

**ANALISIS PRODUK FISI PADA *PRESSURIZED WATER REACTOR (PWR)*
BERBASIS BAHAN BAKAR *URANIUM MIXED OXIDE***

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Fisika



Oleh :

**ANGGUN APRILIA
NIM.08021181823016**

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

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS PRODUK FISI PADA *PRESSURIZED WATER REACTOR* (PWR)
BERBASIS BAHAN BAKAR URANIUM *MIXED OXIDE***

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Fisika

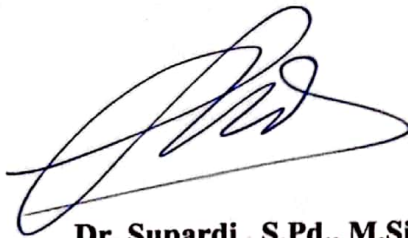
Oleh:

**ANGGUN APRILIA
NIM.08021181823016**

Indralaya, 21 November 2024

Menyetujui,

Dosen Pembimbing II



Dr. Supardi, S.Pd., M.Si.
NIP. 197112112002121002

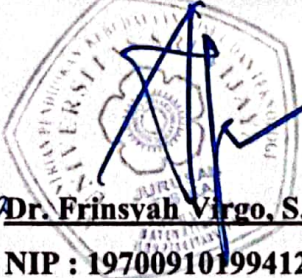
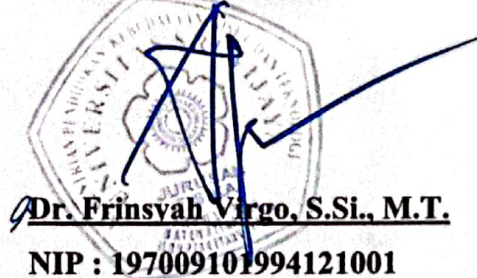
Dosen Pembimbing I



Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si.
NIP : 197211252000122001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP : 197009101994121001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, Mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya:

Nama : Anggun Aprilia

NIM : 08021181823016

Judul TA : Analisis Produk Fisi Pada Pressurized Water Reactor (PWR) Berbasis Bahan Bakar Uranium Mixed Oxide.

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun dengan judul tersebut adalah asli atau orisinalitas dan mengikuti etika penulisan karya tulis ilmiah sampai pada waktu skripsi ini diselesaikan, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains di Program Studi Fisika Universitas Sriwijaya.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaann dari pihak manapun. Apabila di kemudian hari terdapat kesalahan ataupun keterangan palsu dalam surat pernyataan ini, maka saya siap bertanggung jawab secara akademik dan bersedia menjalani protes hukum yang telah ditetapkan.

Indralaya, 26 November 2024

Yang Menyatakan,



Anggun Aprilia

NIM.08021181823016

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya Penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Produk Fisi Pada *Pressurized Water Reactor* (PWR) Berbasis Bahan Bakar Uranium *Mixed Oxide*” dengan baik dan lancar. Penyusunan Skripsi dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan Skripsi, penulis banyak mendapat bimbingan, saran, motivasi, serta bantuan dari berbagai pihak hingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan lancar. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga penulis, Ayahanda , Ibunda, Kakak dan Adik yang selalu memberikan dukungan penuh kepada penulis.
2. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematikadan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Supardi, S.Pd., M.Si. selaku dosen Pembimbing II, yang telah bersedia memberikan waktu dan ilmu yang amat berharga dalam membantu dan mengarahkan penulis selama penelitian dan penyusunan Skripsi.
5. Bapak Dr. Fiber Monado, M.Si. dan bapak Dr. Akmal Johan, M.Si. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan Skripsi ini.
6. Bapak Dr. Dedi Setiabudidaya selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing Penulis sejak awal perkuliahan.
7. Seluruh dosen dan staf administrasi Jurusan Fisika yang telah memberikan dukungan dan fasilitas selama Penulis berada di bangku perkuliahan.
8. Keluarga Fisika angkatan 2018 (AMF181), terima kasih atas bantuan, do’a, dan dukungannya.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan Skripsi yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Semoga kebaikan dan dukungan yang telah diberikan mendapat balasan pahala dari Allah SWT. Penulis berharap semoga skripsi yang disusun dapat bermanfaat sekaligus menambah ilmu pengetahuan bagi penulis maupun pembaca.

Indralaya, November 2024

Penulis,

Anggun Aprilia

08021181823016

**ANALISIS PRODUK FISI PADA *PRESSURIZED WATER REACTOR* (PWR)
BERBASIS BAHAN BAKAR URANIUM *MIXED OXIDE***

Oleh:

ANGGUN APRILIA

NIM.08021181823016

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis produk fisi pada PWR dengan daya termal 1000 MWth berbasis bahan bakar uranium MOX. Perhitungan neutronik sel bahan bakar dan teras reaktor bisa menggunakan program SRAC JENDL 4.0 dengan memanfaatkan modul PIJ dan modul CITATION. Parameter yang menjadi target desain yaitu faktor multiplikasi tak hingga (K_{inf}), *level burn-up*, *conversion ratio*, densitas atom dan faktor multiplikasi efektif (K_{eff}). Nilai K_{inf} meningkat seiring dengan bertambahnya persentase MOX Pu yang dipakai. *level burn-up* sel bahan bakar uranium MOX selama 30 tahun telah tumbuh secara bertahap. Nilai *conversion ratio* dibawah 1 diartikan bahwa reaktor tidak dalam kondisi *breeding ratio*. Bahan bakar nuklir sendiri terbagi menjadi dua yaitu fisil dan fertil. Perhitungan teras reaktor dengan variasi r (75 cm dan 95 cm) dan $t = 130$ cm akan menghasilkan nilai K_{eff} yang konvergen ($K_{eff} = 1$).

Kata kunci : PWR, Uranium, MOX, Plutonium, SRAC, K_{inf} , *level burn-up*, *conversion ratio*, densitas atom, K_{eff} .

Indralaya, 21 November 2024

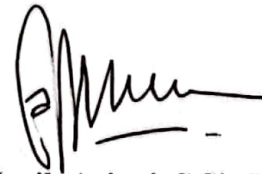
Menyetujui,

Dosen Pembimbing II



Dr. Supardi, S.Pd., M.Si.
NIP. 197112112002121002

Dosen Pembimbing I



Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si.
NIP : 197211252000122001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP : 197009101994121001

**ANALYSIS OF FISSION PRODUCTS IN PRESSURIZED WATER REACTOR
(PWR) BASED ON URANIUM MIXED OXIDE FUEL**

By:

**ANGGUN APRILIA
NIM.08021181823016**

ABSTRACT

This research analyze fission products in a PWR with a thermal power of 1000 MWth based on MOX uranium fuel. Neutronic calculations for fuel cells and reactor cores can use the SRAC JENDL 4.0 program utilizing the PIJ module and CITATION module. The parameters that are the design targets are infinite multiplication factor (K_{∞}), burn-up level, conversion ratio, atomic density and effective multiplication factor (K_{eff}). The K_{∞} value increases as the percentage of MOX Pu used increases. the burn-up level of MOX uranium fuel cells over 30 years has grown gradually. A conversion ratio value below 1 means that the reactor is not in breeding ratio condition. Nuclear fuel itself is divided into two, namely fissile and fertile. Calculation of the reactor core with variations in r (75 cm and 95 cm) and $t = 130$ cm will produce a convergent K_{eff} value ($K_{\text{eff}} = 1$).

Keyword : PWR, Uranium, MOX, Plutonium, SRAC, K_{∞} , level burn-up, conversion ratio, atomic density, K_{eff} .

Indralaya, 21 November 2024

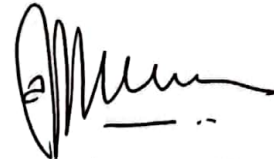
Menyetujui,

Dosen Pembimbing II



Dr. Supardi, S.Pd., M.Si.
NIP. 197112112002121002

Dosen Pembimbing I



Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si.
NIP : 197211252000122001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Erinsyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP : 197009101994121001

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)	4
2.2 Reaktor Nuklir	5
2.3 <i>Pressurized Water Reactor</i> (PWR)	6
2.4 Sel Bahan Bakar	6
2.5 <i>Mixed Oxide</i>	7
2.6 Analisis Neutronik.....	8
2.6.1 Penampang Lintang Nuklir (<i>Nuclear Cross-Section</i>)	8
2.6.2 Persamaan Difusi	9
2.6.3 Persamaan <i>Burn-up</i>	10
2.7 Faktor Multiplikasi	11
2.8 <i>Standart Reactor Analysis Code</i> (SRAC)	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Metode Penelitian.....	15
3.4 Alur Penelitian	15

3.5	Parameter dan Spesifikasi Desain Reaktor	18
3.6	Geometri Bahan Bakar	18
3.7	Geometri Teras Reaktor	18
3.8	Parameter Survei	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Perhitungan Sel Bahan Bakar	20
4.1.1	Bahan Bakar MOX	20
4.1.2	Tingkat Pembakaran (<i>Level Burn-up</i>)	21
4.1.3	Rasio Konversi (<i>Conversion Ratio</i>)	21
4.1.4	Densitas Atom	22
4.2	Perhitungan Teras Reaktor	25
4.2.1	Teras Reaktor Dengan Sel BB MOX Pu 2%	25
4.2.2	Teras Reaktor Dengan Sel BB MOX Pu 4%	26
4.2.3	Teras Reaktor Dengan Sel BB MOX Pu 6%	27
4.2.4	Teras Reaktor Dengan Sel BB MOX Pu 8%	28
4.2.5	Teras Reaktor Dengan Sel BB MOX Pu 10%	29
4.2.6	Teras Reaktor Dengan Sel BB MOX Pu 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%	30
4.2.7	Nilai Bahan Bakar Tahun Ke-10	31
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran	33
DAFTAR PUSTAKA		34
LAMPIRAN		36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir	4
Gambar 2.2 Skema <i>Pressurized Water Reactor</i> (PWR)	6
Gambar 2.3 Prinsip Keseimbangan Nuklida A.....	11
Gambar 2.4 Struktur Sistem SRAC.....	13
Gambar 2.5 <i>Lattice Geometry Available by Collision Probability Method Routine</i>	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Secara Umum.....	16
Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan Neutronik Sel Bahan Bakar dan Teras Reaktor Menggunakan Program SRAC.....	17
Gambar 3.3 Geometri Sel Bahan Bakar.....	18
Gambar 3.4 Geometri dan Ukuran Teras Reaktor.....	19
Gambar 3.5 Variasi Susunan Sel Bahan Bakar Dalam Teras Reaktor.....	19
Gambar 4.1 Grafik K_{inf} Sel Bahan Bakar Dengan Variasi MOX %Pu	20
Gambar 4.2 Grafik <i>Level Burn-up</i>	21
Gambar 4.3 Grafik <i>Conversion Ratio</i>	22
Gambar 4.4 Grafik Perubahan Densitas Atom U238.....	22
Gambar 4.5 Grafik Perubahan Densitas Atom Pu238	23
Gambar 4.6 Grafik Perubahan Densitas Atom Pu239	23
Gambar 4.7 Grafik Perubahan Densitas Atom Pu240	23
Gambar 4.8 Grafik Perubahan Densitas Atom Pu241	24
Gambar 4.9 Grafik Perubahan Densitas Atom Pu242	24
Gambar 4.10 Susunan Sel BB MOX Pu 2% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	25
Gambar 4.11 Grafik Sel BB MOX Pu 2% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	26
Gambar 4.12 Susunan Sel BB MOX Pu 4% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	27
Gambar 4.13 Grafik Sel BB MOX Pu 4% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	27
Gambar 4.14 Susunan Sel BB MOX Pu 6% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	28
Gambar 4.15 Grafik Sel BB MOX Pu 6% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	28
Gambar 4.16 Susunan Sel BB MOX Pu 8% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	29
Gambar 4.17 Grafik Sel BB MOX Pu 8% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	29
Gambar 4.18 Susunan Sel BB MOX Pu 10% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	30
Gambar 4.19 Grafik Sel BB MOX Pu 10% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	30

Gambar 4.20 Susunan Sel BB MOX Pu 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	31
Gambar 4.21 Grafik Sel BB MOX Pu 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% r (75 cm dan 95 cm) dan t 130 cm.....	31

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter dan Spesifikasi Desain Reactor PWR.....	18
Table 4.1 Nilai Sel Bahan Bakar Tahun Ke-10.....	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan dasar bagi manusia yang menjadi faktor utama dalam pembangunan ekonomi dan sosial. Tanpa pasokan energi yang memadai, kualitas hidup tidak dapat tercapai. Oleh karena itu, ketersediaan energi yang cukup dianggap penting untuk mewujudkan kehidupan yang berkualitas, aman, dan sejahtera. Listrik yang dihasilkan dari proses fisi nuklir terbukti sebagai salah satu sumber energi yang efisien dan aman.

Pada Februari 2018, terdapat 449 unit pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) yang aktif di seluruh dunia, dengan 56 unit lainnya sedang dalam tahap pengembangan. Menurut Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) tugas tenaga nuklir akan menjadi semakin signifikan untuk mencapai tujuan keberlanjutan (*sustainability*) mengingat semakin berkembangnya populasi dan ekonomi global. Amerika Serikat adalah negara dengan jumlah PLTN terbanyak, yaitu 103 unit yang tersebar di 65 lokasi dan menyuplai sekitar 20% dari kebutuhan listriknya (Aziz dkk., 2021).

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan salah satu sumber energi alternatif yang mengandalkan energi dari reaktor nuklir untuk menghasilkan listrik. Uranium berperan sebagai bahan bakar utama dalam reaktor ini. Uranium alam yang melimpah di lapisan kerak bumi yang terdiri dari campuran U238 dan U235. Selain uranium, thorium juga kerap digunakan sebagai bahan bakar alternative (Dilaga dkk., 2019). Prinsip kerja dari PLTN yaitu melibatkan uap bertekanan tinggi yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator guna menghasilkan listrik. Sumber panas dalam proses ini diperoleh dari reaksi nuklir yang terjadi pada uranium.

Sekitar 80% PLTN yang masih beroperasi di dunia saat ini menggunakan reaktor air ringan (LWR) yang pertama kali diperkenalkan oleh Amerika Serikat. Reaktor jenis ini terbagi menjadi dua tipe, yaitu reaktor air mendidih (*boiling water reactor*) dan reaktor air bertekanan (*pressurized water reactor*). Perbedaan antara keduanya terletak pada desain bejana reaktor dan keadaan air yang digunakan dalam reaktor. PWR lebih

sering digunakan dibandingkan BWR karena karena memiliki desain yang lebih sederhana, sehingga lebih mudah dikendalikan dan disesuaikan dengan kerangkanya. Pada reaktor tipe PWR panas dihasilkan dalam teras reaktor yang terdiri dari bahan bakar, moderator, dan batang kendali (Nurmawan dkk., 2014). Dalam ulasan ini, penulis akan membahas tentang PLTN tipe PWR dengan kapasitas daya 1000 MWth yang mampu beroperasi selama lima tahun tanpa pengisian ulang bahan bakar dengan menggunakan *uranium mixed oxide* sebagai bahan bakarnya.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini mengkaji reaktor tipe *Pressurized Water Reactor* (PWR) dengan desain yang menggunakan bahan bakar uranium mixed oxide dengan kapasitas daya 1000 MWth. Salah satu standar keselamatan yang harus dipenuhi oleh setiap reaktor PWR adalah mempertimbangkan jenis dan susunan bahan bakar dalam teras reaktor, agar dapat beroperasi dengan efisien dan aman dalam jangka waktu yang lama.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini menganalisis reaktor tipe *Pressurized Water Reactor* (PWR) dengan pendekatan perhitungan neutronik yang mencakup analisis persamaan transport neutron, difusi, *burn-up*, serta difusi multigrup menggunakan *Standart Reactor Analysis Code* (SRAC).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah :

1. Memperoleh desain reaktor berukuran 1000 MWth yang mampu beroperasi selama lima tahun tanpa pengisian ulang bahan bakar.
2. Menghitung sel bahan bakar berbasis uranium *mixed oxide* untuk memperoleh data level *burnup*, densitas atom dan *conversion ratio* (CR).
3. Menghitung faktor multiplikasi efektif (K_{eff}) untuk mengetahui tingkat populasi neutron di teras reaktor.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil analisis reaktor tipe *Pressurized Water Reactor* (PWR) dengan menggunakan bahan bakar *uranium mixed oxide* dapat memberikan kontribusi yang positif terhadap desain reaktor yang mampu beroperasi dalam jangka panjang dan memiliki nilai ekonomi serta keselamatan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alatas, Z. dkk., 2016. Buku Pintar Nuklir. Jakarta : Batan Press.
- Ardiansyah, H. Agung, A. dan Harto, A.W., 2018. Studi Parameter Desain Teras Integral *Pressurized Water Reactor* Dengan Bahan Bakar *Mixed Oxide Fuel* Menggunakan Program SRAC. Jurnal Forum Nuklir, 2 (12) : 62.
- Aziz, F. Mardiyanto, dan Rivai, A. K., 2021. PLTN dan Riset Material Reaktor Maju. Yogyakarta : Deepublish.
- Dilaga, N. M. Yulianti, Y. dan Riyanto, A., 2019. Desain Teras Reaktor *High Temperatur Gas-Cooled Reactor* (HTGR) Model *Mesh Triangular* Dua Dimensi Berbahan Bakar *Thorium* Berpendingin Gas CO_2 . Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika, 1 (7) : 107.
- Duderstadt, J. J. dan Hamilton, L. J., 1976. *Nuclear Reactor Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Ilham, M. dan Su'ud, Z., 2017. *Design Study of Modular Nuclear Power Plant With Small Long Life Gas Cooled Fast Reactors Utilizing MOX Fuel*. Journal of Physics : Conference Series, 799 (1): 2.
- Muhammad, I. R. dkk., 2019. Karakteristik *Blanket Ceramic-Brick Heater* (BCH) 02 Pada Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (Fassip) 01 Modifikasi 1. Jurnal Teknik Mesin, 1 (5) : 16.
- Novalianda, S., 2019. *Power Flattening* Desain Reaktor GFR Berbasis Bahan Bakar Uranium Plutonium Nitride (U, Pu) N. Journal of Electrical Technology, 3 (4) : 140 – 141.
- Novalianda, S. Ramadhan, A. dan Su'ud, Z., 2020. Perhitungan Burnup Desain Reaktor GFR berbasis bahan bakar Uranium Nitride. Jurnal Penelitian Sains, 2 (22) : 51 – 52.
- 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. Poros, 1 (12) : 1.
- Okumura, K., Kugo, T., Kaneko, K., dan Tsuchihashi, K., 2007. SRAC 2006 : *A Comprehensive Neutronics Calculation Code System*.

- Richardina, V. Budi, W. S., 2015. Studi Parameter Reaktor Berbahan Bakar U_2O Dengan Moderator H_2O Dan Pendingin H_2O . Berkala Fisika, 3 (18) : 96 – 97.
- Sari, N. P. Fitriyani, D. dan Irka, F. H., 2016. Analisis Neutronik Super *Critical Water Reactor* (SCWR) dengan Variasi Bahan Bakar (UN-PuN, UC-PuC dan MOX). Jurnal Fisika Unand, 1 (5) : 48.
- Subkhi, M. N. dkk., 2015. Studi Desain Reaktor Air Bertekanan (PWR) Berukuran Kecil Berumur Panjang Berbahan Bakar *Thorium*. Edisi Juni, 1 (9) : 37 – 39.