

**PERHITUNGAN REAKTIVITAS UMPAN BALIK AKIBAT KOMPAKSI
BAHAN BAKAR DAN *WATER INGRESS* YANG DISEBABKAN OLEH
GEMPA PADA HTR-10 DENGAN *CODE MVP***



**UNSWATUN CHASANAH
M0213093**

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 : Perhitungan Reaktivitas Umpan Balik akibat Kompaksi Bahan Bakar dan *Water Ingress* yang Disebabkan oleh Gempa pada HTR-10 dengan Code MVP

Yang ditulis oleh:

Nama : Uswatun Chasanah
NIM : M0213093

Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada :

Hari : Selasa
Tanggal : 20 Juni 2017

Dewan Penguji :

1. Ketua Penguji

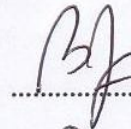
Dr. Fuad anwar, S.Si., M.Si.
NIP. 19700610 200003 1 001



.....

2. Sekretaris Penguji

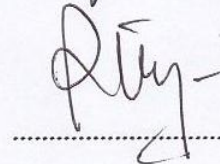
Dr. Eng Budi Purnama, S.Si., M.Si.
NIP. 19731109 200003 1 001



.....

3. Anggota Penguji I

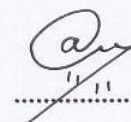
Dra. Riyatun, M.Si.
NIP. 19680226 199402 2 001



.....

4. Anggota Penguji II

Dr. Azizul Khakim, S.T., M.Eng.
NIP. 19711224 199912 1 001



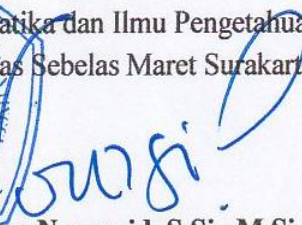
..... 21 Juni 2017

Disahkan pada tanggal 13-07-2017

Oleh

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

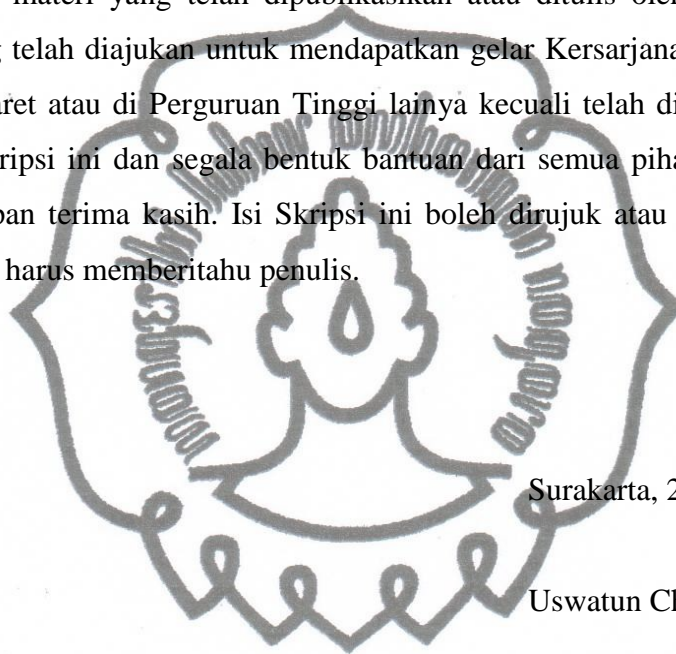



Dr. Fahru Nurosyid, S.Si., M.Si.

NIP. 19721013 200003 1 002

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual Skripsi saya yang berjudul “Perhitungan Reaktivitas Umpan Balik akibat Kompaksi Bahan Bakar dan *Water ingress* yang Disebabkan oleh Gempa pada HTR-10 dengan *Code MVP*” adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini. Skripsi tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar Kersarjanaan di Universitas Sebelah 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 terima kasih. Isi Skripsi ini boleh dirujuk atau difotokopi secara bebas tanpa harus memberitahu penulis.



Surakarta, 27 Juni 2017

Uswatun Chasanah

MOTTO

Pendidikan mempunyai akar yang pahit, tapi buahnya manis
-Aristoteles-

Agama tanpa ilmu adalah buta. Ilmu tanpa agama adalah lumpuh
-Albert Einstein-

Saya tidak memiliki bakat tertentu, saya hanya ingin tahu
-Albert Einstein-

Belajarlal mengalah sampai tak seorangpun bisa mengalahkanmu.
Belajarlal merendah smapai tak seorangpun bisa merendahkanmu
-Gobind Vashdev-

Keberhasilan adalah kemampuan untuk melewati dan mengatasi dari satu
kegagalan ke kegagalan berikutnya tanpa kehilangan semangat
-Winston Chuchil-

Esensi dari manusia adalah ketika seseorang tidak mencari kesempurnaan
-Goerge Orwell-

Setiap orang yang sedang disusul oleh kematian meminta lebih banyak waktu.
Sementara semua orang yang masih memiliki waktu membuat alasan untuk
menunda-nunda
-Ali bin Abi Thalib-

Kita belum hidup dalam sinar bulan purnama, kita masih hidup di masa
pancaroba, tetaplah bersemangat elang rajawali
-Ir. Soekarno-

PERSEMBAHAN

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

1. Bu Mutiah dan Bapak Fauzan selaku kedua orangtua saya beserta segenap keluarga besar yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan kepada saya.
2. Bu Riyatun sebagai pembimbing I saya yang telah memberikan bimbingan dari awal hingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Bapak Azizul Khakim dari BAPETEN yang telah bersedia membimbing, berbagi ilmu dan memberikan pelatihan mengenai software MVP.
4. Bapak Suharyana beserta tim riset Fisika Nuklir dan Radiasi yang telah berbagi ilmu, pengalaman serta bimbingannya.
5. Pembimbing akademik, Bu Kusumandari yang selalu memberikan arahan dan dorongan.
6. Mas Bara Ramadhan selaku pendamping dalam mempelajari *code* MVP
7. Saudara Arif Wahyu Nugroho yang selalu memberikan dorongan demi terselesaikannya skripsi.
8. Rizki Budi Rahayu, Yunita Anggraini serta teman-teman grup riset Nuklir dan Radiasi.
9. Nur Jakiyah, Nandani, Ajeng S.Y.P, Rizki Ari N.A yang selalu menemani disaat senang maupun susah.
10. Keluarga besar kos Threanna 2 yang selalu sedia setiap saat.
11. Seluruh teman-teman Fisika FMIPA UNS angkatan 2013 yang telah berjuang bersama dari awal hingga seterusnya.

Perhitungan Reaktivitas Umpan Balik akibat Kompaksi Bahan Bakar dan *Water ingress* yang Disebabkan oleh Gempa pada HTR-10 dengan Code MVP

Uswatun Chasanah

Program Sudi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sebelas Maret

ABSTRAK

Telah dilakukan simulasi HTR-10 terkait perubahan nilai reaktivitas akibat kompaksi bahan bakar dan *water ingress* menggunakan kode MVP. *Monte Carlo Visual Program* (MVP) merupakan *software* berbasis *Monte Carlo* yang dikembangkan oleh *Japan Atomic Energy Research Institute* (JAERI). Simulasi dilakukan dengan menggunakan data *library* JENDL-3.3. HTR-10 yang disimulasikan menggunakan bahan bakar UO_2 berlapis TRISO yang terdistribusi secara acak di dalam *pebble bed*. Pada kompaksi bahan bakar, divariasikan nilai *Packing Fraction* (FP) yang merupakan perbandingan antara jumlah volum seluruh bahan bakar dan volum teras. Variasi dari FP 85% hingga 95% dengan interval 2,5%. Semakin terkompaksi, maka nilai kritikalitas semakin meningkat. HTR-10 berada dalam keadaan superkritis dengan nilai k_{eff} dari 1,0551 hingga 1,0661. Terjadi kenaikan nilai reaktivitas sebesar 0,9% dari 0,0522 hingga 0,0620. Pada variasi *water ingress*, reaktor disimulasikan dengan mengganti material pendingin helium dengan air (H_2O). Presentase *water ingress* divariasikan dari 0% hingga 100% dengan interval 25%. Semakin teras terendam, nilai kritikalitas juga semakin naik. HTR-10 berada dalam kondisi superkritis dengan kenaikan k_{eff} dari 1,0551 hingga 1,4575. Terjadi kenaikan nilai reaktivitas yang cukup signifikan dari 0,0522 hingga 0,3139 atau sebesar 26,1%.

Kata kunci : HTR-10, kode MVP, reaktivitas, FP, superkritis

***Calculation of Feedback Reactivity due to Fuel Compaction and Water ingress
caused by Earthquake on HTR-10 with MVP Code***

Uswatun Chasanah

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

ABSTRACT

HTR-10 simulation has been done related to changes in reactivity value due to fuel compaction and water ingress using MVP code. The Monte Carlo Visual Program (MVP) is a Monte Carlo based software developed by Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI). The simulation is done using JENDL-3,3 data library. HTR-10 is simulated using TRISO-coated UO₂ fuel that is randomly distributed inside the pebble bed. In fuel compaction, the value of Packing Fraction (FP) is comparable between the total volume of fuel and the volume of the terrace. Variations from FP 85% to 95% with 2.5% intervals. The more compressed, the value of criticality is increasing. HTR-10 is in a supercritical state with a keff value of 1.0551 to 1.0661. An increase in reactivity value 0.9% from 0.05224 to 0.06201. In water ingress variations, the reactor is simulated by replacing the helium cooling material with water (H₂O). The percentage of water ingress is varied from 0% to 100% with a 25% interval. The more presentage of water ingress, the value of criticality is also increasing. HTR-10 is in supercritical condition with a keff increase from 1.0551 to 1.4575. There was a significant increase in reactivity value from 0.05224 to 0.31389 or 26.1%.

Keywords: HTR-10, MVP code, reactivity, FP, supercritical

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Skripsi yang penulis susun sebagai bagian dari syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains ini penulis beri judul “Perhitungan Reaktivitas Umpan Balik akibat Kompaksi Bahan Bakar dan *Water ingress* yang Disebabkan oleh Gempa pada HTR-10 dengan *Code MVP*”. Dapat menyelesaikan skripsi ini adalah suatu kebanggaan bagi saya setelah sekitar satu semester penulis berjuang untuk menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Dengan segala suka duka yang dialami, pada akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dra. Riyatun M.Si selaku pembimbing I yang senantiasa membimbing hingga skripsi ini dapat selesai.
2. Dr. Azizul Khakim, S.T., M.Eng. selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing hingga skripsi ini dapat selesai.
3. Segenap Dosen & Staf Jurusan Fisika yang telah banyak membantu dan memberikan bimbingan selama perkuliahan.
4. Kedua orang tua dan keluarga besar, atas doa dan segala bantuannya sejak penulis menjadi mahasiswa hingga akhirnya bisa menyelesaikan skripsi ini.
5. Teman-teman grup riset Fisika Nuklir dan Radiasi yang senantiasa bertukar ilmu.

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

Surakarta, 27 Juni 2017

Uswatun Chasanah

HALAMAN PUBLIKASI

No.	Judul	Penulis	Jenis Publikasi
1.	Perhitungan Reaktivitas Umpan Balik akibat Kompaksi Bahan Bakar dan <i>Water Ingress</i> yang Disebabkan oleh Gempa pada HTR-10 dengan <i>Code MVP</i>	Uswatun Chasanah, Riyatun, Azizul Khakim	Repository Perpustakaan Universitas Sebelas Maret, 05 Juni 2017
2.	Evaluasi Keselamatan Htr-10 Ketika Terjadi Kecelakaan Kompaksi Bahan Bakar Dengan Kode MVP	Uswatun Chasanah, Riyatun, Suharyana, Azizul Khakim	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. Rumusan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Reaktor	5
2.1.1. Reaktor Generasi IV	5
2.1.2. <i>High Temperature Reaktor</i> (HTR)	6
2.2. HTR-10	6
2.2.1. Teras Reaktor	7
2.2.2. Bahan Bakar	8
2.2.3. Moderator dan Pendingin	9
2.2.4. Reflektor	9
2.2.5. Batang Kendali	10
2.3. Interaksi Neutron dengan Materi	10
2.4. Faktor Kelipatan Efektif (k_{eff})	11
2.5. Reaktivitas	14
2.6. Perubahan Reaktivitas karena Gempa	15
2.6.1. Kompaksi Bahan Bakar	16
2.6.2. <i>Water ingress</i>	17
2.7. Keselamatan Melekat (<i>Inherent Safety</i>) HTR-10	17

2.7. <i>Defense in Depth Safety</i>	18
2.8. Simulasi dengan <i>Code MVP</i>	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2. Alat dan Bahan	21
3.3. Prosedur Penelitian	21
3.3.1. Penginstalan <i>Code MVP</i>	23
3.3.2. Perhitungan Pengayaan U-235	23
3.3.3. Pembuatan Model HTR-10	23
3.3.4. Variasi Inputan	24
3.3.5. Running Program	25
3.4. Teknik Analisis Data	25
BAB IV PEMBAHASAN	26
4.1. Validasi Hasil Simulasi	26
4.2. Pembuatan Inputan Program.....	27
4.3. Justifikasi nilai k_{eff} dengan Spektrum Neutron	28
4.4. Geometri HTR-10 pada Kondisi Normal	28
4.5. Perubahan Reaktivitas pada Variasi Kompaksi Bahan bakar	30
4.6. Perubahan Reaktivitas pada Variasi <i>Water ingress</i>	34
BAB V PENUTUP	39
5.1. Kesimpulan	39
5.2. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Parameter Desain HTR-10	7
Tabel 2.2. Spesifikasi bahan bakar HTR-10	8
Tabel 2.3. Skala dan pengaruh gempa	16
Tabel 4.1. Hasil validasi dengan code QA	27
Tabel 4.2. Variasi Kompaksi Bahan Bakar	32
Tabel 4.3. Variasi Tingkat <i>Water ingress</i> pada Teras	35
Tabel L.1.1. Perhitungan massa jenis tiap bagian TRISO	40
Tabel L.1.2. Perhitungan Fraksi mol bahan bakar	40
Tabel L.1.3. Massa Jenis masing-masing unsur	41
Tabel L.1.4. Perhitungan FP dan ketinggian teras	42
Tabel L.1.5. Perhitungan Tinggi Teras yang Terendam	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Penampang HTR-10	6
Gambar 2.2. Bahan bakar berbentuk <i>pebble</i>	8
Gambar 2.3. Siklus Hidup Neutron	13
Gambar 3.1. Prosedur penelitian	22
Gambar 3.2. Penampang Samping Kanan dari HTR-10	23
Gambar 4.1. Model HTR-10 untuk validasi hasil	26
Gambar 4.2. Model HTR-10 pada Kondisi Normal (a) tampak vertikal (b) tampak lintang pada bagian teras	29
Gambar 4.3. Variasi Kompaksi Bahan Bakar dengan FP (a) 87,5% (b) 90% (c) 92,5% (d) 95%	31
Gambar 4.4. Grafik hubungan packing fraction dengan k_{eff}	32
Gambar 4.5. Perubahan produksi neutron pada kompaksi bahan bakar	33
Gambar 4.6. Variasi <i>Water ingress</i> Teras reaktor (a) 25% (b) 50% (c) 75% (d) 100%	35
Gambar 4.7. Grafik hubungan presentase water ingress dan k_{eff}	36
Gambar 4.8. Perubahan produksi neutron pada <i>Water ingress</i>	37

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
U	Uranium
°C	Derajat suhu skala Celcius
UO ₂	Uranium dioksida
D ₂ O	Deuterium / air berat
B	Boron
Ag	Argentum / perak
In	Indium
Cd	Cadmium
Gd	Gadolinium
Hf	Hafnium
ϵ	Faktor fisi cepat
p	Faktor kemungkinan lolos resonansi
f	Faktor pemakaian termal
η	Faktor reproduksi
ϵ_f	Faktor ketidakbocoran neutron cepat
ϵ_t	Faktor ketidakbocoran neutron termal
k_{eff}	Faktormultiplikasi efektif
N _o	Jumlah neutron generasi awal
M	Skala gempa Modified Mercalli