

**STRATEGI PEMERATAAN DISTRIBUSI DAYA MELALUI PENAMBAHAN
THORIUM PADA REAKTOR AIR BERTEKANAN BERBASIS BAHAN
BAKAR MOX (*MIXED OXIDE*)**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika**



Oleh :

PURWATI NINGSIH

08021181419019

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

**STRATEGI PEMERATAAN DISTRIBUSI DAYA MELALUI PENAMBAHAN
THORIUM PADA REAKTOR AIR BERTEKANAN BERBASIS BAHAN
BAKAR MOX (*MIXED OXIDE*)**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika**

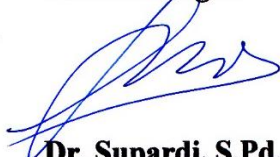
Oleh :

PURWATI NINGSIH

NIM. 08021181419019

Inderalaya, Juli 2018

Pembimbing II



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

NIP. 197112112002121002

Pembimbing I



Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si.

NIP. 197211252000122001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.

NIP. 197009101994121001

LEMBAR PERSEMBAHAN

*“Kesuksesan hidup itu bukan milik dia yang pintar dan cerdas
Tapi milik mereka yang mau berjuang
Bersungguh-sungguh dan bekerja keras”*

*“Orang yang berhasil adalah mereka yang bisa
menerapkan hari ini harus lebih baik dari hari sebelumnya”*

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

Skripsi ini ku persembahkan kepada:

❖ Kedua Orang Tua-ku

(Bapak Juni & Ibu Sriwidarti)

❖ Adik-ku

(Hendra Dwi Aprianto)

❖ Sahabat-ku

(Desi Rahmita Rambe, Hartiwi & Eva Nuryana)

❖ Alamamater-ku

(Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah dengan mengucapkan puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya lah sehingga hasil tugas akhir yang berjudul “Strategi Pemerataan Distribusi Daya Melalui Penambahan Thorium Pada Reaktor Air Bertekanan Berbasis Bahan Bakar MOX (*Mixed Oxide*)” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana dapat terselesaikan. Dimana penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Fisika Komputasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Dalam pelaksanaan hasil tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari semua pihak sehingga dapat selesai dengan baik. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada Ayahanda Juni dan Ibunda Sriwidarti serta Adikanda Hendra Dwi Aprianto 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 hasil 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 hasil tugas akhir ini.
4. Bapak dan Ibu Dra. Jorena, M.Si., Dr. Erry Koriyanti, S.Si., M.T., dan bapak Khairul Saleh, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukkannya.
5. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., 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, Anisa, Luthfia, Fatiyah, Hartiwi, Septy, Irawan, Bambang, Natasha dan Fitri yang telah memberikan semangat dan bantuannya.

9. Sahabatku Desi Rahmita Rambe, Hartiwi, Eva Nuryana dan Kumita Sari 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.

Inderalaya, Juli 2018

Purwati Ningsih

**STRATEGI PEMERATAAN DISTRIBUSI DAYA MELALUI PENAMBAHAN
THORIUM PADA REAKTOR AIR BERTEKANAN BERBASIS BAHAN
BAKAR MOX (*MIXED OXIDE*)**

Oleh:

PURWATI NINGSIH

NIM. 08021181419019

ABSTRAK

Penelitian ini membahas mengenai strategi pemerataan daya pada PWR (*Pressurizer Water Reactor*) berbasis bahan bakar MOX (*Mixed Oxide*). Perhitungan neutronik sel bahan bakar dan teras reaktor dilakukan dengan menggunakan modul PIJ dan CITATION pada paket program SRAC. JENDL 3.2. Parameter desain yang menjadi target yaitu *conversion ratio*, densitas atom, faktor multiplikasi tak hingga (k_{inf}), faktor multiplikasi efektif (k_{eff}) dan distribusi pemerataan daya. Penentuan kriteria desain yang berefisiensi dalam hal pemakaian bahan bakar dilakukan dengan cara membandingkan beberapa desain diameter dan susunan sel bahan bakar. Dari hasil perhitungan yang di dapatkan dari desain ke-1 sampai dengan desain ke-4 distribusi dayanya merata, sedangkan pada desain ke-5 dengan penambahan ThO_2 distribusi daya naik dan tidak merata yang ditunjukkan dengan kenaikan *peak/averagenya* yaitu 1.5660083, maka hal ini perlu diperbaiki dengan cara, strategi yang digunakan perlu di investigasi desain yang lebih banyak, sehingga desain penyusunan bahan bakar secara heterogen upaya didapatkan teras yang berumur panjang tetapi memiliki distribusi daya yang merata.

Kata kunci: PWR, ThO_2 , k_{eff} , *Excess reactivity*, distribusi daya.

**STRATEGY OF POWER DISTRIBUTION DIMENSION THROUGH
THORIUM ADDITION ON WATER-BASED RETAIL REACTOR MOX
(MIXED OXIDE)**

By:

PURWATI NINGSIH

NIM. 08021181419019

ABSTRACT

This study discusses the uniform power strategy on PWR (Pressurizer Water Reactor) based on MOX (Mixed Oxide) fuel. Fuel cell neutronic calculations and reactor terraces are performed using the PIJ and CITATION modules in the SRAC program package. JENDL 3.2. The targeted design parameters are conversion ratio, atomic density, infinity multiplication factor (k_{inf}), effective multiplication factor (k_{eff}) and power distribution distribution. The design criteria for the efficiency of fuel use are made by comparing several diameter designs and the arrangement of fuel cells. From the calculation results obtained from the design of the 1 to the design of the 4 distribution of power evenly distributed, while at the 5th design with the addition of ThO₂ power distribution up and uneven shown by the increase peak / average nya that is 1.5660083, then this is necessary improved in a way, the strategies used need to be in the investigation of more designs, so that the design of heterogeneous fuel preparation efforts obtained a long-lived terrace but has a uniform distribution of power.

Keywords: PWR, ThO₂, k_{eff} , Excess reactivity, power distribution.

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	
Lembar Persembahan	
Kata Pengantar	i
Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	iv
Daftar Isi	v
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel	viii
Daftar Lampiran	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
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	4
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)	4
2.2. Reaktor Nuklir	5
2.3. Komponen Utama Reaktor Nuklir	6
2.4. <i>Pressurized Water Reactor</i> (PWR)	9
2.5. Analisis Neutronik dalam Teras Reaktor	10
2.5.1. Penampang Lintang Nuklir (<i>Nuclear Cross-Section</i>)	11
2.5.2. Persamaan Difusi Satu Grup	11
2.5.3. Persamaan Difusi Multigrup	12
2.5.4. Persamaan <i>Burnup</i>	13
2.6. Faktor Multiplikasi	14
2.7. Pemerataan Daya (<i>Power Flattening</i>)	15
2.8. <i>System Reactor Atomic Code</i> (SRAC)	16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Tempat	17
3.2. Alat dan Bahan	17
3.3. Metode Penelitian	17
3.4. Langkah Kerja	18
3.5. Parameter dan Spesifikasi Desain Reaktor	20
3.6. Geometri dan Bahan Bakar	20
3.7. Geometri Teras	21
3.8. Parameter Survei	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1. Desain Sel Bahan Bakar	23
4.2. Analisis dan Hasil Perhitungan Sel Bahan Bakar	23
4.2.1. <i>Conversion Ratio</i>	23
4.2.3. Faktor Multiplikasi Tak Hingga (k_{inf})	24
4.2.3. Densitas Atom	25
4.3. Hasil Perhitungan Teras Reaktor	26
4.3.1. Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff})	28
4.3.2. Distribusi Pemerataan Daya	30
BAB V PENUTUP	34
5.1. Kesimpulan	34
5.2. Saran	34

Daftar Pustaka

Lampiran

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Skema Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir	5
Gambar 2.2: Reaksi Fisi U^{235}	6
Gambar 2.3: Skema Komponen Reaktor	6
Gambar 2.4: Rantai Konversi Thorium	8
Gambar 2.5: Skema <i>Pressurized Water Reactor</i> (PWR)	10
Gambar 2.6: Skema Peluruhan Tipe Produksi	13
Gambar 2.7: Faktor Multiplikasi Neutron	15
Gambar 3.1: Langkah Kerja Penelitian (desain, perhitungan dan analisis neutron) ..	18
Gambar 3.2: Langkah Perhitungan Neutronik Sel Bahan Bakar dengan SRAC	19
Gambar 3.3: Geometri Sel Bahan Bakar	20
Gambar 3.4: Geometri dan Ukuran Teras	21
Gambar 4.1: <i>Conversion Ratio</i>	24
Gambar 4.2: Faktor Multiplikasi Tak Hingga (k_{inf})	25
Gambar 4.3: Densitas Atom ^{232}Th	25
Gambar 4.4: Densitas Atom ^{233}U	26
Gambar 4.5: Densitas Atom ^{239}Pu	26
Gambar 4.6: Ukuran dan Susunan Bahan Bakar dalam $\frac{1}{2}$ Teras	27
Gambar 4.7: Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff}) 1 <i>fuel</i>	29
Gambar 4.8: Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff}) 2 <i>fuel</i>	29
Gambar 4.9: Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff}) 3 <i>fuel</i>	29
Gambar 4.10: Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff}) 4 <i>fuel</i>	30
Gambar 4.11: Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff}) 5 <i>fuel</i>	30
Gambar 4.12: Distribusi Daya dengan 1 Jenis Bahan Bakar	31
Gambar 4.13: Distribusi Daya dengan 2 Jenis Bahan Bakar	31
Gambar 4.14: Distribusi Daya dengan 3 Jenis Bahan Bakar	32
Gambar 4.15: Distribusi Daya dengan 4 Jenis Bahan Bakar	32
Gambar 4.16: Distribusi Daya dengan 5 Jenis Bahan Bakar	32

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1: Spesifikasi dan Parameter Desain Reaktor	20
Tabel 4.1: Jenis Bahan Bakar	23
Tabel 4.2: <i>Excess Reactivity</i> dan Waktu <i>Burnup</i>	30
Tabel 4.3: Perbandingan Distribusi Daya F1 sampai F5	33

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel 4.A: *Conversion Ratio*

Tabel 4.B: Faktor Multiplikasi Tak Hingga (k_{inf})

Tabel 4.C: Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff}) dengan 1 bahan bakar

Tabel 4.D: Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff}) dengan 2 bahan bakar

Tabel 4.E: Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff}) dengan 3 bahan bakar

Tabel 4.F: Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff}) dengan 4 bahan bakar

Tabel 4.G: Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff}) dengan 5 bahan bakar

Tabel 4.H: Distribusi Daya

Tabel 4.I: Perbandingan Persentase Bahan Bakar

Lampiran 1 Paket Program SRAC dengan Kode Sistem PIJ

Lampiran 2 Hasil Perhitungan PIJ

Lampiran 3 Paket Program SRAC dengan Kode Sistem CITATION

Lampiran 4 Hasil Perhitungan CITATION

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Seiring meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan bertambahnya jumlah penduduk di Indonesia, kebutuhan manusia akan energi yang semakin lama semakin meningkat, terutama kebutuhan sumber energi listrik. Bila di lihat produksi energi listrik dari tahun 2011 energi listrik yang diproduksi sebesar 158.694,89 GWh, sedangkan pada tahun 2015 energi listrik yang diproduksi meningkat menjadi 204.279,97 GWh. Lonjakan energi listrik yang secara terus menerus ini dapat menjadikan kekhawatiran pemerintah Indonesia, apalagi produksi tenaga listrik terbesar dibangkitkan oleh PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) yang mencapai 57,52% (Harsanto, 2016). Energi listrik PLTU menjadi kekhawatiran dimasa mendatang dikarenakan bahan baku yang digunakan adalah bahan fosil seperti batu bara, gas alam dan minyak bumi. Sumber energi yang berasal dari bahan fosil diperkirakan akan mengalami penurunan disebabkan tidak ada lagi ditemukan sumber cadangan baru. Sumber cadangan fosil diseluruh dunia diperkirakan hanya mencapai sampai 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam dan 200 tahun untuk batu bara. Kondisi keterbatasan kebutuhan sumber energi yang semakin meningkat, maka perlu dikembangkan sumber alternatif baru (Setiabudi, 2010).

Sumber alternatif baru yang dimaksud adalah pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) yaitu reaktor nuklir. PLTN adalah salah satu pembangkit listrik daya termal yang menggunakan reaktor nuklir sebagai sumber panasnya (Nurmawan dkk, 2014). PLTN memiliki beberapa keunggulan yaitu aman untuk keselamatan, handal dalam memproduksi daya listrik yang besar dengan biaya relatif murah dan ramah lingkungan, (Sutarman, 2005). Oleh karena itu, pembangunan energi nuklir merupakan salah satu solusi yang tepat untuk diwujudkan. Pembangunan energi nuklir ini dapat menggunakan salah satu tipe reaktor yaitu tipe *Pressurized Water Reactor* (PWR). PWR adalah reaktor daya yang dapat menghasilkan energi listrik besar dan menggunakan pendingin H₂O (air). Diketahui bahwa, indonesia adalah negara yang dikelilingi oleh pulau-pulau sehingga cocok jika Indonesia menggunakan reaktor tipe PWR.

Tipe reaktor PWR dapat menggunakan bahan bakar seperti thorium, uranium maupun plutonium. Pada penelitian ini, akan menggunakan penambahan thorium pada

bahan bakar MOX (*Mixed Oxyde Fuel*). Hal ini dikarenakan untuk mengkombinasikan bahan bakar yang akan digunakan, sehingga dapat dibandingkan kombinasi bahan bakar mana yang memenuhi faktor keselamatan dan faktor ke ekonomisan yang tinggi. Selain itu juga, desain penelitian ini dapat menghasilkan daya sebesar 500 MWth yang dapat beroperasi selama 5 tahun tanpa *refueling* dengan penghasil distribusi daya yang merata.

1.2. Rumusan Masalah

Penelitian berupa desain *Pressurized Water Reactor* (PWR) dengan penambahan thorium berbasis bahan bakar MOX. Strategi yang diterapkan dalam penyusunan bahan bakar harus memenuhi kriteria desain yaitu: reaktor berukuran kecil dengan daya 500 MWth yang beroperasi jangka waktu panjang, *exces reactivity* <10% dan distribusi daya yang merata.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini digunakan untuk memperoleh sesuai dengan kriteria desain yaitu dengan cara :

1. Menghitung sel bahan bakar berbasis thorium MOX, untuk memperoleh parameter survei berupa k_{inf} , *conversion ratio* dan densitas atom..
2. Menghitung faktor multiplikasi efektif (k_{eff}) untuk memantau populasi neutron di dalam teras reaktor.
3. Menghitung distribusi daya dan *power peaking factor* pada teras reaktor.
4. Menentukan desain teras reaktor dengan distribusi daya yang lebih merata.

1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini hanya membahas desain neutronik untuk teras reaktor Tipe *Pressurized Water Reactor* (PWR) dengan penambahan thorium berbasis bahan bakar MOX. Analisis neutronik dilakukan berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan difusi, multigrup, *burnup* dan susunan bahan bakar pada desain reaktor dan diselesaikan menggunakan *Standard Reactor Analysis Code* (SRAC).

1.5. Manfaat Penelitian

Tercapainya tujuan pada penelitian *Pressurized Water Reactor* (PWR), maka manfaat yang dapat diberikan adalah dapat dihasilkan daya yang merata pada teras reaktor dengan operasi jangka waktu panjang sehingga memiliki faktor keselamatan dan nilai keekonomisan yang lebih tinggi.

BAB II

- Adiwardoyo dkk., 2010. *Mengenal reaktor Nuklir dan Manfaatnya*. Jakarta: Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Alatas, Z. dkk., 2012. *Buku Pintar Nuklir*. Jakarta: Mitra Bestari.
- Anonim. 2016. *Prospek Thorium Sebagai Sumber Energi Masa Depan*. Jakarta: Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Anonim. 2010. *Atoms: media informasi ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir*. PDIN: Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Aziz, F., 2002. *Desain Neutronik BWR Modular dengan Siklus Operasi Panjang*. Prosiding Seminar Nasional ke-8 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional Jakarta: 79: 88.
- 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.
- Dewita, E., 2012. *Analisis Potensi Thorium Sebagai Bahan Bakar Nuklir Alternatif PLTN*. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir 1(14): 46.
- Dibyso, S., 2007. *Studi Karakteristik Pressurized 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.
- IAEA, 2010. *Safety of Uranium and Plutonium Mixed Oxide Fuel Fabrication Facilities*. International Atomic Energy Agency, Vienna: Austria.
- Ngadenin dkk., 2014. *Potensi Thorium dan Uranium Di Kabupaten Bangka Barat*. Jurnal Eksplorium 2(35): 70-71.
- Nurmawan, A., Suroso dan Tanujaya, H., 2014. *Analisis Perbandingan Kinerja Perangkat Bahan Bakar PLTN Tipe PWR AP 1000 dan PWR 1000 MWe Tipikal dengan Menggunakan Program Komputer*. Jurnal POROS, 1(12): 1.
- Okumura, K. dkk., 2007. *SRAC2006: A Comprehensive Neutronics Calculation Code System*. Japan: Japan Atomic Energi Agency (JAEA).
- Okumura, K., 2007. *Introduction of SRAC for Reactor Physics Analyses*. Japan: JAEA.
- Parmanto, E. M. dan Irawan, D., 2007. *Mengenal PLTN dan Prospeknya di Indonesia*. Jakarta: Pusat Desiminasi Iptek Nuklir Badan Teknologi Nuklir Nasional.

- Peryoga, Y., Eko, M. P. dan Pranoto, A., 2007. *Mengenal Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir*. Jakarta: Kementrian Riset dan Teknologi.
- Setiabudi, B., 2010. *Dampak Pembangunan PLTN Terhadap Perubahan Tata Ruang Kabupaten Jepara*. Jurnal Gema Teknologi, 1(16): 11-15.
- Snoj, L. dan Ravnik, M., 2006. *Power Peaking in Mixed TRIGA Cores*. Proceeding of the International Conference Nuclear Energy for New Europe. Portoroz: Slovenia.
- Subkhi, M. N. dkk., 2015. *Studi Desain Reaktor Air Bertekanan (PWR) Berukuran Kecil Berumur Panjang Berbahan Bakar Thorium*. Jurnal Istek, 1(9): 35-42.
- Subkhi, M. N., 2016. *Desain Konsep dan Analisis Reaktor Air Bertekanan (PWR) Berdaya Kecil Berumur Panjang Berbahan Bakar Thorium*. Skripsi Jurusan Fisika Program Studi Doktor Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Sriyana dan Suparman. 1999. *Peran MOX Sebagai Bahan Bakar Nuklir Di Masa Depan*. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir 3(1): 164, 169.
- Sutarman. 2005. *Pemabngunan PLTN Sebagai Satu Solusi Krisis Listrik Di Indonesia*. Jurnal Buletin Alara 1(7): 39.
- Vinh, L. V. dkk., 2014. *Completion Of The Exsperimantal Equipment System and Preparation Of Practical Tutorial On The Dalat Nuclear Research Reactor For Nuclear Science And Technology Education*. The Annual Report for 2014 : VINATOM (Vietnam Atomic Energy Institute).
- www.batan.go.idensiklopedi. *Pressurized Water Reactor*. Diakses pata tanggal 09 Februari 2018 pukul 10.32 WIB.