

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN OPERATOR	xviii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Kerangka dan Ruang Lingkup	4
1.2.1 Kerangka Penelitian	4
1.2.2 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.3 Rumusan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5

1.5	Metode Pengumpulan Data	5
1.6	Sistematika Penulisan	6
2	TEORI DASAR	7
2.1	Reaktor Nuklir	7
2.2	<i>Molten Salt Reactor (MSR)</i>	10
2.3	SMRs (<i>Small Modular Reactor</i>)	12
2.4	FUJI	13
2.5	Bahan Bakar Thorium	14
2.6	Penampang Lintang	15
2.7	Faktor Multiplikasi	16
2.8	Reaktivitas	17
2.9	Persamaan Difusi	18
2.10	<i>Buckling</i>	20
2.11	<i>Conversion Ratio</i>	21
2.12	<i>Linear Power Rating</i>	23
2.13	SRAC (<i>Standard Thermal Reactor Analysis</i>)	23
3	METODE PENELITIAN	26
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	26
3.3	Prosedur Penelitian	26
3.3.1	Desain Reaktor Garam Cair	26
3.3.2	Bahan Bakar Modular FUJI	28
3.3.3	Perhitungan Neutronik dengan SRAC	34
4	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Reaktor Garam Cair dengan Bahan Bakar Uranium-Thorium	39
4.2	Reaktor Garam Cair dengan Bahan Bakar Plutonium-Thorium	46
4.2.1	Reaktor Garam Cair dengan Bahan Bakar <i>Grade Plutonium-Thorium</i>	46
4.2.2	Reaktor Garam Cair dengan Bahan Bakar <i>Weapon Grade Plutonium-Thorium</i>	52
4.2.3	Reaktor Garam Cair dengan Bahan Bakar <i>Super Grade Plutonium-Thorium</i>	58
4.2.4	Studi Bahan Bakar Uranium-Thorium dan Plutonium-Thorium	63

5 PENUTUP	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	68



DAFTAR GAMBAR

2.1	Molten Salt Reactor (Caouris <i>et al.</i> , 2012)	11
2.2	Reaktor Garam Cair FUJI (Subki & Reitsma, 2014)	14
2.3	Rantai Peluruhan Thorium (Okumura, 2007)	15
2.4	Grafik Faktor Multiplikasi Neutron (Duderstadt, 1976)	17
2.5	Konsep Keseimbangan Neutron (Duderstadt, 1976)	19
2.6	Rantai Alur isotop untuk Thorium dan Uranium	22
2.7	Diagram Perhitungan Neutronik Pada Srac (Okumura, 2007)	25
3.1	Konfigurasi Teras Modular FUJI secara Vertikal (Mitachi <i>et al.</i> , 2007)	27
3.2	Geometri sel bahan bakar heksagonal	29
3.3	Diagram Alir Penelitian	35
4.1	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 1</i> dengan bahan bakar Uranium-Thorium	39
4.2	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 2</i> dengan bahan bakar Uranium-Thorium	40
4.3	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 3</i> dengan bahan bakar Uranium-Thorium	41
4.4	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi Uranium-Thorium selama 15 tahun pada <i>Core 1</i>	42
4.5	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi Uranium-Thorium selama 15 tahun pada <i>Core 2</i>	42
4.6	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi Uranium-Thorium selama 15 tahun pada <i>Core 3</i>	43
4.7	Rasio konversi pada setiap variasi komposisi Uranium-Thorium se- lama 15 tahun pada <i>Core 1</i>	43
4.8	Rasio konversi pada setiap variasi komposisi Uranium-Thorium se- lama 15 tahun pada <i>Core 2</i>	44

4.9	Rasio konversi pada setiap variasi komposisi Uranium-Thorium selama 15 tahun pada <i>Core 3</i>	45
4.10	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 1</i> dengan bahan bakar <i>Grade Plutonium-Thorium</i>	46
4.11	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 2</i> dengan bahan bakar <i>Grade Plutonium-Thorium</i>	47
4.12	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 3</i> dengan bahan bakar <i>Grade Plutonium-Thorium</i>	48
4.13	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi <i>Grade Plutonium-Thorium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 1</i>	49
4.14	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi <i>Grade Plutonium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 2</i>	49
4.15	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi <i>Grade Plutonium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 3</i>	50
4.16	Rasio konversi pada setiap variasi bahan bakar <i>Grade Plutonium-Thorium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 1</i>	50
4.17	Rasio konversi pada setiap variasi bahan bakar <i>Grade Plutonium-Thorium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 2</i>	51
4.18	Rasio konversi pada setiap variasi bahan bakar <i>Grade Plutonium-Thorium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 3</i>	52
4.19	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 1</i> dengan bahan bakar <i>Weapon Grade Plutonium-Thorium</i>	53
4.20	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 2</i> dengan bahan bakar <i>Weapon Grade Plutonium-Thorium</i>	54
4.21	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 3</i> dengan bahan bakar <i>Weapon Grade Plutonium-Thorium</i>	54
4.22	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi <i>Weapon Grade Plutonium-Thorium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 1</i>	55
4.23	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi <i>Weapon Grade Plutonium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 2</i>	55
4.24	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi <i>Weapon Grade Plutonium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 3</i>	56
4.25	Rasio konversi pada setiap variasi bahan bakar <i>Weapon Grade Plutonium-Thorium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 1</i>	56
4.26	Rasio konversi pada setiap variasi bahan bakar <i>Weapon Grade Plutonium-Thorium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 2</i>	57

4.27	Rasio konversi pada setiap variasi bahan bakar <i>Weapon Grade Plutonium-Thorium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 3</i>	57
4.28	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 1</i> dengan bahan bakar <i>Super Grade Plutonium-Thorium</i>	58
4.29	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 2</i> dengan bahan bakar <i>Super Grade Plutonium-Thorium</i>	59
4.30	Perubahan faktor multiplikasi efektif selama 15 tahun pada <i>Core 3</i> dengan bahan bakar <i>Super Grade Plutonium-Thorium</i>	59
4.31	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi Super Grade Plutonium selama 15 Tahun pada <i>Core 2</i>	60
4.32	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi Super Grade Plutonium selama 15 tahun pada <i>Core 2</i>	60
4.33	Reaktivitas pada setiap variasi komposisi Super Grade Plutonium selama 15 tahun pada <i>Core 3</i>	61
4.34	Rasio konversi pada setiap variasi bahan bakar <i>Weapon Grade Plutonium-Thorium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 1</i>	61
4.35	Rasio konversi pada setiap variasi bahan bakar <i>Weapon Grade Plutonium-Thorium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 2</i>	62
4.36	Rasio konversi pada setiap variasi bahan bakar <i>Weapon Grade Plutonium-Thorium</i> selama 15 tahun pada <i>Core 3</i>	63
4.37	Perbandingan faktor multiplikasi efektif pada tiga daerah teras reaktor	64
4.38	Perbandingan Faktor Multiplikasi Efektif pada Ketiga Kelas Bahan Bakar Plutonium	65

DAFTAR TABEL

2.1	Karakteristik Reaktor Generasi IV (Kirillov & Bogoslovskaya, 2019)	10
2.2	<i>Molten Salt Small Modular Reactors</i> (Lokhov <i>et al.</i> , 2016)	13
3.1	Spesifikasi Desain Perakitan Modular FUJI (Mitachi <i>et al.</i> , 2007)	28
3.2	Perbandingan Fraksi Volume dan Radius Bahan Bakar pada Masing - Masing Teras Reaktor (Mitachi <i>et al.</i> , 2007)	29
3.3	Komposisi Setiap Nuklida pada Bahan Bakar <i>Uranium-Thorium</i>	30
3.4	Komposisi Setiap Isotop Plutonium pada Bahan Bakar	31
3.5	Komposisi Setiap Nuklida pada Bahan Bakar <i>Grade Plutonium</i>	32
3.6	Komposisi Setiap Nuklida pada Bahan Bakar <i>Weapon-Grade Plutonium</i>	33
3.7	Komposisi Setiap Nuklida pada Bahan Bakar <i>Super Grade Plutonium</i>	34

DAFTAR SINGKATAN

AGR	: <i>Advanced Gas-cooled Reactor</i>
AMSB	: <i>Accelerator Molten Salt Breeder</i>
ARE	: <i>Aircraft Reactor Experiment</i>
BWR	: <i>Boiling Water Reactor</i>
CAWB	: <i>Copenhagen Atomic Waste Burner</i>
CMSR	: <i>Compact Molten Salt Reactor</i>
GFR	: <i>Gas-cooled Fast Reactor</i>
HWR/CANDU	: <i>Heavy Water Reactor</i>
IAEA	: <i>International Atomic Energy Agency</i>
IMSR	: <i>Integral Molten Salt Reactor</i>
ITMSF	: <i>International Thorium Molten-Salt Forum</i>
JAERI	: <i>Japan Atomic Energy Research Institute</i>
LFR	: <i>Lead-cooled Fast Reactor</i>
LFTR	: <i>Liquid Fluoride Thorium Reactor</i>
MCSFR	: <i>Molten Chloride Salt Fast Reactor</i>
Mk1 PB-FHR	: <i>Mark 1 Pebble-bed Fluoride-salt-cooled High-temperature Reactor</i>
MPa	: <i>Mega Pascal</i>
MSR	: <i>Molten Salt Reactor</i>
MWe	: <i>Megawatt of Electrical output</i>
MWt	: <i>Megawatt of thermal output</i>
PDS	: <i>Partitioned Data Set</i>
PLTN	: <i>Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir</i>
PHWR	: <i>Pressurized Heavy-Water Reactor</i>
PWR	: <i>Pressurized Water Reactor</i>
RBMR	: <i>Recycling Molecular Beam Reactor</i>

- SCWR : *Supercritical Water-cooled Reactor*
SFR : *Sodium-cooled Fast Reactor*
SMRs : *Small Modular Reactor*
SOR : *Successive Over Relation*
SRAC : *System Reactor Atomic Core*
VVER : *Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reactor*
VTHR : *Very High Temperature Reactor*
ORNL : *Oak Ridge National Laboratory*



DAFTAR SIMBOL DAN OPERATOR

σ	: Penampang Lintang Mikroskopik
R_b	: Laju dari partikel <i>outgoing</i>
I_α	: Jumlah dari partikel <i>incoming</i> persatuan waktu
N_A	: Jumlah inti target persatuan luas
Σ	: Penampang Lintang Makroskopik
N_d	: Densitas Atom
N	: Jumlah Neutron
k	: Faktor Multiplikasi
ρ	: Reaktivitas
α_T	: Koefisien Reaktivitas Temperatur
T	: Temperatur
u	: Kecepatan aliran
ϕ	: Fluks Neutron
t	: Waktu
D	: Koefisien Difusi
∇	: Operator Nabla
r	: Menunjukkan arah radial
Σ_a	: Suku Penyerapan
$v\sigma_f$: Probabilitas terjadinya reaksi fisi setiap detik
S	: Sumber Neutron
g	: Menyatakan grup
Σ_i	: Penampang lintang makroskopik pada jenis reaksi i
χ_g	: Probabilitas neutron muncul dari hasil fisi dengan energi grup g
β	: konsentrasi <i>delay neutron</i>
z	: Menyatakan arah tinggi teras
λ	: Konstanta Peluruhan

B_g	:	<i>Buckling Geometri</i>
B_m	:	<i>Buckling Material</i>
L	:	Luas Difusi
H	:	Tinggi Teras
$C.R$:	<i>Conversion Ratio</i>
FP	:	Jumlah material fisil yang diproduksi
FD	:	Jumlah material fisil yang dihasilkan
q_{ave}	:	Rata-rata daya
q_{th}	:	Daya termal
LPR	:	<i>Linear power rating</i>
A_{sel}	:	Luas dari sel bahan bakar

