

**DESAIN KONSEPTUAL REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN
KARBONDIOKSIDA SUPERKRITIS (S-CO₂) DENGAN BAHAN BAKAR
URANIUM METALIK ALAM (U-10%wt Zr)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains Bidang Studi Fisika



Oleh :

VIA VIONITA

NIM. 08021381823052

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**DESAIN KONSEPTUAL REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN
KARBONDIOKSIDA SUPERKRITIS (S-CO₂) DENGAN BAHAN BAKAR
URANIUM METALIK ALAM (U-10%wt Zr)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains Bidang Studi Fisika

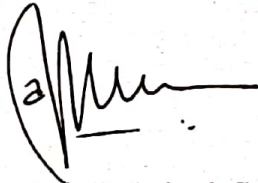
Oleh :

VIA VIONITA
NIM. 08021381823052

Indralaya, 29 Juni 2022

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

NIP. 197009101994121001

PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Via Vionita

NIM : 08021381823052

Judul TA : Desain Konseptual Reaktor Cepat Berpendingin Karbondioksida Superkritis (S-CO₂) dengan Bahan Bakar Uranium Metalik Alam (U-10%wt Zr)

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 dikemudian 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, 29 Juni 2022

Yang menyatakan



Via Vionita

NIM. 08021381823052

LEMBAR PERSEMBAHAN

“A JOURNEY OF A THOUSAND MILES BEGINS WITH A SINGLE STEP”

ALLAH TIDAK MEMBEBANI SESEORANG ITU MELAINKAN SESUAI
DENGAN KESANGGUPANNYA.

(Q.S. AL-BAQARAH: 286)

*ALTHOUGH THEY PLAN, ALLAH ALSO PLANS AND ALLAH IS THE BEST
PLANNERS.*

(Q.S. AL-ANFAL: 30)

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

“Orang tuaku (Bapak Johni Amir dan Ibu Arni) yang selalu memberikan do’a, kasih sayang, nasihat, semangat, dan juga kakakku yang menjadi *support system* ke-2, serta Pembimbing, Dosen, Almamater, Sahabat, Teman Seperjuangan, dan seluruh pihak yang terkait dalam proses pembuatan skripsi, dan juga untuk Diriku sendiri yang telah berusaha melakukan yang terbaik dalam menyelesaikan skripsi ini.”

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarokatuh..

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat, hidayat, dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi sebagai salah satu tugas akhir program sarjana Jurusan Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya dengan judul **“Desain Konseptual Reaktor Cepat Berpendingin Karbondioksida Superkritis (S-CO₂) dengan Bahan Bakar Uranium Metalik Alam (U-10%wt Zr)”**.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih atas bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

- Allah SWT, yang atas karuniaNya, penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
- Keluarga penulis, Ayah, Ibu, dan Kakak yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis.
- Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
- Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
- Bapak Dr. Fiber Monado, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing I dan Ibu 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.
- Ibu Dr. Erry Koriyanti, S.Si., M.T., dan Bapak Akmal Johan, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik serta saran dalam menyempurnakan skripsi ini.
- Ibu Dr. Fitri Suryani Arsyad, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis sejak awal perkuliahan.

- Seluruh dosen dan staf administrasi Jurusan Fisika yang telah memberikan dukungan dan fasilitas selama penulis berada di bangku perkuliahan.
- Hiqmah Dini Fariqoh selaku rekan bertukar pikiran dan berbagi masalah serta memecahkan masalah.
- Teman-teman seperjuangan grup Mandiri Syariah, Ferelin, Dini, Tiara, Alzira, Maghfira yang membuat perjuangan penuh cobaan dan rintangan ini menjadi lebih ringan dan menarik.
- Kepada semua pihak yang yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan sudah membantu dalam pelaksanaan skripsi hingga selesai.
- *I wanna thank to myself for always holding my hand and lifting me up when I fell and wanted to give up, I wanna thank me for never getting tired of saying “Let’s try again” when it fails, I wanna thank me for never giving up on the mistakes I’ve made so far.*

Semoga kebaikan dan dukungan yang diberikan mendapat balasan pahala dari Allah SWT.

Indralaya, 29 Juni 2022

Via Vionita
NIM.08021381823052

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	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.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir	3
2.2. Reaktor Nuklir	4
2.3. <i>Gas-cooled Fast Reactor</i> (GFR)	5
2.4. Bahan Bakar Nuklir	6
2.5. Reaksi Fisi.....	7
2.6. Analisis Neutronik.....	8
2.7. Persamaan Transport Neutron.....	8
2.8. Penampang Lintang Nuklir	9
2.9. Persamaan Difusi.....	10
2.10. Persamaan <i>Burnup</i>	12
2.11. Faktor Multiplikasi dan Kekritisan Nuklir	13
2.12. CANDL	14
2.13. SRAC (<i>Standard Reactor Analysis Code</i>).....	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Metode Penelitian	19
3.4 Langkah Kerja	20
3.5 Parameter Desain Teras Reaktor	22
3.6 Geometri Sel Bahan Bakar	22
3.7 Geometri Teras	23
3.8 Parameter Survei	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Analisis Neutronik.....	25
4.2 Hasil Perhitungan Sel Bahan Bakar.....	25
4.2.1 Level <i>Burnup</i>	25
4.2.2 Faktor Multiplikasi Tak Hingga (k_{inf})	26
4.2.3 <i>Conversion Ratio</i>	27
4.2.4 Densitas Atom	28
4.3 Hasil Perhitungan Teras Reaktor.....	29
4.3.1 Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff})	30
BAB V PENUTUP.....	32
5.1 Kesimpulan	32
5.2 Saran	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Parameter desain teras reaktor.....	22
Tabel 4. 1. Nilai faktor multiplikasi efektif (k_{eff}).....	30
Tabel 4. 2. Nilai <i>Excess Reactivity</i>	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Prinsip Kerja PLTN.....	3
Gambar 2. 2. <i>Gas-cooled Fast Reactor</i>	6
Gambar 2. 3. Rantai konversi uranium dan thorium	6
Gambar 2. 4. Reaksi fisi berantai.....	7
Gambar 2. 5. Prinsip keseimbangan nuklida A	12
Gambar 2. 6. Pengaruh waktu terhadap populasi neutron.....	14
Gambar 2. 7. Pembagian region dan pemindahan bahan bakar CANDLE yang dimodifikasi	15
Gambar 2. 8. Struktur dari sistem SRAC	17
Gambar 2. 9. <i>Lattice geometry available by collision probability method routine</i>	18
Gambar 3. 1. Langkah kerja penelitian	20
Gambar 3. 2. Diagram alir perhitungan sel bahan bakar dan teras reaktor.	21
Gambar 3. 3. Geometri sel bahan bakar	22
Gambar 3. 4. Geometri dan ukuran teras.....	23
Gambar 4. 1. Grafik perubahan level <i>burnup</i> selama 100 tahun	26
Gambar 4. 2. Grafik nilai faktor multiplikasi tak hingga (k_{inf}) selama 100 tahun	26
Gambar 4. 3. <i>Conversion ratio</i>	27
Gambar 4. 4. Perubahan densitas atom U-235.....	28
Gambar 4. 5. Perubahan densitas atom U-238.....	28
Gambar 4. 6. Perubahan densitas atom Pu-239	29
Gambar 4. 7. Susunan bahan bakar arah radial.....	29
Gambar 4. 8. Perubahan faktor multiplikasi efektif (k_{eff}) selama waktu operasi 10 tahun	31

**DESAIN KONSEPTUAL REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN KARBONDIOKSIDA
SUPERKRITIS (S-CO₂) DENGAN BAHAN BAKAR URANIUM METALIK ALAM
(U-10%wt Zr)**

Oleh :

VIA VIONITA

NIM. 08021381823052

ABSTRAK

Penelitian ini membahas desain konsep teras reaktor cepat berpendingin karbondioksida superkritis dengan bahan bakar uranium metalik alam yang dapat beroperasi dalam waktu yang lama. Metode penyusunan bahan bakar menggunakan strategi *burnup modified CANDLE* (*Constant Axial shape of Neutron flux, nuclide densities and power shape During Life of Energy production*). Perhitungan teras reaktor dilakukan menggunakan modul CITATION pada sistem kode SRAC (*Standard Reactor Analysis Code*). Tahap awal penelitian dengan menghitung sel bahan bakar menggunakan modul PIJ sebagai *input*. Parameter perhitungan yang diamati yaitu *level burnup*, faktor multiplikasi tak hingga (k_{inf}), *conversion ratio*, densitas atom dan faktor multiplikasi efektif (k_{eff}). Hasil perhitungan menunjukkan nilai k_{eff} dari awal siklus pembakaran sekitar 1,002662 dengan nilai reaktivitas 0,2654% hingga akhir siklus nilai k_{eff} sebesar 1,041057 dengan nilai reaktivitas 3,9437%. Berdasarkan hasil tersebut maka, keadaan teras reaktor memenuhi syarat untuk beroperasi.

Kata Kunci : Reaktor cepat, *Modified CANDLE*, S-CO₂, SRAC, Uranium metalik

Indralaya, 29 Juni 2022

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

**CONCEPTUAL DESIGN OF SUPERCRITICAL CARBONDIOXIDE (S-CO₂) COOLED
FAST REACTOR WITH NATURAL METALLIC URANIUM AS A FUEL
(U-10%wt Zr)**

By :

Via Vionita

NIM. 08021381823052

ABSTRACT

This research discuss design of a fast reactor core with S-CO₂ as a coolant and natural metallic uranium as a fuel, which can operate for a long time (long-time reactor). Method composing ingredient burn using a burnup modified CANDLE strategy (Constant Axial shape of Neutron flux, nuclide densities and power shape During Life of Energy production). Calculation of reactor core conducted use CITATION module on the system SRAC code (Standard Reactor Analysis Code). Stage beginning study with count cell ingredient burn use PIJ module as input . Observed calculation parameters that is burnup level , infinite multiplication factor (k_{inf}), conversion ratio , atomic density and effective multiplication factor (k_{eff}). Calculation result show k_{eff} value from the burning of life (BOL) cycle around 1.002662 with value reactivity 0.2654% to end cycle value k_{eff} of 1.041057 with value reactivity 3.9437%. Based on these result, the the reactor core condition qualifies for operation.

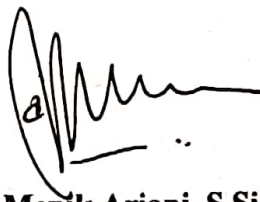
Keywords : Fast reactor, *Modified* CANDLE, S-CO₂, SRAC, Metallic uranium

Indralaya, 29 Juni 2022

Menyetujui,

Pembimbing II

Pembimbing I



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

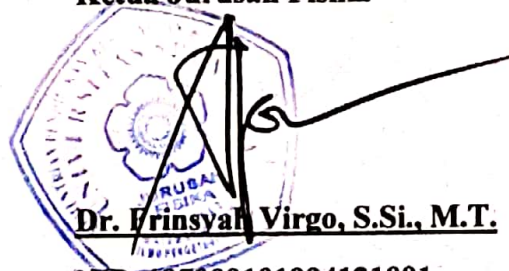
NIP. 197211252000122001



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

NIP. 197002231995121002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



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

NIP. 197009101994121001

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan sumber energi alternatif yang diperlukan saat semakin menipisnya energi fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batubara. Di Indonesia sendiri kebutuhan energi listrik terus meningkat setiap tahunnya berbanding lurus dengan penambahan jumlah penduduk yang terus meningkat. Pasokan bahan bakar fosil akan menurun di tahun-tahun mendatang dan diperkirakan akan segera habis, menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (Lutviana dkk., 2020).

Saat ini perkembangan tenaga nuklir telah berkembang menjadi yang terbaik dari generasi I ke generasi IV, saat ini dalam tahap perencanaan. Keuntungan dari generasi keempat dibandingkan generasi sebelumnya termasuk biaya dasar yang lebih rendah, keselamatan nuklir yang lebih besar, pengurangan limbah nuklir, dan pengurangan yang lebih besar dalam risiko produksi senjata. Salah satu reaktor generasi keempat yang sedang dikembangkan adalah reaktor cepat berpendingin gas, Gas-cooled Fast Reactor (GFR) (Irka dan Su'ud 2015).

Membangun suatu reaktor nuklir memerlukan proses simulasi terlebih dahulu agar mendapatkan hasil yang optimum serta sebagai acuan untuk keselamatan reaktor nuklir. Salah satu simulasi komputasi nuklir yang digunakan dalam pembangunan reaktor nuklir adalah SRAC (Standard Reactor Analysis Code) yang dikembangkan dari Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI) pada tahun 1978 (Sari, Fitriyani, dan Irka 2016). Jepang digunakan dalam penelitian ini pustaka data nuklir, versi 4.0 (JENDL.4.0), database nuklir baru yang dibuat di Jepang dan berjalan di Linux, telah dievaluasi termasuk hal yang pertama adalah perhitungan fuel cell dalam bentuk perhitungan (perhitungan PIJ). Perhitungan selanjutnya berupa teras (perhitungan CITATION) (Syarifah dkk., 2021).

Desain konseptual reaktor teras S-CO₂ cepat, long-life, berpendingin, dengan bahan bakar, uranium, logam, dan alami dibahas dalam studi sebelumnya dengan strategi burnup CANDLE yang dimodifikasi arah aksial (Darmawati dkk., 2020). Pada penelitian ini, penulis membahas tentang perencanaan konseptual reaktor cepat

karbon dioksida superkritis setelah pendinginan (S-CO₂) dengan sumber daya membakar metalik alami uranium dengan strategi burnup CANDLE yang dimodifikasi arah radial, menggunakan perangkat lunak SRAC.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana mempertahankan kekritisan teras reaktor tipe *Gas-cooled Fast Reactor* (GFR) berbahan bakar uranium metalik alam (U-10%wt Zr) agar tercapai kondisi stabil dan aman serta mampu beroperasi dalam jangka waktu yang lama.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya membahas sel bahan bakar dan teras untuk reaktor GFR berdasarkan perhitungan neutronik dari hasil persamaan difusi multigrup dan persamaan *burnup* yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SRAC.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Menentukan parameter survei dari sel bahan bakar uranium metalik alam.
2. Menghitung faktor multiplikasi efektif (k_{eff}) untuk memantau populasi neutron dalam teras reaktor.
3. Mendesain teras reaktor berefisiensi tinggi dalam pemakaian bahan bakar sehingga mampu beroperasi dalam waktu yang lama.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam desain dan analisis *Gas-cooled Fast Reactor* (GFR) untuk pengembangan energi yang efisien, murah, dan tingkat keselamatan yang tinggi serta dapat dijadikan rujukan untuk perancangan teras reaktor cepat berbahan bakar uranium metalik alam menggunakan SRAC.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwardojo, Lasman, N., Ruslan, Parmanto, E. M., Effendi, E. (2010). *Mengenal Reaktor Nuklir dan Manfaatnya*. Jakarta : Badan Tenaga Nuklir Nasional.
- Agung A. (2017). *Diktat Kuliah Analisis Reaktor Nuklir*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Aini, N., Shafii, M. A., & Putra, A. (2014). *Pola Penampang Lintang Makroskopik Total Dalam Sel Bahan Bakar Nuklir*. *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, 6(1), 25–30. <https://doi.org/10.25077/jif.6.1.25-30.2014>
- Alatas, Z., Hidayanti, S., Akhadi, M., Purba, M., Purwadi, D., Ariyanto, S., Winarno, H., Rismiyanto, Sotyatingrum, E., Hendriyanto, Widyastono, H., dan Syahril, (2016). *Buku Pintar Nuklir*. Jakarta : Batan Press.
- Apriliana, Yulianti, Y., & karo karo, P. (2018). *Perhitungan Laju Reaksi Neutron Model Perangkat Annular Pada Jenis Reaktor Scwr (Supercritical Water Reactor) Bahan Bakar Thorium*. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 6(2), 219–228. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v6i2.1847>
- Darmawati, R., Ariani, M., & Monado, F. (2020). *Desain Konseptual Teras Reaktor Cepat Berumur Panjang Berpendingin S-CO₂ dengan Bahan Bakar Uranium Metalik Alam*. *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, 9(3), 401–407.
- Duderstadt, J.J. dan Hamilton, L.J. (1976). *Nuclear Reactor Analysis*. New York : John Wiley & Sons Incorporate.
- GIF. (2002). *A technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy System*. GIF-IV (The Generation IV International Forum) and U.S DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee.
- Irka, F. H., & Su'ud, Z. (2015). *Analisis Burn Up pada Reaktor Cepat Berpendingin Gas Menggunakan Bahan Bakar Uranium Alam*. *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, 7(2), 78–86. <https://doi.org/10.25077/jif.7.2.78-86.2015>

- Kuntoro, I. (2018). *Keselamatan Reaktor Nuklir*. Jakarta : BATAN.
- Maemunah, I. R., Yuningsih, N., & Irwanto, D. (2019). *Studi Komparasi Reaksi Fisi dan Fusi pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Masa Depan*. Prosiding Seminar Nasional Fisika 5.0, 0, 473–481.
- N, D., & Fitriyani, D. (2014). *Analisis Neutronik Pada Reaktor Cepat Dengan Variasi Bahan Bakar (UN-PuN, UC-PuC Dan MOX)*. Jurnal Fisika Unand, 3(1), 1–7. <https://doi.org/10.25077/jfu.3.1>.
- Okumura, K., 2007. *SRAC2006: A Comprehensive Neutronics Calculation Code Systems*. Japan Atomic Energy Agency (JAEA), Japan.
- 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>
- Ratna Dewi Syarifah, Nabil Nabhan MH, Zein Hanifah, Iklimatul Karomah, & Ahmad Muzaki Mabruri. (2021). *Analisis Fraksi Volume Bahan Bakar Uranium Karbida Pada Reaktor Cepat Berpendingin Gas Menggunakan SRAC Code*. Jurnal Jaring SainTek, 3(1), 13–18. <https://doi.org/10.31599/jaring-saintek.v3i1.333>
- Sari, N., Fitriyani, D., & Irka, F. (2016). *Analisis Neutronik Super Critical Water Reactor (SCWR) Dengan Variasi Bahan Bakar (UN-PuN, UC-PuC Dan MOX)*. Jurnal Fisika Unand, 5(1), 47–52. <https://doi.org/10.25077/jfu.5.1.47-52.2016>
- Saro Laila Lutviana, B., Monado, F., & Ariani, M. (2020). *Studi Awal Distribusi Temperatur Elemen Bahan Bakar Reaktor Cepat Berpendingin Gas*. Penelitian SAINTEK, 25(2), 135–142. <https://journal.uny.ac.id/index.php/saintek>
- Susanty, E., Ariani, M., Royani, I., Su`ud, Z., & Monado, F. (2020). *Desain Konseptual Reaktor Cepat Berpendingin Karbondioksida dan Berbahan Bakar Uranium Alam Dengan Daya 2400 MW*. Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat, 17(2), 125. <https://doi.org/10.20527/flux.v1i1.7184>

- Susdarwono, E. T. (2021). *Reaksi Fisi dan Reaksi Fusi dalam Mekanisme Bom Atom dan Senjata Termonuklir*. VEKTOR: Jurnal Pendidikan IPA, 2(1), 16–30.
<https://doi.org/10.35719/vektor.v2i1.19>
- Syahputra, T. S., & Suud, Z. (2017). *Startup Reaktor Cepat Berpendingin Gas Berbahan Bakar UN-PuN dengan Daya 800 MWth*. Positron, 7(1), 12–15.
<https://doi.org/10.26418/positron7.1.3>
- Syarifah, R. D., Yulianto, Y., Su'ud, Z., Basar, K., & Irwanto, D. (2016). *Design Study of 200MWth Gas Cooled Fast Reactor with Nitride (UN-PuN) Fuel Long Life without Refueling*. MATEC Web of Conferences, 82, 0–5.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/20168203008>
- Yunanda, W. W., & Shafii, M. A. (2019). *Analisis Koefisien Difusi Neutron terhadap Jarak Ekstrapolasi dalam*. Jurnal Fisika Unand, 8(4), 362–367.