

**PERHITUNGAN AKTIVITAS ^{134}Cs , ^{137}Cs , dan ^{154}Eu SEBAGAI
PARAMETER *BURNUP HIGH TEMPERATURE ENGINEERING TEST
REACTOR* (HTTR) MENGGUNAKAN *MONTE CARLO VECTOR
PROCESSOR* (MVP)**



**Disusun Oleh :
SAIVA NUR INAYAH
M0213085**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
Februari, 2018**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul : Perhitungan Aktivitas ^{134}Cs , ^{137}Cs , dan ^{154}Eu sebagai Parameter *Burnup High Temperature Engineering Test Reactor* (HTTR) menggunakan *Monte Carlo Vector Processor* (MVP)

Yang ditulis oleh :
Nama : Saiva Nur Inayah
NIM : M0213085
Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada :
Hari : Kamis
Tanggal : 1 Februari 2018

Dewan Penguji :

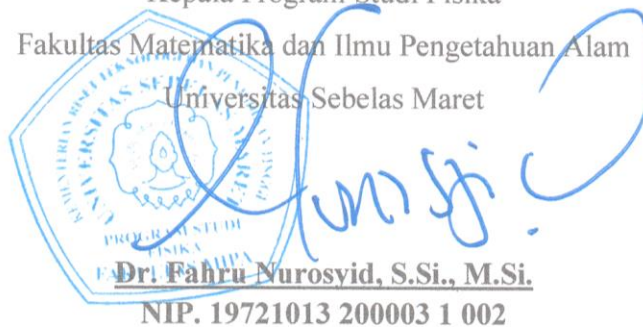
1. Ketua Penguji
Dr. Fuad Anwar, S.Si., M.Si.
NIP. 19700610 200003 1 001
2. Sekretaris Penguji
Sorja Koesuma, S.Si., M.Si.
NIP. 19720801 200003 1 001
3. Anggota Penguji 1
Drs. Suharyana, M.Sc.
NIP. 19680226 199402 2 001
4. Anggota Penguji 2
Dr. Azizul Khakim, S.T., M.Eng.
NIP. 19711224 199912 1 001



Disahkan pada tanggal 19-03-2018

Oleh

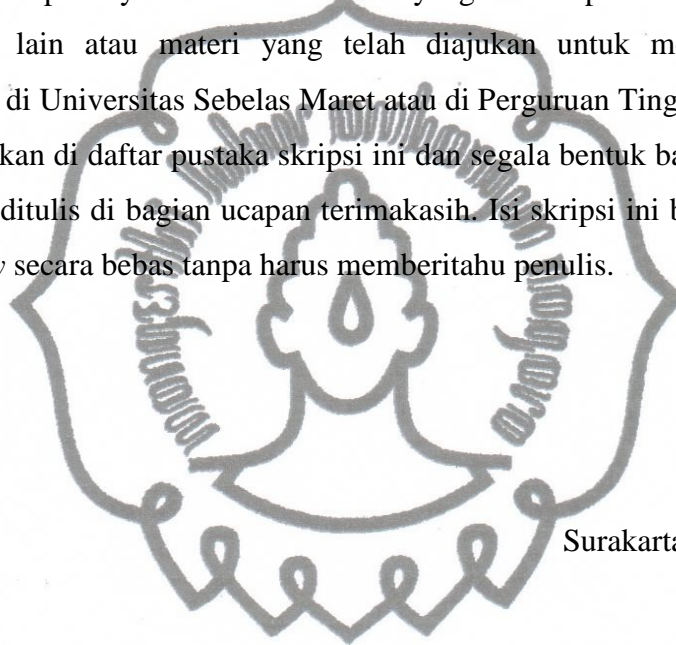
Kepala Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret



Dr. Fahru Nurosyid, S.Si., M.Si.
NIP. 19721013 200003 1 002

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual Skripsi saya yang berjudul “Perhitungan Aktivitas ^{134}Cs , ^{137}Cs , dan ^{154}Eu sebagai Parameter *Burnup High Temperature Engineering Test Reactor* (HTTR) menggunakan *Monte Carlo Vector Processor* (MVP)” adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini isi skripsi saya tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Universitas Sebelas Maret atau di Perguruan Tinggi lainnya kecuali telah dituliskan di daftar pustaka skripsi ini dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis di bagian ucapan terimakasih. Isi skripsi ini boleh dirujuk atau *diphotocopy* secara bebas tanpa harus memberitahu penulis.



Surakarta, 31 Januari 2018

Saiva Nur Inayah

MOTTO

“So endure patiently, with a beautiful patience.”
Quran 70:5

“Kegagalan hanya terjadi bila kita menyerah.”
B.J. Habibie

Think like a proton and stay positive



PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, karya ini saya persembahkan kepada:

1. Bapak Sumaryana dan Ibu Wati selaku orang tua saya, adik-adik, serta keluarga besar yang telah memberikan dukungan moral, materi, doa dan kasih sayang kepada saya.
2. Bapak Drs. Suharyana, M.Sc. selaku pembimbing I dan Bapak Dr. Azizul Khakim, M.T. dari BAPETEN selaku pembimbing II saya yang telah memberikan bimbingan, ilmu, dan motivasi selama proses pengerjaan skripsi ini.
3. Ibu Dra. Riyatun, M.Si., Elma, dan Jakiyah beserta tim riset Nuklir dan Radiasi Fisika Universitas Sebelas Maret Surakarta yang bersedia berbagi ilmu dan memberikan motivasi kepada saya.
4. Pembimbing akademik, Bapak Budi Legowo, S.Si., M.Si. yang selalu memberikan arahan dan semangat selama kuliah.
5. Sahabat-sahabat saya, Dian, Desinta, Arum, Qisma, Silvi, dan Lela atas dukungan dan pertemanan terbaik yang terjalin selama masa perkuliahan.
6. Kawan-kawan dari masa SMP yang selalu saling mendukung dan mendoakan, Yunia, Bella, Vania, dan Tri.
7. Para wanita yang dipertemukan karena kesamaan hobi, Mbak Uti, Teh Dea, Mbak Inas, Mbak Mira, Anis, Maulidi, Rhein, dan Tania.
8. Keluarga besar Fisika Universitas Sebelas Maret khususnya rekan-rekan EMF 2013.
9. Almamater tercinta Universitas Sebelas Maret Surakarta.

**Perhitungan Aktivitas ^{134}Cs , ^{137}Cs , dan ^{154}Eu sebagai Parameter *Burnup*
High Temperature Engineering Test Reactor (HTTR) menggunakan *Monte Carlo Vector Processor* (MVP)**

Saiva Nur Inayah

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sebelas Maret

ABSTRAK

Telah dilakukan simulasi *burnup* reaktor jenis HTTR dengan bagian yang disimulasikan yaitu *fuel rod* menggunakan MVP BURN. Bahan bakar HTTR berbentuk *prismatic block* berisi kernel UO_2 dilapisi TRISO dengan pengayaan 6%. Moderator dan reflektor bermaterial grafit. Reaktor diasumsikan beroperasi pada daya konstan yaitu 30 MW. *Burnup* dilakukan dari 1.000 MWd/t sampai dengan 35.000 MWd/t dengan pembagian sebanyak 8 *burnup* step. Simulasi ini ditujukan untuk menentukan aktivitas hasil fisi yaitu ^{134}Cs , ^{137}Cs , dan ^{154}Eu serta melihat kecenderungan dan linearitasnya terhadap nilai *burnup*. Simulasi ini juga ditujukan untuk menentukan rasio $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, $^{154}\text{Eu}/^{137}\text{Cs}$ serta kecenderungannya terhadap nilai *burnup*. Nilai aktivitas ^{134}Cs , ^{137}Cs , dan ^{154}Eu yang diperoleh dari simulasi ini secara berturut-turut adalah $(5,871 \pm 0,012) \times 10^{14}$ Bq, $(7,319 \pm 0,014) \times 10^{14}$ Bq, dan $(1,8242 \pm 0,0036) \times 10^{13}$ Bq. Nilai rasio $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ dan $^{154}\text{Eu}/^{137}\text{Cs}$ yang diperoleh dari simulasi ini secara berturut-turut adalah $(0,8022 \pm 0,0016)$ dan $(0,024924 \pm 0,000049)$. Nuklida ^{134}Cs dan ^{154}Eu menunjukkan kecenderungan fungsi kuadratik terhadap *burnup*. Linearitas terjadi pada nuklida ^{137}Cs , rasio $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, dan $^{154}\text{Eu}/^{137}\text{Cs}$ sehingga ketiganya dapat direkomendasikan sebagai parameter *burnup*.

Kata Kunci: HTTR, *burnup*, ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{154}Eu .

**Calculation of ^{134}Cs , ^{137}Cs , and ^{154}Eu Activity as the High Temperature
Reactor Reactor (HTTR) Burnup Parameter using Monte Carlo Vector
Processor (MVP)**

Saiva Nur Inayah

Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Science Sebelas Maret
University

ABSTRACT

Simulation of HTTR fuel rod burnup had been performed using MVP-BURN. HTTR was using prismatic block fuel consist of UO_2 coated by TRISO with 6% enrichment. Graphite was used for moderator and reflector material. Reactor thermal power had been set constantly at 30 MW. Burnup had been set from 1,000 MWd/t to 35,000 MWd/t and divided in to 8 burnup steps. The purpose of this simulation was to determine the activity of ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{154}Eu and its linearity toward burnup. This simulation was also determine the ratio of $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$, $^{154}\text{Eu}/^{137}\text{Cs}$ and its trend toward burnup. The activity of ^{134}Cs , ^{137}Cs , and ^{154}Eu obtained from this simulation were $(5.871 \pm 0.012) 10^{14}$ Bq, $(7.319 \pm 0.014) 10^{14}$ Bq, and $(1.8242 \pm 0.0036) 10^{13}$ Bq respectively. The ratio of $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ dan $^{154}\text{Eu}/^{137}\text{Cs}$ obtained from this simulation were (0.8022 ± 0.0016) and (0.024924 ± 0.000049) respectively. The trend of ^{134}Cs and ^{154}Eu were formed as quadratic function towards burnup. The linearity trend occurred in ^{137}Cs and the ratio of $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ and $^{154}\text{Eu}/^{137}\text{Cs}$ so these three were recommended to be used for burnup parameter.

Keywords: HTTR, burnup, ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{154}Eu .

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Sholawat dan salam senantiasa penulis haturkan kepada Rosulullah SAW sebagai pembimbing seluruh umat manusia.

Skripsi yang penulis susun sebagai bagian dari syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains ini penulis beri judul “Perhitungan Aktivitas ^{134}Cs , ^{137}Cs , dan ^{154}Eu sebagai Parameter *Burnup High Temperature Engineering Test Reactor* (HTTR) menggunakan *Monte Carlo Vector Processor* (MVP)”. Dengan segala suka dan dukanya, pada akhirnya skripsi ini terselesaikan. Kepada berbagai pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini, penulis ucapkan terima kasih atas bantuannya yang sangat besar selama proses pengerjaan Skripsi ini. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Drs. Suharyana, M.Sc selaku Pembimbing 1.
2. Bapak Dr. Azizul Khakim, M.T selaku Pembimbing II.
3. Segenap Dosen & Staf Jurusan Fisika.
4. Kedua orang tua dan segenap keluarga besar.
5. Teman-teman grup riset Fisika Nuklir dan Radiasi.

Semoga Allah SWT membalas jerih payah dan pengorbanan yang telah diberikan dengan balasan yang lebih baik. Aamiin. Penulis menyadari akan banyaknya kekurangan dalam penulisan Skripsi ini. Namun demikian, penulis berharap semoga karya kecil ini bermanfaat.

Surakarta, 31 Januari 2018

Saiva Nur Inayah

PUBLIKASI

Sebagian skripsi saya yang berjudul “Perhitungan Aktivitas ^{134}Cs , ^{137}Cs , dan ^{154}Eu sebagai Parameter *Burnup High Temperature Engineering Test Reactor* (HTTR) menggunakan *Monte Carlo Vector Processor* (MVP)” telah di submit pada repository Perpustakaan Universitas Sebelas Maret pada 16 Maret 2017.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN ABSTRAK	vi
HALAMAN ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
HALAMAN PUBLIKASI	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Batasan Masalah.....	5
1.3. Perumusan Masalah.....	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Interaksi Neutron dengan Materi.....	7
2.1.1. Reaksi Hamburan	7
2.1.2. Reaksi Serapan	9
2.2. Reaksi Fisi	10
2.3. Tampang Lintang Mikroskopis	11
2.4. Siklus Hidup Neutron	12
2.5. <i>Burnup</i> Bahan Bakar Nuklir.....	17
2.6. Radioaktivitas	24

2.7.	Reaktor	25
2.8.	<i>High Temperature Reactor</i> (HTR)	28
2.9.	Reaktor Daya Eksperimen (RDE)	32
2.10.	<i>Monte Carlo Vector Processor</i> (MVP).....	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		36
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	36
3.2.	Alat dan Bahan	36
3.3.	Prosedur Penelitian.....	37
3.3.1.	Penginstalan MVP.....	38
3.3.2.	Pembuatan Input HTTR.....	38
3.3.3.	Penentuan Nilai k_{eff}	38
3.3.4.	Penambahan Input <i>Burnup</i> HTTR	38
3.3.5.	Analisa Hasil	38
3.4.	Teknik Analisis Data	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		40
4.1.	Desain Model <i>Fuel Rod</i> HTTR dengan MVP.....	40
4.2.	Perhitungan nilai k_{eff}	41
4.3.	Analisa.....	41
BAB V PENUTUP		49
5.1.	Kesimpulan.....	49
5.2.	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		50
LAMPIRAN.....		54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data Tampang Lintang Termal Nuklida Fisil	12
Tabel 2.2. Spesifikasi HTTR.....	29
Tabel 2.3. Model Rantai <i>Burnup</i> dalam MVP BURN	35
Tabel 4.1. Perbandingan Nilai k_{eff}	41
Tabel 4.2. Aktivitas ^{134}Cs dan ^{154}Eu	44
Tabel 4.3. Aktivitas ^{137}Cs	46
Tabel 4.4. Rasio Aktivitas $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ dan $^{154}\text{Eu}/^{137}\text{Cs}$	47
Tabel L.1. Aktivitas Nuklida Hasil Fisi	63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Hamburan Elastik	8
Gambar 2.2. Hamburan Tidak Elastik	9
Gambar 2.3. Reaksi Fisi ^{235}U	10
Gambar 2.4. Tampang Lintang Fisi ^{235}U	11
Gambar 2.5. Tampang Lintang Fisi ^{238}U	12
Gambar 2.6. Siklus Hidup Neutron ketika $k_{eff} = 1$	16
Gambar 2.7. Skema Peluruhan Berantai Transmutasi ^{235}U	17
Gambar 2.8. Kurva Nuklida Hasil Fisi	20
Gambar 2.9. Skema Peluruhan Nuklida ^{134}Cs , ^{137}Cs , dan ^{154}Eu	21
Gambar 2.10. Spektrum Gamma ^{134}Cs , ^{137}Cs , dan ^{154}Eu	23
Gambar 2.11. Nuklida Hasil Fisi Peluruhan Berantai Transmutasi ^{238}U	24
Gambar 2.12. Skema Bangunan Reaktor HTTR	30
Gambar 2.13. Skema Teras HTTR	31
Gambar 2.14. Skema Bahan Bakar HTTR	32
Gambar 2.15. <i>Roadmap</i> Pembangunan RDE	33
Gambar 2.16. Rantai <i>Burnup</i> Model u4cm6	35
Gambar 3.1. Prosedur Penelitian	33
Gambar 3.2. Skema <i>Block</i> Bahan Bakar HTTR	35
Gambar 4.1. Model <i>Fuel Rod</i> HTTR dilihat dari Sumbu XZ	40
Gambar 4.2. Grafik Kontribusi Nuklida Fisi ^{235}U , ^{239}Pu , dan ^{241}Pu terhadap <i>Burnup</i>	42
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Aktivitas ^{134}Cs terhadap <i>Burnup</i>	45
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Aktivitas ^{154}Eu terhadap <i>Burnup</i>	45
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Aktivitas ^{137}Cs terhadap <i>Burnup</i>	46
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Rasio Aktivitas $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ terhadap <i>Burnup</i>	47
Gambar 4.7. Grafik Hubungan Rasio Aktivitas $^{154}\text{Eu}/^{137}\text{Cs}$ terhadap <i>Burnup</i>	48
Gambar L.1. <i>Script</i> Pembuatan <i>Control Data</i>	53
Gambar L.2. <i>Script</i> Pembuatan <i>Cross Section</i>	54
Gambar L.3. <i>Script</i> Pembuatan Geometri	55
Gambar L.4. <i>Script Tally Region</i>	56
Gambar L.5. <i>Script</i> Pendefinisian Sumber	56
Gambar L.6. <i>Script Input CGVIEW</i>	57
Gambar L.7. Tampilan Antarmuka <i>Total Commander</i>	58
Gambar L.8. art.inp	59
Gambar L.9. art.bat	64
Gambar L.10. <i>Input MVP-BURN</i>	64
Gambar L.11. <i>Macroscopic Data</i> dan <i>Microscopic Data</i>	66
Gambar L.12. <i>Input Material MVP-BURN</i>	66
Gambar L.13. burn.bat	67
Gambar L.14. summary.inp	67
Gambar L.15. summary.bat	68

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
σ	Tampang lintang mikroskopik
σ_s	Tampang lintang mikroskopik hamburan elastis
σ_γ	Tampang lintang mikroskopik tangkapan radiatif
σ_f	Tampang lintang mikroskopik fisi
k_∞	Rumus empat Faktor
ε	Faktor fisi cepat
f	Faktor utilitas termal
p	Faktor lolos resonansi
η	Faktor reproduksi
L_f	Faktor ketidkebocoran neutron cepat
L_t	Faktor ketidkebocoran neutron termal
k_{eff}	Faktor multiplikasi efektif
γ_j	Fraksi fisi yang menghasilkan nuklida j
$\lambda^{i \rightarrow j}$	Laju peluruhan nuklida i menjadi nuklida j
$\sigma^{i \rightarrow j}$	Tampang lintang transmudasi nuklida i menangkap neutron menjadi nuklida j
N	Jumlah atom
N_0	Jumlah atom pada $t=0$
A	Aktivitas nuklida
A_0	Aktivitas nuklida pada $t=0$
λ	Konstanta peluruhan
$t_{1/2}$	Waktu paruh