}Ru dalam pelat bahan bakar



Gambar 8. Pola distribusi ^{239}Pu dalam pelat bahan bakar

SIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa spektrometri gamma dapat digunakan untuk pengamatan pola distribusi pembelahan bahan bakar dalam elemen bakar nuklir. Hasil pengamatan diperoleh secara akurat bila pencacahan dilakukan dengan *live time* 300 detik (deviasi relatif hasil pencacahan ^{134}Cs dan ^{137}Cs lebih kecil dari 3%). Dengan menggunakan spektrometri gamma pola distribusi radionuklida hasil belah lain dalam elemen bakar dapat diketahui.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Gerhart Friedlander, Joseph W Kennedy, Edward S. Marcias, Julian Malcolm Millar, (1981). *Nuclear Radio Chemistry*, John Wiley & Sons.
- [2]. Knut Eitheim, (2009). *Gamma scanning of Nuclear Fuel, Halden Reactor Project (HRP)*. 16-17th of September NKS Gamma Seminar, Nordisk Denmark, hal. 61.
- [3]. Abdel Jalil Alghem, Mourad Kadouma, Rabah Benaddad, (2008). *NDT as a tool for Post-Irradiation Examination*. 17th World Conference on Nondestructive Testing, Shanghai, China, 25-28 Oct 2008, hal. 1-5.
- [4]. Karen Sihm Kvanagen. (2007). *Alternative Measuring Approaches in Gamma Scanning on Spent Nuclear Fuel*. Uppsala University Departement of Neutron Research Program of Applied Nuclear Physics, Sweden, hal. 9-12.
- [5]. Anonymous (1963). Argonne National Laboratory. Reactor Physics Constants. ANL-5800, second edition, hal. 654.