

## DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.2.1 Bagaimanakah desain reaktor kecil berumur panjang dan analisis yang dikaji dengan program SRAC? .....	3
1.2.2 Strategi apa yang dilakukan sehingga reaktor berumur operasi panjang tanpa proses <i>refuling</i> maupun <i>resuffling</i> ? .....	3
1.2.3 Bagaimana strategi yang dilakukan sehingga reaktor tepat kritis selama periode <i>burnup</i> yang lama?.....	3
1.2.4 Bagaimana strategi yang dilakukan agar daya merata di semua bagian teras?.....	3
1.3 Pembatasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3

1.5	Metode Pengumpulan Data .....	4
1.5.1	Studi Literatur .....	4
1.5.2	Pemodelan Teras dan Perhitungan Neutronik Pada Program SRAC .....	4
1.5.3	Survey Parameter .....	4
1.6	Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....		6
2.1	Klasifikasi Reaktor Nuklir.....	6
2.2	Reaktor Air Bertekanan.....	7
2.3	<i>Small Modular Reactors (SMRs)</i> .....	12
2.4	Reaktor SMART.....	12
2.5	Thorium dalam Reaktor.....	13
2.6	<i>Small Modular Reactors</i> Berbahan Bakar Thorium.....	17
2.7	Faktor multiplikasi dan Reaktivitas.....	18
2.8	Penampang Lintang Nuklir .....	19
2.8.1	Penampang Lintang Mikroskopik ( $\sigma$ ).....	19
2.8.2	Penampang Lintang Makroskopik ( $\Sigma$ ). .....	20
2.9	Analisis Neutronik Reaktor.....	20
2.9.1	Penyelesaian Persamaan Difusi Multigrup Silinder Dua Dimensi. .....	22
2.10	Analisa <i>Burnup</i> pada Teras .....	24
2.11	Distribusi Daya Teras .....	25
2.12	Rasio Konversi Bahan Bakar Reaktor.....	25
2.13	<i>Burnable Poison</i> .....	27
2.14	Faktor Distribusi Daya .....	27
BAB III METODE PENELITIAN.....		29
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	30

3.2	Alat dan Bahan .....	30
3.3	Prosedur Penelitian .....	30
3.3.1	Mendesain Reaktor .....	30
3.3.2	Pemodelan Sel Bahan Bakar .....	31
3.3.3	Survey Parameter .....	32
3.3.4	Spesifikasi Desain Teras .....	37
3.4	Diagram Alir .....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		42
4.1	Menentukann Elemen Bahan Bakar .....	43
4.2	Pengaruh Perubahan Fraksi Volume Bahan Bakar .....	54
4.3	Pemilihan Geometri Sel Bahan Bakar .....	57
4.4	Studi Densitas Daya untuk Teras Heterogen Model Silinder R-Z .....	59
4.5	Densitas Daya untuk Teras Heterogen Model Tiga Dimensi X-Y-Z .....	61
BAB V PENUTUP .....		67
5.1	Kesimpulan .....	67
5.2	Saran .....	67
DAFTAR PUSTAKA .....		68
LAMPIRAN .....		I

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Reaktor Air Tekan (Stacey, 2001) .....	9
<b>Gambar 2.2</b> <i>Pressurized</i> (Penekan) reaktor air tekan (Kanasih, 2007) .....	11
<b>Gambar 2.3</b> Teras Reaktor SMART (Park, 2011) .....	13
<b>Gambar 2.4</b> Rantai Thorium (Okumura dkk., 2007) .....	14
<b>Gambar 2.5</b> Gambar yang menunjukkan tampang lintang serap dan fisi dari isotop Th-232 (Penny, 2010) .....	15
<b>Gambar 2.6</b> Gambar yang menunjukkan tampang lintang serap dan fisi dari isotop Pu-239 (Penny, 2010) .....	16
<b>Gambar 2.7</b> Skema hirarki penampang lintang mikroskopik (Kanasih, 2007) ..	19
<b>Gambar 3.1</b> Geometri sel bahan bakar (a). <i>square</i> (b). <i>hexagonal</i> .....	31
<b>Gambar 3.2</b> Pembagian region x .....	32
<b>Gambar 3.3</b> Konfigurasi bahan bakar reaktor heterogen Silinder R-Z.....	37
<b>Gambar 3.4</b> Konfigurasi bahan bakar reaktor heterogen XYZ 3D arah X dan Y 38	
<b>Gambar 3.5</b> Konfigurasi bahan bakar reaktor heterogen XYZ 3D arah Z .....	39
<b>Gambar 3.6</b> Konfigurasi teras reaktor SMART (Park, 2011).....	40
<b>Gambar 3.7</b> Diagram alir penelitian .....	41
<b>Gambar 4.1</b> Faktor multiplikasi efektif dan hubungannya dengan fraksi bahan bakar untuk elemen bakar $UO_2$ dan $(Th-U)O_2$ .....	43
<b>Gambar 4.2</b> Perubahan k-eff selama periode <i>burnup</i> untuk bahan bakar thorium oksida, thorium karbida, dan thorium nitrida.....	44
<b>Gambar 4.3</b> Perubahan k-eff selama periode <i>burnup</i> untuk bahan bakar thorium oksida dengan racun bahan bakar Pa-231 dan Np-237 .....	46
<b>Gambar 4.4</b> Perubahan k-eff (a) pada awal operasi reaktor (BOL) dan (b) pada akhir operasi reaktor (EOL), untuk bahan setiap bahan bakar dengan penambahan racun bahan bakar Pa-231 .....	47
<b>Gambar 4.5</b> Perubahan k-eff selama periode <i>burnup</i> untuk bahan bakar thorium oksida dengan penambahan racun bahan bakar Pa-231 .....	48
<b>Gambar 4.6</b> Perubahan k-eff pada bahan bakar thorium oksida dengan penambahan racun bahan bakar Np-237 dan Pa-231 .....	49

<b>Gambar 4.7</b> Perubahan k-eff selama operasi reaktor pada bahan bakar thorium oksida dengan penambahan racun bahan bakar Pa-231 .....	50
<b>Gambar 4.8</b> Rasio konversi bahan bakar ThN dengan pengkayaan bahan fisil 3% selama periode <i>burnup</i> .....	52
<b>Gambar 4.9</b> Perubahan densitas nuklida selama operasi reaktor untuk bahan bakar ThN 3% U-233 0.4% Pa-231 .....	53
<b>Gambar 4.10</b> Keterdapatannya beberapa nuklida baru hasil berbagai reaksi dalam teras reaktor nuklir untuk bahan bakar ThN 3% U-233 0.4% Pa-231 .....	54
<b>Gambar 4.11</b> Perubahan k-eff selama operasi reaktor untuk beberapa fraksi volume bahan bakar oleh bahan bakar ThN 5% U-233 1.44% Pa-231 .....	55
<b>Gambar 4.12</b> Perubahan faktor multiplikasi Efektif untuk bahan bakar ThN 5% U-233 1.44% Pa-231 .....	56
<b>Gambar 4.13</b> Perbedaan k-eff selama operasi reaktor untuk pada bahan bakar ThN 5% U-233 1.44 % Pa-231 untuk 65% Fraksi Bahan Bakar .....	57
<b>Gambar 4.14</b> Perbedaan k-eff selama operasi reaktor untuk pada bahan bakar ThO <sub>2</sub> 3% U-233 1.2% Pa-231 untuk tipe geometri <i>Square</i> dan <i>Hexagonal</i> dengan diameter pin bahan bakar yang sama. ....	58
<b>Gambar 4.15</b> Sebaran densitas daya untuk (a) arah radial dan (b) arah aksial pada teras dengan model silinder R-Z .....	60
<b>Gambar 4.16</b> Sebaran densitas daya untuk (a) arah-x (b) arah-y pada teras dengan model 3D X-Y-Z .....	62
<b>Gambar 4.17</b> Sebaran densitas daya untuk arah-z teras geometri 3D X-Y-Z .....	63
<b>Gambar 4.18</b> Nilai faktor daya pada teras model X-Y-Z heterogen untuk (a) arah-x dan (b) arah-y .....	64
<b>Gambar 4.19</b> Nilai faktor daya pada teras model X-Y-Z heterogen untuk arah-z .....	64
<b>Gambar 4.20</b> Perubahan komposisi nuklida fisil (U-233) dan fertil (Th-232) selama operasi reaktor .....	66

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Tampang Lintang Tangkap dan Tampang Lintang Fisi untuk Neutron Termal dalam Barns. ....	16
<b>Tabel 2.2</b> Rasio Konversi dan Pemiakan dalam Beberapa Sistem Reaktor (Deuderstrad & Hamilton, 1976) .....	26
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Desain Reaktor.....	30
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi Komposisi Bahan Bakar .....	33
<b>Tabel 3.3</b> Karakteristik Komposisi Bahan Bakar .....	33
<b>Tabel 3.4</b> Komposisi Bahan Bakar Thorium.....	34
<b>Tabel 3.5</b> Karakteristik Struktur <i>Cladding</i> .....	34
<b>Tabel 3.6</b> Spesifikasi Fraksi Volume yang Digunakan untuk <i>Square Cells</i> .....	35
<b>Tabel 3.7</b> Spesifikasi Fraksi Volume yang Digunakan untuk Sel Persegi ( <i>Square</i> ) dengan Jari-Jari Bahan Bakar ( $R_f$ ) Tetap.....	36
<b>Tabel 4.1</b> Komposisi Bahan Fisil dan racun bahan bakar untuk bahan bakar ThN, ThO <sub>2</sub> dan ThC dengan hasil K-eff sampai mendekati 1 .....	51
<b>Tabel 4.2</b> Spesifikasi Teras untuk Pemodelan Silinder R-Z.....	59
<b>Tabel 4.3</b> Spesifikasi Teras untuk Pemodelan Tiga Dimensi X-Y-Z.....	61
<b>Tabel 4.4</b> Nilai Faktor Puncak Daya Maksimum (Ppf) Teras Model X-Y-Z.....	65
<b>Tabel 4.5</b> Beberapa Informasi Selama 12 Tahun Operasi Reaktor pada Teras Homogen 4.8% U-233 0.8% Pa-231 Model 3D X-Y-Z.....	65