

**Evaluasi Tingkat Keselamatan
High Temperature Reactor 10 MW (HTR-10)
Ditinjau dari Nilai *Shutdown Margin***



Disusun Oleh :

**RIZKI BUDI RAHAYU
M0213082**

SKRIPSI

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

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
Juni, 2017**

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul : Evaluasi Tingkat Keselamatan *High Temperature Reactor* 10 MW Ditinjau dari Nilai *Shutdown Margin*

Yang ditulis oleh:

Nama : Rizki Budi Rahayu

NIM : M0213082

Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada :

Hari : Selasa

Tanggal : 20 Juni 2017

Dewan Penguji :

1. Ketua Penguji

Dr. Fuad anwar, S.Si., M.Si.

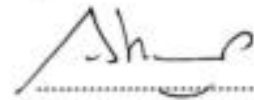
NIP. 19700610 200003 1 001



2. Sekretaris Penguji

Ahmad Marzuki, S.Si., Ph.D

NIP. 19680508 199702 1 001



3. Anggota Penguji I

Dra. Riyatun, M.Si.

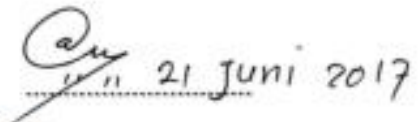
NIP. 19680226 199402 2 001



4. Anggota Penguji II

Dr. Azizul Khakim, S.T., M.Eng.

NIP. 19711224 199912 1 001



21 Juni 2017

Disahkan pada tanggal 21-06-2017

Oleh

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




Dr. Fahru Nurosyid, S.Si., M.Si.

NIP. 19721013 200003 1 002

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual Skripsi saya yang berjudul “EVALUASI TINGKAT KESELAMATAN *HIGH TEMPERATURE REACTOR* 10 MW (HTR-10) DITINJAU DARI NILAI *SHUTDOWN MARGIN*” adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini. Skripsi tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Universitas Sebelas Maret atau di Perguruan Tinggi lainnya kecuali telah dituliskan di bagian ucapan terima kasih. Isi skripsi ini boleh dirujuk atau diphotocopy secara bebas tanpa memberitahu penulis.



Surakarta, 5 Juni 2017

RIZKI BUDI RAHAYU

MOTTO

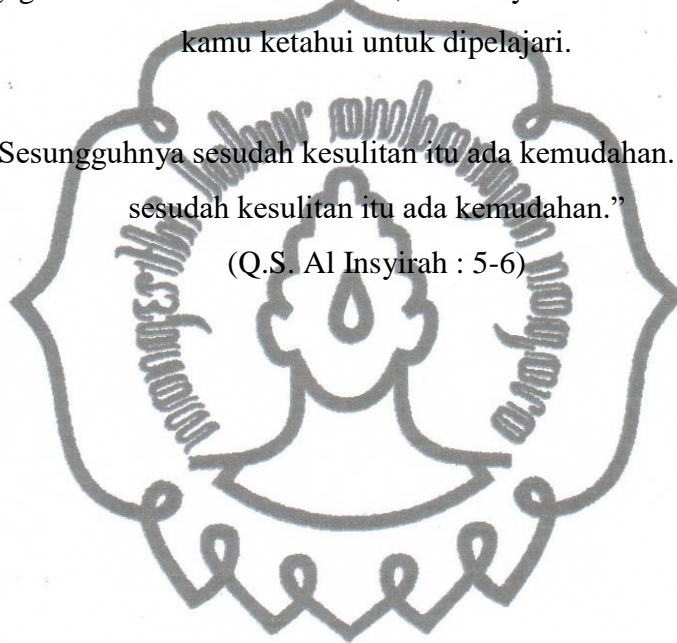
“Dimanapun engkau berada selalulah menjadi yang terbaik dan berikan yang terbaik dari yang bisa kau berikan”

-B. J. Habibie-

Jika kamu gagal dalam melakukan sesuatu, itu artinya masih ada ilmu yang belum kamu ketahui untuk dipelajari.

“Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Q.S. Al Insyirah : 5-6)



PERSEMBAHAN

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

kepada :

1. Kedua orangtua dan adik-adik atas doa dan dukungan yang selalu diberikan kelancaran kuliah dan pembuatan tugas akhir saya.
2. Seluruh keluarga besar, yang juga memberikan semangat, dukungan dan doa.
3. Bu Riyatun, Bapak Suharyana yang telah membimbing saya dalam penyelesaian tugas Akhir ini.
4. Rekan-rekan grup riset Nuklir dan Radiasi UNS, Ajeng, Aulia, Arum, Desinta, Feni, Hanifah, Qisma, Sakti, Uswa, Yunita, Wara, Dian yang telah bersedia berbagi ilmu dan pengalaman.
5. Mas Wahyu MS yang bersedia membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman-teman EMF 2013.
7. Teman-teman seangkatan di Apartemen Griyananda Ngoresan RT 4 RW 22 Jebres Surakarta, Anis, Regina, Putri, Nafi, Arini dan Ferin.
8. Keluarga besar FISIKA FMIPA UNS

**Evaluasi Tingkat Keselamatan *High Temperature Reactor* 10 MW (HTR-10)
Ditinjau dari Nilai *Shutdown Margin***

Rizki Budi Rahayu

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

ABSTRAK

Telah dilakukan simulasi komputasi *HTR-10* dengan kode MVP (*Monte Carlo Visual Program*) dari JAERI. *HTR-10* merupakan jenis reaktor berbahan bakar *pebble bed*, berisi bola bola uranium oksida (UO_2) dengan pengayaan 17%, dibalut oleh lapisan TRISO. *HTR-10* dimodelkan menggunakan grafit sebagai moderator dan reflektor, berpendingin gas helium, dan batang kendali dari boron karbida. Simulasi difokuskan pada variasi posisi batang kendali, yaitu *fully up*, *fully down* dan *at one stuck rod* (OSR) dari 10 batang kendali *HTR-10*. Hasil simulasi adalah nilai k_{eff} , sehingga dapat dihitung nilai reaktivitas, ρ , dan *shutdown margin* (SDM). Dari SDM dapat diprediksi status keselamatan reaktor pada kondisi OSR. Hasil simulasi menunjukkan pada *fully up*, *fully down* diperoleh SDM $(4,071 \pm 0,002)$ dan pada OSR diperoleh SDM $(1,9215 \pm 0,0009)$, dimana batas minimum nilai SDM adalah 0,7, maka secara teori *HTR-10* aman untuk menuju kondisi pemadaman reaktor jika terjadi OSR.

Kata kunci : *HTR-10*, kode MVP, reaktivitas, *shutdown margin*

Evaluation of the Safety Level High Temperature Reactor 10 MW (HTR-10) Reviewed from Shutdown Margin Value

Rizki Budi Rahayu

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

ABSTRACT

Neutronic simulation of HTR-10 has been performed with MVP (Monte Carlo Visual Program) code from JAERI. HTR-10 is a type of pebble bed reactor, containing uranium oxide spherical balls (UO_2) with enrichment is 17%, covered by a layer of TRISO. HTR-10 is modeled using graphite as a moderator and reflector material, helium gas as a coolant material, and control rod have a boron carbide material. This simulation is focused on the variation of control rod position, which is fully up, fully down and at one stuck rod of the 10 control rods were found on the HTR-10. The simulation result is k_{eff} value, so it can be calculated the value of reactivity, ρ , and shutdown margin (SDM). From SDM value can be predicted of the reactor safety status at OSR condition. The simulation result show that the fully up, fully down is obtained by SDM (4.071 ± 0.002) and OSR is obtained by SDM (1.9215 ± 0.0009) , where the minimum value of SDM is 0.7, so, theoretically of HTR-10 is safe to subcritical condition for OSR case.

Keyword : HTR-10, MVP code, reactivity, shutdown margin

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan nikmat dan karuniaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Skripsi. 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 “Evaluasi Tingkat Keselamatan *High Temperature Reactor* 10 MW (HTR-10) Ditinjau dari Nilai *Shutdown Margin*”. terselesaikannya Skripsi ini adalah suatu kebahagiaan bagi penulis. Setelah sekitar satu semester penulis harus berjuang bisa menyelesaikan Skripsi ini tepat waktu. Dengan segala suka dan dukanya, pada akhirnya Skripsi ini terselesaikan juga. 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. Dra. Riyatun, M.Si., selaku Pembimbing I, sekaligus selaku pembimbing akademik.
2. Dr. Azizul Khakim, S.T., M.Eng., selaku Pembimbing II.
3. Drs. Suharyana, M.Sc.
4. Bara Wahyu dan rekan-rekan grup riset nuklir dan radiasi.

Semoga Allah SWT membalas jerih payah dan pengorbanan yang telah diberikan dengan balasan yang baik. Aamiin.

Penulis menyadari akan banyaknya kekurangan dalam penulisan Skripsi ini. Namun demikian, penulis berharap semoga karya kecil ini dapat bermanfaat.

Surakarta, 5 Juni 2017

Rizki Budi Rahayu

PUBLIKASI

No.	Judul	Penulis	Jenis Publikasi
1.	Evaluasi Tingkat Keselamatan <i>High Temperature Reactor</i> 10 MW Ditinjau dari Nilai <i>Shutdown Margin</i>	Rizki Budi Rahayu, Riyatun, Azizul Khakim	Repository Universitas Sebelas Maret
2.	Deskripsi Kondisi <i>at One Stuck Rod</i> HTR-10 Ditinjau dari Nilai <i>Shutdown Margin</i>	Rizki Budi Rahayu, Riyatun, Suharyana, Azizul Khakim	Diterima di SKN BAPETEN, Yogyakarta, 01 Agustus 2017 (Poster)

DAFTAR ISI

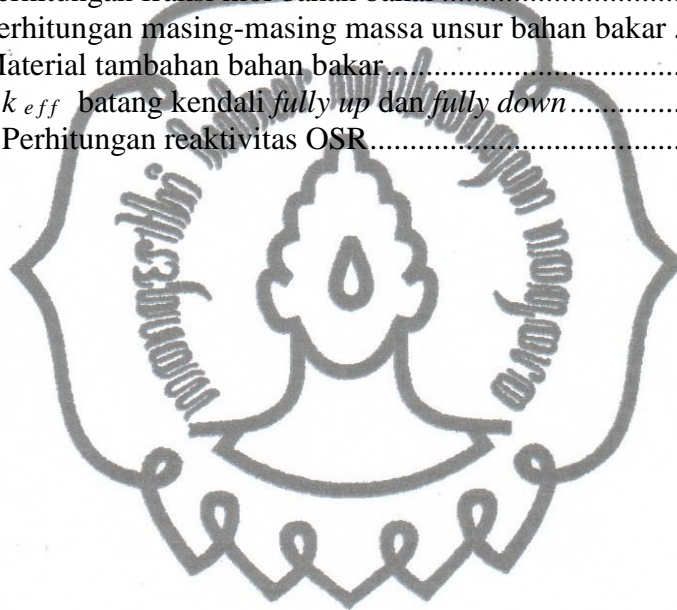
	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN ABSTRAK	vi
HALAMAN ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
HALAMAN PUBLIKASI	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Batasan Masalah	3
1.3. Perumusan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Reaktor	6
2.2. HTR-10	8
2.2.1. Teras	9
2.2.2. Bahan Bakar HTR-10	10
2.2.3. Batang Kendali HTR-10	11
2.2.4. Reflektor, Moderator dan Pendingin	12
2.3. Reaktor Daya	13
2.4. Reaksi Fisi Nuklir	14
2.5. Faktor Multiplikasi Efektif	16
2.6. Rumus Enam Faktor	16
2.7. Reaktivitas	18
2.8. <i>Shutdown Margin</i>	20
2.9. MVP	20
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2. Alat dan Bahan	22
3.3. Prosedur Penelitian	22
3.3.1. Tahap Persiapan	25
3.3.2. Pembuatan <i>Input</i>	25
3.3.3. Bahan Bakar	26
3.3.4. <i>Benchmark</i>	27
3.3.5. Variasi Batang Kendali	27

3.3.6. Perhitungan Reaktivitas dan <i>Shutdown Margin</i>	28
3.4. Analisa Data	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1. Geometri HTR-10	29
4.2. <i>Benchmark</i>	32
4.3. Variasi yang dilakukan.....	32
4.4. Hasil perhitungan Reaktivitas	36
4.4.1. Variasi batang kendali <i>fully up</i> dan <i>fully down</i>	36
4.4.2. Variasi batang kendali saat posisi <i>one stuck rod</i>	38
4.5. Perhitungan <i>Shutdown Margin</i>	39
4.6. Status Keamanan Reaktor	40
BAB V PENUTUP	41
5.1. Kesimpulan	41
5.2. Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	45



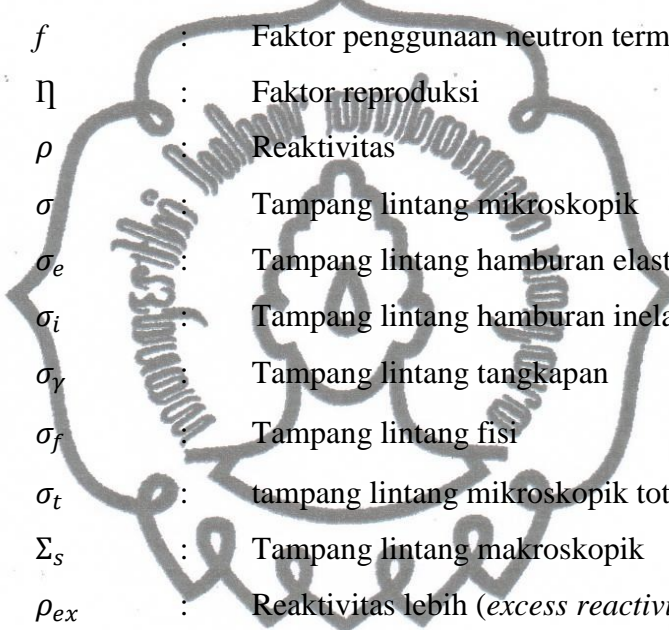
DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Parameter desain bahan bakar HTR-10	11
Tabel 4.1. Hasil <i>benchmark</i> HTR-10	32
Tabel 4.2. k_{eff} batang kendali <i>fully up</i> dan <i>fully down</i>	36
Tabel 4.3. Hasil perhitungan nilai $\rho_{total\ rod}$ dan ρ_{excess}	38
Tabel 4.4. k_{eff} batang kendali <i>fully down</i> dan <i>fully up</i>	38
Tabel 4.5. hasil perhitungan nilai SDM dan SDM OSR	39
Tabel I.1. Perhitungan Densitas tiap bagian TRISO	45
Tabel I.2. Perhitungan fraksi mol bahan bakar	45
Tabel I.3. Perhitungan masing-masing massa unsur bahan bakar	46
Tabel I.4. Material tambahan bahan bakar	46
Tabel IV.1. k_{eff} batang kendali <i>fully up</i> dan <i>fully down</i>	57
Tabel IV.2. Perhitungan reaktivitas OSR	59



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Rangkaian Tampang Lintang Primer HTR-10	9
Gambar 2.2. Konfigurasi bahan bakar kernel UO_2	10
Gambar 2.3. Struktur batang kendali HTR – 10	12
Gambar 2.4. Reaksi Fisi Berantai	16
Gambar 2.5. Siklus Hidup Neutron	18
Gambar 2.6. Gerakan acak suatu partikel	21
Gambar 3.1. <i>Flowchart</i> alur penelitian untuk perhitungan SDM	23
Gambar 3.2. <i>Flowchart</i> alur penelitian untuk perhitungan SDM OSR	24
Gambar 3.3. Tampang lintang HTR-10	26
Gambar 4.1. Model HTR-10 dengan kode MVP pada bidang XZ	29
Gambar 4.2. Model HTR-10 dengan kode MVP pada bidang XY	30
Gambar 4.3. Geometri HTR-10 dengan posisi batang kendali <i>fully down</i>	33
Gambar 4.4. Geometri HTR-10 dengan posisi batang kendali <i>fully up</i>	33
Gambar 4.5. Geometri bidang XY untuk <i>at one stuck rod</i>	36
Gambar II.1. <i>Script</i> pembuatan <i>Control Data</i>	48
Gambar II.2. <i>Script</i> pembuatan <i>Cross Section</i>	50
Gambar II.3. <i>Script</i> Pembuatan Geometri	53
Gambar II.4. <i>Script Tally Region</i>	54
Gambar II.5. <i>Script</i> pendefinisian sumber	54
Gambar II.6. <i>Script input</i> CGVIEW	55
Gambar II.7. <i>Running</i> dengan <i>total commander</i>	55
Gambar II.8. Format <i>output</i> k_{eff}	56

DAFTAR SIMBOL

k_{eff}	:	Faktor multiplikasi efektif
ϵ	:	Faktor fisi cepat
P_t	:	Faktor neutron termal yang tidak bocor
P_f	:	Faktor neutron cepat yang tidak bocor
p	:	Probabilitas lolos resonansi
f	:	Faktor penggunaan neutron termal
η	:	Faktor reproduksi
ρ	:	Reaktivitas
σ	:	Tampang lintang mikroskopik
σ_e	:	Tampang lintang hamburan elastik
σ_i	:	Tampang lintang hamburan inelastik
σ_γ	:	Tampang lintang tangkapan
σ_f	:	Tampang lintang fisi
σ_t	:	tampang lintang mikroskopik total
Σ_s	:	Tampang lintang makroskopik
ρ_{ex}	:	Reaktivitas lebih (<i>excess reactivity</i>)
N	:	Densitas atom
N_0	:	Jumlah neutron generasi awal