

**PENGARUH PENGAYAAN URANIUM TERHADAP NILAI
FAKTOR MULTIPLIKASI EFEKTIF (k_{eff}) REAKTOR
SUHU TINGGI HTR PROTEUS**



Disusun oleh :

YUDHA EKA PRATOMO

M0209057

SKRIPSI

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2013

commit to user

**PENGARUH PENGAYAAN URANIUM TERHADAP NILAI
FAKTOR MULTIPLIKASI EFEKTIF (k_{eff}) REAKTOR
SUHU TINGGI HTR PROTEUS**



Disusun oleh :

YUDHA EKA PRATOMO

M0209057

SKRIPSI

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

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

Juli, 2013

commit to user

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul: PENGARUH PENGAYAAN URANIUM TERHADAP NILAI FAKTOR MULTIPLIKASI EFEKTIF (k_{eff}) REAKTOR SUHU TINGGI HTR PROTEUS

Yang ditulis oleh:

Nama : Yudha Eka Pratomo

NIM : M0209057

Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada

Hari : Senin

Tanggal : 22 Juli 2013

Disahkan oleh:

Pembimbing:

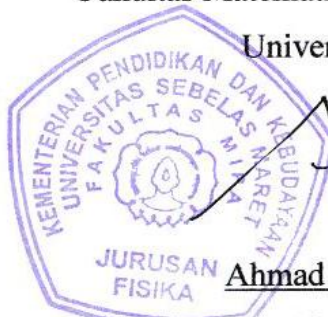
- | | | |
|---|----------------------------|---|
| 1. Mohtar Yuniarto, S.Si, M.Si.
NIP. 19800630 200501 1 001 | (Ketua) |  |
| 2. Dra. Suparmi, M.A., Ph.D.
NIP. 19520915 197603 2 001 | (Sekertaris) |  |
| 3. Drs. Suharyana, M.Sc.
NIP. 19611217 198903 1 003 | (Pembimbing
Utama) |  |
| 4. Dra. Riyatun, M.Si.
NIP. 19680226 199402 2 001 | (Pembimbing
Pendamping) |  |

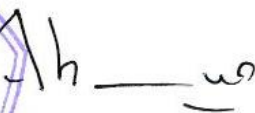
Disahkan oleh

Ketua Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sebelas Maret



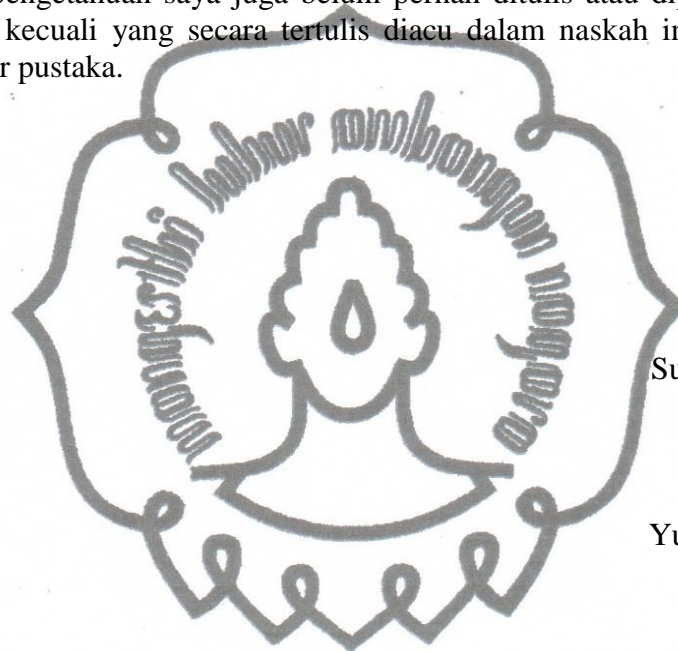


Ahmad Marzuki, S.Si, Ph.D.

NIP. 19680508 199702 1 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "PENGARUH PENGAYAAN URANIUM TERHADAP NILAI FAKTOR MULTIPLIKASI EFEKTIF (k_{eff}) REAKTOR SUHU TINGGI HTR PROTEUS" belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga belum pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



Surakarta, Juli 2013

Yudha Eka Pratomo

**PENGARUH PENGAYAAN URANIUM TERHADAP NILAI
FAKTOR MULTIPLIKASI EFEKTIF (k_{eff}) REAKTOR
SUHU TINGGI HTR PROTEUS**

Yudha Eka P

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret Surakarta

Email: yudhaeka.pratomo@gmail.com

ABSTRAK

HTR PROTEUS merupakan reaktor bersuhu tinggi yang mengutamakan faktor keselamatan inheren pada sistem keamanannya. Perhitungan nilai Faktor multiplikasi efektif (k_{eff}) HTR PROTEUS pada jenis teras 4.1 dengan variasi pengayaan serta gas pendingin berupa udara dan helium telah dilakukan menggunakan kode komputer MCNP5. Perhitungan ini sebagai langkah identifikasi guna menerapkan faktor keselamatan inheren pada HTR PROTEUS. Pada penelitian ini pustaka nuklir yang digunakan adalah ENDF/B-VI. Modifikasi HTR PROTEUS teras 4.1 bertujuan untuk mendapatkan nilai pengayaan bahan bakar optimum dan mendapatkan informasi perbandingan pendingin pada HTR PROTEUS.

Hasil yang diperoleh adalah dalam modifikasi HTR PROTEUS teras 4.1 menggunakan MCNP5 dilakukan dengan merubah input data pada material *data card* sesuai dengan variasi yang digunakan. Hasil yang didapat adalah pengayaan uranium yang optimum digunakan 15,2% - 15,4% dengan nilai k_{eff} ($0,99843 \pm 0,00082$) sampai ($1,00126 \pm 0,0009$) untuk pendingin helium, dan antara 15,6% - 15,8% dengan hasil ($0,99881 \pm 0,00085$) sampai ($1,00181 \pm 0,00085$) untuk pendingin udara. Perbandingan pendingin yang digunakan pada HTR PROTEUS teras 4,1 adalah helium memiliki nilai k_{eff} yang lebih besar dibandingkan udara untuk setiap pengayaan yang sama.

Kata kunci: HTR PROTEUS, MCNP5, k_{eff} , Reaktivitas

THE EFFECT OF URANIUM ENRICHMENT ON EFFECTIVE MULTIPLICATION FACTOR (k_{eff}) HIGH TEMPERATURE REACTOR PROTEUS

ABSTRACT

Yudha Eka P

Physics Department, Faculty of Sciences, Sebelas Maret University

Email: yudhaeka.pratomo@gmail.com

HTR PROTEUS is a high-temperature reactor that prioritizes inherent safety factors in its security system. Calculation of the value of effective multiplication factor (k_{eff}) HTR PROTEUS core 4.1 with a variation of types of uranium enrichment as well as the gas cooled such as air and helium have been performed using the computer code MCNP5. This calculation as an identification to apply inherent safety factors in the HTR PROTEUS. In this study, the library nuclear data used is ENDF / B-VI. Modification HTR PROTEUS core 4.1 aims to obtain optimum fuel enrichment and to obtain information comparative of gas cooled on HTR PROTEUS.

Modification HTR PROTEUS core 4.1 using MCNP5 has been done by changing the input data on the material data card according to used variations. Calculation results the optimum uranium enrichment used 15.2% - 15.4% with k_{eff} (0.99843 ± 0.00082) to (1.00126 ± 0.0009) in the helium coolant, and between 15.6% - 15.8% with k_{eff} (0.99881 ± 0.00085) to (1.00181 ± 0.00085) in the air coolant. Comparison of the gas cooled is helium has k_{eff} value greater than the air for the same any enrichment.

Keywords: HTR PROTEUS, MCNP5, k_{eff} , reactivity

MOTTO

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ

“ALLAH meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat”

(QS.Al-Mujaadallah:11)

夢は汗の中に。少しずつ咲いて行く花。その努力 決して裏切らない
 “Impian ada di tengah peluh. Bagai bunga yang mekar secara perlahan. Usaha keras tak akan mengkhianati”.

(Shonichi)

努力している人は成功するにかぎらない
 でも、成功している人は努力している。

Orang yang berusaha belum tentu sukses.
 Tapi, orang sukses pasti orang yang berusaha.

"If you succeed in using the nuclear-physical findings for peaceful purposes, it will open the way to a new paradise".

(Albert Einstein)

Untuk melihat keindahan sakura, bukankah kau seharusnya menunggu saat dia mekar di musim yang tepat?

(Yudha)

PERSEMBAHAN

Atas Rahmat ALLAH SWT, karya ini kupersembahkan kepada:

1. Ibu Sri Mulyani selaku ibu penulis serta Bapak Sumadi, selaku ayah penulis yang selalu mencurahkan segala jerih payahnya yang takkan cukup penulis tulis di sini demi anaknya tercinta.
2. Rekha Meilani Cahyaningrum selaku adik penulis yang selalu memberi doa dan tawa yang menghiasi hari-hari penulis bak cerita drama "*Seigi no Mikata*."
3. Seluruh keluarga besar Mento dan Tomo di Klaten yang selalu mengirimkan doa kepada penulis.
4. Seluruh teman-teman angkatan 2009 yang selalu membantu dalam senang dan sulit selama beberapa tahun ini.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamiin, puji syukur kepada ALLAH SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan penelitian dengan judul "*Pengaruh Pengayaan Uranium terhadap nilai k_{eff} dan Reaktivitas pada HTR PROTEUS*".

Laporan penelitian ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu dan Bapak tercinta yang senantiasa berdoa untuk kesuksesan putranya.
2. Drs. Suharyana, M.Sc. selaku Pembimbing I yang telah mendampingi selama penelitian, memberi motivasi, bimbingan dan saran dalam penyusunan skripsi.
3. Dra. Riyatun M.Si. selaku Pembimbing II yang telah memberikan latihan kesabaran, bimbingan dan saran dalam penyelesaian skripsi.
4. Ir. Tagor M. Sembiring dari PTRKN BATAN selaku pemegang lisensi MCNP di Indonesia.
5. Mohtar Yunianto, S.Si, M.Si selaku Pembimbing Akademik yang senantiasa memberi nasehat, motivasi dan saran kepada penulis.
6. Teman seperjuanganku Teguh R, Veetha A. P, Elsa A, dan Ika A. yang senantiasa bertukar ilmu dalam penyelesaian skripsi ini..
7. Keluarga besar fisika angkatan 2009, terima kasih atas dukungan, bantuan, dan semangatnya.
8. Adik-adikku angkatan 2010, 2011 dan 2012.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis sehingga laporan penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Semoga ALLAH SWT memberikan balasan yang lebih baik atas kebaikan dan bantuan yang telah diberikan. Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan baik dalam isi maupun cara penyajian materi. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran membangun guna perbaikan di masa datang. Semoga laporan penelitian ini dapat memberi manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya. Amin.



Surakarta, Juli 2013

Yudha Eka Pratomo

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
HALAMAN ABSTRAK.....	iv
HALAMAN ABSTRACT	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR SIMBOL	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Batasan Masalah.....	4
1.3. Rumusan Masalah	5
1.4. Tujuan Penelitian.	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Interaksi yang Melibatkan Netron	7
2.1.1. Hamburan Netron	7
2.1.2. Tangkapan Netron	11
2.2. Fisi Nuklir	12
2.3. Bahan Bakar Nuklir	15
2.4. Teori Difusi Netron dalam Reaktor	16
2.5. Reaktor Nuklir	20
2.5.1. Teori Reaktor Nuklir	20
2.5.2. Analisis Teras Reaktor	22
2.5.3. Klasifikasi Reaktor.....	26

2.6. HTR PROTEUS	27
2.7. MCNP5	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1. Waktu Penelitian	35
3.2. Alat dan Bahan	35
3.3. Prosedur Pembuatan Simulasi	35
3.4. Model HTR PROTEUS	39
3.5. Validasi Software	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Perhitungan Densitas Molekul	45
4.1.1. Penyusun Bahan Bakar	45
4.1.2. Penyusun Bahan Pendingin	45
4.2. Hasil Penyusunan File Input MCNP5	46
4.2.1. Input Data Material	46
4.2.2. Input Data Sumber Neutron	46
4.3. Hasil Simulasi	47
4.4. Hasil Perhitungan dengan MCNP5	47
4.4.1. Perhitungan k_{eff} pada Variasi Kadar Pengayaan dengan Pendingin Udara	47
4.4.2. Perhitungan k_{eff} pada Variasi Kadar Pengayaan dengan Pendingin Helium	52
4.5. Perbandingan Penggunaan Pendingin Terhadap Nilai k_{eff}	55
4.6. Perhitungan <i>Benchmark</i> HTR PROTEUS	56
BAB V PENUTUP	58
5.1. Kesimpulan	58
5.2. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN – LAMPIRAN	62

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
k_{eff}	Faktor Multiplikasi Efektif
ρ	Reaktivitas
m_n	Massa neutron
m_T	Massa inti target
$v_{n,i}$	Kecepatan awal neutron
$v_{n,f}$	Kecepatan akhir neutron
$v_{T,i}$	Kecepatan awal inti target
$v_{T,f}$	Kecepatan akhir inti target
E_k	Energi Kinetik
CM	Sistem Pusat Massa (<i>Center of Mass</i>)
L	Sistem Laboratorium
θ	Sudut Hamburan
σ	Tampang Lintang Mikroskopik
Σ	Tampang Lintang Makroskopik
\bar{A}	Berat Atom Rata-rata
f_x	Fraksi Atom
N	Densitas Atom
ρ	Densitas Material
${}^{238}\text{U}$	Uranium-238
${}^{235}\text{U}$	Uranium-235
J	Densitas Arus Neutron
D	Koefisien Difusi
ϕ	Fluks Neutron
S	Nilai Sumber
k_∞	Faktor Multiplikasi Infiniti
η	Faktor reproduksi

\mathcal{L}_f	Faktor Kebocoran neutron cepat
p	Faktor probabilitas lolos resonansi
\mathcal{L}_t	Faktor Kebocoran neutron termal
ε	Faktor Fisi cepat
f	Faktor pemakaian termal
KR	Kesalahan Relatif
$ E_n $	Derajat Kesamaan



DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1. Jenis Reaktor yang digunakan sebagai PLTN.....	27
Tabel 2.2. Benchmark Teras HTR PROTEUS.....	29
Tabel 2.3. Hasil Perhitungan <i>Benchmark</i> HTR-10 problem B2	32
Tabel 2.4. Perhitungan Kesalahan Relatif Masing-masing Pustaka yang Digunakan Pada <i>Benchmark</i> HTR-10 Problem B21	34
Tabel 3.1. Densitas Atom Penyusun Reflektor HTR PROTEUS..	39
Tabel 4.1. Hasil Perhitungan Densitas Molekul UO_2	45
Tabel 4.2. Nuklida-nuklida pada Pendingin Reaktor	46
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan k_{eff} MCNP5 Pendingin Udara.....	48
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan k_{eff} MCNP5 Pendingin Helium	52
Tabel 4.5. Perhitungan <i>Benchmark</i> HTR PROTEUS teras 4.1	57
Tabel L.1.1. Spesifikasi HTR PROTEUS	62
Tabel L.1.2. Spesifikasi <i>Pebble</i> HTR PROTEUS	62
Tabel L.4.1. Perhitungan Reaktivitas Bahan Bakar	70
Tabel L.4.2. Perhitungan Densitas Molekul UO_2 pada Daerah <i>Interest</i>	70
Tabel L.4.3. Perhitungan Nilai k_{eff} pada Daerah <i>Interest</i>	71

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1. Peristiwa Hamburan Sistem Lab dan Sistem Pusat Massa	9
Gambar 2.2. Relasi Sudut Hamburan Sistem Lab dan Sistem Pusat Massa	10
Gambar 2.3. Tampang Lintang (n,γ) ^{238}U dan Tampang Lintang Fisi.....	13
Gambar 2.4. Distribusi Hasil-Hasil Fisi terhadap Nomor Massa	14
Gambar 2.5. Spektrum Energi Neutron Cepat	18
Gambar 2.6. Siklus Hidup Neutron.....	24
Gambar 2.7. Ilustrasi HTR PROTEUS- Model SCALE/KENO-VI.....	27
Gambar 2.8. Konfigurasi Bahan Bakar Kernel.....	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Model HTR PROTEUS	36
Gambar 3.2. Diagram Alir Proses <i>Running</i>	37
Gambar 3.3. Diagram Alir Proses Perhitungan k_{eff}	38
Gambar 3.4. Tampang lintang vertikal HTR PROTEUS.....	40
Gambar 3.5. Tampang lintang horizontal HTR PROTEUS.....	40
Gambar 3.6. Struktur BCC <i>pebble</i>	41
Gambar 3.7. Model MCNP5 Konfigurasi <i>Pebble</i> HTR PROTEUS	41
Gambar 3.8. Model MCNP5 teras <i>pebble</i> HTR PROTEUS	42
Gambar 4.1. Grafik Hubungan Pengayaan dengan k_{eff} Berpendingin Udara	49
Gambar 4.2. Grafik Pengayaan dan Reaktivitas Berpendingin Udara.....	50
Gambar 4.3. Grafik Data <i>Interest</i> Pengayaan dan k_{eff} Berpendingin Udara	51
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Pengayaan dengan k_{eff} Berpendingin Helium ...	53
Gambar 4.5. Grafik Pengayaan dan Reaktivitas Berpendingin Helium	54
Gambar 4.6. Grafik Data <i>Interest</i> Pengayaan dan k_{eff} Berpendingin Helium	54
Gambar 4.7. Grafik Perbandingan Nilai k_{eff} HTR PROTEUS	56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Spesifikasi HTR PROTEUS	62
Lampiran 2. Input File HTR PROTEUS.....	63
Lampiran 3. Visualisasi HTR PROTEUS pada Vised.....	68
Lampiran 4. Data Hasil Perhitungan.....	70
Lampiran 5. Perhitungan Pengayaan Uranium	72

