

DESAIN NEUTRONIK

PRESSURIZED WATER REACTOR (PWR)

BERBASIS BAHAN BAKAR THORIUM DAN MOX (*MIXED OXIDE FUEL*)

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains Bidang Studi Fisika



Oleh :

ANISA NUR AZIZAH

NIM.08021281419029

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2017

LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN NEUTRONIK PRESSURIZED WATER REACTOR (PWR)
BERBASIS BAHAN BAKAR THORIUM DAN MOX (MIX OXIDE FUEL)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains Bidang Studi Fisika

Oleh :

ANISA NUR AZIZAH

NIM. 08021281419029

Inderalaya, Desember 2017

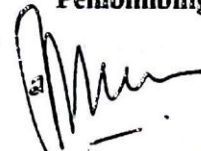
Pembimbing II



Dr. Supardi, S.Pd., M.Si.

NIP. 197112112002121002

Pembimbing I



Dr. Menik Ariani, M.Si.

NIP. 197211252000122001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Octavianus Cakra Satya, M.T.

NIP. 196510011991021001

LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ASSALAMUALAIKUM,

“Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri” (Qs. Ar-Ra’d : 11)

“Titik awal semua prestasi adalah keinginan” (Napoleon Hill)

Skripsi ini kupersembahkan kepada:

- **Motivator hidupku, kedua orangtuaku**
(ayahanda Muhammad Amin (Alm) dan ibunda Lis Djulaidah)
- **Penyemangatku, Saudaraku**
(kakakku Muhammad Nurdiansyah dan adikku Intan Nur Permata Sari)
- **Almamater-ku**
(Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya),
- **Dan semua pihak yang telah membantu selama ini**
(Dosen & staf jurusan Fisika, teman, dan keluarga besar).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai tugas akhir program sarjana strata satu. Penelitian ini berjudul **“Desain Neutronik *Pressurized Water Reactor* (PWR) Berbasis Bahan Bakar Thorium dan MOX (*Mixed Oxide Fuel*)”** yang dilaksanakan di Laboratorium Fisika Komputasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan skripsi, penulis banyak mendapatkan bantuan dari semua pihak sehingga selesai dengan baik. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada kedua orang tua, dan adik yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan kepada saya.
2. Ibu Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan serta waktu dalam membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Supardi, S.Pd. M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan dan pengarahan dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Drs. Octavianus Cakra Satya, M.T., Bapak Drs. Ramlan, M.Si., dan Ibu Dr. Erry Koriyanti, S.Si., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukkannya.
5. Bapak Drs. Octavianus Cakra Satya, M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
6. Bapak, Ibu dosen dan staf administrasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
7. Teman-teman jurusa Fisika angkatan-2014 yang tidak dapat disebut satu persatu.
8. Teman-teman seperjuangan KBI ELINKOM-Nuklir Abdurrahman, Novaldan, Elza, Purwati, Luthfia, Fatiyah, Hartiwi, Septy, Irawan, Bambang, Natasha dan Fitri yang telah memberikan semangat dan bantuannya.

9. Sahabatku Ade, Faradita, Danti, Weni Fitriani, Selvi, Yulia, Citra dan Fitri PJ yang telah memberikan semangat, doa dan dukungannya,

Kepada semua pihak yang telah membantu tanpa terkecuali, semoga amal baik tersebut akan mendapatkan imbalan yang setimpal dari Allah SWT.

Indralaya, Desember 2017

Anisa Nur Azizah

NIM : 08021281419029

DESAIN NEUTRONIK
PRESSURIZED WATER REACTOR (PWR)
BERBASIS BAHAN BAKAR THORIUM DAN MOX (*MIXED OXIDE FUEL*)

Oleh :

ANISA NUR AZIZAH
NIM. 08021281419029

ABSTRAK

Penelitian ini membahas desain neutronik PWR yang dapat menghasilkan daya 500 MWt berbasis bahan bakar thorium dan MOX. Perhitungan neutronik sel bahan bakar dan teras reaktor dilakukan dengan menggunakan modul PIJ dan CITATION pada paket program SRAC JENDL.3.2. Parameter yang menjadi target desain yaitu *level burnup*, *conversion ratio*, faktor multiplikasi tak hingga (k_{inf}), densitas atom dan faktor multiplikasi efektif (k_{eff}). Penentuan kriteria desain yang berefisiensi dalam hal pemakaian bahan bakar dilakukan dengan cara membandingkan beberapa desain dengan variasi volume dan susunan sel bahan bakar. Dari hasil perhitungan, desain yang memiliki efisiensi tinggi dalam hal pemakaian bahan bakar yaitu teras dengan ukuran jari jari 100 cm dan tinggi 300 cm pada persentase volume thorium 64%, MOX1 17%, MOX2 9,25%, MOX3 9,75% didapatkan nilai ($k_{eff} \geq 1$) dengan rata-rata *excess reactivity* 5,5% dan waktu *refueling* lebih dari 10 tahun.

Kata Kunci: PWR, Neutronik, Thorium, MOX, *Level Burnup*, *Conversion Ratio*, Faktor Multiplikasi, Densitas Atom.

**DESIGN OF NEUTRONIC
PRESSURIZED WATER REACTOR (PWR)
BASED ON THORIUM AND MOX (MIXED OXIDE FUEL)**

By :

ANISA NUR AZIZAH

NIM. 08021281419029

ABSTRACT

This study discusses the neutronic design of type PWR that can generate power of 500 MWt based on thorium and MOX. The calculation of neutronic fuel cell and reactor core has used module PIJ and CITATION in the program package SRAC JENDL.3.2. Parameters of targets design that is level burnup, conversion ratio, unlimited multiplication factor (k_{inf}), atomic density and effective multiplication factor (k_{eff}). Determination of design criteria of efficiency in terms of fuel consumption is done by comparing multiple design variation of volume and composition fuel cell. Based on the results of calculation, the design has a high efficiency in terms of fuel consumption is a core with the size of the radius in 100 cm and high in 300 cm with a volume persentation a thorium 64%, MOX1 17%, MOX2 9,25%, MOX3 9,75% obtained a value ($k_{eff} \geq 1$) with average excess reactivity 5,5% and refueling time more than 10 year.

Keyword: *PWR, Neutronic, Thorium, MOX, Level Burnup, Conversion Ratio, Multiplication Factor, Atomic Density.*

DAFTAR ISI

Halaman

HALAM JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERSEMBAHAN	
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR ISTILAH	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).....	4
2.1.1 Prinsip Kerja PLTN	4
2.2 Reaktor Nuklir	5
2.2.1 Komponen Utama Reaktor Nuklir	6
2.2.2 Proses Reaktor Nuklir	7
2.2.3 <i>Pressurized Water Reactor</i> (PWR)	7
2.2.3.1 Prinsip Kerja PWR.....	8
2.3 Sel Bahan Bakar	9
2.3.1 Thorium.....	9
2.3.2 MOX	10
2.4 Analisis Neutronik	10
2.4.1 Penampang Lintang Reaksi Nuklir	11
2.4.2 Persamaan Difusi.....	12

2.4.3 Persamaan <i>Burnup</i>	13
2.4.5 Faktor Multiplikasi	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat.....	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Metode Penelitian	15
3.4 Langkah Kerja	16
3.5 Parameter dan Spesifikasi Desain Reaktor	17
3.6 Geometri Sel Bahan Bakar.....	18
3.7 Geometri Teras	19
3.8 Parameter Survei.....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Desain Sel Bahan Bakar.....	21
4.2 Analisis dan Hasil Perhitungan Sel Bahan Bakar	21
4.2.1 <i>Level Burnup</i>	21
4.2.2 <i>Conversion Ratio</i>	22
4.2.3 Faktor Multiplikasi Tak Hingga (k_{inf}).....	23
4.2.4 Distribusi Densitas Atom.....	24
4.3 Hasil Perhitungan Teras Reaktor.....	25
4.3.1. Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff})	27
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	30
5.2 Saran.....	30

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Reaksi Fisi Berantai	7
Gambar 2.2. Prinsip Kerja PWR.....	8
Gambar 2.3. Rantai Konversi dari Thorium.....	10
Gambar 2.4. Skema peluruhan tipe produksi	13
Gambar 2.5. Faktor Multipikasi Neutron	14
Gambar 3.1. Langkah Kerja Penelitian	16
Gambar 3.2. Diagram alir perhitungan sel bahan bakar dan teras reaktor	17
Gambar 3.3. Geometri Sel Bahan Bakar	18
Gambar 3.4. Geometri Sel dan Ukuran Teras	19
Gambar 4.1. Perubahan <i>level burnup</i> sel bahan bakar.....	22
Gambar 4.2. <i>Conversion ratio</i> sel bahan bakar.....	23
Gambar 4.3. Faktor multiplikasi tak hingga (k_{inf}) sel bahan bakar	23
Gambar 4.4. Distribusi densitas atom ^{232}Th	24
Gambar 4.5. Distribusi densitas atom ^{233}U	25
Gambar 4.6. Distribusi densitas atom ^{239}Pu	25
Gambar 4.7. Ukuran dan susunan bahan bakar dalam $\frac{1}{2}$ teras	
(a) Desain 1	26
(b) Desain 2.....	26
(c) Desain 3.....	26
(d) Desain 4.....	27
(e) Desain 5.....	27
Gambar 4.8. Perubahan faktor multiplikasi k_{eff}	29

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Parameter dan spesifikasi desain PWR	17
Tabel 4.1. Jenis sel bahan bakar	21
Tabel 4.2. Nilai faktor multiplikasi efektif (k_{eff})	29
Tabel 4.3. Nilai <i>exces reactivity</i>	29

DAFTAR ISTILAH

<i>Cladding</i>	: berupa kelongsong yang berfungsi sebagai pelindung bahan bakar dan pemisah bahan bakar dengan pendingin.
<i>Conversion ratio</i>	: perbandingan antara jumlah produksi atom fisil bahan bakar terhadap jumlah atom fisil bahan bakar yang dikonsumsi dalam reaktor.
Densitas atom	: populasi atom dalam setiap satuan volume.
<i>Enrichment</i>	: pengayaan, proses peningkatan konsentrasi isotop tertentu pada suatu materi.
<i>Excess reactivity</i>	: kelebihan reaktivitas.
Fisi	: reaksi pembelahan antara partikel neutron dengan inti atom yang disertai dengan pelepasan energi.
Fusi	: reaksi penggabungan antara partikel neutron dengan inti atom yang disertai dengan pelepasan energi.
<i>Fertile</i>	: suatu unsur/atom yang tidak dapat langsung membelah setelah menangkap neutron tetapi akan membentuk bahan fisil.
<i>Fissile</i>	: suatu unsur/atom yang langsung dapat membelah apabila menangkap neutron.
<i>Keff</i>	: konstanta yang digunakan untuk memantau populasi neutron dalam teras reaktor dengan memperhitungkan faktor kebocoran ke luar teras reaktor.
<i>Kinf</i>	: konstanta untuk mengetahui tingkat populasi neutron di dalam satu sel bahan bakar tanpa adanya faktor kebocoran ke luar teras reaktor.
<i>Level burnup</i>	: banyaknya energi yang dihasilkan persatuan berat bahan bakar dalam reaktor.
Moderator	: komponen reaktor yang digunakan untuk memperlambat laju neutron.

Neutronik	: segala sesuatu yang mencakup populasi neutron, distribusi neutron, energi neutron, kerapatan neutron, dan fluks neutron.
Penampang lintang	: probabilitas terjadinya suatu reaksi antara neutron dengan inti atom.
Reflektor	: bahan pemantul neutron.
σ	: penampang lintang mikroskopik.
Σ	: penampang lintang makroskopik.
K	: faktor multiplikasi.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia. Kebutuhan manusia akan energi yang semakin lama semakin meningkat, terutama dalam kebutuhan energi listrik. Bila melihat kebutuhan akan energi listrik di Indonesia pada tahun 2011 sebesar 158694,89 GWh meningkat pada tahun 2015 menjadi 204279,79 GWh. Dimana sumber energi terbesar saat ini berasal dari fosil sebesar 57,52% (Harsanto, 2016). Namun sumber energi ini diperkirakan akan mengalami penurunan disebabkan tidak lagi ditemukannya sumber cadangan baru. Cadangan sumber energi yang berasal dari fosil diseluruh dunia diperkirakan hanya sampai 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam, dan 200 tahun untuk batu bara (Setiabudi, 2010).

Penganekaragaman sumber energi perlu dilakukan agar ketersediaan energi selalu terjamin. Salah satu alternatif energi yang bisa dikembangkan adalah energi nuklir atau sering dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). PLTN merupakan sumber energi listrik yang potensial bila diterapkan di Indonesia, dimana bahannya seperti uranium ataupun thorium banyak ditemukan di Indonesia. Dimana PLTN sudah banyak digunakan diberbagai negara.

Perkembangan teknologi nuklir di Indonesia saat ini memiliki pertentangan dari banyak masyarakat mengenai faktor keamanan, dimana Indonesia merupakan negara yang rawan bencana. Oleh karenanya, tipe PLTN yang akan diperkenalkan harus benar-benar mempunyai karakteristik khusus sesuai dengan situasi dan kondisi di Indonesia. Setidaknya tipe PLTN di Indonesia harus mempunyai faktor manfaat dan kehandalan yang tinggi, mempunyai kemampuan *inheren safety*, umur operasi panjang tanpa pengisian bahan bakar atau *refueling*, resistan terhadap *proliferation* dan cukup ekonomis (Subkhi dkk., 2015).

Desain teras adalah tahap awal dan salah satu bagian penting dalam tahap merancang reaktor nuklir sehingga menghasilkan sistem PLTN yang aman, efektif, efisien dan ekonomis pada waktu operasi dan energi yang telah ditentukan. Dengan memanfaatkan siklus thorium akan menjamin proses *burnup* berlangsung lama dan ini merupakan strategi efektif dan efisien yang dapat digunakan sebagai bahan bakar nuklir alternatif disamping uranium. Thorium memiliki faktor kapasitas pembangkit yang lebih tinggi

dibanding uranium, dengannya reaktor akan memiliki karakteristik *long-life core* (teras berumur operasi panjang/lama) (Subkhi dkk., 2015).

Hal inilah yang mendasari penelitian ini dengan menggunakan reaktor nuklir jenis reaktor air ringan tipe *Pressurized Water Reactor* (PWR), dengan daya 500MWth dapat beroperasi selama 5 tahun tanpa *refueling*. Desain reaktor menggunakan bahan bakar thorium dan MOX (*Mixed Oxide Fuel*) sebagai material fisilnya dan moderator menggunakan air (H₂O).

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini menggunakan reaktor tipe *Pressurized Water Reactor* (PWR). Dalam mendesain reaktor berbahan bakar thorium dan MOX dengan daya 500MWth, standar keselamatan harus selalu dipenuhi dalam setiap tipe reaktor PWR. Salah satunya dengan memperhitungkan jenis bahan bakar dan susunannya di dalam teras yang mampu beroperasi dalam jangka waktu panjang.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Melakukan perhitungan sel untuk memperoleh data *level burnup* dan *rconversion ratio* tiap sel bahan bakar.
2. Menyelesaikan persamaan difusi multigrup untuk menentukan waktu operasi reaktor tanpa *refueling*.
3. Menghitung *exces reactivity* untuk setiap desain teras.
4. Menentukan desain teras reaktor yang efisien dalam penggunaan bahan bakar.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya membahas sel bahan bakar untuk PWR berdasarkan perhitungan neutronik dari hasil perhitungan persamaan *burnup* yang dilakukan dengan menggunakan *Standart Reactor Analysis Code* (SRAC).

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif pada industri tenaga nuklir khususnya yang diperlukan untuk pengembangan PWR dalam hal mendesain keselamatan dari reaktor-reaktor nuklir.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwardojo dkk., 2010. *Mengenal Reaktor Nuklir dan Manfaatnya*. Jakarta : Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Alatas, Z. dkk., 2012. *Buku Pintar Nuklir*. Jakarta : Mitra Bestari.
- Batan, 2003. *Mengenal Reaktor Nuklir dan Manfaatnya*. Jakarta : Batan.
- Cinantya, D. dan Fitriyani, D., 2014. *Analisis Neutronik pada Reaktor Cepat dengan Variasi Bahan Bakar (UN-PuN, UC-PuC DAN MOX)*. Jurnal Fisika Unand, 1(3) : 1-7.
- Dewita, E., 2012. *Analisis Potensi Thorium sebagai Bahan Bakar Nuklir Alternatif PLTN*. Jurnal Pengembang Energi Nuklir, 1(14) : 45-56.
- Dibyso, S., 2007. *Studi Karakteristik Pressurizer pada PWR*. Yogyakarta : Pustek Akselerator dan Proses Bahan BATAN.
- Duderstadt, J.J. dan Hamilton, L.J., 1976. *Nuclear Reactor Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Harsanto, S., 2016. *Statistik Listrik*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Nugraheni, A., Dwijananti, P., dan Sayono, 2012. *Penentuan Aktivitas Unsur Radioaktif Thorium Yang Terkandung Dalam Prototipe Sumber Radiasi Kaos Lampu Petromaks*. Jurnal Mipa, 1(35): 31-37.
- Parmanto, E. M., dan Irawan, D., 2007. *Mengenal PLTN dan Prospek di Indonesia*. Jakarta: Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Setiabudi, B., 2010. *Dampak Pembangunan PLTN Terhadap Perubahan Tata Ruang Kabupaten Jepara*. Jurnal Gema Teknologi, 1(16): 11-15.
- Sriyana dan Suparman, 1999. *Peran MOX Bahan Bakar Nuklir di Masa Depan*. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, 3(1) : 163-171.

Subkhi, M.N., Suud, Z., Waris, A. dan Permana, S., 2015. *Studi Desain Reaktor Air Bertekanan (PWR) Berukuran Kecil Berumur Panjang Berbahan Bakar Thorium*. Jurnal Istek, 1(9) : 32-47.

www.atsdr.cdc.gov diakses pada tanggal 7 Oktober 2017.

www.scienceclarified.com diakses pada tanggal 7 Oktober 2017.

www.world-nuclear.org diakses pada tanggal 10 Oktober 2017.

www.nrc.gov diakses pada tanggal 7 Oktober 2017.