

SKRIPSI

**PERHITUNGAN KOEFISIEN REAKTIVITAS TEMPERATUR
PADA TMSR-500 MENGGUNAKAN CODE MCNP6**



Disusun oleh:

**FAHDILA RAHMA LINGGA MANIK
M0216029**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS ILMU MATEMATIKA DAN PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
OKTOBER 2020**

SKRIPSI

**PERHITUNGAN KOEFISIEN REAKTIVITAS TEMPERATUR
PADA TMSR-500 MENGGUNAKAN CODE MCNP6**

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



Disusun oleh:

**FAHDILA RAHMA LINGGA MANIK
M0216029**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS ILMU MATEMATIKA DAN PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
OKTOBER 2020**

commit to user

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

**Perhitungan Koefisien Reaktivitas Temperatur pada TMSR-500
Menggunakan Code MCNP6**

Oleh:
Fahdila Rahma Lingga Manik
M0216029

Telah disetujui oleh

Pembimbing I



Dr. Fuad Anwar, S.Si., M.Si.
NIP. 197006102000031001

Tanggal : 7 September 2020

Pembimbing II



Dr. Azizul Khakim, ST., M.Eng.
NIP. 197112241999121001

Tanggal : 6 Oktober 2020

commit to user

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul : Perhitungan Koefisien Reaktivitas Temperatur pada
TMSR-500 Menggunakan Code MCNP6

Yang ditulis oleh :

Nama : Fahdila Rahma Lingga Manik

NIM : M0216029

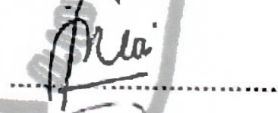
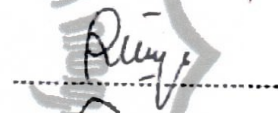
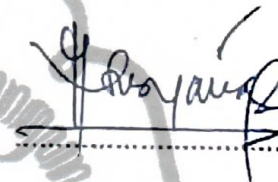
Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada

Hari : Rabu

Tanggal: 21 Oktober 2020

Dewan Penguji :

1. Ketua Penguji
Dr. Eng. Risa Suryana, S.Si., M.Si.
NIP. 197108312000031005
2. Sekretaris Penguji
Dra. Riyatun, M.Si.
NIP. 196802261994022001
3. Anggota Penguji 1
Dr. Fuad Anwar, S.Si., M.Si.
NIP. 197006102000031001
4. Anggota Penguji 2
Dr. Azizul Khakim, ST., M.Eng.
NIP. 197112241999121001



21 Oktober 2020

Disahkan pada tanggal ..1.. Desember 2020

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 “*PERHITUNGAN KOEFISIEN REAKTIVITAS TEMPERATUR PADA TMSR-500 MENGGUNAKAN CODE 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. Isi skripsi ini boleh dirujuk atau digandakan secara bebas tanpa harus memberitahu penulis.

Surakarta, 21 Oktober 2020

Fahdila Rahma Lingga Manik

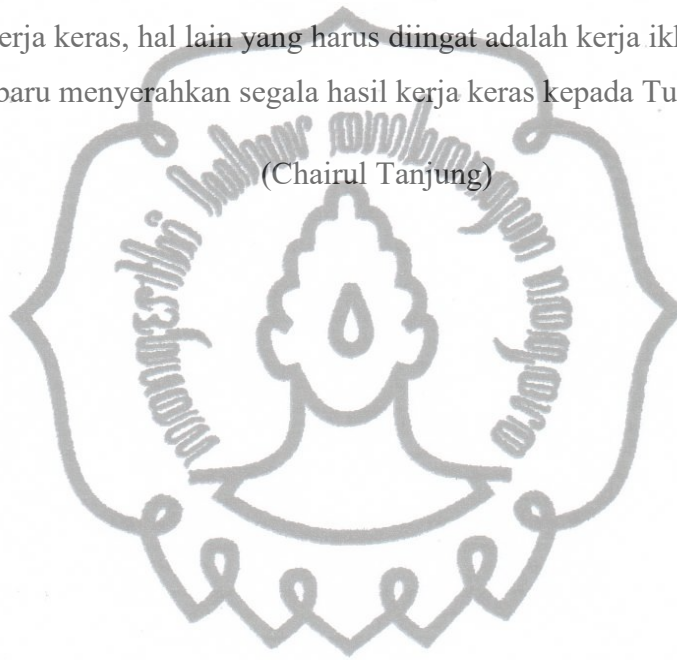
MOTTO

“Allah SWT tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya. Dia mendapat (pahala) dari (kebajikan) yang dikerjakan dan dia mendapat (siksa) dari (kejahatan) yang diperbuatnya.”

(QS. Al-Baqarah, 286)

“ Selain kerja keras, hal lain yang harus diingat adalah kerja ikhlas. Setelah itu, baru menyerahkan segala hasil kerja keras kepada Tuhan.”

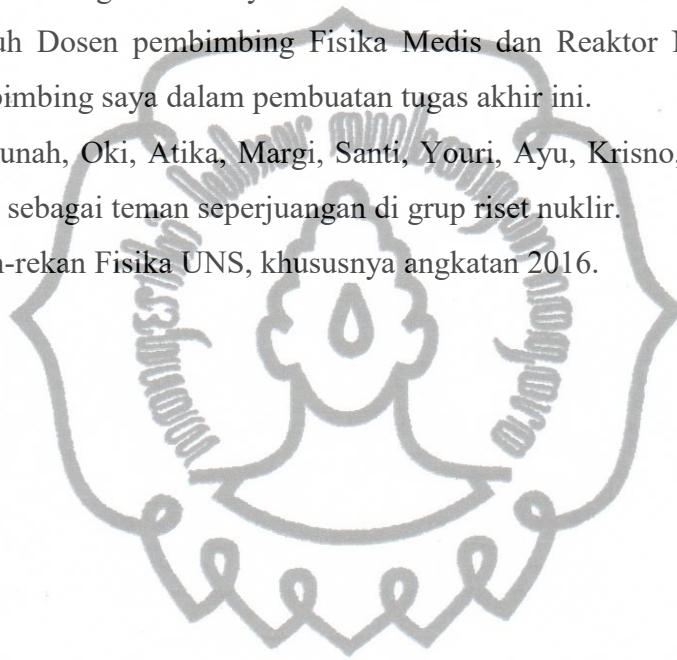
(Chairul Tanjung)



PERSEMBAHAN

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

1. Ibu, Bapak, Kakak dan seluruh keluarga besar saya atas kasih sayang, doa, dan dukungannya yang selalu diberikan untuk kelancaran kuliah dan pembuatan tugas akhir saya.
2. Seluruh Dosen pembimbing Fisika Medis dan Reaktor Nuklir yang telah membimbing saya dalam pembuatan tugas akhir ini.
3. Maimunah, Oki, Atika, Margi, Santi, Youri, Ayu, Krisno, Bibit, Shofa dan Milka sebagai teman seperjuangan di grup riset nuklir.
4. Rekan-rekan Fisika UNS, khususnya angkatan 2016.



Perhitungan Koefisien Reaktivitas Temperatur pada TMSR-500 Menggunakan Code MCNP6

FAHDILA RAHMA LINGGA MANIK

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

ABSTRAK

Koefisien reaktivitas temperatur (α_T) merupakan salah satu besaran penting untuk memprediksi keselamatan operasi reaktor jika terjadi perubahan temperatur dalam komponen-komponen reaktor. Penelitian ini fokus pada perhitungan koefisien reaktivitas temperatur pada bahan bakar, moderator, dan reflektor teras TMSR-500. Seluruh perhitungan dilakukan dengan menggunakan MCNP6 dan pustaka data nuklir energi kontinu ENDF/B-VII.1. Material bahan bakar TMSR-500 adalah larutan garam NaF-BeF₂-ThF₄-UF₄ dengan pengkayaan ²³⁵U sebesar 19,75%, serta grafit digunakan untuk material moderator dan reflektor. Temperatur reaktor divariasi pada 293,6; 600; 900; 1200; 2500 K. Seiring naiknya temperatur reaktor, nilai reaktivitas bahan bakar menurun dengan koefisien reaktivitas temperatur bahan bakar menunjukkan nilai yang negatif sebesar $(-0,00292 \pm 0,00013) \% \text{ dk/k/K}$. Koefisien reaktivitas temperatur moderator juga menunjukkan nilai yang negatif sebesar $(-0,00267 \pm 0,00017) \% \text{ dk/k /K}$, sedangkan koefisien reaktivitas temperatur reflektor menunjukkan nilai yang positif $(0,000383 \pm 0,000010) \% \text{ dk/k /K}$. Hasil yang positif disebabkan oleh pengaruh dari meningkatnya hamburan neutron yang menumbuk nuklida. Berdasarkan kajian pada koefisien reaktivitas temperatur, maka reaktor TMSR-500 berada pada kondisi selamat ditinjau dari hasil perhitungan secara keseluruhan yang menunjukkan nilai koefisien reaktivitas temperatur total yang negatif sebesar $(-0,00521 \pm 0,00031) \% \text{ dk/k /K}$.

Kata kunci : koefisien reaktivitas temperatur, TMSR-500, MCNP6

Calculation on Temperature Reactivity Coefficient of TMSR-500 using MCNP6 Code

FAHDILA RAHMA LINGGA MANIK

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

ABSTRACT

The temperature reactivity coefficient (α_T) is an important measure to predict reactor operation's safety if changing temperature occurs in reactor components. This research calculates the temperature reactivity coefficient in the fuel, moderator, and the TMSR-500 core reflector. All calculations performed using MCNP6 and continuous energy nuclear data libraries ENDF / B-VII.I. The fuel material for TMSR-500 was salt liquid of NaF-BeF₂-ThF₄-UF₄ with ²³⁵U enrichment of 19.75%, and the moderator and reflector materials made of graphite. The temperature variations in the reactor were 293.6; 600; 900; 1200; 2500 K. As the temperature in the reactor increases, the reactivity value in the fuel decreases, so that the reactivity coefficient value of the fuel temperature is negative $(-0.00292 \pm 0.00013) \% dk/k / K$. The moderator temperature reactivity coefficient also shows a negative value, which is equal to $(-0.00267 \pm 0.00017) \% dk/k / K$, while the reflector temperature reactivity coefficient shows a positive value $(0.000383 \pm 0.000010) \% dk/k / K$. The positive result is due to the effect of a scattering of neutrons hitting the nuclides. It is considered that the temperature reactivity coefficient of the TMSR-500 reactor is in a safe condition in terms of the overall calculation results, which shows that the total temperature reactivity coefficient is negative $(-0.00521 \pm 0.00031) \% dk/k / K$.

Keyword : temperature reactivity coefficient, TMSR-500, MCNP6

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 Rasullulah SAW sebagai pembimbing seluruh umat manusia.

Skripsi yang penulis susun sebagai bagian dari syarat untuk mendapatkan gelar Sjana Sains ini diberikan judul “*PERHITUNGAN KOEFISIEN REAKTIVITAS TEMPERATUR PADA TMSR-500 MENGGUNAKAN CODE 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. Kepala Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Dr. Agus Supriyanto, S.Si., M.Si.
2. Dr. Fuad Anwar, S.Si., M.Si. selaku pembimbing I
3. Dr. Azizul Khakim, ST., M.Eng. selaku pembimbing II
4. Drs. Suharyana, M.Sc. dan Dra. Riyatun, M.Si. selaku pembimbing Fisika Medis dan Reaktor Nuklir
5. Pihak BAPETEN yang telah memberi izin penggunaan fasilitas superkomputer dan *software* MCNP6
6. Rekan – rekan dalam Grup Teori dan Komputasi

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, 21 Oktober 2020

Fahdila Rahma Lingga Manik

commit to user

HALAMAN PUBLIKASI

Sebagian skripsi saya telah dipresentasikan dalam *International Conference on Advance Material for Better Future (ICAMBF)* berjudul “Safety analysis TMSR-500 in terms of the temperature reactivity coefficient of the fuel and the moderator using the MCNP6 software” pada tanggal 14 Oktober 2020.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
HALAMAN ABSTRAK	viii
HALAMAN ABSTRACT	ix
HALAMAN KATA PENGANTAR	x
HALAMAN PUBLIKASI	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Batasan Masalah	5
1.3. Perumusan Masalah.....	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. <i>Thorium Molten Salt Reactor (TMSR-500)</i>	7
2.2. Komponen Dasar Reaktor Nuklir (TMSR-500).....	9
2.2.1. Bahan Bakar Nuklir.....	10
2.2.2. Batang Kendali.....	12
2.2.3. Moderator.....	13
2.2.4. Reflektor.....	13
2.3. Kebolehjadian Interaksi Inti Terhadap Neutron.....	14
2.3.1. Tampang Lintang Mikroskopis (σ).....	14
2.3.2. Tampang Lintang Makroskopis (Σ).....	14
2.4. Interaksi Neutron dengan Materi.....	15
2.4.1. Reaksi Hamburan (<i>Scattering</i>).....	15
2.4.1.1. Hamburan Lenteng Sempurna (<i>Elastic</i>).....	15
2.4.1.2. Hamburan Tak Lenteng (<i>Inelastic</i>).....	15
2.4.2. Reaksi Serapan (<i>Absorption</i>).....	16

2.4.2.1. Tangkapan Radiatif.....	16
2.4.2.2. Fisi.....	16
2.5. Kritikalitas (k_{eff}), Reaktivitas (ρ), Koefisien Reaktivitas Temperatur (α_T).....	16
2.5.1. Kritikalitas (k_{eff}).....	16
2.5.2. Reaktivitas (ρ).....	17
2.5.3. Koefisien Reaktivitas Temperatur (α_T).....	18
2.6. <i>Software Monte Carlo N-Particel</i> (MCNP)	20
2.6.1. Diskripsi <i>Software</i> MCNP.....	20
2.6.2. <i>File Input</i> MCNP.....	20
2.6.3. Tally MCNP.....	22
2.6.4. Proses dan <i>Output</i> Fluks Neutron Dalam Sistem MCNP.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	24
3.2. Alat dan Bahan	24
3.3. Prosedur Penelitian.....	25
3.4. Teknik Analisis.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1. Geometri Teras TMSR-500.....	28
4.2. Nilai k_{eff} pada operasi normal TMSR-500.....	29
4.3. Koefisien Reaktivitas Temperatur.....	29
4.3.1. Koefisien Reaktivitas Temperatur Bahan Bakar.....	30
4.3.2. Koefisien Reaktivitas Temperatur Moderator.....	32
4.3.3. Koefisien Reaktivitas Temperatur Reflektor.....	34
BAB IV KESIMPULAN	36
5.1. Kesimpulan.....	36
5.2. Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Jenis <i>tally</i> standar pada MCNP	22
Tabel 3.1. Parameter core pada reaktor TMSR-500	26
Tabel 4.1. Nilai k_{eff} pada teras penuh TMSR-500	29
Tabel 4.2. Nilai k_{eff} dengan variasi temperatur bahan bakar	30
Tabel 4.3. Nilai reaktivitas dengan variasi temperatur bahan bakar	30
Tabel 4.4. Nilai k_{eff} dengan variasi temperatur moderator	32
Tabel 4.5. Nilai reaktivitas dengan variasi temperatur moderator	32
Tabel 4.6. Nilai k_{eff} dengan variasi temperatur reflektor	34
Tabel 4.7. Nilai reaktivitas dengan variasi temperatur reflektor	34

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. <i>Can Silo</i> TMSR-500	8
Gambar 2.2. Satu Modul Berisi Dua <i>Can</i> TMSR-500	8
Gambar 2.3. Dua Modul pada <i>Hall Silo</i> TMSR-500	9
Gambar 2.4. Tampang lintang teras TMSR-500	9
Gambar 2.5. Pelebaran puncak resonansi akibat Efek Doppler	19
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	25
Gambar 4.1. Geometri teras penuh TMSR-500	28
Gambar 4.2. Model bahan bakar dan moderator	28
Gambar 4.3. Perubahan reaktivitas terhadap temperatur bahan bakar	31
Gambar 4.4. Perubahan reaktivitas terhadap temperatur moderator	33
Gambar 4.5. Perubahan reaktivitas terhadap temperatur reflektor	35

DAFTAR SIMBOL

α	: alfa
B	: beta
Γ	: gamma
$\Delta\rho$: perubahan reaktivitas
ΔT	: perubahan temperatur
N	: neutron
N_m	: densitas moderator
N_f	: densitas bahan bakar
ρ	: reaktivitas
Σ	: tampang lintang makroskopis
σ	: tampang lintang mikroskopis
α_T	: koefisien reaktivitas temperatur
η	: faktor reproduksi
Φ	: fluks neutron
Φ_{F4}	: fluks output MCNP
w_f	: energi efektif yang lepas per kejadian fisi

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 <i>Input</i> dan <i>Output</i> MCNP6	44
Lampiran 2 Perhitungan Interpolasi	48
Lampiran 3 Perhitungan Densitas	49
Lampiran 4 Perhitungan Reaktivitas	51
Lampiran 5 Publikasi	53



