

Analisis Neutronik Super Critical Water Reactor (SCWR) dengan Variasi Bahan Bakar (UN-PuN, UC-PuC dan MOX)

Nella Permata Sari^{1,*}, Dian Fitriyani, Feriska Handayani Irka

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang, Indonesia

**nellapermatasari15@gmail.com*

ABSTRAK

Analisis neutronik *Super Critical Water Reactor* (SCWR) menggunakan simulasi komputasi program SRAC telah dilakukan. Reaktor ini menggunakan air ringan (H_2O) sebagai pendingin. Analisis neutronik SCWR dilakukan dengan memvariasikan jenis bahan bakar, yaitu: uranium-plutonium nitrit (UN-PuN), uranium-plutonium karbit (UC-PuC) dan *mixed oxide* (MOX). Diameter teras dibagi menjadi 10 *region* dalam arah radial. Reaktor ini menggunakan strategi *shuffling*, agar reaktor dapat beroperasi menggunakan uranium alam. Masing-masing *region* diisi dengan bahan bakar yang sudah dibakar dan ditempatkan di dalam teras reaktor dengan konfigurasi tertentu dan uranium alam dibakar dalam jangka waktu 100 tahun. Setelah 10 tahun waktu operasi, bahan bakar di *region* 1 di pindahkan ke *region* 2, *region* 2 di pindahkan ke *region* 3 begitu seterusnya sampai bahan bakar di *region* 10 dikeluarkan dari teras reaktor dan *region* 1 diisi bahan bakar baru. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa pada desain teras dengan bahan bakar UN-PuN dan MOX menghasilkan nilai faktor multiplikasi (k_{eff}) dan level *burn up* yang paling optimal.

Kata kunci: analisisneutronik, strategi shuffling, UC-PuC, UN-PuN, MOX

ABSTRACT

Neutronic analysis on Super Critical Water Reactor (SCWR) by using simulation computation SRAC program was performed. This reactor uses lightwater (H_2O) as coolant. Neutronic analysis on SCWR was done by varying fuel mixture: uranium-plutonium nitride (UN-PuN), uranium-plutonium carbide (UC-PuC) and Mixed oxide (MOX). Core diameter was divided into 10 regions. This reactor uses shuffling strategy in radial direction so that reactor can operate with natural uranium fuel. After a 10-year burn up period, fuel from first region is shuffled radially into the second region, the second region is shuffled radially into the third region and so on until fuel from the 9th region shuffled into the 10th region, and then fuel from the 10th is removed from reactor core while fresh uranium is inserted in to the first region. The results show that UN-PuN and MOX with 50% volume fraction has the best performance ($k_{eff} \sim 1$, and optimal burn up).

Keywords: neutronic analysis, shuffling method, UC-PuC, UN-PuN, MOX

I. PENDAHULUAN

Penduduk dunia terus bertambah dengan laju yang terus meningkat dan akan berdampak pada krisis energi listrik di dunia. Indonesia termasuk negara dengan tingkat pertumbuhan penduduk yang sangat tinggi, sehingga membutuhkan jumlah energi listrik yang sangat besar. *International Energy Agency* (IEA) memprediksi bahwa hingga tahun 2030 permintaan energi listrik dunia meningkat 45% atau rata-rata meningkat 1,6% setiap tahun, sedangkan kebutuhan energi listrik di Indonesia naik sebesar 6% per tahun (Jusuf, 2012). Salah satu opsi untuk menanggulangi masalah krisis energi listrik ini adalah dengan pembangunan reaktor sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

Konsep dasar dari sebuah reaktor adalah reaksi fisi dari material bahan bakar misalnya uranium-235. Ketika sebuah inti ditembak dengan sebuah neutron, inti akan mengalami pembelahan (fisi) (Duderstadt dkk, 1976). Secara umum perubahan jumlah neutron akibat reaksi fisi dapat dirumuskan dengan faktor multiplikasi (k_{eff}). Faktor multiplikasi menggambarkan tingkat kestabilan reaksi fisi berantai di dalam teras reaktor, dimana keadaan stabil (kritis) dicapai jika nilai $k_{eff} = 1$ (Stacey, 2001).

Uranium merupakan bahan bakar nuklir utama. Selain uranium alam, bahan bakar campuran telah dikaji sebagai alternatif bahan bakar nuklir pada reaktor jenis *Liquid Metal Fast Breeder Reactor* (LMFBR) berpendingin logam cair (Na, Pb, dan Pb-Bi), yang menghasilkan suatu kesimpulan bahwa karakteristik neutronik yang optimal untuk reaktor LMFBR adalah bahan bakar UN-PuN yang memiliki distribusi fluks neutron dan distribusi daya yang tinggi (Cinantya, 2013).

Di dalam penelitian ini akan didiskusikan bagaimana analisis neutronik dengan variasi bahan bakar UN-PuN, UC-PuC dan MOX yang menunjukkan kerja neutronik yang optimal dengan nilai k_{eff} yang didapatkan mendekati 1, untuk rancangan reaktor SCWR. Bahan bakar campuran yang digunakan dalam penelitian ini uranium plutonium nitrit (UN-PuN) yang memiliki titik leleh (~ 2500 °C), dan konduktivitas termal yang tinggi, uranium plutonium karbit (UC-PuC) yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi dan terbuat dari campuran karbida, dan mixed oxide (MOX) merupakan alternatif untuk bahan bakar uranium dengan pengayaan yang rendah dan suhu leleh yang tinggi (~ 2750 °C) (Waltar dan Reynolds, 1981).

II. METODE

Penelitian untuk analisis neutronik pada reaktor SCWR dilakukan secara simulasi komputasi dengan menggunakan kode *Standard Thermal Reactor Analysis Code System* (SRAC) yang dikembangkan oleh *Japan Atomic Energy Research Institute* (JAERI) pada tahun 1978. Tujuan utama SRAC adalah sebagai sistem kode neutronik yang dapat diterapkan pada analisis teras berbagai macam reaktor, termasuk perhitungan sel dan analisis *burn up*. Model reaktor SCWR yang digunakan berukuran kecil dengan spesifikasi desain secara umum diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi desain reaktor SCWR

Parameter	Deskripsi
Daya	350 (MWth)
Tipe pin <i>cell</i>	<i>Cylinder cell</i>
Geometri teras	2-D <i>Cylinder</i>
Jumlah region bervolume sama dalam arah radial	10 <i>region</i>
Periode <i>Burn up</i>	10 tahun
Struktur (<i>cladding</i>)	SS316
Pendingin (<i>coolant</i>)	Air ringan (H ₂ O)
Fraksi bahan bakar	(45-65)%
Fraksi <i>cladding</i>	10%
Fraksi <i>coolant</i>	(25-45)%
Tinggi teras aktif	180 cm
Diameter <i>cell</i>	1,4 cm
Diameter teras aktif	170 cm
Lebar reflektor	50 cm

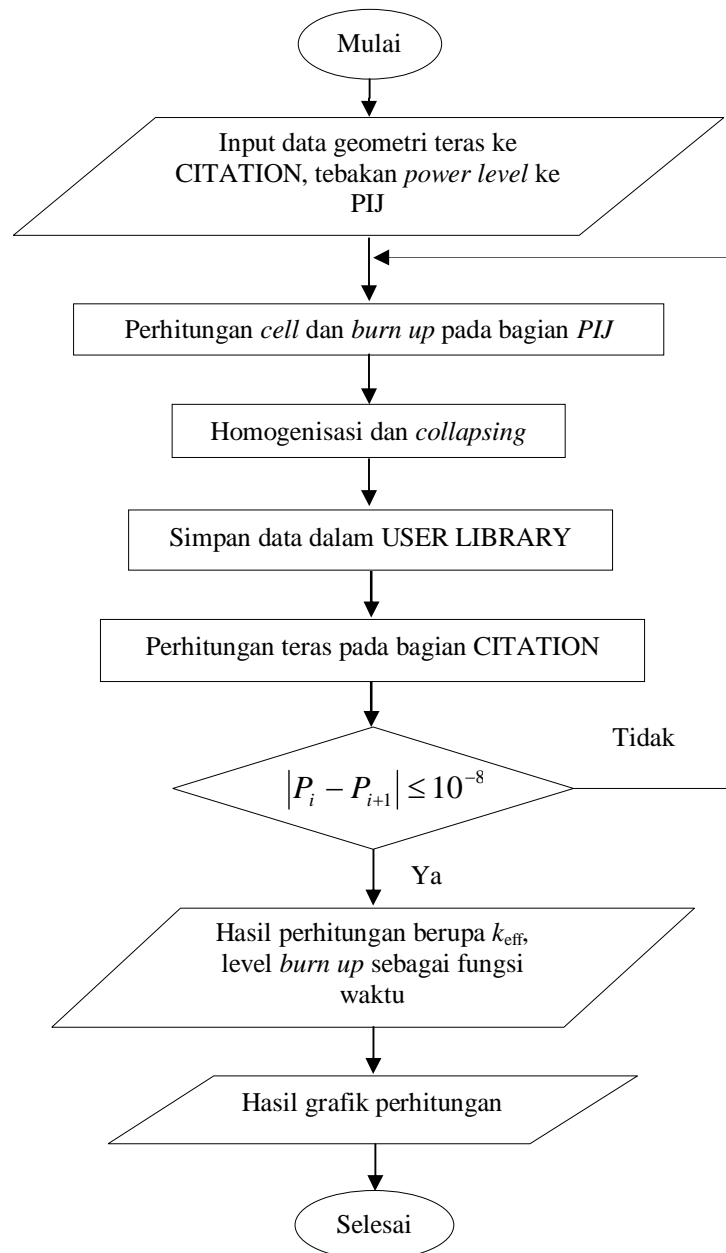
Jenis bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan bakar campuran UN-PuN, UC-PuC dan MOX, dengan variasi komposisi masing-masing bahan bakar, *cladding* dan *coolant* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Distribusi material sel

Bahan bakar (% V)	<i>Cladding</i> (% V)	<i>Coolant</i> (% V)
45	10	45
50	10	40
55	10	35
60	10	30
65	10	25

Data nuklir yang digunakan pada penelitian ini adalah data nuklida dari JENDL-3.2, SRAC akan melakukan perhitungan dan menghasilkan data penampang lintang makroskopik dari masing-masing material teras reaktor. Hasil perhitungan menggunakan SRAC berupa data numerik (angka), data ini yang akan diplot kedalam grafik k_{eff} , level *burn up* sebagai fungsi

waktu. Diagram alir perhitungan menggunakan kode program SRAC ditampilkan pada Gambar 1.

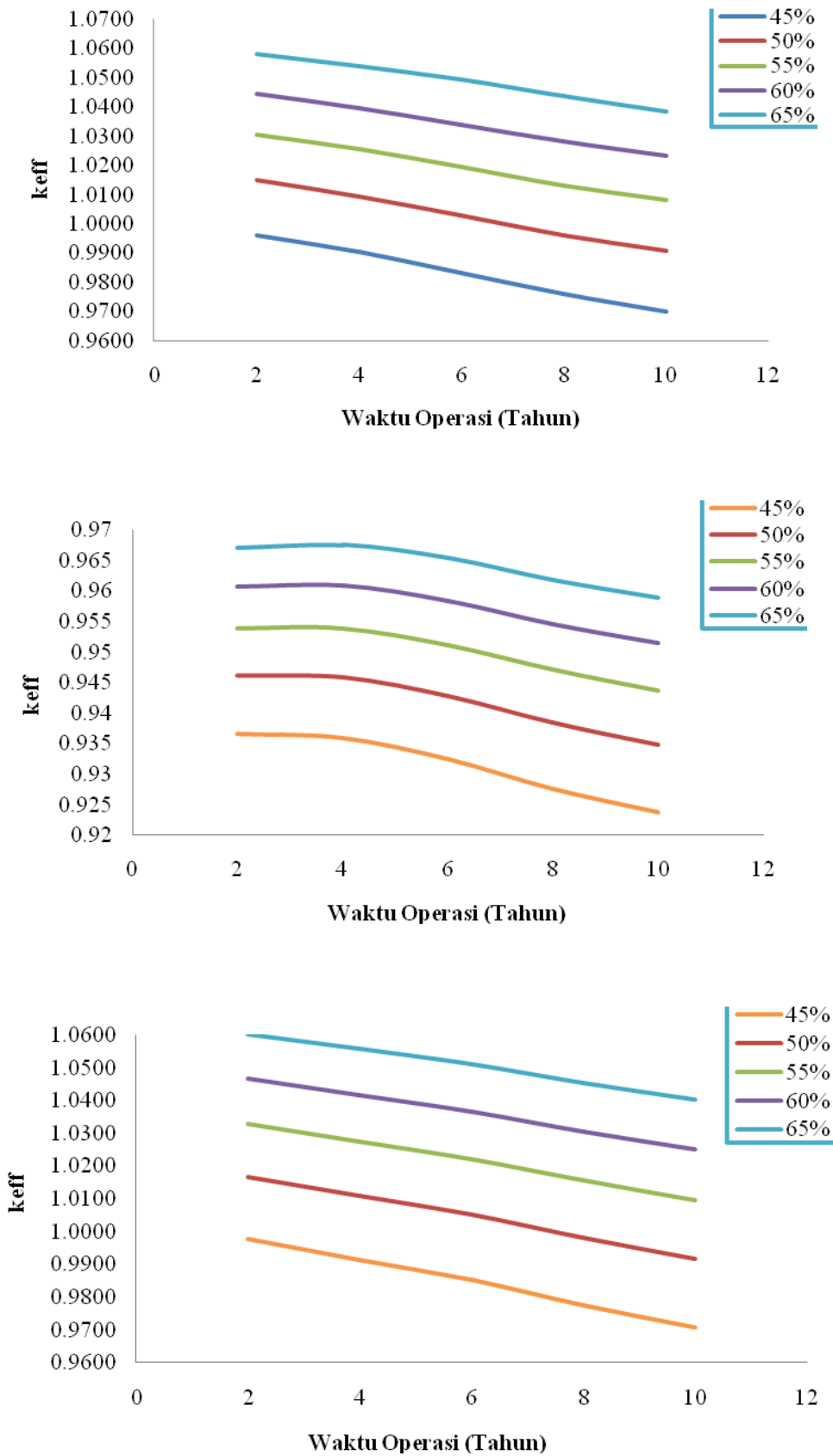


Gambar 1 Diagram alir perhitungan desain reaktor dengan SRAC

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Tinjauan Nilai Faktor Multiplikasi (k_{eff}) Neutron

Nilai faktor multiplikasi (k_{eff}) neutron yang diperoleh dari rangkaian perhitungan neutronik yang dilakukan, menunjukkan kondisi kekritisan teras reaktor. Kondisi kritis ($k_{eff} \sim 1$) dapat dicapai melalui pengaturan fraksi volume bahan bakar di teras. Hasil pengaturan fraksi volume bahan bakar UN-PuN, UN-PuN, MOX dan nilai k_{eff} neutron yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 2.



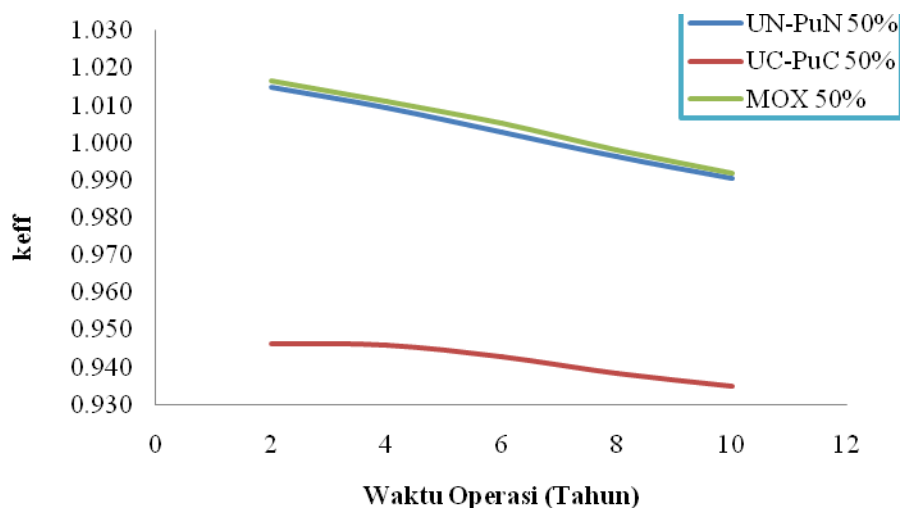
Gambar 2 Nilai k_{eff} untuk bahan bakar(a) UN-PuN, (b) UC-PuC, dan (c) MOX

Dari Gambar 2, dapat dilihat bahwa semakin banyak fraksi bahan bakar yang digunakan maka k_{eff} yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya fraksi volume bahan bakar, mengakibatkan bertambahnya reaksi fisi yang terjadi dan penambahan populasi neutron dalam teras reaktor. Nilai k_{eff} yang didapatkan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya waktu operasi. Hal ini disebabkan berkurangnya densitas nuklida fisil dan fertil yang ada di dalam teras reaktor seiring dengan bertambahnya waktu operasi. Nilai k_{eff} yang menunjukkan kinerja yang baik untuk bahan bakar UN-PuN dan MOX didapatkan pada fraksi bahan bakar 50% sedangkan nilai k_{eff} untuk bahan bakar UC-PuC didapatkan pada fraksi bahan bakar 65% dengan rentang nilai 0,95900 sampai 0,96700. Nilai k_{eff} untuk bahan bakar UC-PuC lebih rendah dibandingkan dengan dua variasi bahan bakar yang lain. Hal ini disebabkan karena bahan bakar UC-PuC memiliki densitas yang lebih rendah (1,1362.10⁻¹ atom/mol) dibandingkan dengan UN-PuN dan MOX.

Penurunan k_{eff} mengindikasikan bahwa reaksi fisi setiap tahunnya berkurang, dan menyebabkan neutron yang dihasilkan di dalam reaktor berkurang. Nilai k_{eff} berkurang seiring dengan bertambahnya waktu operasi untuk semua variasi bahan bakar yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3. Perbandingan nilai k_{eff} UN-PuN, UC-PuC dan MOX untuk fraksi bahan bakar dengan kinerja terbaik. Bahan bakar UN-PuN dan MOX memiliki pola nilai k_{eff} yang hampir sama, sedangkan UC-PuC memiliki selisih nilai yang cukup jauh dari keadaan kritis. Nilai k_{eff} bahwa bahan bakar yang paling optimal untuk reaktor SCWR adalah bahan bakar UN-PuN dan MOX dengan fraksi bahan bakar 50% dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 3 Nilai faktor multiplikasi (k_{eff}) neutron untuk fraksi volume yang optimal

Tahun Operasi	UN-PuN (pada fuel 50%)	UC-PuC (pada fuel 50%)	MOX (pada fuel 50%)
2	1,015	0,946	1,017
4	1,009	0,946	1,011
6	1,003	0,943	1,005
8	0,996	0,938	0,998
10	0,991	0,935	0,992

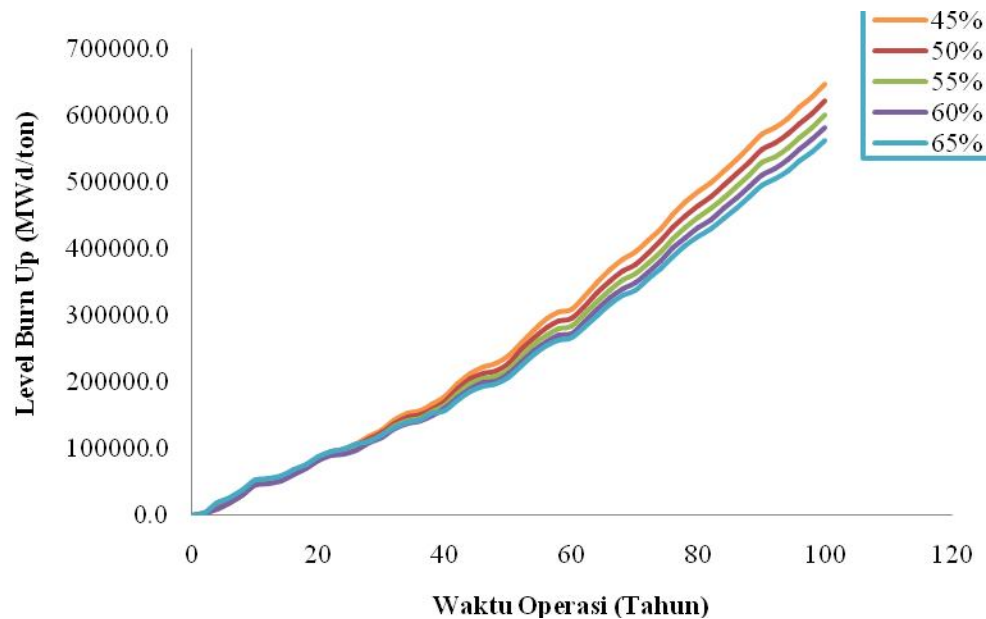


Gambar 3 Nilai k_{eff} untuk UN-PuN, UC-PuC, dan MOX terhadap waktu operasi

3.2 Perbandingan Nilai Level Burn Up

Level *burn up* menunjukkan banyaknya bahan bakar yang digunakan selama waktu operasi tertentu. Level *burn up* sebanding dengan waktu operasi, semakin lama waktu operasi,

maka level *burn up*nya juga semakin meningkat. Semakin besar fraksi bahan bakar yang digunakan mengakibatkan penurunan nilai dari level *burn up* per waktu operasi. Hal ini dikarenakan jika fraksi bahan bakar kecil, maka komposisi bahan fertile yang terdapat dalam reaktor juga sedikit, sehingga untuk menjaga kekritisan reaktor bahan bakar yang digunakan menjadi lebih banyak. Bahan bakar UN-PuN, UC-PuC dan MOX memiliki pola yang hampir sama pada level *burn up*nya. Nilai level *burn up* paling besar ditunjukkan pada fraksi bahan bakar 45%, dan sebaliknya paling kecil ditunjukkan pada fraksi bahan bakar 65% per waktu operasinya. Nilai level *burn up* untuk masing-masing bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Nilai level *burn up* untuk bahan bakar UN-PuN

IV. KESIMPULAN

Jenis bahan bakar yang digunakan sangat mempengaruhi pengoperasian reaktor. Bahan bakar UN-PuN dan MOX menunjukkan karakteristik bahan bakar yang optimal untuk SCWR, karena fraksi bahan bakar yang digunakan lebih sedikit dan nilai keff yang didapatkan mendekati 1. Bahan bakar UN-PuN dan MOX paling optimal didapatkan pada fraksi 50%. Untuk disain dengan bahan bakar UC-PuC diperlukan fraksi bahan bakar yang lebih tinggi untuk mencapai keadaan reaktor yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Cinanta, N.D, "Analisis Neutronik Pada Reaktor Cepat Dengan Variasi Bahan Bakar (UN-PuN, UC-PuC, MOX)", Skripsi S1, Universitas Andalas, 2013.
- Duderstadt, James. J., Louis J. dan Hamilton, *Nuclear Reactor Analysis* (John Wiley and Sons, Inc., New York, 1976), hal. 50-51
- Stacey, W. M., *Nuclear Reactor Physics* (John Wiley & Sons, Inc., Canada, 2001), hal. 12-15
- Waltar, A. E. dan Reynolds, A. B., *Fast Breeder Reactor* (Pergamon Press, U.S.A., 1981), hal. 5-7
- Jusuf, 2012, Kekayaan Energi Indonesia dan Pengembangannya, <http://www.setkab.go.id/artikel-6277-.html>, diakses April 2015.