

**DESAIN NEUTRONIK TERAS *SODIUM-COOLED FAST REACTOR* (SFR)  
DENGAN BAHAN BAKAR URANIUM METALIK BERDAYA  
1000 MW<sub>th</sub> BERBASIS OPENMC**

**SKRIPSI**

*Dibuat Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Strata Satu Bidang Studi Fisika*



**Oleh :**

**Dwi Rahmawati  
NIM. 08021181924015**

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

**2023**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Dwi Rahmawati  
NIM : 08021181924015  
Judul Tugas Akhir : DESAIN NEUTRONIK TERAS *SODIUM-COOLED FAST REACTOR* (SFR) DENGAN BAHAN BAKAR URANIUM METALIK BERDAYA 1000 MWTH BERBASIS OPENMC

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 paksaan 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 proses hukum yang telah ditetapkan.

Indralaya, 31 Juli 2023

Yang menyatakan



Dwi Rahmawati

NIM. 08021181924015

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**DESAIN NEUTRONIK TERAS *SODIUM-COOLED FAST REACTOR* (SFR)**  
**DENGAN BAHAN BAKAR URANIUM METALIK BERDAYA 1000 MWth**  
**BERBASIS OPENMC**

**SKRIPSI**

*Dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
Gelar Sarjana Sains bidang studi Fisika*

Oleh :

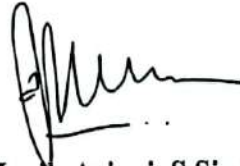
**Dwi Rahmawati**  
**NIM. 08021181924015**

Indralaya, 31 Juli 2023

Menyetujui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2



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

**NIP. 197211252000122001**




**Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si.**

**NIP. 197002231995121002**

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



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

**NIP. 197009101994121001**

## LEMBAR PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan dengan kesanggupannya”*

*(Q.S. Al-Baqarah. 286)*

*“Hadiah terbaik adalah apa yang kamu miliki. dan takdir terbaik adalah apa yang sedang kamu jalani”*

*“Jadikan Allah segala-galanya untukmu maka atas izin Allah. Allah akan menjadikan segala-galanya mudah bagimu”*

*“Kesuksesan tidak akan berpihak pada orang yang malas”*

### **Skripsi ini penulis persembahkan untuk:**

“Allah SWT yang Maha pemberi petunjuk dan Maha pemberi pertolongan. Diriku sendiri yang telah kuat untuk sampai di titik ini. Orang tuaku yang tak pernah berhenti untuk memberikan dukungan dan melangitkan doa-doa yang terbaik. Adikku, Keluargaku, Pembimbing, Dosen, Almamaterku, Sahabatku dan Teman-Teman seperjuanganku serta Orang-Orang yang selalu membantu dan mendukungku untuk dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik”.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul “**Desain Neutronik Teras *Sodium-cooled Fast Reactor (SFR)* Dengan Bahan Bakar Uranium Metalik Berdaya 1000 MWTh Berbasis OpenMC**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan tulus penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Allah SWT, yang telah memberikan petunjuk dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.
2. Kedua orang tua, adik dan keluarga yang telah memberikan doa, dukungan, dan materil selama menjalankan studi.
3. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa membimbing dan memberikan arahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih atas kesabaran dan waktu yang diberikan selama proses pembuatan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan saran selama pembuatan skripsi ini. Terimakasih atas kesabaran dan waktu yang telah diberikan selama proses pembuatan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Supardi. S.Pd.. M.Si., dan Bapak Drs. Hadir Kaban, S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang dapat membuat penulis menjadi lebih baik lagi.

7. Bapak Drs. Arsali, M.SC. dan Bapak Drs. Muhammad Irfan., MT. sebagai Pembimbing Akademik yang telah memberikan motivasi, dukungan dan semangat selama proses perkuliahan sampai proses penyusunan skripsi ini.
8. Seluruh dosen Jurusan Fisika Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan.
9. Kak Anas Fatur Rahman, Kak Aldi Kurniawan dan Kak Canti Dwi Putri yang telah bersedia untuk berbagi ilmu dan membantu penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.
10. Nurhidayah, Daril dan Delia yang telah berjuang bersama untuk menyelesaikan penelitian ini.
11. Dina dan Ayu sebagai sahabat fisika yang selalu ada di saat suka dan duka.
12. Teman-Teman seperjuangan Fisika 2019, Fisika 2020, Asisten Eksperimen Fisika dan Asisten Fisika Komputasi yang telah kebersamai dan memberikan semangat kepada penulis.
13. Seluruh pihak yang telah membantu dan mendoakan penulis yang namanya tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Indralaya, 12 Juni 2023

Penulis,

Dwi Rahmawati

NIM. 08021181924015

**DESAIN NEUTRONIK TERAS SODIUM-COOLED FAST REACTOR (SFR)  
DENGAN BAHAN BAKAR URANIUM METALIK BERDAYA 1000  
MWTh BERBASIS OPENMC**

Oleh:

**DWI RAHMAWATI**

**NIM. 08021181924015**

**ABSTRAK**

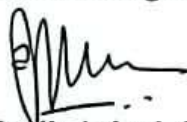
SFR adalah jenis reaktor cepat dengan bahan bakar tertutup yang menggunakan sodium sebagai pendinginnya. Analisis neutronik terhadap desain geometri teras SFR dengan bahan bakar Uranium Metalik berdaya 1000 MWTh telah dilakukan agar desain teras memenuhi kriteria parameter neutronik. Simulasi dilakukan dengan menggunakan OpenMC yang memiliki pustaka data nuklir ENDF/B VIII.0. Perhitungan parameter neutronik dilakukan dengan pengayaan Uranium sebesar 0% sampai 7% dengan waktu deplesi 328.5 hari. Nilai faktor multiplikasi efektif ( $k_{eff}$ ) dapat mencapai kondisi kritis pada kondisi BOC dan EOC ketika diberikan pengayaan 6% sampai 7% dengan nilai  $CR < 1$ . Perubahan komposisi bahan bakar  $^{235}\text{U}$  dan  $^{238}\text{U}$  terus menurun seiring dengan berjalannya waktu deplesi. Densitas atom  $^{239}\text{Pu}$  terus menurun karena konsumsi  $^{239}\text{Pu}$  lebih tinggi dibandingkan dengan produksinya. Perhitungan neutronik seperti distribusi kepadatan fluks neutron dan distribusi laju reaksi fisi juga dilakukan dengan hasil nilai distribusi kepadatan fluks neutron tertinggi berada pada pengayaan 1%. Sedangkan nilai distribusi laju reaksi fisi tertinggi berada pada pengayaan 7%. Berdasarkan nilai  $k_{eff}$  bahan bakar Uranium Metalik dengan pengayaan 6%  $^{235}\text{U}$  dapat mencapai kondisi kritis selama 328.5 hari, sehingga bahan bakar tersebut dapat menjadi pertimbangan untuk reaktor SFR.

**Kata kunci:** SFR, OpenMC, Analisis neutronik,  $k_{eff}$ , Distribusi fluks neutron, dan Laju reaksi

Indralaya, 31 Juli 2023

Menyetujui,

Pembimbing 1



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

**NIP. 197211252000122001**

Pembimbing 2



**Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si.**

**NIP. 197002231995121002**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



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

**NIP. 197009101994121001**

**NEUTRONIC DESIGN OF A SODIUM-COOLED FAST REACTOR (SFR)  
CORE WITH 1000 MWTH METALLIC URANIUM FUEL BASED ON  
OPENMC SOFTWARE**

**By:**

**Dwi Rahmawati**

**NIM. 08021181924015**

**ABSTRACT**

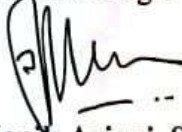
SFR is a type of closed-fuel fast reactor that uses sodium as a coolant. Neutronic analysis of the SFR core geometry design with 1000 MWTh Metallic Uranium fuel has been carried out so that the core design meets the criteria for neutronic parameters. The simulation was performed using OpenMC which has the ENDF/B VIII.0 nuclear data library. The calculation of the neutronic parameters was carried out by enriching Uranium by 0% to 7% with a depletion time of 328.5 days. The value of the effective multiplication factor ( $k_{eff}$ ) can reach a critical condition in BOC and EOC conditions when it is given an enrichment of 6% to 7% with a  $CR < 1$  value. Changes in the composition of the  $^{235}\text{U}$  and  $^{238}\text{U}$  fuels continued to decrease as the depletion time progressed. The atomic density of  $^{239}\text{Pu}$  continues to decrease because the consumption of  $^{239}\text{Pu}$  is higher than its production. Neutronic calculations such as distribution of neutron flux density and distribution of fission reaction rates were also carried out with the result that the highest distribution value of neutron flux density was at 1% enrichment. While the distribution value of the highest fission rate is at 7% enrichment. Based on the  $k_{eff}$  value of Metallic Uranium fuel with enrichment of 6%  $^{235}\text{U}$  can reach a critical condition for 328.5 days, so this fuel can be considered for SFR reactors.

**Keyword:** SFR, OpenMC, Neutronic analysis, Effective multiplication factor ( $k_{eff}$ ), Neutron flux distribution, Reaction rate

Indralaya, 31 Juli 2023

Menyetujui,

Pembimbing 1



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

**NIP. 197211252000122001**

Pembimbing 2



**Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si.**

**NIP. 197002231995121002**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



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

**NIP. 197009101994121001**



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) .....	4
2.2 Reaktor Nuklir.....	5
2.3 Komponen-Komponen Reaktor Nuklir .....	5
2.4 <i>Sodium-Cooled Fast Reactor</i> (SFR).....	6
2.5 Bahan Bakar Reaktor Nuklir Untuk PLTN .....	7
2.6 Reaksi Fisi .....	11
2.7 Analisis Neutronik.....	12
2.7.1 Penampang Lintang Reaksi Fisi ( <i>Fission Cross Section</i> ).....	12
2.7.2 Persamaan Transport Neutron .....	13
2.7.3 Faktor Multiplikasi Neutron .....	14
2.8 Level Burn Up.....	15
2.9 Metode Monte Carlo.....	16

2.10 OpenMC .....	16
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>18</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	18
3.2 Alat dan Bahan .....	18
3.3 Tahapan Penelitian .....	18
3.3.1 Diagrnan Alir Penelitian .....	19
3.4 Spesifikasi Desain Teras SFR Berdaya 1000 MWTh .....	20
3.5 Parameter Survei .....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1 <i>Plotting</i> Desain Geometri Teras <i>Sodium-cooled Fast Reactor</i> (SFR).....	31
4.2 Analisis Faktor Multiplikasi Efektif Teras SFR.....	35
4.3 Konversi Rasio Bahan Bakar Uranium Metalik Pada Teras SFR .....	36
4.4 Perubahan Komposisi Bahan Bakar Fisil dan Fertl Pada Teras SFR....	37
4.5 Distribusi Kepadatan Fluks Neutron Pada Teras SFR .....	40
4.6 Distribusi Laju Reaksi Fisi Pada Teras SFR .....	46
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>52</b>
5.1 Kesimpulan.....	52
5.2 Saran.....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema <i>Sodium-cooled Fast Reactor</i> (SFR) .....	6
Gambar 2.2 a. Uraninite b. Autunite c. Yellow Cake atau serbuk U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> .....	7
Gambar 2.3 Tabung berisi UF <sub>6</sub> .....	8
Gambar 2.4 Tabung difusi pada pabrik pengkayaan metode difusi gas .....	8
Gambar 2.5 Tabung sentrifugasi pada pabrik pengkayaan dengan metode sentrifugasi.....	9
Gambar 2.6 Pellet bahan bakar .....	9
Gambar 2.7 Batang bahan bakar .....	9
Gambar 2.8 Proses fabrikasi bahan bakar U-Zr .....	10
Gambar 2.9 Reaksi Fisi .....	11
Gambar 2.10 Tingkat kekritisan reaktor .....	14
Gambar 3.1 Diagram alir tahapan penelitian .....	19
Gambar 3.2 Diagram alir perhitungan analisis neutronik teras SFR .....	20
Gambar 3.3 Desain geometri teras SFR berbahan bakar Uranium Metalik.....	21
Gambar 3.4 Skema geometri <i>subassembly</i> SFR 1000 MWTh.....	21
Gambar 4.1. Geometri teras SFR (a) Arah radial tanpa batang kendali dan (b) Arah radial dengan batang kendali .....	24
Gambar 4.2. Geometri teras SFR (a) Desain teras aktif SFR arah aksial tanpa batang kendali dan (b) Desain teras aktif SFR arah aksial dengan batang kendali.....	26
Gambar 4.3. <i>Fuel Assembly</i> tanpa batang kendali (a) Arah radial dan (b) Arah Aksial .....	27
Gambar 4.4. <i>Fuel Assembly</i> Menggunakan batang kendali ( <i>control absorber</i> ) (a) Arah radial dan (b) Arah aksial .....	27
Gambar 4.5. Perubahan nilai faktor multiplikasi efektif pada teras SFR untuk pengayaan 0% sampai 7% .....	28
Gambar 4.6. Perubahan nilai konversi rasio pada teras SFR untuk pengayaan 0% sampai 7% .....	30

Gambar 4.7. Perubahan komposisi bahan bakar (a) $U^{235}$ dan (b) $U^{238}$ terhadap waktu <i>burn up</i> .....	31
Gambar 4.8. Perubahan komposisi bahan bakar (a) $Pu^{239}$ dan (b) $Pu^{241}$ terhadap waktu <i>burn up</i> .....	32
Gambar 4.9. Distribusi kepadatan fluks neutron pada teras SFR untuk kondisi BOC dan EOC dengan pengayaan Uranium 0% sampai 7% .....	34
Gambar 4.10. Distribusi laju reaksi fisi pada teras SFR untuk kondisi BOC dan EOC dengan pengayaan Uranium 0% sampai 7% .....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter umum desain dasar SFR 1000 MWTh .....	22
Tabel 3.2 Parameter umum dari <i>driver subassembly</i> untuk SFR 1000 MWTh ....	23
Tabel 3.3 Parameter umum desain reflektor radial teras SFR .....	23
Tabel 3.4 Parameter umum desain <i>shielding subassembly</i> untuk teras SFR .....	24
Tabel 3.5 Parameter umum desain batang kendali untuk teras SFR .....	25
Tabel 3.6 Fraksi volume dari komposisi penyusun teras SFR .....	26
Tabel 3.7 Struktur dan komposisi teras SFR (atom/barn).....	26
Tabel 3.8 Komposisi bahan bakar Uranium Metalik pada bagian <i>inner</i> .....	27
Tabel 3.9 Komposisi bahan bakar Uranium Metalik pada bagian <i>outer</i> .....	27
Tabel 4.1 Nilai distribusi kepadatan fluks neutron untuk kondisi BOC .....	38
Tabel 4.2 Nilai distribusi kepadatan fluks neutron untuk kondisi EOC .....	38
Tabel 4.3 Nilai distribusi laju reaksi fisi untuk kondisi BOC .....	43
Tabel 4.4 Nilai distribusi laju reaksi fisi untuk kondisi EOC .....	44

## DAFTAR ISTILAH

Teras reaktor	: Tempat untuk meletakkan bahan bakar dan tempat untuk berlangsungnya reaksi fisi.
<i>Fuel Assembly</i>	: Istilah untuk rakitan pin bahan bakar.
<i>Shielding</i>	: Perisai untuk menahan radiasi akibat reaksi fisi nuklir.
Reflektor	: Komponen reaktor yang berfungsi untuk memantulkan neutron kembali ke teras.
<i>Control Rod</i>	: Komponen reaktor yang berguna untuk mengendalikan reaksi fisi dan menyerap neutron.
<i>Level burn up</i>	: Pembakaran bahan bakar nuklir yang dapat menghasilkan energi per unit massa.
Deplesi	: Proses menurunnya jumlah atom dalam proses pembakaran.
Fisi	: Reaksi pembelahan inti atom karena adanya tumbukan neutron
Fusi	: Reaksi penggabungan inti atom yang memiliki massa kecil menjadi inti atom yang memiliki massa yang berat.
Fertil	: Bahan bakar yang tidak dapat melakukan reaksi fisi secara langsung karena memerlukan penangkapan neutron terlebih dahulu.
Fisil	: Bahan bakar yang dapat membelah dan dapat melakukan reaksi fisi.
<i>Conversion Ratio</i>	: Perbandingan bahan fisil yang diproduksi dan bahan fisil yang dikonsumsi.
<i>Depleted</i>	: Bahan bakar yang telah melalui proses pemurnian atau pemakaian dalam reaktor nuklir sehingga diperoleh kandungan isotop bahan bakar yang berbeda.
<i>Breeding</i>	: Kemampuan reaktor untuk menghasilkan lebih banyak bahan bakar fisil yang diproduksi daripada yang dikonsumsi.

## DAFTAR SIMBOL

$\sigma_f$	: Tampang lintang mikroskopik reaksi fisi (barn)
R	: Laju reaksi pembelahan inti atom (/cm <sup>2</sup> .s)
N	: Densitas atom (inti/cm <sup>3</sup> )
n	: Kerapatan neutron (nuklida/cm <sup>3</sup> )
v	: Kecepatan neutron (cm/s)
$\frac{1}{v} \frac{\partial \phi}{\partial t}$	: Perubahan fluks neutron terhadap waktu yang dibagi dengan kecepatan neutron
$\Omega$	: Arah gerak neutron
$\Sigma_t(\vec{r}, E)\phi(\vec{r}, E, \hat{\Omega}, t)$	: Suku laju produksi neutron pada posisi r, energi E, dan arah sudut $\Omega$
E	: Energi neutron (MeV)
r	: posisi (cm)
$\Sigma_s(E' \rightarrow E, c \rightarrow \hat{\Omega}')\phi(\vec{r}, E', \hat{\Omega}', t)$	: Suku penyebaran yang menggambarkan transfer fluks dari energi E dan arah sudut $\hat{\Omega}$
$s(\vec{r}, E, \hat{\Omega}, t)$	: Sumber neutron pada posisi r, energi E, arah sudut $\Omega$ dan waktu t
$k_{eff}$	: Faktor multiplikasi efektif
$k_{inf}$	: Faktor multiplikasi tak hingga
CR	: Konversi rasio
$\phi$	: Fluks neutron (neutron/cm <sup>2</sup> .s)
$\varepsilon$	: Faktor fisi cepat
p	: Probabilitas tangkapan resonansi
f	: Faktor termal
$\eta$	: Faktor reproduksi neutron
$P_{FNL}$	: Kemungkinan neutron cepat tidak bocor
$P_{TNL}$	: Kemungkinan neutron termal tidak bocor
$\lambda_A N_A$	: Nuklida yang hilang oleh peluruhan radioaktif
$[\sum_g \sigma_{Ag}^A \phi_g] N_A$	: Nuklida yang hilang karena tangkapan neutron

$$[\sum_g \sigma_{Ag}^c \phi_g] N_C$$

: Perubahan C menjadi A melalui tangkapan neutron

$$\lambda_B N_B$$

: Nuklida tambahan A akibat peluruhan B menjadi A



## DAFTAR SINGKATAN

SFR	: <i>Sodium-cooled Fast Reactor</i>
GIF	: <i>Generation IV International Forum</i>
GFR	: <i>Gas-cooled Fast Reactor</i>
VHTR	: <i>Very High Temperature Reactor</i>
LFR	: <i>Lead-cooled Fast Reactor</i>
MSR	: <i>Molten Salt Reactor</i>
SCWR	: <i>Super Critical Water-cooled Reactor</i>
EBT	: Energi Baru Terbarukan
PLTN	: Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
OpenMC	: <i>Open source Monte Carlo (software)</i>
MeV	: Mega elektron Volt
MWTh	: <i>Mega Watt thermal</i>
MWe	: <i>Mega Watt electric</i>
ENDF	: <i>Evaluated Nuclear Data Files</i>
UZr	: Uranium Zirkonium
SS	: <i>Stainless Steel</i>
BOC	: <i>Beginning of Cycle</i>
EOC	: <i>End of Cycle</i>
STD	: Standar Deviasi
XML	: <i>Extensible Markup Language</i>
IDEs	: <i>Integrated Development Environment</i>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan revolusi industri di dunia telah mencapai revolusi 4.0 yang memiliki fokus utama pada pengembangan teknologi modern. Oleh karena itu, Indonesia berencana untuk membangun PLTN dengan dasar bahwa sumber energi fosil yang digunakan sebagai pembangkit listrik mulai habis, terdapat tuntutan penggunaan energi bersih untuk memenuhi kebutuhan listrik di era industri 4.0. Akibatnya, terdapat upaya untuk menggunakan energi baru terbarukan (EBT) diantaranya energi matahari, energi angin, energi panas bumi, energi air, biodiesel dan energi nuklir (Dewi dkk., 2019). Energi nuklir merupakan salah satu energi bersih karena tidak menyebabkan emisi. Energi yang dihasilkan dari reaksi tenaga nuklir dapat digunakan untuk menghasilkan listrik atau biasa dikenal dengan PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) (Bawani dan Yulianti, 2016).

PLTN memiliki cara kerja yang sama dengan pembangkit listrik energi fosil pada umumnya, tetapi pada PLTN membutuhkan reaktor nuklir sebagai tempat berlangsungnya reaksi nuklir dan sebagai penghasil energinya (Ezer dkk., 2021). Saat ini, reaktor nuklir terus dikembangkan dengan tujuan untuk mencapai reaktor generasi maju yang inovatif yang mempunyai tingkat keamanan yang tinggi, dan menggantikan reaktor generasi III. Menurut GIF (Generation IV International Forum), terdapat enam jenis reaktor yang cocok untuk dibangun pada tahun 2030. Jenis-jenis reaktor tersebut adalah VHTR (*Very High Temperature Reactor*), SFR (*Sodium-cooled Fast Reactor*), GFR (*Gas-cooled Fast Reactor*), LFR (*Lead-cooled Fast Reactor*), MSR (*Molten Salt Reactor*), dan SCWR (*Super Critical Water-cooled Reactor*) (Anggoro dkk., 2013).

SFR adalah jenis reaktor cepat dengan siklus bahan bakar tertutup. SFR memiliki temperatur keluaran sebesar 510°C-550°C dan memiliki rentang daya 1500 MWe - 1700 MWe. Reaktor ini menggunakan sodium atau natrium sebagai pendinginnya. Sodium mampu menghasilkan temperatur yang tinggi dibandingkan dengan air biasa (H<sub>2</sub>O) dan mampu menghasilkan panas yang tinggi, sehingga SFR

sangat cocok digunakan untuk PLTN (Septi dkk., 2018). SFR dapat dioperasikan dengan menggunakan beberapa jenis variasi bahan bakar salah satunya adalah Uranium Metalik. Uranium Metalik merupakan jenis bahan fisil yang tersedia di alam dan memiliki kemampuan untuk mencegah potensi kerusakan sehingga dapat meningkatkan keselamatan reaktor nuklir (Vionita dkk., 2022). Berdasarkan penelitian Anas Faturahman (2022), berjudul “*Analisis Neutronik Teras Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR) 1000 MWTh Menggunakan Perangkat Lunak OpenMC*”. SFR memiliki bentuk kisi dan teras heksagonal. Selain itu, reaktor cepat SFR menggunakan bahan bakar Uranium Oksida dan Thorium Oksida memiliki tingkat kekritisian yang tidak stabil. Hal tersebut dikarenakan pada bahan bakar Uranium Oksida mengalami penurunan nilai  $k_{eff}$  yang lebih cepat dan pada bahan bakar Thorium Oksida mencapai tingkat kekritisannya setelah mengalami depleksi selama 50 hari.

Sebelum membangun reaktor nuklir diperlukan simulasi terlebih dahulu untuk menghindari terjadinya kecelakaan nuklir. Simulasi tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan *software* OpenMC. Pada penelitian ini penulis akan melakukan analisis terhadap desain teras reaktor cepat berpendingin Natrium (SFR) berbahan bakar Uranium Metalik berdaya 1000 MWTh dengan menggunakan *Software* OpenMC.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Analisis neutronik terhadap desain geometri teras SFR dengan bahan bakar Uranium Metalik berdaya 1000 MWTh perlu dilakukan agar desain teras memenuhi kriteria parameter neutronik seperti faktor multiplikasi efektif, distribusi fluks neutron, distribusi laju reaksi fisi dan *level burn up*.

## **1.3 Batasan Masalah**

Teras SFR pada penelitian ini memiliki desain geometri berbentuk heksagonal. berdaya 1000 MWTh dan berbahan bakar Uranium Metalik. Melakukan perhitungan tingkat kekritisian reaktor dan *level burn up* menggunakan *software* OpenMC.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mendesain geometri teras SFR dengan daya 1000 MWTh berbahan bakar Uranium Metalik.
2. Menghitung faktor multiplikasi efektif, distribusi fluks neutron, distribusi laju reaksi fisi, dan perubahan komposisi bahan bakar pada SFR.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini bermanfaat untuk memahami keunggulan bahan bakar Uranium Metalik sebagai bahan bakar SFR dan penelitian ini bermanfaat sebagai referensi untuk melakukan perancangan teras reaktor untuk PLTN berbahan bakar Uranium Metalik berdaya 1000 MWTh yang efisien dan memiliki tingkat keselamatan yang tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anas F. (2022). *Analisis Neutronik Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR) 1000 MWth Menggunakan Perangkat OpenMC. Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sriwijaya: Indralaya.*
- Anggoro, Y. D., Dewi, D., Yuliyanto, A. T., & Prapatan, M. (2013). Kajian Perkembangan PLTN Generasi IV. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 15(2), 69–79.
- Athiqoh, F., Setia Budi, W., Anam, C., Tri, D., & Tjiptono, W. (2014). Distribusi Fluks Neutron Sebagai Fungsi Burn-Up Bahan Bakar Pada Reaktor Kartini. *Youngster Physics Journal*, 3(2), 107–112.
- Aziz, F., Mardiyanto., dan Rivai, A. K. (2021). *PLTN dan Riset Material Reaktor Maju*. Yogyakarta : Deepublish.
- Bawani, S., & Yulianti, Y. (2016). Desain Reaktor Air Superkritis (Supercritical Cooled Water Reactor) dengan Menggunakan Bahan Bakar Uranium-horium Model Teras Silinder. *Teori Dan Aplikasi Fisika*, 04(01), 21–24.
- Dewi, M., Maharani, D., & Mellawati, J. (2019). Indeks Keberlanjutan Dimensi Peraturan Dalam Perencanaan Pembangunan PLTN Di Indonesia. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 21(1), 19–24.
- Duderstadt, J. J., & Hamilton, J. L. (1977). Nuclear Reactor Analysis. In *Nuclear Science and Engineering* (Vol. 62, Issue 2). Wiley. <https://doi.org/10.13182/nse77-a26972>
- Dwiatmanto, L. J. (2016). Penantian pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir di indonesia. *Orbith*, 12(2), 59–66.
- Ezer, N., Darmawan, P., Haryanto, D., Nyoman, I., Winaya, S., Sugita, I. K. G., & Juarsa, D. A. N. M. (2021). Perbandingan tipe tekanan Emergency Core Cooling System Pada Small Modular Reactor. *Jurnal Material Dan Teknologi Indonesia*, 11(01), 8–19.
- Gandhi, A., Sharma, A., Kopatch, Y. N., Fedorov, N. A., Grozdanov, D. N., Ruskov, I. N., & Kumar, A. (2019). Cross section calculation of (n,p) and (n,2n) nuclear reactions on Zn, Mo and Pb isotopes with ~ 14 MeV neutrons.

- Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 322(1), 89–97.  
<https://doi.org/10.1007/s10967-019-06533-6>
- Heriyanto, M., & Alfarizy, G. (2015). *Reaktivitas Reaktor Nuklir Sebagai Fungsi Burnup dan Waktu Operasi Reaktor Mata Kuliah FI-3242 Manajemen Bahan Bakar Nuklir* (Issue May). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32506.90560>
- Karleni, G., & Subekti, M. (2018). Analisis Desain Penampung Bahan Bakar Bekas Reaktor Daya Eksperimental ( RDE ) Menggunakan MCNPX 2.6.0. *SIGMA EPSILON - Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir*, 22(2), 59.
- Lee, J. H., & Park, I. S. (2022). Robust technique using magnetohydrodynamics for safety improvement in sodium-cooled fast reactor. *Nuclear Engineering and Technology*, 54(2), 565–578. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.08.025>
- Lestari, M. ., & Fitriyani, D. (2014). Pengaruh Bahan Bakar UN-PuN, UC-PuC DAN MOX Terhadap Nilai Breeding Ratio Pada Reaktor Pembiak Cepat. *Fisika Unand*, 3(1), 14–15.
- Locatelli, G., Mancini, M., & Todeschini, N. (2013). Generation IV nuclear reactors: Current status and future prospects. *Energy Policy*, 61, 1503–1520. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.06.101>
- Novalianda, S., Ramadhan, A., & Su'ud, Z. (2020). Perhitungan Burnup Desain Reaktor GFR berbasis bahan bakar Uranium Nitride. *Jurnal Penelitian Sains*, 22(2), 50–54.
- OECD Nuclear Energy, S. C. for N. (2016). Benchmark for Neutronic Analysis of Sodium-cooled Fast Reactor Cores with Various Fuel Types and Core Sizes. *Nuclear Energy Agency, February*, 1–87.
- Ogata, T. (2012). Comprehensive Nuclear Materials. In *Central Research Institute of Electric Power Industry, Tokyo, Komae, Japan* (Issue 5). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-056033-5.00049-5>
- Ohshima, H., & Kubo, S. (2016). Sodium-cooled fast reactor. In *Handbook of Generation IV Nuclear Reactors*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100149-3.00005-7>
- Pandi, L. Y., Pramono, Y., & Aji, B. (2019). Reaktor nuklir : pemanfaatan dan pengawasan. In *Badan Pengawas Tenaga Nuklir* (Issue October).

[https://www.researchgate.net/publication/336208957\\_Reaktor\\_Nuklir\\_Pemanfaatan\\_dan\\_Pengawasan](https://www.researchgate.net/publication/336208957_Reaktor_Nuklir_Pemanfaatan_dan_Pengawasan)

- Park, J., Cho, S. Y., Youn, Y. S., Lee, J., Kim, J. Y., Park, S. H., Bae, S. E., Kuk, S. W., Park, J. Y., Rhee, C. K., & Lim, S. H. (2019). Anisotropic lattice thermal expansion of uranium-based metallic fuels: A high-temperature X-ray diffraction study. *Journal of Nuclear Materials*, 527, 151803. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2019.151803>
- Richardina, V., Budi, W. S., & Tjiptono, T. W. (2015). Studi Parameter Reaktor Berbahan Bakar UO<sub>2</sub> Dengan Moderator H<sub>2</sub>O Dan Pendingin H<sub>2</sub>O. *Berkala Fisika*, 18(3), 95–100.
- Riska, Fitriani, D., & Handayani Irka, F. (2016). Analisis Neutronik pada Gas Cooled Fast Reactor (GCFR) dengan Variasi Bahan Pendingin (He, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>). *Jurnal Fisika Unand*, 5(1), 28–34.
- Romano, P. K., Horelik, N. E., Herman, B. R., Nelson, A. G., Forget, B., & Smith, K. (2014). OpenMC: A state-of-the-art Monte Carlo code for research and development. *Annals of Nuclear Energy*, 82, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2014.07.048>
- Rosidi, S. (2014). Analisis Uranium Dan Thorium Dalam Sedimen Laut Dan Sungai Di Sekitar Calon Tapak Pltn Lemahabang. In *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir* (Vol. 7, Issue 1, p. 9). <https://doi.org/10.17146/gnd.2004.7.1.1282>
- Şahin, S., & Wu, Y. (2018). Fission Energy Production. In *Comprehensive Energy Systems* (Vols. 3–5). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00331-X>
- Saputra, D. R., Yulianti, Y., & Riyanto, A. (2019). Studi Desain High Temperature Gas-Cooled Reactor ( HTGR ) Berpendingin Gas Hidrogen Menggunakan Bahan Bakar Thorium. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 07(01), 99–106.
- Septi, R., Shafii, M. A., Irka, F. H., & Su'ud, Z. (2018a). Analisis Kekritisan Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR) Berdasarkan Variasi Bahan Bakar. *Jurnal Fisika Unand*, 7(1), 80–83. <https://doi.org/10.25077/jfu.7.1.80-83.2018>
- Septi, R., Shafii, M. A., Irka, F. H., & Su'ud, Z. (2018b). Analisis Kekritisan Sodium-Cooled Fast Reactor (SFR) Berdasarkan Variasi Bahan Bakar. *Jurnal*

*Fisika Unand*, 7(1), 69–72. <https://doi.org/10.25077/jfu.7.1.69-72.2018>

- Shafii, M. A. (2013). *Beberapa Metode Penyelesaian Persamaan Transport Neutron dalam Reaktor Nuklir Solution Methods of Neutron Transport Equation in Nuclear Reactors*. 14(2), 59–65.
- Shafii, M. A., Septi, R., Handayani Irka, F., Arkundato, A., & Su'ud, Z. (2021). Neutronic analysis of sodium-cooled fast reactor design with different fuel types using modified CANDLE shuffling strategy in a radial direction. *International Journal of Energy Research*, 45(8), 12272–12283. <https://doi.org/10.1002/er.6384>
- Stacey, W. M. (2007). Nuclear Reactor Physics: Second Edition. In *Nuclear Reactor Physics: Second Edition*. <https://doi.org/10.1002/9783527611041>
- Sulaiman, F. (2011). Identifikasi Potensi, Dampak dan Pengendalian Lingkungan dalam Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. *Dedikasi*, 2(3), 27–54.
- Syarip, S. (2018). *Kinetika dan Pengendalian Reaktor Nuklir*. Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- Vionita, V., Monado, F., Ariani, M., & Royani, I. (2022). Perhitungan Desain Konsep Reaktor Cepat Berpendingin Karbondioksida Superkritis dan Berbahan Bakar Uranium Metalik Alam. *Teori Dan Aplikasi Fisika*, 10(02), 243–250.
- Yunanda, W. W., & Shafii, M. A. (2019). Analisis Koefisien Difusi Neutron terhadap Jarak Ekstrapolasi dalam. *Jurnal Fisika Unand*, 8(4), 362–367.