

STUDI KOMPARASI PADA DESAIN *MODIFIED CANDLE GAS COOLED FAST REACTOR* (GFR) DENGAN INPUT SIKLUS BAHAN BAKAR THORIUM NITRIDE DENGAN URANIUM NITRIDE

SKRIPSI

sebagai salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains Studi Fisika



OLEH:

ANNISA RAHMADINA

NIM. 08021281823022

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

2024

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Annisa Rahmadina

NIM : 08021281823022

Judul TA : Studi Komparasi Pada Desain *Modified* CANDLE Gas-cooled Fast Reactor (GFR) Dengan Input Siklus Bahan Bakar Thorium Nitride Dengan Uranium Nitride.

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,



Annisa Rahmadina

NIM.08021281823022

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI KOMPARASI PADA DESAIN *MODIFIED CANDLE GAS-COOLED FAST REACTOR* (GFR) DENGAN INPUT SIKLUS BAHAN BAKAR THORIUM NITRIDE DENGAN URANIUM NITRIDE

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat memperoleh gear
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika

Disusun Oleh:

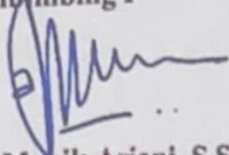
ANNISA RAHMADINA

08021281823022

Indralaya, 11 November 2024

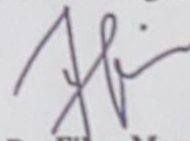
Menyetujui,

Pembimbing I




Dr. Mehik Ariani, S.Si., M.Si.
NIP. 197211252000122001

Pembimbing II



Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si.
NIP. 197002231995121002



Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Dr. Fransyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya Penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “**Studi Komparasi Pada Desain *Modified CANDLE Gas-cooled Fast Reactor (GFR) Dengan Input Siklus Bahan Bakar Thorium Nitride Dengan Uranium Nitride***”. Penyusunan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Strata 1 Sarjana Fisika, di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan dan penyusunan Skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna karena keterbatasan wawasan serta pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Skripsi ini tidaklah mungkin dapat diselesaikan tanpa adanya bimbingan, saran, motivasi, serta bantuan yang diberikan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, atas karunia-Nya Penulis dapat menyelesaikan penelitian ini;
2. Kedua orang tua Bapak (Alm) M. Hadis dan Ibu Agustin Loembaghi serta kakak dan adik-adik saya yang melatarbelakangi perjuangan saya, yang memberikan doa dan dukungan sepenuhnya. Terima kasih atas dukungan materil dan non-materil. Semoga kalian bahagia;
3. Bapak Prof. Hermansyah S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya;
4. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya;
5. Ibu Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si., dan Bapak Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si., selaku Pembimbing yang senantiasa sabar meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, bantuan, serta motivasi sehingga Penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini;
6. Ibu Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing akademik;
7. Ibu Dr. Assaidah, M.Si., dan Bapak Dr. Akmal Johan, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun serta ilmunya kepada Penulis sehingga skripsi ini lebih baik lagi;
8. Bapak dan Ibu Dosen serta staf administrasi Jurusan Fisika yang telah membantu dan memberikan ilmu yang sangat berharga kepada Penulis selama menempuh pendidikan di

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya;

9. Teman-teman Fisika Angkatan 2018 (AMF181), Eliners, serta para anggota HIMAFIA. Terima kasih atas bantuan, doa, dan dukungannya;;
10. 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, 11 November 2024

Penulis

ANNISA RAHMADINA

NIM. 08021281823022

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
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	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN)	4
2.2. Reaktor Nuklir	5
2.3. Bahan Bakar Nuklir	7
2.4. <i>Gas-cooled Fast Reactor</i> (GFR)	8
2.5. <i>Modified CANDLE</i>	9
2.6. Analisis Neutronik	10
2.6.1 Faktor Multiplikasi	10
2.6.2 Densitas Atom	11
2.6.3 Persamaan <i>Burnup</i>	12
2.6.4 Reaksi Fisi	13
2.7. <i>System Reactor Atomic Code</i> (SRAC)	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1. Waktu dan Tempat	15
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	15
3.3. Tahapan Penelitian	15
3.4. Diagram Alir Penelitian	16

3.5. Spesifikasi dan Geometri Desain Teras Reaktor.....	18
3.6. Strategi <i>Burnup</i>	19
3.7. <i>Survey</i> Parameter.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1. Hasil Desain Geometri Teras Reaktor	21
4.2. Analisis Perhitungan Hasil Deplesi Teras Reaktor	22
4.2.1 Tingkat Kekritisian.....	23
4.2.2 Konversi Rasio.....	25
4.2.3 Densitas Atom.....	26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	30
5.1. Kesimpulan	30
5.2. Saran.....	30
DAFTAR PUSTAKA	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Pembangkit Tenaga Nuklir (PLTN)	5
Gambar 2.2 Diagram Skematik dari Gas-cooled Fast Reactor.....	9
Gambar 2.3 Faktor Multiplikasi Neutron	11
Gambar 2.4 Skema Peluruhan Tipe Produksi.....	12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	16
Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan Teras Reaktor	17
Gambar 3.3 Geometri Sel Bahan Bakar	18
Gambar 3.4 Geometri Teras Reaktor.....	19
Gambar 3.5 Skema <i>Modified CANDLE Burunp</i>	19
Gambar 4.1 Visualisasi 2-D pin bahan bakar	21
Gambar 4.2 Visualisasi rakitan pin bahan bakar	21
Gambar 4.3 Strategi susunan bahan bakar CANDLE	22
Gambar 4.4 Profil bahan bakar.....	21
Gambar 4.5 Evolusi <i>K-Effective</i> selama waktu operasi 100 tahun.....	23
Gambar 4.6 Evolusi konversi rasio bahan bakar UN dan ThN selama 100 tahun operasi...	25
Gambar 4.7 Perubahan komposisi isotop U238 pada UN	27
Gambar 4.8 Perubahan komposisi isotop Pu239 pada UN.....	27
Gambar 4.9 Perubahan komposisi isotop Th232 pada ThN.....	28
Gambar 4.10 Perubahan komposisi isotop U233 pada ThN	28

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter dan Spesifikasi Desain Gas-cooled Fast Reactor (GFR).....	18
Tabel 3.1 Tingkat kekritisan Reaktor berdasarkan Komposisi Bahan Bakar dalam Teras ..	23

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangatlah penting. Sebagian besar bahan bakar yang diperlukan untuk menggunakan listrik dipenuhi oleh fosil yang merupakan bahan utama pemasok listrik bagi manusia. Sumber energi pembangkit listrik adalah bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Energi yang dihasilkan oleh fosil sendiri mungkin memiliki cacat, dan pada akhirnya dihasilkan CO₂ (karbon dioksida) dan NO₂ (nitrogen dioksida), yang menyebabkan pemanasan global dan hujan asam, yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan tubuh manusia. Seiring manusia yang semakin banyak populasinya yang membuat kebutuhan akan listrik semakin meningkat serta bahan bakar utama sekarang untuk memenuhi kebutuhan listrik bagi manusia adalah fosil yang ketersediaannya semakin menipis, maka memerlukan alternatif pengganti yang dapat digunakan dalam jangka panjang.

Reaktor nuklir merupakan salah satu alternatif pendongkrak listrik yang dapat digunakan oleh manusia sebagai pengganti bahan bakar fosil. Reaktor sendiri dibagi menjadi dua menurut tenaga neutron yang melangsungkan pembelahan yaitu reaktor termal dan reaktor. Reaktor cepat berpendingin gas adalah salah satu reaktor cepat yang akan dibahas merupakan reaktor generasi ke IV yang sedang dalam tahap pengembangan dan direncanakan untuk didistribusikan setelah tahun 2030. GFR menghasilkan pendingin helium spektrum cepat dengan rotasi bahan bakar tertutup. Dengan temperatur outlet yang tinggi, pendingin helium dapat menghasilkan hidrogen yang menciptakan energi listrik dengan efisiensi tinggi (Ariani dkk., 2013). Penelitian mengenai reaktor GFR telah sering dilakukan, penerapan strategi *modified* CANDLE pada reaktor tipe GFR memungkinkan harga listrik menjadi sangat murah sekaligus memiliki tingkat keselamatan yang sangat tinggi, lepasnya ketergantungan dari teknologi pengayaan uranium dan pemrosesan ulang bahan bakar nuklir dan reaktor ini juga mampu membakar limbah nuklir untuk menambah pasokan energinya (Ariani, 2015). Penelitian ini akan dilakukan pada reaktor cepat tipe GFR yang akan menerapkan strategi *modified* CANDLE dengan menggunakan dua bahan bakar yang berbeda yaitu uranium nitride dan thorium nitride yang akan diakukan dikelola perhitungan neutroniknya menggunakan SRAC sebagai media pendukung.

1.2 Rumusan Masalah

Kajian dalam penelitian ini berupa desain teras *modified* CANDLE dengan dua jenis bahan bakar yang berbeda yaitu uranium nitride dan thorium nitride. Melalui perbandingan kedua bahan bakar nuklir tersebut melalui proses mencari perbedaan performa yang didapat dari faktor multiplikasi efektif, konversi rasio, dan perubahan material fisil dan fertil tiap-tiap bahan bakar nuklir serta mencari perhitungan neutronik kedua bahan bakar tersebut menggunakan SRAC.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian analisis neutronik pada sel bahan bakar uranium nitride dan thorium nitride yaitu;

1. Mendesain satu teras *modified* CANDLE GFR dengan dua bahan bakar yang berbeda, yaitu uranium nitride dan thorium nitride.
2. Mengetahui perbedaan kinerja dari dua bahan bakar melalui parameter fisik yaitu, faktor multiplikasi efektif, konversi rasio, serta perubahan material fisil dan fertil.
3. Mengetahui hasil deplesi kedua bahan bakar selama 100 tahun dari masing-masing desain menggunakan SRAC.

1.4 Batasan Masalah

Adapun penelitian ini memiliki batasan masalah yaitu bahan bakar yang akan dikomparasikan adalah uranium nitride dan thorium nitride. Material kelongsong, pendingin, dan reflektor masing-masing adalah Stainless Steel SS316, Helium (He), dan Berilium Oksida (BeO). Simulasi dilakukan dengan melalui proses *burnup* atau deplesi selama 100 tahun. Keefektifan dua bahan bakar yang akan dibandingkan di tinjau dari parameter fisik meliputi nilai faktor multiplikasi efektif, konversi rasio, dan perubahan komposisi material fisil dan fertil atau densitas atom.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini mempunyai manfaat agar dapat menambah wawasan penulis dan pembaca akan potensi dari dua bahan bakar nuklir yaitu uranium nitride dan thorium nitride yang akan di komparasikan keefektifan nya menggunakan metode *modified* CANDLE dengan SRAC sebagai media perangkat lunak untuk menunjang penelitian penulis. Sementara itu penelitian ini dapat

menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya khusus di bidang studi komparasi *modified* CANDLE reaktro berpendingin cepat dengan input siklus bahan bakar thorium nitride dan uranium nitride.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwardojo, Lasman, N., Ruslan, Parmanto, E. M., Effendi, E., 2010. *Mengenal Reaktor Nuklir dan Manfaatnya*. Jakarta : Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Anggoro, Y. D., Nurlaila, D. D. dan Yuliyanto, A. T., 2013. *Kajian Perkembangan PLTN Generasi IV*. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir 2(15): 72-73.
- Ariani, M., Su'ud, Z. dan Monado, F., 2013. *Desain reaktor cepat berpendingin gas 600 MWth dengan Uranium Alam sebagai Input Siklus Bahan Bakar*. Jurnal Ilmu Dasar 1(14): 11-12.
- Ariani, M., Supardi, Monado, F. dan Su'ud, Z., 2015. *Potensi Thorium sebagai Bahan Bakar pada Reaktor Cepat Berpendingin Gas untuk PLTN*. Prosiding Semirata Bidang MIPA BKS-PTN Barat. Hal: 40.
- Duderstadt, J. J. dan Hamilton, L. J., 1976. *Nuclear Reactor Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Irka, F. H. dan Su'ud, Z., 2015. *Analisis Burnup pada Reaktor Cepat Berpendingin Gas Menggunakan Bahan Bakar Uranium Alam*. Jurnal Ilmu Fisika (JIF) 2(7): 79.
- King, D.M dan Liddle, S.T., 2014. *Progress in molecular uranium-nitride chemistry*. ELSEVIER. 2(15) : 4-5.
- Moehtadi, F., Sanyoto, A. dan Setiawati, A., 2007. *Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Manfaat dan Potensi Bahayanya*. Jakarta: Kementerian Negara Riset dan Teknologi.
- Novalianda, S., Ramadhan, A. dan Su'ud, Z. 2020. *Perhitungan Burnup Desain Reaktor GFR Berbasis Bahan Bakar Uranium Nitride*, Jurnal Penelitian Sains, 22(2): 50–54.
- Okawa, T., Nakayama, S. dan Sekimoto, H., 2012. *Design Study on Power Flattening to Sodium Cooled Large-Scale CANDLE Burning Core with Using Thorium Fuel*. Energy Conversion and Management (53): 182-184.
- Okumura K., Kugo, T., Kaneko, K., dan Tsuchihashi, K., 2002. *SRAC version 2002*. Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) Report.

- Peryoga, Y., Parmanto, E. M. dan Pranoto, A., 2007. *Mengenal Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir*. Jakarta: Kementerian Riset dan Teknologi.
- Saputra, R., 2015. “*Identification of Radiometric and Mineragraphy Analysis of Uranium and Sulfide Mineral at BM-179 Kalan-West Kalimantan Uranium Ore*”. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*, 14 (2) : 311-321.
- Stacey, W. M. 2007. *Nuclear Reactor Physic: Second Edi*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Su’ud, Z. dan Sekimoto, H., 2013. *The Prospect of Gas Cooled Fast Reactors for Long Life Reactors with Natural Uranium as Fuel Cycle Input*. *Jurnal Annals of Nuclear Energy* (54): 58-64.
- Waltar, A. E. dan Reynolds, A. B., 1981. *Fast Breeder Reactors*. New York: Pergamon Press.
- Waluyo, A., 2014. *Analisis Kekritisian Tabung Hidriding Di IEBE Dengan Menggunakan Program Komputer SCALE 6.1*. Seminar Keselamatan Nuklir.
- Zweifel, P. F. 1973. *Reactor Physics*. USA: McGraw-Hill.
- Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. Diakses dari <https://www.batan.go.id> tanggal 5 Juni 2022.