

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xiv
INTISARI.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah	3
I.2.1. Batasan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian	4
I.4. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1. Aplikasi Energi Nuklir untuk Eksplorasi Luar Angkasa.....	5
II.2. <i>Space Reactor</i>	6
II.3. Sistem Kendali pada <i>Space Reactor</i>	9
II.4. OpenMC	10
BAB III DASAR TEORI	14
III.1. Gama Micro Space Reactor	14
III.2. Interaksi Neutron dengan Materi	16
III.3. Material Reaktor.....	18
III.3.1. Bahan Bakar U-Th Metal.....	18
III.3.2. Pendingin Natrium	21
III.3.3. Batang Kendali B ₄ C	22
III.3.4. Reflektor Grafit	23
III.4. Multiplikasi Neutron	24
III.5. Reaktivitas.....	28



III.6. Batang Kendali.....	31
III.7. Efek Bayangan pada Batang Kendali.....	33
III.8. Faktor Pemuncakan Daya	34
III.9. Metode Monte Carlo	35
III.10. Perhitungan Kritikalitas pada Metode Monte Carlo	38
III.11. Perhitungan <i>Tally</i> pada OpenMC.....	39
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN	40
IV.1. Alat dan Bahan Penelitian.....	40
IV.2. Tata Laksana Penelitian	40
IV.2.1. Batasan Sistem dan Objek Control Volume	41
IV.2.2. Penyusunan Model Reaktor	42
IV.2.3. Penentuan Parameter Simulasi.....	48
IV.2.4. Simulasi Penentuan <i>Ring</i> Batang Kendali Optimum.....	49
IV.2.5. Simulasi Penentuan Reaktivitas Lebih	49
IV.2.6. Simulasi Penentuan <i>Fuel Temperature Coefficient</i>	49
IV.2.7. Simulasi dengan Variasi Persentase Batang Kendali Masuk.....	50
IV.2.8. Perhitungan Nilai <i>Fuel Temperatur Coefficient</i>	50
IV.2.9. Perhitungan Nilai <i>Control Rod Worth</i>	51
IV.2.10. Plot Distribusi Densitas Pembangkitan Daya	51
IV.2.11. Perhitungan Nilai <i>Power Peaking Factor</i>	52
IV.3. Rencana Analisis Hasil Penelitian	52
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
V.1. Posisi Optimum Perangkat Batang Kendali	53
V.2. Nilai Reaktivitas Lebih	61
V.3. Nilai <i>Fuel Temperature Coefficient</i> (FTC)	61
V.4. Nilai Reaktivitas Batang Kendali (<i>Control Rod Worth</i>)	64
V.5. Distribusi Densitas Pembangkitan Daya	68
V.6. Nilai Faktor Pemuncakan Daya (<i>Power Peaking Factor</i>)	74
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	76
VI.1. Kesimpulan	76
VI.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78





UNIVERSITAS
GADJAH MADA

**PENGARUH POSISI BATANG KENDALI TERHADAP CONTROL ROD WORTH PADA GAMA-MICRO
SPACE REACTOR**

Petrus Kurniawan Kleden, Dr.-Ing. Ir. Kusnanto, IPU. ; Dr. Ir. Alexander Agung, S.T., M.Sc., IPU.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

LAMPIRAN A-1 PROGRAM MODELING REAKTOR (master.py)	86
LAMPIRAN A-2 PROGRAM MENJALANKAN SIMULASI (runner.py).....	99
LAMPIRAN A-3 PROGRAM VARIASI SIMULASI.....	102
LAMPIRAN B-1 PERHITUNGAN NILAI PPF	104



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi beberapa desain <i>space reactor</i> [9].....	7
Tabel 2.2 Spesifikasi <i>space reactor</i> berbasis PWR [10].....	7
Tabel 2.3 Konfigurasi material GAMA-SHP [11].....	8
Tabel 4.1 Parameter desain umum Gama Micro Space Reactor.....	42
Tabel 4.2 Parameter material bahan bakar.....	46
Tabel 4.3 Parameter material grafit.....	46
Tabel 4.4 Parameter material natrium cair (<i>saturated liquid</i>).....	46
Tabel 4.5 Parameter material natrium gas (<i>saturated vapor</i>).....	47
Tabel 4.6 Parameter material silikon karbida.....	47
Tabel 4.7 Parameter material argon.....	47
Tabel 4.8 Parameter material boron karbida.....	47
Tabel 5.1 Nilai reaktivitas terhadap <i>insertion depth</i> pada setiap <i>ring</i>	58
Tabel 5.2 Nilai reaktivitas terhadap temperatur bahan bakar.....	62
Tabel 5.3 Nilai teaktivitas terhadap posisi batang kendali.....	64
Tabel 5.4 Nilai PPF Gama Micro Space Reactor.....	74



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Desain reaktor SNAP-10A [4]	6
Gambar 4.1 Diagram alir pelaksanaan penelitian	40
Gambar 4.2 <i>Cotrol volume</i> penelitian	41
Gambar 4.3 Keterangan warna material.....	43
Gambar 4.4 Geometri batang bahan bakar tampak atas (XY)	43
Gambar 4.5 Geometri batang kendali tampak atas (XY).....	44
Gambar 4.6 Geometri reaktor tampak atas (XY).....	45
Gambar 4.7 Geometri reaktor tampak samping (XZ)	45
Gambar 4.8 Konvergensi simulasi neutronik dengan <i>shannon entropy</i>	48
Gambar 5.1 Kurva reaktivitas batang kendali pada <i>ring 2</i>	53
Gambar 5.2 kurva reaktivitas batang kendali pada <i>ring 3</i>	54
Gambar 5.3 Kurva reaktivitas batang kendali pada <i>ring 4</i>	54
Gambar 5.4 Kurva reaktivitas batang kendali pada <i>ring 5</i>	55
Gambar 5.5 Kurva reaktivitas batang kendali pada <i>ring 6</i>	55
Gambar 5.6 Kurva reaktivitas batang kendali pada <i>ring 7</i>	56
Gambar 5.7. Kurva reaktivitas batang kendali pada <i>ring 8</i>	56
Gambar 5.8 Kurva perbandingan reaktivitas batang kendali tiap variasi <i>ring</i>	57
Gambar 5.9 Geometri reaktor tampak atas (XY) hasil optimasi.....	61
Gambar 5.10 Pengaruh Nilai Reaktivitas terhadap Temperatur Bahan Bakar.....	63
Gambar 5.11 Kurva reaktivitas integral BK1	65
Gambar 5.12 Kurva reaktivitas integral BK2	66
Gambar 5.13 Kurva reaktivitas diferensial BK1	67
Gambar 5.14 Kurva reaktivitas diferensial BK2.....	67
Gambar 5.15 Distribusi densitas pembangkitan daya radial konfigurasi 1.....	68
Gambar 5.16 Distribusi perbedaan densitas pembangkitan daya radial konfig. 1	68
Gambar 5.17 Distribusi densitas pembangkitan daya aksial konfigurasi 1	69
Gambar 5.18 Distribusi perbedaan densitas pembangkitan daya aksial konfig 1.	69
Gambar 5.19 Distribusi densitas pembangkitan daya radial konfigurasi 2.....	70





Gambar 5.20 Distribusi perbedaan densitas pembangkitan daya radial konfig 2 .	70
Gambar 5.21 Distribusi densitas pembangkitan daya aksial konfigurasi 2	71
Gambar 5.22 Distribusi perbedaan densitas pembangkitan daya aksial konfig 2 .	71
Gambar 5.23 Distribusi densitas pembangkitan daya radial konfigurasi 3.....	72
Gambar 5.24 Distribusi perbedaan densitas pembangkitan daya radial konfig 3 .	72
Gambar 5.25 Distribusi densitas pembangkitan daya aksial konfigurasi 3	73
Gambar 5.26 Distribusi perbedaan densitas pembangkitan daya aksial konfig 3 .	73



DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang Romawi

<i>Lambang</i>	<i>Kuantitas</i>	<i>Satuan</i>
k	Faktor multiplikasi	-
l	Jarak bebas rata-rata	cm
n	Densitas neutron	-
N	Densitas atom	atom/cm ³
P_{NL}	<i>Non-leakage probability</i>	-
p	<i>Resonance escape probability</i>	-
P'''	Densitas daya	W/m ³

Lambang Yunani

<i>Lambang</i>	<i>Kuantitas</i>	<i>Satuan</i>
α_T	<i>Temperature coefficient</i>	$\Delta k/k$ °C
ε	<i>Fast fission factor</i>	-
η	<i>Reproduction factor</i>	-
θ	Sudut polar	-
Σ	Tampang lintang makroskopik	cm ⁻¹
σ	Tampang lintang mikroskopik	barn (10 ⁻²⁴ cm ²)
ρ	Reaktivitas	$\Delta k/k$
ω	Sudut azimut	-



Subskrip

<i>Lambang</i>	<i>Deskripsi</i>
eff	efektif
max	maksimum
avg	rata-rata

Singkatan

AMTEC	<i>Alkali Metal Thermal-to-Electric Conversion</i>
BOL	<i>Beginning of Life</i>
DCRW	<i>Differential Control Rod Worth</i>
EPR	<i>European Pressurised Reactor</i>
FTC	<i>Fuel Temperature Coefficient</i>
HALEU	<i>High Assay Low Enriched Uranium</i>
HEU	<i>Highly Enriched Uranium</i>
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>
ICRW	<i>Integral Control Rod Worth</i>
ISR	<i>Indonesian Space Reactor</i>
LWR	<i>Light-water reactor</i>
MOX	<i>Mixed-Oxide Fuel</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NEP	<i>Nuclear Electric Propulsion</i>
NTP	<i>Nuclear Thermal Propulsion</i>
PBB	Perserikatan Bangsa-Bangsa
PPF	<i>Power Peaking Factor</i>





UNIVERSITAS
GADJAH MADA

PENGARUH POSISI BATANG KENDALI TERHADAP CONTROL ROD WORTH PADA GAMA-MICRO SPACE REACTOR

Petrus Kurniawan Kleden, Dr.-Ing. Ir. Kusnanto, IPU. ; Dr. Ir. Alexander Agung, S.T., M.Sc., IPU.

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

PWR	<i>Pressurized Water Reactors</i>
RHUs	<i>Radioisotope Heater Units</i>
RTGs	<i>Radioisotope Thermoelectric Generators</i>
TEGs	<i>Thermoelectric Generators</i>
UN	<i>United Nation</i>

