

PERHITUNGAN BERAT PLUTONIUM DALAM BAHAN BAKAR BEKAS RSG-GAS MENGGUNAKAN PAKET PROGRAM IAFUEL

Mochamad Imron dkk.

ABSTRAK

PERHITUNGAN BERAT PLUTONIUM DALAM BAHAN BAKAR BEKAS RSG-GAS MENGGUNAKAN PAKET PROGRAM IAFUEL. Telah dilakukan perhitungan kandungan Pu-239, Pu-240, Pu-241, dan Pu-242 pada bahan bakar bekas RI-172 RSG-GAS tipe MTR dengan kandungan U-235 sekitar 250 gr. Perhitungan berat Plutonium dilakukan dalam tiga tahap, tahap pertama penyiapan pustaka keluaran perhitungan awal teras tiap siklus teras (BOC), tahap kedua penentuan kerapatan isotop tiap 1 teras, berat Pu tiap 1 teras, kerapatan isotop untuk 1 bahan bakar, dan tahap ketiga perhitungan berat Pu dalam satuan gr. Semua perhitungan dilakukan dengan menggunakan paket program IAFUEL. Dari hasil perhitungan didapatkan berat masing-masing isotop Pu pada fraksi bakar 48.26 % adalah isotop Pu-239 sebesar 6.7666 gr, isotop Pu-240 sebesar 1.4628 gr, isotop Pu-241 sebesar 0.52951gr, dan isotop Pu-242 sebesar 0.068952 gr.

Kata kunci : Plutonium, Paket Progr IAFUEL

ABSTRACT

CALCULATION OF PLUTONIUM CONTENT IN RSG-GAS SPENT FUEL USING IAFUEL COMPUTER CODE. It has been calculated the contain of isotopes Pu-239, Pu-240, Pu-241, and isotope Pu-242 in MTR reactor fuel types which have U-235 contain about 250 gram. The calculation was performed in three steps. The first step is to determine the library of calculation output of BOC (Beginning of Cycle). The second step is to determine the core isotope density, the weight of plutonium for one core, and one fuel isotope density. The third step is to calculate weight of plutonium in gram. All calculation is performed by IAFUEL computer code. The calculation was produced content of each Pu isotopes were Pu-239 is 6.7666 gr, Pu-240 is 1.4628 gr, Pu-241 is 0.52951 gr, and Pu-242 is 0.068952 gr.

Keywords: Plutonium, IAFUEL Computer Codes.

1. PENDAHULUAN

RSG-GAS adalah reaktor riset yang menggunakan bahan bakar type MTR dengan pengkayaan U-235 sebesar 19,75 %, dengan berat U-235 untuk elemen bakar \pm 250 gram dan \pm 175 gram untuk elemen kendali.

Plutonium adalah salah satu produk fisi yang terbentuk dari proses perubahan isotop U-238 ketika menyerap neutron cepat (dengan tenaga lebih besar dari 1 MeV). Isotop U-238 sendiri adalah salah satu produk fisi dari proses penyerapan neutron thermal/lambat disertai dengan pemancaran neutron cepat dan sinar gamma. Neutron cepat inilah yang diserap U-238 yang kemudian berubah menjadi Plutonium. [1]. Setiap elemen bakar/kendali yang dipindah ke luar dari RSG-GAS (MBA RI-C), produk fisi plutonium yang terbentuk harus dihitung dan dilaporkan ke IAEA melalui BAPETEN. Untuk menghitung Pu

digunakan paket program IAFUEL yang merupakan paket program yang dibuat oleh INTERATOM khusus untuk RSG-GAS.

Pada makalah ini dikemukakan proses terbentuknya Plutonium pada bahan bakar tipe MTR di RSG-GAS dan cara perhitungan berat Plutonium yang dikandung oleh masing-masing elemen bakar/kendali.

2. TEORI

Paket program IAFUEL adalah paket program yang dibuat oleh Interatom untuk manajemen bahan bakar RSG-GAS yang menggunakan metoda difusi neutron dalam 4 kelompok tenaga neutron dengan geometri dua dimensi (model X-Y atau R-Z). Di dalam manajemen bahan bakar teras RSG-GAS, paket program ini digunakan untuk menghitung :

1. Parameter teras di awal siklus (BOC) dengan kondisi seluruh batang kendali di bawah (*all fully down*) dan di atas (*all fully up*).
2. Kritikalitas teras untuk tiap langkah memasukan 12 buah elemen bakar pada saat pembentukan teras penuh.
3. Kriteria stuck rod teras penuh BOC (saat batang kendali yang mempunyai reaktivitas terbesar gagal masuk, reaktor tetap dalam keadaan subkritis).
4. Parameter teras di akhir siklus (EOC).
5. Pembuatan library baru untuk elemen teras baru. [2]

Pada saat reaktor mulai beroperasi, bahan dapat belah U-235 mulai menyusut dan menghasilkan bahan dapat belah lain termasuk Plutonium. Akibatnya k_{eff} turun dan harus diimbangi dengan penarikan batang kendali. Perubahan isotop dari setiap elemen merupakan fungsi dari komposisi dan laju penyusutan. Laju penyusutan tidaklah konstan melainkan bergantung kepada distribusi daya. Penyusutan dihitung berdasarkan suatu besaran yang disebut fraksi bakar yang dihubungkan dengan tenaga yang dihasilkan oleh bahan bakar. Misalkan reaktor telah beroperasi pada daya konstan P MW selama d hari dengan distribusi daya konstan, maka :

$$\text{Nilai bakar } BU(d) = Pd[MWD = \text{Mega Watt Day}(s)] \quad (1)$$

Fraksi bakar rerata elemen ke-i dengan faktor daya F_{pi} adalah :

$$BU(d)_i = P_i d \frac{MWD}{MTU} = \frac{\text{Mega Watt Day}(s)}{\text{Metric Ton Uranium}} \quad (2)$$

$$= \sum f_i \quad \square_1 V_{Bi} d = F P_i \bar{P} d$$

Sedangkan fraksi bakar rerata tiap elemen adalah :

$$\bar{BU}(d)I = \frac{P}{N} d = \bar{P} d [\% = \text{Persen berat atau inti}] \quad (3)$$

Dalam perhitungan dikenal suatu pengertian yang disebut interval/langkah fraksi bakar yaitu fraksi bakar yang dihasilkan selama interval waktu d_i pada mana perubahan distribusi daya cukup kecil sehingga dapat dianggap konstan. Pada awal daur sampai tercapai Xe setimbang haruslah interval fraksi bakar dibuat kecil.

Fraksi bakar kumulatif tiap elemen bakar selama t_n diperoleh dengan :

$$BU(t_n)_I = \sum_{i=1}^n BU(d)_i$$

Sedangkan reratanya :

$$\overline{BU}(t_n)_i = \sum_{i=1}^n \overline{BU}(d)_i$$

yang mana :

$$tn = \sum_{i=1}^n di$$

Pada setiap akhir langkah fraksi bakar dilakukan perhitungan inventaris isotop. Secara umum rumus kandungan isotop ini adalah :

$$\frac{dN_i}{dt} = \lambda \sum f \bar{\phi} + N_p \gamma_p + N_{i-1} \tau_{c,i-1} \bar{\phi} - N_i \lambda_i - N_i \tau_{ai} \bar{\phi}$$

(untuk bahan belah suku pertama tidak ada).

- N_i = rapat inti isotop i
- λ_i = konstanta peluruhan isotop i
- τ_a = tampang lintang serapan
- τ_c = tampang lintang tangkapan
- p = pelahir
- γ = fraksi hasil belah
- Φ = fluks neutron
- $\sum f$ = tampang lintang makroskopis pembelahan

Perubahan komposisi isotop sebagai fungsi fraksi bakar ditentukan dari harga P_i dan i . Jadi perhitungan penyusutan harus menghitung lebih dahulu fluks neutron pada tiap daerah dalam teras sebagai fungsi dari waktu. Akibat susutan ini tampang lintang makroskopis baik untuk serapan maupun pembelahan berubah karena :

1. Perubahan kandungan isotop N_i
2. Perubahan σ karena spektrum neutron juga berubah.

Oleh karena itu pada setiap akhir langkah fraksi bakar harus dihitung dahulu harga tampang lintang makroskopis tiap kelompok tenaga. Sehingga kita mempunyai data konstanta kelompok sebagai fungsi bahan bakar. Untuk perhitungan ini diperlukan kode komputer tambahan untuk menghitung spektrum neutron. Jadi tidak cukup

dengan hanya menghitung penyusutan bahan bakar.

Penggunaan bahan bakar akan ekonomis bila terpakai sampai mendekati batas fraksi bakar yang diijinkan. [3]

3. PERHITUNGAN BERAT PLUTONIUM

Langkah-langkah yang dikerjakan dalam perhitungan berat Plutonium adalah sebagai berikut :

1. Penyiapan pustaka keluaran perhitungan awal teras tiap siklus teras (BOC).
 2. Penentuan isotop densitas tiap 1 teras, berat Pu tiap 1 teras, isotop densitas untuk 1 bahan bakar.
 3. Perhitungan berat Pu dalam satuan gram.
- Keluaran/output perhitungan awal teras (BOC) paket program IAFUEL ditunjukkan seperti berikut :

```

:---1---:---2---:---3---:---4---:---5---:---6---:---7---:---8---:---9---:---10---: *****
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
A B 1 : BS+56 : B 3 : 250.4 : 248.1 : 249.2 : 249.4 : 248.6 : 249.5 : B 10 : *****
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
B HYRA : B 11 : B 6 : 250.2 : 249.6 : AL 1 : 252.4 : 248.5 : 252.3 : BS+54 : *****
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
C HYRA : B 37 : 248.8 : 250.2 : 251.8 : 247.6 : 252.0 : 252.7 : 248.8 : 247.8 : *****
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
D HYRA : B 36 : 252.9 : 250.3 : 249.8 : AL 7 : AL 5 : 249.4 : AL 2 : 249.4 : *****
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
E HYRA : B 34 : 248.6 : AL 8 : 251.8 : AL 3 : AL 6 : 249.8 : 253.3 : 248.4 : *****
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
F PNRA : B 32 : 248.4 : 250.7 : 252.9 : 250.5 : 250.4 : 252.6 : 247.4 : 247.5 : *****
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
G B 14 : BS+57 : B 40 : 252.8 : 249.2 : 251.5 : AL 4 : 250.2 : 248.8 : B 16 : *****
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
H BS+51 : B 17 : B 19 : 249.4 : 249.8 : 249.0 : 250.6 : 252.1 : 249.3 : B 26 : *****
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
J B 15 : BS+52 : B 4 : B 24 : B 23 : B 21 : WATER : B 22 : BS+58 : B 28 : *****
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
K B 2 : B 5 : BS+60 : B 8 : B 13 : B 20 : WATER : B 30 : B 29 : BS+59 : *****
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :
:      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :      :

```

N(PU239)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.00000E+00	0.17106E-14	0.91949E-06	0.34029E-05	0.28823E-05	0.34921E-05	0.17275E-14	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.21019E-05	0.44214E-05	0.00000E-00	0.43246E-05	0.43887E-05	0.36476E-05	0.00000E-00
3	0.10251E-05	0.94242E-06	0.19562E-05	0.36510E-05	0.44305E-05	0.64960E-06	0.41367E-05	0.16298E-14
4	0.20399E-05	0.36027E-05	0.29324E-05	0.00000E+00	0.00000E-00	0.40449E-05	0.00000E+00	0.20453E-05
5	0.28497E-05	0.00000E+00	0.43853E-05	0.00000E-00	0.00000E-00	0.27156E-05	0.28202E-05	0.35544E-05
6	0.95085E-06	0.40586E-05	0.20148E-14	0.41790E-05	0.39711E-05	0.27079E-05	0.21262E-05	0.16689E-14
7	0.00000E+00	0.36393E-05	0.43457E-05	0.44255E-05	0.00000E-00	0.44124E-05	0.20961E-05	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.17311E-14	0.41422E-05	0.28357E-05	0.29333E-05	0.19223E-05	0.85840E-06	0.00000E+00

64 DATA VALUES WERE TRANSFERRED IN A D B

N(PU240)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.00000E+00	0.68058E-17	0.25593E-07	0.40584E-06	0.27515E-06	0.43568E-06	0.68409E-17	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.13591E-06	0.86346E-06	0.00000E+00	0.78770E-06	0.85120E-06	0.47671E-06	0.00000E+00
3	0.31711E-07	0.27397E-07	0.11445E-06	0.48635E-06	0.86579E-06	0.13014E-07	0.68967E-06	0.66291E-17
4	0.12778E-06	0.45993E-06	0.28495E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.63657E-06	0.00000E+00	0.12833E-06
5	0.26730E-06	0.00000E+00	0.84665E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.23837E-06	0.25959E-06	0.44560E-06
6	0.27783E-07	0.66299E-06	0.73421E-17	0.70200E-06	0.62896E-06	0.23405E-06	0.13828E-06	0.67163E-17
7	0.00000E+00	0.47556E-06	0.82900E-06	0.84286E-06	0.00000E+00	0.86290E-06	0.13410E-06	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.68482E-17	0.70713E-06	0.26437E-06	0.28626E-06	0.11283E-06	0.22598E-07	0.00000E+00

64 DATA VALUES WERE TRANSFERED IN A D B

N(PU241)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.00000E+00	0.13404E-19	0.16033E-08	0.92591E-07	0.51064E-07	0.10327E-06	0.13447E-19	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.17521E-07	0.29231E-06	0.00000E+00	0.25448E-06	0.28615E-06	0.11841E-06	0.00000E+00
3	0.17639E-08	0.17654E-08	0.13366E-07	0.12220E-06	0.29348E-06	0.53536E-09	0.20807E-06	0.13158E-19
4	0.15927E-07	0.11206E-06	0.53868E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.18503E-06	0.00000E+00	0.16031E-07
5	0.48830E-07	0.00000E+00	0.28384E-06	0.00000E+00	0.00000E+00	0.41124E-07	0.46663E-07	0.10677E-06
6	0.18001E-08	0.19606E-06	0.13702E-19	0.21367E-06	0.18103E-06	0.39944E-07	0.17979E-07	0.13286E-19
7	0.00000E+00	0.11799E-06	0.27503E-06	0.28177E-06	0.00000E+00	0.29206E-06	0.17143E-07	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.13455E-19	0.21623E-06	0.48009E-07	0.54267E-07	0.13118E-07	0.13384E-08	0.00000E+00

64 DATA VALUES WERE TRANSFERED IN A D B

N(PU242)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.00000E+00	0.66084E-23	0.22202E-10	0.53476E-08	0.22185E-08	0.63529E-08	0.66124E-23	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.49732E-09	0.33021E-07	0.00000E+00	0.25952E-07	0.31995E-07	0.77560E-08	0.00000E+00
3	0.10979E-10	0.25112E-10	0.32580E-09	0.82138E-08	0.33186E-07	0.45894E-11	0.18795E-07	0.65724E-23
4	0.43280E-09	0.71090E-08	0.23982E-08	0.00000E+00	0.00000E+00	0.15459E-07	0.00000E+00	0.43657E-09
5	0.20699E-08	0.00000E+00	0.31526E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	0.16533E-08	0.19270E-08	0.66067E-08
6	0.25688E-10	0.17199E-07	0.64982E-23	0.19512E-07	0.15197E-07	0.15725E-08	0.51380E-09	0.65932E-23
7	0.00000E+00	0.77280E-08	0.30009E-07	0.30685E-07	0.00000E+00	0.33057E-07	0.47911E-09	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.66131E-23	0.20209E-07	0.20180E-08	0.24315E-08	0.32287E-09	0.17816E-10	0.00000E+00

64 DATA VALUES WERE TRANSFERED IN A D B

AVERAGE CORE VALUES

VOLUME	0.179859E+06	
FUEL VOL.	0.171294E+06	
BURN UP	0.368351E+05	
PERC-BURN	0.235201E+02	
ISO DENS.	WEIGHT (KG)	ENRICHMENT(WEIGHT PERC.)

N(U235)	0.13062E-03	0.87302E+01	0.15078E+02
N(U236)	0.65036E-05	0.43677E+00	0.75437E+00
N(U238)	0.68073E-03	0.46087E+02	0.79598E+02
N(PU239)	0.26481E-05	0.18012E+00	0.31110E+00
N(PU240)	0.35725E-06	0.24402E-01	0.42146E-01
N(PU241)	0.98925E-07	0.67817E-02	0.11713E-01
N(PU242)	0.88805E-08	0.60991E-03	0.10594E-02
N(NP237)	0.10626E-06	0.71652E-02	0.12375E-01
N(NP239)	0.18275E-06	0.12425E-01	0.21459E-01
N(AM241)	0.36873E-09	0.25243E-04	0.43599E-04
N(AM243)	0.26191E-09	0.18018E-04	0.31120E-04
N(XEDATE1)	0.13783E-09	0.52878E-04	0.91328E-04
N(XED135)	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
N(XE135)	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
N(SMDATE1)	0.12039E-07	0.50989E-03	0.88067E-03
N(PM149)	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
N(SM149)	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

Dari data keluaran/output perhitungan awal teras di atas, diperoleh data-data seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Kerapatan Masing-masing Isotop Pu.

Bahan bakar	Burnup (%)	Isotop Pu-	Isotop Densitas 1 teras	Berat Pu 1 teras	Isotop Densitas
RI-172	48.26	239	2.6127E-06	1.7772E-01	4.5494E-06
		240	3.4801E-07	2.3786E-02	9.7875E-07
		241	9.5546E-08	6.5592E-03	3.5275E-07
		242	8.5354E-09	5.8754E-04	4.5810E-08

Untuk mendapatkan harga isotop densitas satu teras maka harga isotop densitas harus dibagi dengan jumlah semua bahan bakar yang ada di teras (diistilahkan dengan *pelat*). Karena bahan bakar yang ada di teras terdiri dari 40 bahan bakar standar (*fuel elements*) yang memiliki 21 pelat uranium dan 8 bahan bakar kendali (*control elements*) yang memiliki 15 pelat uranium, maka 8 bahan bakar kendali dapat ditulis sebagai $8 \times \frac{15}{21} = 5.733$ bahan bakar standar.

Jadi banyaknya bahan bakar (*pelat*) di teras adalah 45.733. Harga ini disebut pula sebagai faktor pembagi.

Berat plutonium total dihitung dengan cara menjumlahkan seluruh berat plutonium masing-masing isotopnya. Berat plutonium masing-masing isotop dihitung dengan cara membagi

isotop densitas yang telah dibagi faktor pembagi dengan isotop densitas 1 teras lalu dikalikan dengan berat Pu untuk 1 teras.

Misalkan :

Untuk isotop Pu-239 pada burn-up 48,26 % Berat isotop Pu-239 dihitung dengan cara membagi nilai densitas isotop dengan faktor pembagi selanjutnya harga tersebut dibagi lagi dengan nilai densitas isotop untuk 1 teras kemudian dikalikan dengan berat isotop 1 teras.

$$\text{Pu-239} = (((4.5494\text{E-}6/45.733)/2.6127\text{E-}6) \times 1.7772) \times 1000 = 6.7666 \text{ gr}$$

Dengan cara yang sama didapatkan harga-harga untuk masing-masing isotop Pu :

Isotop Pu-240 sebesar 1.4628 gr, isotop Pu-241 sebesar 0.52951gr, dan isotop Pu-242 sebesar 0.068952 gr.

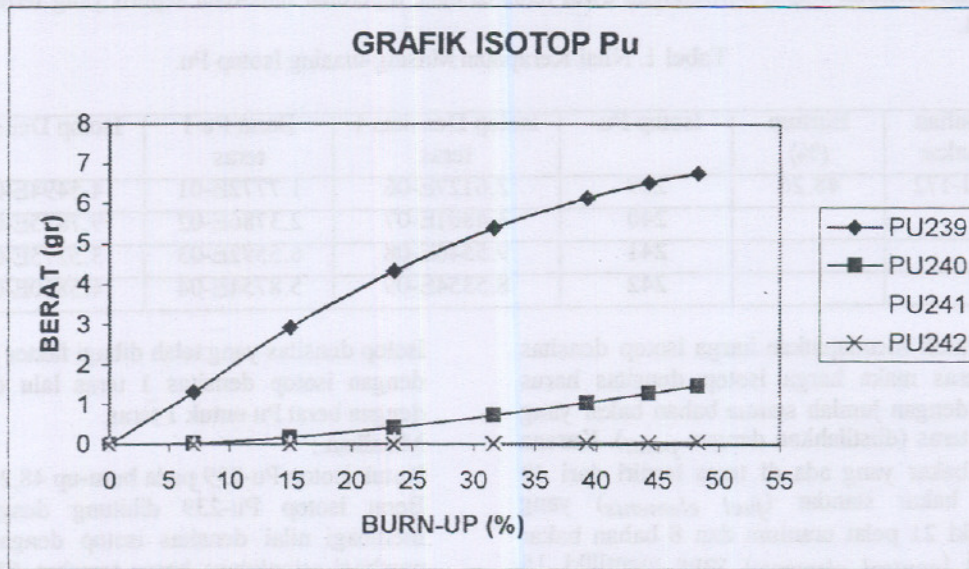
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan cara yang sama diperoleh Pu dihasilkan untuk berbagai harga burn-up seperti diperlihatkan pada Tabel 2 :

Tabel 2. Berat Pu sebagai fungsi Burn-up

Burn-Up (%)	Berat Isotop Pu (gram)				Berat Pu Total (gram)
	Pu-239	Pu-240	Pu-241	Pu-242	
0.00	2.5226E-09	1.0035E-11	1.9754E-14	9.6776E-18	2.5327E-09
7.03	1.3124E+00	3.5700E-02	2.1797E-03	2.9582E-05	1.3503E+00
14.97	2.9276E+00	1.7610E-01	2.1014E-02	5.3383E-04	3.1252E+00
23.52	4.3219E+00	4.2089E-01	7.9628E-02	3.5521E-03	4.8260E+00
31.66	5.3920E+00	7.2014E-01	1.8098E-01	1.2226E-02	6.3054E+00
39.21	6.1428E+00	1.0399E+00	3.1649E-01	2.9132E-02	7.5283E+00
44.25	6.5273E+00	1.2713E+00	4.2894E-01	4.8049E-02	8.2756E+00
48.26	6.7666E+00	1.4628E+00	5.2951E-01	6.8952E-02	8.8278E+00

Dari Grafik 1 dapat diamati masing-masing isotop Pu (gr) sebagai fungsi dari burn-up (%).



Gambar 1. Grafik Berat Pu yang terbentuk dalam *spent fuel* sebagai fungsi burn up

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dihitung berat Plutonium (Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242) pada bahan bakar RI-172 pada burnup 48,26 % sebesar 8.8278 gram. Dengan perhitungan yang sama dapat dihitung berat plutonium untuk berbagai harga burnup. Dari hasil perhitungan yang diperoleh terlihat bahwa plutonium yang

terbentuk dalam bahan bakar bekas (*spent fuel*) belum mencapai nilai SQ (*Significant Quantities*) yakni 8 kg.^[4]

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Ir. Tagor M. Sembiring atas segala arahan dan bantuannya dalam menyelesaikan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. WIRYOSIMIN, SUWARNO. (1995), 'Mengetahui Asas Proteksi Radiasi', ITB.
2. M. SEMBIRING, TAGOR. (1999), Persiapan Input Paket Program IAFUEL, Diktat Diklat Selingkung Manajemen Teras RSG-GAS, Pusbang Teknologi Reaktor Riset, BATAN.
3. KUNTORO, IMAN. (1999), Manajemen Teras Reaktor Riset, Diktat Diklat Selingkung Manajemen Teras Reaktor Riset, Pusbang Teknologi Reaktor Riset, BATAN.
4. IAEA. (1987), IAEA SAFEGUARDS GLOSSARY 1987 Edition, IAEA Vienna.

Penanya : Anthony S

Pertanyaan :

1. Apakah grafik yang warna violet sudah dianalisis dengan perolehan data $[X^2]$ atau memang demikian fungsinya
2. Apakah kandungan U 236 234 238 sudah ada komposisi pada fuel segar?

Jawaban :

1. Saya tidak menganalisisnya lebih lanjut, oleh karena itu tidak saya tampilkan fungsinya
2. Ada disertifikat elemen bakar/kendali

Penanya : Sidiq Suroso

Pertanyaan :

Apa maksud fungsi yang dimunculkan pada grafik tersebut ?

Jawaban :

Menggambarkan fungsi dari masing-masing isotop, unsur dimana Y menunjukkan berat (gr) dari isotop unsur dan sumbu X menunjukkan burn-up (%)

