

**ANALISIS SEL BAHAN BAKAR REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN GAS  
DENGAN VARIASI BAHAN BAKAR ((U-Pu)N DAN (U-Pu)Zr)  
MENGUNAKAN OPENMC**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika



**Oleh:**

**INDAH SARI**

**08021181722058**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2021**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISIS SEL BAHAN BAKAR REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN GAS  
DENGAN VARIASI BAHAN BAKAR ((U-Pu)N DAN (U-Pu)Zr)  
MENGUNAKAN OPENMC**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika

Diajukan oleh:

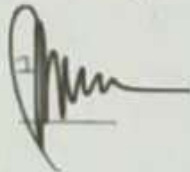
**INDAH SARI**

**08021181722058**

Indralaya, 27 Oktober 2021

Menyetujui,

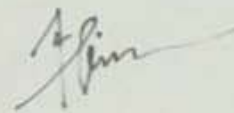
Pembimbing II



**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. Egrisyah Virgo, S.Si., M.T.**  
NIP.197009101994121001

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan karunia-Nya skripsi dengan judul “**Analisis Sel Bahan Bakar Reaktor Cepat Berpendingin Gas Dengan Variasi Bahan Bakar ((U-Pu)N dan (U-Pu)Zr) Menggunakan OpenMC**” ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Adapun penelitian tugas akhir yang dilaksanakan di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya ini bertujuan untuk melengkapi persyaratan kurikulum guna memenuhi syarat tugas akhir di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat dalam penelitian mengenai reaktor nuklir untuk seterusnya.

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. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan bantuan berupa saran dan kritik yang bersifat membangun guna perbaikan dalam penyusunan hasil tugas akhir ini. Tak lupa pada kesempatan kali ini penulis ingin mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Allah S.W.T atas segala karunia yang telah dilimpahkan kepada penulis.
2. Kedua orang tua (Tarmizi & Hasna) dan kedua kakak (M. Fadli & M.Badaruddin) yang senantiasa memberikan do'a dan mendukung penulis.
3. Bapak Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si. dan ibu Dr. Menik Ariani, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang selalu menyempatkan waktu untuk memberikan motivasi, semangat, ilmu dan arahan untuk penulis dalam menyelesaikan skripsi.
4. Bapak Dr. Supardi, S.Pd., M.Si., ibu Dr. Assaidah, S.Si., M.Si., dan bapak Dr. Muhammad Irfan, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik serta saran dalam menyempurnakan skripsi.
5. Ibu Dra. Yulinar Adnan, M.T selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan arahan dan motivasi selama penulis menempuh pendidikan perguruan tinggi.
6. Bapak Dr. Friansyah Virgo, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika.
7. Bapak dan ibu dosen atas ilmu yang telah diberikan, serta staf jurusan Fisika atas pelayanan terbaiknya.

8. Pemerintah (RISTEKDIKTI) atas bantuan BIDIKMISI sehingga penulis dapat melanjutkan pendidikan dibangku perkuliahan.
9. Dr. Paul Romano dan seluruh pengguna OpenMC Grup yang telah memberikan banyak bantuan dan tempat diskusi selama proses pembuatan skripsi.
10. Kak Nurul Putri dan kak Aulia Rahma yang telah membantu penulis dalam menghadapi setiap keresahan dalam penelitian tugas akhir.
11. Sahabat FIETAN-RTH yang setiap kehadiran mereka menjadi *mood healing* dan *energy charger* terbaik penulis.
12. Teman-teman seperjuangan Fisika '17, Eliners, Asisten Lab Komputasi, BEM, dan HIMAFIA yang telah mewarnai dunia perkuliahan penulis.
13. Juga untuk kakak tingkat (angkatan 2015 & 2016), adik tingkat (angkatan 2018 & 2019) serta seluruh pihak terkait lainnya yang tidak dapat penulis tuliskan satu-persatu yang telah berkontribusi dalam menjalani perkuliahan.

Inderalaya, 27 Oktober 2021

Penulis



Indah Sari

08021181722058

**ANALISIS SEL BAHAN BAKAR REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN GAS  
DENGAN VARIASI BAHAN BAKAR ((U-Pu)N DAN (U-Pu)Zr)  
MENGUNAKAN OPENMC**

**Oleh :  
Indah Sari  
NIM. 08021181722058**

**ABSTRAK**

Penelitian ini menganalisis sel bahan bakar berbentuk pin dalam dua jenis bahan bakar campuran yaitu Uranium-Plutonium-Nitrida dan Uranium-Plutonium-Zirkonium. Setiap bahan bakar dilakukan variasi dengan mengubah persentase kandungan Uranium-235 sebanyak 0% hingga 10%. Menggunakan metode Monte Carlo dalam kode program OpenMC, perhitungan dilakukan untuk mendapatkan faktor multiplikasi efektif, laju reaksi fisi, dan distribusi fluks neutron selama 2 tahun *burn-up*. Hasil perhitungan untuk faktor multiplikasi efektif dan laju reaksi fisi menunjukkan bahwa semakin besar pengayaan Uranium semakin besar pula nilai kedua parameter tersebut. Untuk perhitungan distribusi fluks neutron pada sel bahan bakar memiliki nilai tertinggi pada area tengah bahan bakar dan nilainya semakin kecil ke arah pinggir sel. Dengan dilakukannya analisis sel bahan bakar ini agar nantinya dapat digunakan sebagai acuan dalam penyusunan sel bahan bakar dalam teras reaktor yang aman dan efisien.

**Kata kunci** : Bahan bakar nuklir, pin sel, faktor multiplikasi efektif, laju reaksi fisi, distribusi fluks neutron, OpenMC.

# **FUEL CELL ANALYSIS OF GAS COOLED FAST REACTOR WITH FUEL VARIATION ((U-Pu)N AND (U-Pu)Zr) USING OPENMC**

**By :**

**Indah Sari**

**NIM. 08021181722058**

## **ABSTRACT**

This study analyzes pin-shaped fuel cells in two types of fuel mixtures, namely Uranium-Plutonium-Nitride and Uranium-Plutonium-Zirconium. Each fuel is varied by changing the percentage of Uranium-235 content as much as 0% to 10%. Using the Monte Carlo method in the OpenMC program code, calculations were performed to obtain the effective multiplication factor, rate of fission reaction, and distribution of neutron flux for 2 years of burn-up. The calculation results for the effective multiplication factor and the rate of fission reaction show that the greater the enrichment of uranium, the greater the value of these parameters. For the neutron flux distribution calculation on fuel cells have the highest value in the middle area of the fuel and its value gets smaller toward the edge of the cell. By doing this fuel cell analysis so that later it can be used as a reference in the preparation of fuel cells in the reactor core that is safe and efficient.

**Keywords** : Nuclear fuel, pin cell, effective multiplication factor, rate of fission reaction, distribution of neutron flux, OpenMC.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GRAFIK.....	x
DAFTAR ISTILAH.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir.....	3
2.2. Reaktor Nuklir.....	4
2.3. Reaktor Cepat Berpendingin Gas (GFR).....	5
2.4. Bahan Bakar Nuklir.....	7
2.5. Reaksi Fisi.....	8
2.6. Tampang Lintang Nuklir.....	9
2.7. Faktor Multiplikasi.....	10
2.8. Analisis Neutronik.....	12
2.8.1. Persamaan Transport Neutron.....	12
2.8.2. Metode Monte Carlo.....	12
2.9. Persamaan <i>Burn-up</i> .....	13
2.10. OpenMC.....	14

BAB III METODE PENELITIAN .....	16
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
3.2. Alat dan Bahan .....	16
3.3. Tahapan Penelitian.....	16
3.4. Diagram Alir Penelitian .....	17
3.5. Spesifikasi Sel Bahan Bakar.....	18
3.6. Parameter Survei .....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1. Desain Sel Bahan Bakar .....	20
4.2. Analisis Perhitungan Sel Bahan Bakar .....	20
4.2.1. Faktor Multiplikasi Efektif ( $K_{eff}$ ).....	21
4.2.2. Laju Reaksi Fisi.....	23
4.2.3. Distribusi Fluks .....	27
BAB 5 PENUTUP.....	30
5.1. Kesimpulan .....	30
5.2. Saran.....	30
DAFTAR PUSTAKA.....	31
LAMPIRAN.....	34
A. Data Komposisi Sel Bahan Bakar Yang Digunakan .....	35
B. Grafik Koefisien Efektivitas Sel Bahan Bakar .....	35
C. Data Hasil Performa Sel Bahan Bakar .....	38
D. Kode Input Bahan Bakar .....	41



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Prinsip Kerja PLTN Menggunakan Reaktor Air Didih.....	3
Gambar 2.2. <i>Gas-Cooled Fast Reactor</i> (GFR).....	6
Gambar 2.3. Tampang Lintang Reaksi Fisi Terhadap Energi Neutron Untuk U-235.....	9
Gambar 2.4. Faktor Multiplikasi.....	11
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	17
Gambar 3.2. Diagram Alir Simulasi Program.....	17
Gambar 3.3. Geometri Sel Bahan Bakar Berbentuk Pin dengan <i>Pitch</i> Heksagonal.....	19
Gambar 4.1. Desain sel bahan bakar.....	20
Gambar 4.2. Distribusi fluks pada bahan bakar (U-Pu)N dengan variasi pengayaan Uranium secara berurutan sebesar 0% hingga 10%.....	27
Gambar 4.2. Distribusi fluks pada bahan bakar (U-Pu)Zr dengan variasi pengayaan Uranium secara berurutan sebesar 0% hingga 10%.....	28

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik Bahan Bakar (U, Pu20%) Oksida, Karbida dan Nitrida.....	8
Tabel 3.1. Data Karakteristik Sel Bahan Bakar.....	18
Tabel 3.2. Parameter Bahan Bakar dan Pendingin.....	19
Tabel 4.1. Komposisi massa yang digunakan.....	34
Tabel 4.2. Nilai koefisien efektivitas untuk bahan bakar (U-Pu)N.....	37
Tabel 4.3. Nilai koefisien efektivitas untuk bahan bakar (U-Pu)Zr.....	39

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Faktor multiplikasi efektif pada bahan bakar (U-Pu)N .....	21
Grafik 4.2. Faktor multiplikasi efektif pada bahan bakar (U-Pu)Zr .....	21
Grafik 4.3. Laju reaksi fisi pada bahan bakar (U-Pu)N dengan variasi pengayaan uranium secara berurutan sebesar 0% hingga 10% .....	24
Grafik 4.4. Laju reaksi fisi pada bahan bakar (U-Pu)Zr dengan variasi pengayaan Uranium secara berurutan sebesar 0% hingga 10% .....	25
Grafik 4.5. Faktor multiplikasi efektif pada bahan bakar (U-Pu)N dengan variasi pengayaan Uranium secara berurutan sebesar 0% hingga 10% .....	35
Grafik 4.6. Faktor multiplikasi efektif pada bahan bakar (U-Pu)N dengan variasi pengayaan Uranium secara berurutan sebesar 0% hingga 10% .....	37

## DAFTAR ISTILAH

- Burn-up* : Energi yang dibebaskan selama pembakaran dalam reaktor dalam Megawatt day per ton.
- Distribusi fluks : Sebaran kuantitas neutron yang melalui luasan satu sentimeter persegi per detik.
- Fisi : Reaksi pembelahan inti atom dengan partikel neutron menjadi inti atom lebih ringan disertai pelepasan energi
- Fertil : Unsur / atom yang tidak dapat langsung membelah setelah penangkapan neutron namun membentuk bahan fisil
- Fisil : Unsur / atom yang dapat membelah ketika menangkap neutron
- Fusi : Reaksi penggabungan antara inti atom yang ringan menjadi inti atom berat disertai pelepasan energi
- $K_{\text{eff}}$  : Konstanta yang menunjukkan rasio jumlah neutron dalam suatu generasi terhadap jumlah neutron yang hilang pada generasi berikutnya.
- Laju reaksi fisi : Besaran yang menyatakan banyaknya reaksi fisi yang terjadi per detik.
- Pengayaan : Proses peningkatan konsentrasi isotop suatu unsur pada bahan bakar

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dalam kehidupan masyarakat modern kebutuhan akan listrik menjadi kebutuhan dasar yang harus terpenuhi dalam kehidupan sehari-hari, baik dalam hal pekerjaan, belajar, maupun sekedar hiburan. Begitupun di Indonesia. Masyarakat Indonesia terutama yang bermukim di perkotaan sangat bergantung pada energi listrik untuk menjalankan kehidupan sehari-hari (Gultom, 2017). Menurut KEMENKO PMK aliran listrik di Indonesia pada tahun 2020 telah mencapai 99,48%. Namun nyatanya terdapat 433 desa yang belum merasakan aliran listrik.

Untuk mencukupi pasokan listrik Indonesia terutama di daerah pedesaan, menggunakan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) dapat menjadi pilihan yang tepat. Pembangkit listrik ini memanfaatkan reaksi fisi dari bahan fisil yang saat ini keberadaannya berlimpah di bumi (Ilham dkk., 2020). Pemilihan PLTN sebagai pemenuh kebutuhan listrik selain menghasilkan energi yang besar juga tidak menimbulkan polusi serta ekonomis sehingga tepat untuk memenuhi kebutuhan listrik pada daerah terpencil di Indonesia.

Untuk membangun reaktor nuklir apapun tipenya diperlukan proses simulasi terlebih dahulu agar memperoleh hasil optimum serta sebagai acuan dalam persoalan keselamatan nuklir. Dalam hal ini diperlukan analisis menyeluruh yang meliputi analisis neutronik, termalhidrolik, dan keamanan. Perhitungan neutronik sangat diperlukan untuk mengetahui informasi seperti persediaan dan fraksi fisil yang dibutuhkan, data siklus bahan bakar, distribusi daya dan distribusi fluks neutron (Riska dkk., 2016). Oleh karena itu, dilakukan penelitian mengenai analisis neutronik yang hanya dilihat dari segi sel bahan bakar dan menggunakan berbagai jenis bahan bakar juga dibuat dalam fraksi bahan bakar. Penelitian ini akan melakukan perhitungan meliputi faktor multiplikasi efektif ( $K_{eff}$ ), laju reaksi fisi, dan distribusi fluks neutron yang dilakukan melalui proses *burn-up* selama dua tahun. Perhitungan menggunakan kode program OpenMC yang merupakan kode program untuk mensimulasikan transport nuklir yang menggunakan metode Monte Carlo. Kode program mulai dikembangkan pada tahun 2011 oleh Computational Reactor Physics Group di Massachusetts Institute of Technology (MIT) (Ilham dkk., 2020).

### 1.1. Rumusan Masalah

Analisis performa sel bahan bakar nuklir penting dilakukan agar dapat digunakan dalam penyusunan teras reaktor yang aman dan efisien. Beberapa parameter harus dihitung pada setiap tipe dan komposisi sel bahan bakar yang akan digunakan. Dalam hal tersebut, berikut beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

- a. Bagaimana desain dari sel bahan yang digunakan?
- b. Apasaja parameter untuk mendapatkan sel bahan bakar agar dapat bekerja secara optimum?

### 1.2. Tujuan

Tujuan dilakukan analisis sel bahan bakar pada reaktor cepat berpendingin gas terhadap variasi bahan bakar menggunakan OpenMC adalah sebagai berikut:

- a. Mendesain sel bahan bakar nuklir berbentuk pin dalam dua jenis bahan bakar yaitu (U-Pu)N dan (U-Pu)Zr serta menggunakan pendingin Helium (He).
- b. Mengetahui perbandingan performa hasil desain sel bahan bakar dalam segi faktor multiplikasi efektif, laju reaksi fisi dan distribusi fluks neutron yang dilakukan selama dua tahun *burn-up*.

### 1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini ialah hanya menggunakan dua jenis bahan bakar dalam persentase Uranium 0% hingga 10% dan satu jenis pendingin. Analisis hanya dilihat dari segi faktor multiplikasi efektif ( $K_{eff}$ ), laju reaksi fisi dan distribusi fluks neutron yang terjadi saat *burn-up* selama dua tahun. Perhitungan menggunakan kode program OpenMC.

### 1.4. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini antara lain dapat mengetahui pengaruh dari variasi jenis bahan bakar dan pendingin terhadap optimalnya kinerja sel bahan bakar reaktor selama periode *burn-up*. Selain itu penelitian ini bermanfaat dalam menambah wawasan penulis maupun pembaca tentang simulasi kinerja sel bahan bakar pada reaktor cepat berpendingin gas menggunakan kode program OpenMC versi 0.12.0.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiwardojo, Lasman, A. N., Ruslan, Parmanto, E. M., dan Effendi, E., 2010. *Mengenal Reaktor Nuklir dan Manfaatnya*. Jakarta : Pusat Diseminasi Iptek Nuklir BATAN.
- Alatas, Z., Hidayati, S., Akhadi, M., Purba, M., Purwadi, D., Ariyanto, S., Winarno, H., Rismiyanto, Sofyatiningrum, E., Hendriyanto, Widyastono, H., Parmano, H. W., Parmanto, E. M., dan Syahril., 2016. *Buku Pintar Nuklir*. Jakarta : Batan Press
- Andris, D., Fitriyani, D., dan Irka, F. H., 2016. *Optimasi Ukuran Teras Reaktor Cepat Berpendingin Gas dengan Uranium Alam sebagai Bahan Bakar*. Jurnal Fisika Unand,5(1), 22.
- Ariani, M., Shafii, M. A., Abdullah, A. G., dan Su'ud, Z., 2010. *Studi Awal Desain Reaktor Cepat Berpendingin Gas Berbasis Bahan Bakar Uranium Alam*. Proceeding Seminar dan Workshop Nasional Pendidikan Teknik Elektro (SWNE), 94–95.
- Ariani, M., Su 'ud, Z., dan Monado, F., 2013. *Desain Reaktor Cepat Berpendingin Gas 600 MWth dengan Uranium Alam sebagai Input Siklus Bahan Bakar*. Ilmu Dasar, 14(1), 12–13.
- Athiqoh, F., Budi, W. S., Anam, C., dan Tjiptono, T. W., 2014. *Distribusi Fluks Neutron Sebagai Fungsi Burn-up Bahan Bakar pada Reaktor Kartini*. Youngster Physics Journal,3(2), 109.
- BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional). Pengenalan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir. Diakses dari <http://www.batan.go.id/index.php/id/infonuklir/pltn-infonuklir/generasi-pltn/924-pengenalan-pembangkit-listrik-tenaga-nuklir> tanggal 27 Januari 2021.
- Brueziere, J., dan Favet, D., 2015. *Industrial Maturity Of Fast Reactor Fuel Cycle Processes And Technologies*. Fast Reactors and Related Fuel Cycles : Safe Technologies and Sustainable Scenarios. Proceedings Series International Atomic Energy Agency (Vol. 2, hal. 79-83). IAEA.
- Gultom, T. T., 2017. *Pemenuhan Sumber Tenaga Listrik Di Indonesia*. Jurnal Ilmiah Research Sains,3(1), 130.

- Ilham, M., Rafli, H., dan Su'ud, Z., 2020. *Full Core Optimization of Small Modular Gas-Cooled Fast Reactors Using OpenMC Program Code*. Journal of Physics: Conference Series, 1493(1), 1-2. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1493/1012007>.
- Kumar, 2015. *Development, Fabrication And Characterization Of Fuels For The Indian Fast Reactor Programme*. Fast Reactors and Related Fuel Cycles: Safe Technologies and Sustainable Scenarios. Proceedings Series International Atomic Energy Agency (Vol. 2, hal. 18). IAEA.
- Mayanti, R., Ariani, M., dan Monado, F., 2017. *Studi Parameter Burnup Sel Bahan Bakar Berbasis Thorium Nitride Pada Reaktor Cepat Berpendingin Helium*. Prosiding Seminar Nasional Fisika, VI, 2. <https://doi.org/10.21009/03.snf2017.02.tpn.01>
- Novalianda, S., 2019. *Power Flattening Desain Reaktor GFR Berbasis Bahan Bakar Uranium Plutonium Nitride (U, Pu)*. N.JET (Journal of Electrical Technology), 4(3), 140–141.
- OpenMC. *What's New in 0.12.0*. Diakses dari <https://docs.openmc.org/en/stable/releasenotes/0.12.0.html> tanggal 29 juli 2021.
- OpenMC. *What's New in 0.12.1*. Diakses dari <https://docs.openmc.org/en/stable/releasenotes/0.12.1.html> tanggal 29 juli 2021.
- Periodictable. *Technical data for Helium*. Diakses dari <https://periodictable.com/Elements/002/data.html> tanggal 17 Maret 2021.
- Shultis, K. J., Faw, R. E., 2013. *Radiation Shielding*. Nuclear Energy. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology (hal. 395 dan 420). Springer Science and Business Media New York.
- Richardina, V., Budi, W. S., dan Tjiptono, T. W., 2015. *Studi Parameter Reaktor Berbahan Bakar  $UO_2$  Dengan Moderator  $H_2O$  Dan Pendingin  $H_2O$* . Berkala Fisika, 18(3), 96–97.
- Riska, Fitriyani, D., dan Irka, F. H., 2016. *Analisis Neutronik pada Gas Cooled Fast Reactor (GCFR) dengan Variasi Bahan Pendingin ( $He$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ )*. Jurnal Fisika Unand, 5(1), 29.
- Romano, P. K., Horelik, N. E., Herman, B. R., Nelson, A. G., Forget, B., dan Smith, K., 2015. *OpenMC: A State-of-the-Art Monte Carlo Code for Research and*



- Development. Annals of Nuclear Energy*, 90.  
<https://doi.org/10.1051/snamc/201406016>
- Setiyo, A., dan Munir, M., 2010. *Analisis Distribusi Suhu Aksial Teras Dan Penentuan  $K_{eff}$  PLTN Pebble Bed Modular Reactor (PMBR) 10Mwe Menggunakan Metode MCNP5*. *Berkala Fisika*, 13(3), 85 dan 87.
- Shafii, M. A., 2013. *Beberapa Metode Penyelesaian Persamaan Transport Neutron dalam Reaktor Nuklir*. *Ilmu Dasar*, 14(2), 62.
- Somers, J., 2015. *Recent Advances In Fuel For Fast Reactors: Synthesis, Properties, Safety Performance*. *Fast Reactors and Related Fuel Cycles : Safe Technologies and Sustainable Scenarios*. Proceedings Series International Atomic Energy Agency (Vol. 2, hal. 34). IAEA.
- Suhaemi, T., 2016. *Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Menopang Kebutuhan Eenergi Listrik Nasional*. Seminar Nasional TEKNOKA FT UHAMKA, 1, 168.
- Syarip, 2018. *Kinetika dan Pengendalian Reaktor Nuklir* (1 ed.). Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- The World Material. *AISI 316 Stainless Steel Properties, SS 316 Grade Density, Composition, Yield Strength, Thermal Conductivity*. Diakses dari <https://www.theworldmaterial.com/aisi-316-ss316-stainless-steel-properties-composition/>
- Usman, J., dan Shafii, M. A., 2017. *Perhitungan Matriks Pij dan Distribusi Fluka Neutron pada Sel Bahan Bakar Nuklir U-235 dan U-238 Berbentuk Slab Menggunakan MOC*. *Jurnal Fisika Unand*, 6(1), 74.
- Van Rooijen, W. F. G., 2009. *Gas-Cooled Fast Reactor: A Historical Overview And Future Outlook*. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2009, 2-3.  
<https://doi.org/10.1155/2009/965757>
- Waluyo, A., 2014. *Analisis Kekritisian Tabung Hidriding di IEBE Dengan Menggunakan Program Komputer SCALE6.1*. *Seminar Keselamatan Nuklir*, 1, 139.
- Zohuri, B., dan McDaniel, P., 2015. *Thermodynamics in Nuclear Power Plant Systems*. Switzerland : Springer International Publishing.