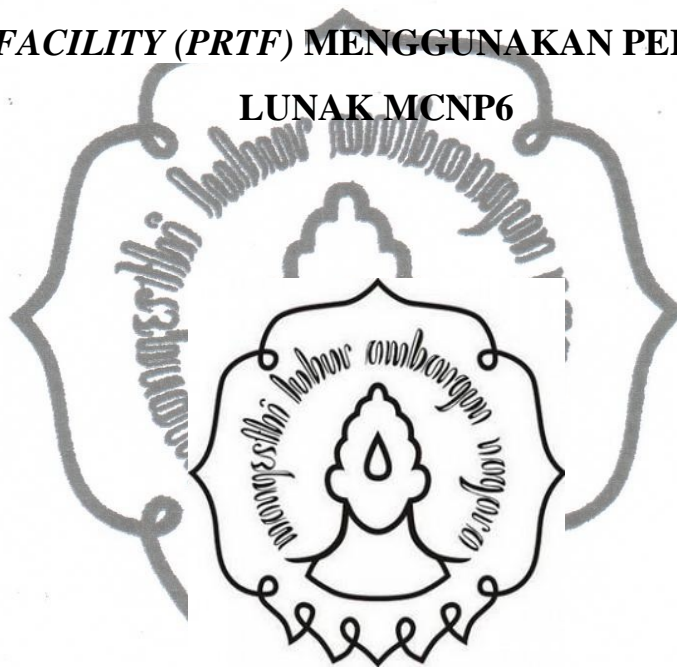


SKRIPSI

**KAJIAN KESELAMATAN REAKTOR SERBA GUNA G.A.
SIWABESSY (RSG-GAS) TERHADAP PERUBAHAN
REAKTIVITAS AKIBAT PENGOPERASIAN *POWER RAMP
TEST FACILITY (PRTF)* MENGGUNAKAN PERANGKAT
LUNAK MCNP6**



Disusun oleh:

Tuti Dwi Setyaningsih

M0215060

**PROGAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
Agustus 2019**

SKRIPSI

KAJIAN KESELAMATAN REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY (RSG-GAS) TERHADAP PERUBAHAN REAKTIVITAS AKIBAT PENGOPERASIAN *POWER RAMP TEST FACILITY (PRTF)* MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MCNP6

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



Disusun oleh:

Tuti Dwi Setyaningsih

M0215060

**PROGAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
Agustus 2019**

HALAMAN PERSETUJUAN
SKRIPSI

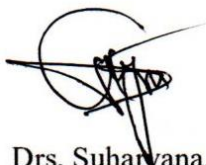
**Kajian Keselamatan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy
(RSG-GAS) terhadap Perubahan Reaktivitas Akibat
Pengoperasian *Power Ramp Test Facility* (PRTF) Menggunakan
Perangkat Lunak MCNP6**

Oleh:

TUTI DWI SETYANINGSIH
M0215060

Telah disetujui oleh

Pembimbing I



Drs. Suharyana, M.Sc.
NIP. 19611217 198903 1 003

Tanggal : 01 / 08 / 2019

Pembimbing II



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

Tanggal : 05 / 08 / 2019

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul : Kajian Keselamatan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) terhadap Perubahan Reaktivitas Akibat Pengoperasian *Power Ramp Test Facility* (PRTF) Menggunakan Perangkat Lunak MCNP6

Yang ditulis oleh :

Nama : Tuti Dwi Setyaningsih

NIM : M0215060

Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada

Hari : Selasa

Tanggal: 20 Agustus 2019

Dewan Penguji :

1. Ketua Penguji

Dra. Riyatun, M.Si.

NIP. 196802261994022001

2. Sekretaris Penguji

Dr. Eng. Kusumandari, S.Si, M.Si.

NIP. 198105182005012002

3. Anggota Penguji 1

Drs. Suharyana, M. Sc.

NIP. 196112171989031003

4. Anggota Penguji 2

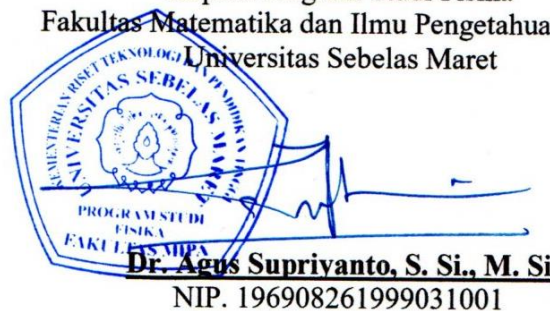
Dr. Fuad Anwar, S.Si, M.Si.

NIP. 197006102000031001

Disahkan pada tanggal 23-09-2019

Oleh

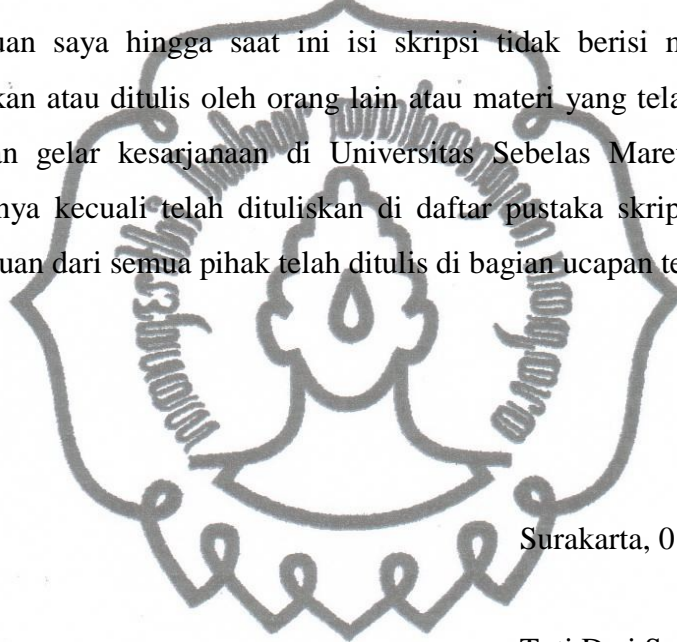
Kepala Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret



Dr. Agus Supriyanto, S. Si., M. Si
NIP. 196908261999031001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual Skripsi saya yang berjudul “KAJIAN KESELAMATAN REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY (RSG-GAS) TERHADAP PERUBAHAN REAKTIVITAS AKIBAT PENGOPERASIAN *POWER RAMP TEST FACILITY (PRTF)* MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MCNP6” adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini isi skripsi 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 Perguruan Tinggi lainnya kecuali telah dituliskan di daftar pustaka skripsi ini dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis di bagian ucapan terimakasih.



Surakarta, 01 Agustus 2019

Tuti Dwi Setyaningsih

MOTTO

“Janganlah kamu bersikap lemah, dan janganlah (pula) kamu bersedih hati...”

(QS. Ali Imran [3]:139)

“Sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah [94]:6)

“Semua hal akan menjadi baik, asal tempat dan waktunya tepat. Ilmu adalah untuk mencari tahu tempat segala hal dan menempatkan segala hal pada tempat yang tepat.”

(Emha Ainun Nadjib)

PERSEMBAHAN

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

1. Ibu, Bapak, Kakak yang telah memberikan do'a, kasih sayang, dan dukungannya hingga saat ini dapat kuliah dan menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Suharyana, Bapak Fuad Anwar, dan Ibu Riyatun yang telah memberikan bimbingan dan motivasi dalam mengerjakan tugas akhir ini.
3. Rahmat, Anggita, Yosefany, Anggraeny, dan Nadia teman seperjuangan digrup riset Teori dan Komputasi yang saling berbagi ilmu, motivasi, dan dorongan.
4. Mbak Octaviana Erawati Fadli, S.Si yang telah memberikan pelatihan MCNP.
5. Teman-teman PHT HIMAFIS 2017, khususnya Wulan, Dza'aini, dan Berlian yang telah memberikan semangat kepada saya.
6. Ilham Syahidi dan Fahmi yang telah membantu dalam menyelesaikan program.
7. Keluarga besar Fisika FMIPA UNS, khususnya untuk angkatan 2015.

**Kajian Keselamatan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS)
terhadap Perubahan Reaktivitas Akibat Pengoperasian
Power Ramp Test Facility (PRTF) Menggunakan Perangkat Lunak MCNP6**

TUTI DWI SETYANINGSIH

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

ABSTRAK

Telah dilakukan kajian keselamatan reaktor berdasarkan perubahan reaktivitas akibat pengoperasian *Power Ramp Test Facility (PRTF)* pada reaktor RSG-GAS. Pengoperasian PRTF pada RSG-GAS disimulasikan dengan MCNP6. Bahan bakar uji UO_2 divariasi pengkayaannya sebesar 1% hingga 5% serta digerakkan dari posisi terjauh dari teras reaktor (440 mm) menuju posisi terdekatnya (0 mm) dan sebaliknya. Hasil dari simulasi MCNP6 adalah nilai k_{eff} dari setiap posisi pada masing-masing pengkayaan bahan bakar uji UO_2 . Nilai k_{eff} selanjutnya digunakan untuk menghitung perubahan reaktivitas. Hasil yang diperoleh menunjukkan pengaruh pengkayaan bahan bakar uji UO_2 , terhadap nilai k_{eff} dan nilai perubahan reaktivitas. Pada batas operasi reaktor RSG-GAS nilai penyisipan reaktivitas tidak boleh melebihi $0,5\% \frac{\Delta k}{k}$, sedangkan nilai perubahan reaktivitas maksimum yang diperoleh dari masing-masing pengkayaan secara berturut-turut sebesar $(0,04031 \pm 0,00006; 0,04935 \pm 0,00006; 0,07811 \pm 0,00007; 0,08797 \pm 0,00006; 0,08633 \pm 0,00006) \% \frac{\Delta k}{k}$. Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pengoperasian PRTF tidak mengganggu keselamatan reaktor.

Kata kunci: PRTF, RSG-GAS, MCNP6, perubahan reaktivitas, UO_2

Safety Study of Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) to Changes in Reactivity Due to Power Ramp Test Facility (PRTF) Operations Using MCNP6 Software

TUTI DWI SETYANINGSIH

Physics Departement, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Sebelas Maret University, Surakarta

ABSTRACT

A safety evaluation has been carried out based on changes in reactivity due to the Ramp Power Test Facility (PRTF) operation at the RSG-GAS reactor. The operation of PRTF on RSG-GAS is simulated with MCNP6. UO_2 test fuel enrichment is varied by 1% to 5% and moved from the position furthest from the reactor core (440 mm) to its closest position (0 mm) and vice versa. The result of the MCNP6 simulation is the k_{eff} value of each position at each UO_2 test fuel enrichment. The k_{eff} value is then used to calculate the change in reactivity. The results obtained show the effect of UO_2 test fuel enrichment on k_{eff} value and reactivity change value. At the RSG-GAS reactor operating limit, the reactivity insertion value should not exceed $0,5\% \frac{\Delta k}{k}$, while the value of the maximum reactivity changes obtained from each enrichment successively amounted to $(0,04031 \pm 0,00006; 0,04935 \pm 0,00006; 0,07811 \pm 0,00007; 0,08797 \pm 0,00006; 0,08633 \pm 0,00006) \% \frac{\Delta k}{k}$. For this study, can be concluded that the operation of the PRTF does not interfere with the safety of the reactor.

Keywords: PRTF, RSG-GAS, MCNP6, Change in Reactivity, UO_2

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat, hidayah, dan nikmat-Nya kepada penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi. Sholawat dan salam senantiasa penulis haturkan kepada Rasullulah SAW sebagai pembimbing seluruh umat manusia.

Skripsi yang disusun oleh penulis ini merupakan bagian dari syarat untuk mendapatkan gelar Sjana Sains dengan diberi judul “KAJIAN KESELAMATAN REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY (RSG-GAS) TERHADAP PERUBAHAN REAKTIVITAS AKIBAT PENGOPERASIAN *POWER RAMP TEST FACILITY* (PRTF) MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MCNP6”. terselesaikannya skripsi ini adalah suatu kebahagiaan bagi saya. Kepada berbagai pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini penulis ucapkan terimakasih. Atas bantuannya yang besar selama proses pengerjaan skripsi ini, ucapan terimakasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Drs. Suharyana, M.Sc. selaku pembimbing I
2. Dr. Fuad Anwar, S.Si, M.Si. selaku pembimbing II
3. Rekan – rekan dalam Grup Riset Teori dan Komputasi
4. Teman-teman fisika 2015

Semoga Allah SWT 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, 01 Agustus 2019

Tuti Dwi Setyaningsih

HALAMAN PUBLIKASI

Sebagian skripsi saya telah diajukan dalam Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya (SNFA) dengan judul “Perhitungan Perubahan Reaktivitas Pada Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy Akibat Pengoperasian *Power Ramp Test Facility*” diselenggarakan oleh Program Studi Ilmu Fisika Pasca Sarjana dan Alumni Ilmu Fisika Universitas Sebelas Maret di Surakarta, pada tanggal 14 September 2019.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
HALAMAN ABSTRAK.....	vii
HALAMAN ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
HALAMAN PUBLIKASI.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Batasan Masalah.....	4
1.3. Perumusan Masalah.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Reaktor RSG-GAS	6
2.2. <i>Power Ramp Test Facility</i> (PRTF)	7
2.3. Neutron dalam Reaktor.....	8
2.3.1. Sumber Neutron dalam Reaktor.....	8
2.3.2. Interaksi Neutron dengan Materi dalam Reaktor	10
2.4. Teori Difusi Neutron	12
2.5. Fungsi Dasar Keselamatan Reaktor.....	14
3.5.1. Kekritisan Reaktor atau Faktor Multiplikasi Efektif.....	14
3.5.2. Reaktivitas Reaktor	17
2.6. <i>Software Monte Carlo N-Particel</i> (MCNP).....	18
2.6.1. Deskripsi Program MCNP	18
2.6.2. File <i>Input</i> MCNP	19
2.6.3. Perhitungan Kekritisan dalam MCNP.....	20
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.2. Alat dan Bahan	22
3.3. Prosedur Penelitian.....	23
3.3.1. <i>Input</i> Geometri dan Material Penyusun	24

3.3.2. Perhitungan Fraksi Penyusun Atom UO_2	25
3.3.3. Modifikasi File <i>Input</i> RSG-GAS	27
3.4. Teknik Analisis Data	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1. Model Geometri Pin Bahan Bakar Uji (UO_2).....	28
4.2. Pengaruh Pengkayaan terhadap k_{eff}	30
4.3. Perhitungan Perubahan Reaktivitas	36
BAB V PENUTUP	39
5.1. Kesimpulan.....	39
5.2. Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN	43



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Nilai Perkiraan Parameter pada Persamaan 6 Faktor	17
Tabel 3.1. Susunan <i>Input</i> Pin Bahan Bakar Uji pada PRTF	24
Tabel 3.2. Hasil Perhitungan Fraksi Atom Penyusun UO_2	26
Tabel 4.1. Nilai Perubahan Reaktivitas Maksimum pada Setiap Variasi Pengkayaan UO_2	38

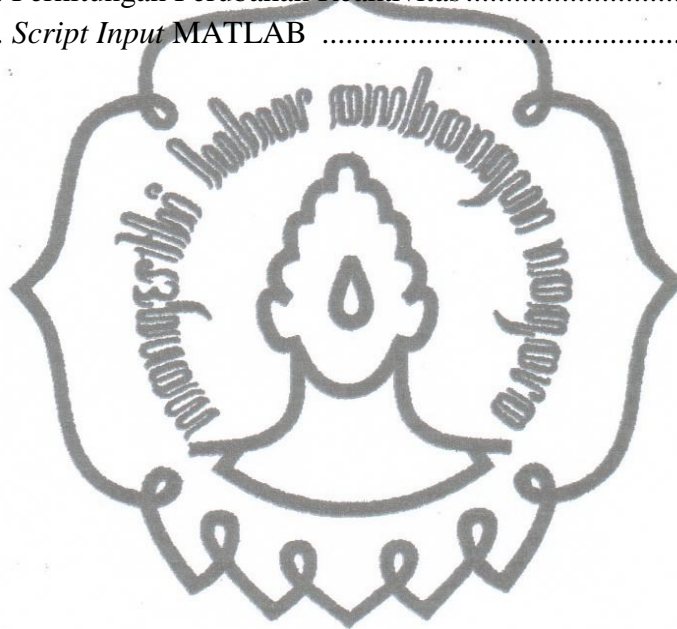


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Konfigurasi Teras Reaktor RSG-GAS	6
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	23
Gambar 3.2. Pin Bahan Bakar Tipe PWR.....	24
Gambar 3.3. Skema Kapsul PRTF	25
Gambar 4.1. Proyeksi pin bahan bakar uji UO_2 pada koordinat bidang XZ.	28
Gambar 4.2. Penyisipan Pin Bahan Bakar Uji PRTF pada Teras RSG-GAS di koordinat bidang XY pada posisi 0 mm	29
Gambar 4.3. Penyisipan Pin Bahan Bakar Uji PRFT pada Teras RSG-GAS di koordinat bidang XY pada posisi 440 mm	29
Gambar 4.4. Grafik Hubungan Antara Nilai k_{eff} terhadap Posisi	30
Gambar 4.5. Grafik Hubungan Antara Nilai k_{eff} terhadap Posisi pada Pengkayaan 1%	32
Gambar 4.6. Distribusi Fluks Neutron Termal terhadap posisi bahan bakar uji	33
Gambar 4.7. Grafik Hubungan Antara Nilai k_{eff} terhadap Posisi pada Pengkayaan 2%	34
Gambar 4.8. Grafik Hubungan Antara Nilai k_{eff} terhadap Posisi pada Pengkayaan 3%	34
Gambar 4.9. Grafik Hubungan Antara Nilai k_{eff} terhadap Posisi pada Pengkayaan 4%	35
Gambar 4.10. Grafik Hubungan Antara Nilai k_{eff} terhadap Posisi pada Pengkayaan 5%	35
Gambar 4.11. Grafik Hubungan Antara Perubahan Reaktivitas terhadap Posisi.....	37

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. <i>Input</i> dan <i>output</i> MCNP6	43
Lampiran 2. Perhitungan Fraksi Penyusun Atom UO_2	47
Lampiran 3. Nilai output k_{eff}	48
Lampiran 4. Perbandingan Nilai k_{eff} , Reaktivitas, dan Perubahan Reaktivitas	49
Lampiran 5. Perhitungan Perubahan Reaktivitas	52
Lampiran 6. <i>Script Input</i> MATLAB	53



DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan
U	uranium
UO ₂	uranium dioksida
Pu	plutonium
B	boron
α	alpha
γ	gamma
N	nitrogen
\bar{n}	neutron
Cf	kalifornium
Be	berillium
C	karbon
E	energi
Cs	caesium
Rb	rubidium
σ	tampang lintang mikroskopik
Σ	tampang lintang makroskopik
N_A	densitas material atom
k	faktor multiplikasi
k_∞	faktor multiplikasi takberhingga
k_{eff}	faktor multiplikasi efektif
ϵ	faktor fisi cepat
p	probabilitas lolos resonansi
f_k	faktor utilitas termal
η	faktor reproduksi
\mathcal{L}_f	faktor ketidakbocoran neutron cepat
\mathcal{L}_t	faktor ketidakbocoran neutron termal
P	reaktivitas
$\Delta\rho$	perubahan reaktivitas
N_0	jumlah generasi awal neutron
Pcm	<i>percentmilirho</i>
ρ	densitas material
\bar{A}	massa rata-rata atom
N_A	bilangan Avogadro