

**STUDI AWAL DISTRIBUSI TEMPERATUR ELEMEN BAHAN BAKAR
REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN GAS**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika



Oleh :
BALYA LUTVIANA LAILA SARO
08021281520069

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI AWAL DISTRIBUSI TEMPERATUR ELEMEN BAHAN BAKAR REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN GAS

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika

Oleh :

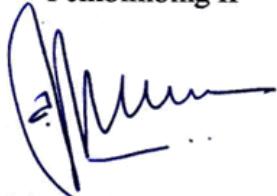
Balya Lutviana Laila Saro

08021281520069

Indralaya, Agustus 2019

Menyetujui,

Pembimbing II



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

NIP : 197211252000122001

Pembimbing I



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

NIP : 197002231995121002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



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

NIP : 197009101994121001

KATA PERSEMPAHAN



“Tidak ada daya dan upaya kecuali dengan pertolongan Allah”

Sebuah persembahan kecil dariku untuk Allah SWT, Rasulullah SAW, keluargaku, dan
segenap bangsa dan negara Indonesia yang sangat ku cintai ...

Motto:

Man jadda wa jadda

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila telah selesai dari suatu urusan, kerjakanlah urusan lainnya dengan sungguh-sungguh dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya berharap”.

(Al-Insyirah: 6-8)

“The more you give, the more you will get”

-BI

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala karena berkat rahmat dan karunia-Nya skripsi yang berjudul "**Studi Awal Distribusi Temperatur Elemen Bahan Bakar Reaktor Cepat Berpendingin Gas**" ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Skripsi ini diajukan dengan tujuan melengkapi persyaratan kurikulum guna memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Selain itu, skripsi ini diharapkan bermanfaat dalam pengembangan reaktor nuklir dan PLTN di Indonesia.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini, Penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak yang tanpanya penelitian dan skripsi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Untuk itu Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Muhammad Daud dan Inayatun Nuzul serta keluarga tersayang Aulia Soviana, c.S.Pd.AUD., Ulin Hidriatul Azizah, S.Sos., dan Mansyur, Amd.AK., yang tiada henti memberikan doa, semangat, motivasi dan kasih sayang.
2. Prof. Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
3. Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
4. Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I dan Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II, yang selalu sabar memberikan waktunya untuk membantu dan mengarahkan Penulis dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan skripsi.
5. Dr. Dedi Setiabudidaya, M.Sc., Dr. Erry Koriyanti, S.Si., M.T., dan Khairul Saleh, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pengaji yang telah memberikan kritik serta saran dalam menyempurnakan skripsi ini.
6. Dr. Idha Royani, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan serta nasihat dari awal perkuliahan sampai menyelesaikan skripsi.
7. Seluruh Dosen di Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmu, wawasan serta pendidikan yang sangat berarti bagi Penulis.

8. Semua staf tata usaha Jurusan Fisika, khususnya Bapak Nabair (Babe) yang memberikan bantuan dalam urusan administrasi selama Penulis berada di bangku perkuliahan.
9. Teman-teman Fisika 2015 “*Physics BRAGAJUL*” (Anggi dan Siska), Asisten Lab. Fisika Dasar, Himafia, dan Elinkomnuk (Abay, Anisah, Dini dan Kristina) yang selalu bersama dan berjuang menjalani masa-masa perkuliahan.
10. Teman-teman kosan (Ayu dan Tika) yang telah mendukung dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Seluruh pihak yang telah membantu penulis, baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Semoga Allah SWT. senantiasa membalas seluruh kebaikan dan ketulusan dengan sesuatu yang lebih baik. Aamiin.

Indralaya, Agustus 2019
Penulis,

Balya Lutviana Laila Saro

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
ABSTRAK.....	x
ABSTRACT	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
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	4
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir	4
2.2 Reaktor Nuklir	4
2.3 <i>Gas-cooled Fast Reactor (GFR)</i>	6
2.4 Bahan Bakar	7
2.5 Kelongsong	7
2.6 Pendingin	8
2.7 Analisis Termal Hidrolik	8
2.8 Pembangkitan Panas pada Teras Reaktor	8
2.9 Transfer Panas pada Elemen Bahan Bakar	10
2.9.1 Persamaan Umum Konduksi Panas	10
2.9.2 Distribusi Temperatur Radial	11
2.9.3 Distribusi Temperatur Aksial	12
2.10 MATLAB	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	15

3.2	Alat dan Bahan	15
3.3	Metode Penelitian	15
3.4	Data Karakteristik Teras dan Elemen Bahan Bakar	15
3.5	Diagram Alir Program Komputasi	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		18
4.1	Distribusi Kerapatan Daya	18
4.2	Hasil Perhitungan Distribusi Temperatur Elemen Bahan Bakar.....	20
BAB V PENUTUP		26
5.1	Kesimpulan	26
5.2	Saran	26
DAFTAR PUSTAKA.....		27
LAMPIRAN		29
A.	Data Analisis Neutronik.....	29
B.	Hasil Perhitungan Kerapatan Daya Linier	30
C.	<i>Listing</i> Program	33
D.	<i>Running</i> Program.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbedaan prinsip kerja PLTU dan PLTN.....	4
Gambar 2.2	Skema reaksi fisi berantai.....	5
Gambar 2.3	Tahapan penyusunan bahan bakar	6
Gambar 2.4	Skema reaktor cepat berpendingin gas.....	6
Gambar 2.5	Rantai konversi (a) U-235 dan (b) U-238.....	7
Gambar 2.6	Distribusi kerapatan daya untuk geometri silinder	9
Gambar 2.7	Susunan bahan bakar dalam teras	9
Gambar 2.8	Penampang radial bahan bakar	11
Gambar 2.9	Distribusi temperatur dalam pin bahan bakar silinder	12
Gambar 2.10	Distribusi aksial pendingin	13
Gambar 3.1	Diagram alir program komputasi	17
Gambar 4.1	Distribusi kerapatan daya linier pada arah radial.....	18
Gambar 4.2	Distribusi kerapatan daya linier pada arah aksial	19
Gambar 4.3	Distribusi temperatur pusat-permukaan bahan bakar.....	20
Gambar 4.4	Distribusi temperatur permukaan bahan bakar-dalam kelongsong.....	21
Gambar 4.5	Distribusi temperatur permukaan bagian dalam-luar kelongsong	21
Gambar 4.6	Distribusi temperatur permukaan bagian luar kelongsong-pendingin .	21
Gambar 4.7	Total penurunan temperatur elemen bahan bakar arah radial.....	22
Gambar 4.8	Penampang kanal pendingin	22
Gambar 4.9	Distribusi temperatur pendingin arah aksial	23
Gambar 4.10	Distribusi temperatur permukaan bagian luar kelongsong arah aksial	23
Gambar 4.11	Distribusi temperatur bahan bakar pada arah aksial	24
Gambar 4.12	Distribusi temperatur pusat bahan bakar arah aksial.....	24
Gambar 4.13	Distribusi temperatur elemen bahan bakar pada saluran pendingin	25

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data karakteristik teras dan elemen bahan bakar	15
Tabel 4.1	Kerapatan daya Linier Arah Radial	30
Tabel 4.2	Kerapatan daya Linier Arah Aksial	31

**STUDI AWAL DISTRIBUSI TEMPERATUR ELEMEN BAHAN BAKAR
REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN GAS**

Oleh:

Balya Lutviana Laila Saro

NIM. 08021281520069

ABSTRAK

Telah dilakukan Studi awal distribusi temperatur elemen bahan bakar reaktor cepat berpendingin gas. *Gas cooled Fast Reactor* (GFR) didesain dengan bahan bakar uranium metal (U-10% wtZr), pendingin Helium (He), kelongsong *stainless steel* 316 (SS316) dan daya 500 MWt. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis desain reaktor berdasarkan aspek termal hidrolik dan melakukan perhitungan distribusi temperatur elemen bahan bakar pada kondisi tunak. Perhitungan dilakukan secara komputasi dengan menggunakan MATLAB (*MATrix LABoratory*). Hasil penelitian ini menunjukan bahwa reaktor berada dalam batas aman dengan kerapatan daya maksimum linier sebesar 434,931 W/cm dan temperatur maksimum berada di bawah nilai titik leleh bahan bakar, sehingga dari keadaan ini dapat menunjang keamanan pengoperasian reaktor.

Kata kunci: distribusi temperatur, elemen bahan bakar, GFR, MATLAB

**PRELIMINARY STUDY OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN GAS
COOLED FAST REACTOR FUEL ELEMENT**

By:

Balya Lutviana Laila Saro

NIM. 08021281520069

ABSTRACT

Preliminary study of temperature distribution in Gas cooled Fast Reactor (GFR) fuel element has been done. The reactor is designed with uranium metal (U-10%wtZr) as fuel, helium (He) as coolant, stainless steel 316 (SS316) as cladding and power about 500 MWt. The purpose of this research is to analyze reactor design based on thermal hydraulic aspect and also to calculate the temperatur distribution of fuel element in steady state condition. The calculation is calculated using computation with MATLAB (MATrix LABoratory). The result show that reactor is safe with linear maximum power density about 434,931 W/cm and maximum temperatur below fuel melting point, where this state will increase safety of reactor operational.

Keywords: temperature distribution, fuel element, GFR, MATLAB

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan manusia saat ini. Kebutuhan akan energi listrik di Indonesia meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menyatakan bahwa sumber energi listrik di Indonesia saat ini masih terfokus pada energi fosil yaitu minyak bumi, gas alam, dan batubara sehingga untuk beberapa tahun kedepan ketersediaan energi fosil akan semakin berkurang dan diperkirakan akan segera habis (BPPT, 2018).

Untuk mengatasi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat dan menipisnya persediaan bahan bakar fosil maka diperlukan sumber energi alternatif salah satunya pemanfaatan energi nuklir sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). PLTN telah banyak dikembangkan di negara-negara maju seperti Amerika, Jepang, Prancis dan beberapa negara lainnya karena memiliki keunggulan yaitu biaya operasi murah, aman dan tidak mencemari lingkungan. Menurut Badan Energi Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency*, IAEA) keseluruhan energi listrik yang dihasilkan reaktor nuklir sampai tahun 2019 telah mencapai 10% dari total energi listrik yang dipakai di dunia (IAEA, 2019).

Dalam perkembangan teknologi nuklir saat ini telah dan akan dikembangkan reaktor generasi maju yang inovatif dengan keselamatan tinggi, menggantikan reaktor (Gen III/Gen-III+) dengan reaktor (Gen-IV). Reaktor (Gen-IV) memiliki 6 jenis kandidat reaktor yang potensial dan layak dibangun pada tahun 2030 salah satunya yaitu *Gas cooled Fast Reactor* (GFR). GFR merupakan pembangkit listrik yang menggunakan gas sebagai pendingin dengan siklus bahan bakar tertutup. Reaktor ini didesain memiliki temperatur keluaran sebesar 850°C yang memungkinkan untuk menghasilkan hidrogen atau memproses panas dengan efisiensi konversi yang tinggi (Suwoto dan Zuhair, 2012).

Sebelum membangun PLTN hal pertama yang harus dilakukan adalah proses perancangan teras. Perancangan ini bertujuan untuk melakukan studi atau analisis awal terhadap PLTN tersebut, diantaranya analisis neutronik, analisis termal hidrolik, dan analisis termodinamik. Analisis neutronik bertujuan untuk menghitung nilai fluks

neutron dan pola distribusinya di dalam teras reaktor, analisis termal hidrolik bertujuan untuk menghitung temperatur bahan bakar dari hasil reaksi fisi, sedangkan analisis termodinamik bertujuan untuk menghitung efisiensi dan daya listrik yang dapat dihasilkan dari PLTN tersebut (Drajat, 2011).

Penelitian ini difokuskan pada analisis termal hidrolik yang memiliki peran yang sangat penting dalam pengoperasian reaktor. Di mana proses perpindahan panas hasil reaksi fisi dalam teras reaktor dibatasi oleh daya yang telah ditetapkan sesuai dengan batasan keselamatan. Parameter yang perlu diketahui adalah distribusi temperatur elemen bahan bakar pada kondisi tunak. Analisis dilakukan pada desain reaktor cepat tipe *Gas cooled Fast Reactor* (GFR) dengan bahan bakar uranium metal (U-10% wtZr), pendingin Helium (He), kelongsong *stainless steel* 316 (SS316) dan daya 500 MWt (Monita, 2015).

1.2 Rumusan Masalah

Aspek terpenting dalam mendesain reaktor nuklir adalah aspek keselamatan dalam pengoperasian reaktor. Salah satu faktor keselamatan yang perlu diperhatikan adalah proses perpindahan panas dari hasil reaksi fisi dalam teras reaktor dibatasi oleh daya yang telah ditetapkan sesuai dengan batasan keselamatan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah analisis termal hidrolik dilakukan berdasarkan data analisis neutronik dari desain reaktor cepat berpendingin gas menggunakan bahan bakar uranium metal (U-10% wtZr), pendingin Helium (He), dan kelongsong *stainless steel* 316 (SS316) dengan daya 500 MWt.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis aspek termal hidrolik desain reaktor cepat berpendingin gas menggunakan bahan bakar uranium metal (U-10% wtZr), pendingin Helium (He), dan kelongsong *stainless steel* 316 (SS316) dengan daya 500 MWt.
2. Melakukan perhitungan distribusi temperatur elemen bahan bakar pada kondisi tunak.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu memberikan informasi mengenai parameter distribusi temperatur elemen bahan bakar pada kondisi tunak serta dapat dijadikan sebagai bahan referensi untuk penelitian lebih lanjut terkait dengan batasan keselamatan pada analisis termal hidrolik reaktor jenis GFR.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwardojo, Lasman, A., Ruslan, Parmanto, E., dan Effendi, E., 2010. *Mengenal Reaktor Nuklir dan Manfaatnya*. Jakarta: Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Anggoro, Y.D., Dharu, D., Nurlaila dan Yulianto., A.T., 2013. *Kajian Perkembangan PLTN Generasi IV*. Pusat Perkembangan Energi Nuklir (PPEN)-BATAN.
- 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): 12.
- BPPT, 2018. *Outlook Energi Indonesia 2018: Energi Berkelanjutan untuk Transportasi Darat*. Tanggerang Selatan: Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi.
- BPTN, 2009. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Nomor 3 Tahun 2009 Tentang Batasan, Kondisi Operasi dan Prosedur Operasi Reaktor Daya*. Tanggerang: BATAN.
- CEA. 2012 *4th-Generation-Sodium Cooled Fast Reactor*. France: Center de Saclay.
- Drajat, R. Z., 2011. *Analisis Termalhidrolik gas cooled fast reactor (GCFR)*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Duderstadt, J.J. dan Hamilton, L.J., 1976. *Nuclear Reactor Analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- ESDM. 2018. *Sektor Energi Sudah Saatnya Menjadi Penggerak Ekonomi Indonesia*. (online) tersedia <http://www3.esdm.go.id/siaran-pers/55-siaran-pers/8294-sektor-energi-sudah-saatnya-menjadi-penggerak-ekonomi-indonesia.html>. Diakses pada tanggal 28 Januari 2019, pukul 09.38 WIB.
- IAEA, 2008. *Thermophysical Properties of Materials For Nuclear Engineering: A Tutorial and Collection of Data*. Austria: Nuclear Power Technology Development Section International Atomic Energy Agency.
- IAEA, 2019. *The Database on Nuclear Power Reactors*. (online) tersedia <http://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>. Diakses pada tanggal 28 Januari 2019, pukul 20.30 WIB.
- Kadir, A. 1982. *Energi: Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Jakarta: Univeritas Indonesia.

- Monita, N., 2015. *Studi Awal Desain Konseptual Reaktor Cepat Tipe GFR dengan Uranium Metal sebagai Input Bahan Bakar*. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Riska, Fitriyani, D., dan Irka, H., 2016. *Analisis Neutronik pada Gas Cooled Fast Reactor(GCFR) dengan Variasi Bahan Pendingin (He, CO₂, N₂)*. Jurnal Fisika Unand, 1 (5): 28-29.
- Rouault, J. dan Wei, T.Y.C., 2005. *The Gen IV Gas Cooled Fast Reactor : Status of Studies*. France: CEA.
- Simunovic, S., et al, 2009. Modeling of Gap Closure in Uranium-Zirconium Alloy Metal Fuel – A Test Problem. U.S: Department of Energy (DOE).
- Stacey, W.M., 2000. *Nuclear Reactor Physics*. Germany: Wiley & Weinheim.
- Suarga, 2007. *Fisika Komputasi Solusi Problema Fisika dengan MATLAB*. Yogyakarta: ANDI.
- Suwoto dan Zuhair, 2012. *Studi dan Observasi Awal Kebutuhan Data Nuklir untuk Reaktor Generasi IV (Gen-IV)*. Jurnal Ilmu Fisika Indonesia, 1(1): 19.
- WEC. 2018. *World Energy Consumption*. (Online) tersedia https://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption. Diakses pada tanggal 7 Februari 2019, pukul 14.48 WIB.
- Waltar, A. E. dan Reynolds, A. B., 1981. *Fast Breeder Reactors*. New York: Pergamon Press.
- <http://www.batan.go.id>, diakses pada tanggal 8 Februari 2019, pukul 13.44 WIB.
- <http://www.gen-4.org>, diakses pada tanggal 6 Februari 2019, pukul 12.45 WIB.