



Jurnal

Lingkungan dan Pembangunan (Environment and Development)

ARTIKEL

KEANEKARAGAMAN PREDATOR DAN PARASITOID HAMA MANGROVE DI KAWASAN RESTORASI TAMAN NASIONAL SEMBILANG SUMATERA SELATAN

KESIAPSIAGAAN MASYARAKAT NAGARI BATU BAJANJANG MENUJU NAGARI TANGGUH BENCANA

KONDISI TERUMBU KARANG DI PULAU TIDUNG, KEPULAUAN SERIBU DAN SEKITARNYA KONSEP HUNIAN VERTIKAL SEBAGAI SALAH SATU ALTERNATIF UNTUK PERMASALAHAN PERMUKIMAN KUMUH PERKOTAAN (STUDI KASUS KAMPUNG PULO)

MENDAMBAKAN TATA RUANG BERKELANJUTAN
STUDI PENDAHULUAN : INVENTARISASI MAMALIA DI WILAYAH HUTAN LINDUNG BUKIT COGONG II

STUDI AWAL PERHITUNGAN SEL BAHAN BAKAR BERBASIS URANIUM OKSIDA (UO_2) PADA REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN HELIUM

STUDI AWAL PERHITUNGAN SEL BAHAN BAKAR BERBASIS THORIUM OKSIDA PADA GAS-COOLED FAST REACTOR (GFR)

ISSN 0216 - 2717

Volume 02, No. 01, Tahun 2016





JURNAL
PUSAT STUDI LINGKUNGAN
PERGURUAN TINGGI SELURUH INDONESIA

Lingkungan & Pembangunan

ENVIRONMENT & DEVELOPMENT

JURNAL LINGKUNGAN DAN PEMBANGUNAN
JOURNAL OF ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT

Penanggung Jawab

Ketua Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL)

Dewan Editor

Fisika dan Pendidikan

Prof. Dr. Lambang Subagiyo, MSc.

Biologi

Prof. Dr. Ir. Agoes Soegianto, DEA

Kesehatan dan Lingkungan

Prof. dr. Haryoto Kusnopranto,
SKM. Dr. PH

Pertanian

Prof. Dr. Ir. Laode Asrul, MP

Teknik Kimia

Prof. Dr. Ir. Tjandra Setiadi, M.Eng.

Sosial Ekonomi

Prof. Dr. Fachrurrozie Sjarkowi,
M.Sc.

Arsitektur

Prof. Ir. Agus Budi Purnomo, MS.
PhD.

Lingkungan

Dr. Dwi P. Sasongko

Teknik Lingkungan

Prof. Dr. Ir. Nasfryzal Carlo, MSc

Editor Pelaksana

Dr. Ir. Hefni Effendi, MPhil. dan Dr. Melati Ferianita Fachrul, MS.

Asisten Editor

Sri Muslimah, S.Si.

Andreas Pramudianto, SH., MHum.

Alamat Redaksi

Jurnal Lingkungan dan Pembangunan
Sekretariat Eksekutif Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL)
Pusat Penelitian Sumberdaya Manusia dan Lingkungan
Gedung C Lantai V, Jl. Salemba Raya No. 4, Jakarta 10430
Telp. 021-31930318, 021-31930309, Fax. 021-31930266
Homepage: www.bkpsl.org/jurnal / *email:* jurnal-bkpsl@bkpsl.org

Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH)
Kampus IPB, Dramaga 16680
Telp. 0251-8621262, 8622085, Fax. 0251-8622134

DAFTAR ISI

Daftar Isi	iv
Dari Redaksi	v
 ARTIKEL	
Keanekaragaman Predator dan Parasitoid Hama Mangrove di Kawasan Restorasi Taman Nasional Sembilang Sumatera Selatan <i>Syafrina Lamin, Jayansyah, Mustafa Kamal</i>	312
Kesiapsiagaan Masyarakat Nagari Batu Bajanjang Menuju Nagari Tangguh Bencana <i>Nasfryzal Carlo, Wawan Budianto, Eva Rita</i>	324
Kondisi Terumbu Karang di Pulau Tidung, Kepulauan Seribu dan Sekitarnya <i>Supriharyono</i>	332
Konsep Hunian Vertikal sebagai Salah Satu Alternatif untuk Permasalahan Permukiman Kumuh Perkotaan (Studi Kasus Kampung Pulo) <i>Felicia Putri Surya Atmadja, Sri Utami Azis, Traindriani Mustikawati</i>	347
Mendambakan Tata Ruang Berkelanjutan <i>Sudharto Prawata Hadi</i>	360
Studi Pendahuluan : Inventarisasi Mamalia di Wilayah Hutan Lindung Bukit Cogong Ii <i>Doni Setiawan, Muhammad Iqbal, Indra Yustian, Arum Setiawan</i>	368
Studi Awal Perhitungan Sel Bahan Bakar Berbasis Uranium Oksida (UO ₂) pada Reaktor Cepat Berpendingin Helium <i>Sari Novalianda, Menik Ariani, Fiber Monado, Zaki Su'ud</i>	381
Studi Awal Perhitungan Sel Bahan Bakar Berbasis Thorium Oksida pada Gas-Cooled Fast Reactor (GFR) <i>Siti Aulia, Menik Ariani, Supardi, Zaki Su'ud</i>	391



**STUDI AWAL PERHITUNGAN SEL BAHAN BAKAR
BERBASIS URANIUM OKSIDA (UO₂) PADA REAKTOR
CEPAT BERPENDINGIN HELIUM***

Sari Novalianda¹, Menik Ariani^{1,2}, Fiber Monado^{1,2}, Zaki Su'Ud³

1. Program Studi Fisika, Pascasarjana Universitas Sriwijaya,
Jl. Padang Selasa 542, Palembang, Sumatera Selatan
2. Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Sriwijaya, Kampus Indralaya, Ogan Ilir,
Sumatera Selatan
3. Program Studi Fisika, Institut Teknologi Bandung
Email: sari_novalianda@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini menyajikan studi awal perhitungan sel bahan bakar pada reaktor cepat. Sel bahan bakar adalah bagian terkecil dari penyusun teras reaktor. Satu sel bahan bakar terdiri dari bahan bakar (*fuel*), kelongsong (*cladding*) dan pendingin (*coolant*). Pada penelitian ini menggunakan sel bahan bakar berbasis uranium oksida (UO₂), dengan *cladding* terbuat dari *stainless steel* (SS316) dan *coolant* berupa helium. Perhitungan sel dan *burnup* dilakukan dengan menggunakan modul PIJ pada *Standard Reactor Analysis Code* (SRAC) dengan pustaka JENDL-3.2. Hasil penelitian sel bahan bakar berbasis uranium-238 dengan pengayaan 10% uranium-235, menggunakan fraksi volume bahan bakar 54,5%, *cladding* 15% dan *coolant* 30,5% menunjukkan nilai kekritisannya $k_{eff} > 1$ (1,003-1,062), dengan *excess reactivity* rata-ratanya adalah 0,021.

Kata kunci : *burnup*, sel bahan bakar, uranium.

**THE PRELIMINARY STUDY OF CELL CALCULATION FOR
FUEL BASED URANIUM OXIDE (UO₂) IN HELIUM-COOLED
FAST REACTOR**

Abstract

*Disampaikan pada Seminar Nasional "Etika Lingkungan dalam Eksplorasi Sumberdaya Pangan dan Energi", diselenggarakan oleh Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) Universitas Sriwijaya dan Badan Kerjasama Pusat Studi Lingkungan (BKPSL) Indonesia, tanggal 11-12 November 2015 di Hotel Novotel, Palembang.

This research presents of a preliminary study of fuel cell calculation in fast reactors. The fuel cell is the smallest part of the reactor core. One fuel cell consists of fuel, cladding and coolant. In this study, using a fuel cell-based uranium oxide (UO₂), with cladding made of stainless steel (SS316) and coolant is a helium. Cells and burnup calculations done using module cell PIJ in Standard Reactor Analysis Code (SRAC) with JENDL-3.2 libraries. Results-based fuel cell research uranium-238 enrichment of 10% uranium-235, using a fraction of the fuel volume of 54.5%, 15% cladding and coolant 30.5% shows the value of the criticality of $k_{eff} > 1$ (1.003 to 1.062), with excess reactivity the average is 0,021.

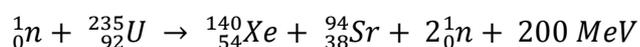
Keywords : burnup, fuel cells, uranium.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan salah satu pertimbangan untuk menjadi salah satu sumber energi listrik alternatif di Indonesia. Dalam pengoperasian PLTN tidak menghasilkan emisi dan berbiaya relatif murah dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya. Program riset dan pengembangan reaktor nuklir berkembang pesat seiring dengan kepentingan untuk mengatasi meningkatnya kebutuhan energi di masa mendatang. Salah satu konsep reaktor yang mendapat perhatian khusus dalam beberapa tahun terakhir ini adalah reaktor generasi IV yaitu reaktor cepat berpendingin helium (*gas-cooled fast reactor-GFR*).

GFR adalah jenis reaktor cepat yang terbaik dalam hal ketahanan karena GFR mempunyai siklus bahan bakar tertutup, menggunakan helium sebagai pendingin dan dapat dioperasikan pada suhu 850°C yang dapat memproduksi gas hidrogen (GIF, 2009).

Sebelum membangun sebuah reaktor nuklir secara fisik terlebih dahulu dibuat perencanaan perhitungan yang matang. Salah satu faktor terpentingnya adalah aspek neutronik (perilaku neutron) yang terjadi di dalam reaktor. Reaktor nuklir adalah sebuah sistem tempat mengontrol dan mempertahankan terjadinya reaksi nuklir. Prinsip kerja reaktor nuklir mirip dengan pembangkit listrik konvensional. Perbedaan ini utamanya terletak pada sumber energi dan jenis bahan bakar. Sumber energi konvensional berasal dari proses pembakaran secara kimia bahan bakar fosil, sedangkan pada reaktor nuklir berasal dari reaksi fisi nuklir dari bahan bakar fisil. Reaksi fisi nuklir menghasilkan energi, contohnya yaitu (Duderstadt dan Hamilton, 1976):



Reaksi fisi terjadi di dalam teras reaktor, dimana bagian terkecil dari penyusun teras reaktor dinamakan sel bahan bakar. Pada reaktor cepat, sel bahan bakar terdiri dari bahan bakar (*fuel*), kelongsong (*cladding*) dan pendingin (*coolant*). Pembuatan bahan bakar reaktor dari sejak penambangan memerlukan beberapa tahapan proses. Bijih uranium hasil penambangan diolah menjadi tepung U₃O₈ yang disebut *yellow cake* kemudian dimurnikan dan dikonversikan menjadi gas uranium hexaflorida (UF₆) dengan kandungan U-235 0,7% dari total uranium (Sudarsono, 2011).

Kebanyakan reaktor nuklir menggunakan bahan bakar dengan kandungan U-235 lebih dari 0,7%. Oleh karena itu, kandungan U-235 dalam UF₆ harus ditingkatkan atau diperkaya (*enrichment*). Gas UF₆ yang telah diperkaya kemudian dikonversikan menjadi UO₂. Pada proses selanjutnya UO₂ dipress atau dicetak menjadi bentuk silinder pejal yang disebut *pellet*. *Pellet* ini kemudian disusun di dalam *cladding* yang terbuat dari logam. *Cladding* berfungsi sebagai material pembungkus bahan bakar, sehingga apabila unsur hasil fisi lepas dari bahan bakar, maka *cladding* berfungsi menahan hasil fisi tetap berada dalamnya.

Susunan sel bahan bakar yang terakhir adalah *coolant*. Helium merupakan salah satu jenis *coolant* yang memiliki kelebihan dari *coolant* yang lainnya yaitu bersifat *inert* (sukar bereaksi dengan unsur lain). Makalah ini menguraikan hasil perhitungan studi awal reaktor cepat berpendingin helium pada sel bahan bakar berbasis uranium oksida (UO₂).

2. METODOLOGI

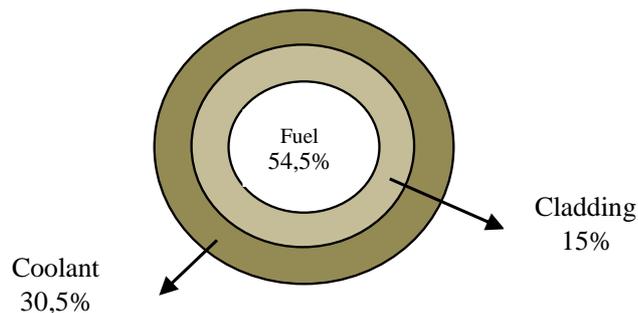
Parameter-parameter desain sel reaktor yang digunakan dapat dilihat pada dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter desain sel reaktor

Parameter	Spesifikasi
Bahan Bakar	Uranium Oksida (UO ₂)
<i>Cladding</i>	<i>Stainless Steel (SS316)</i>
<i>Coolant</i>	Helium
Pengayaan U-235	10%
Fraksi Volume, <i>Fuel/Cladding/Coolant</i>	54,5%:15%:30,5%
<i>Pin pitch</i>	1,4 cm

Parameter	Spesifikasi
Geometri <i>cell</i>	Silinder
Waktu <i>burnup</i> material	100 tahun

Geometri sel bahan bakar berbentuk silinder (*cylindrical cell*), dengan penampang lintangnya disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Geometri silinder sel bahan bakar.

Analisis neutron pada reaksi fisi berantai yang terjadi, membahas mengenai populasi dan perilaku neutron. Salah satu besaran penting dalam analisis neutronik adalah faktor multiplikasi efektif (k_{eff}), yaitu (Monado, 2013) (**Gambar 2**):

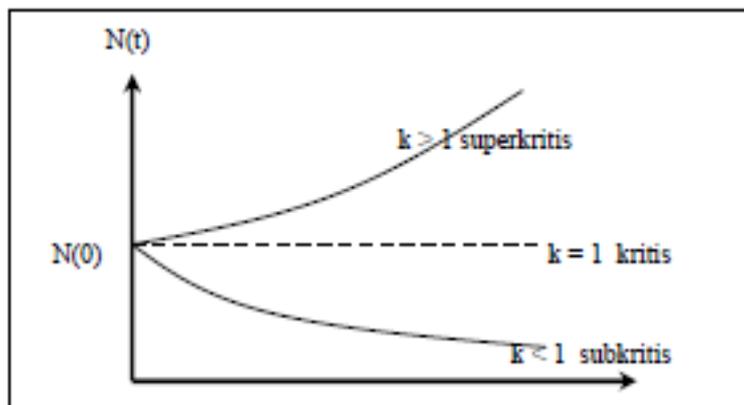
$$k_{\text{eff}} \equiv \frac{\text{jumlah neutron pada satu generasi}}{\text{jumlah neutron pada generasi berikutnya}}$$

dengan ketentuan:

$k_{\text{eff}} = 1$ disebut keadaan kritis, dimana jumlah neutron tetap (konstan).

$k_{\text{eff}} < 1$ disebut keadaan sub kritis, dimana jumlah neutron berkurang.

$k_{\text{eff}} > 1$ disebut keadaan super kritis, dimana jumlah neutron bertambah.

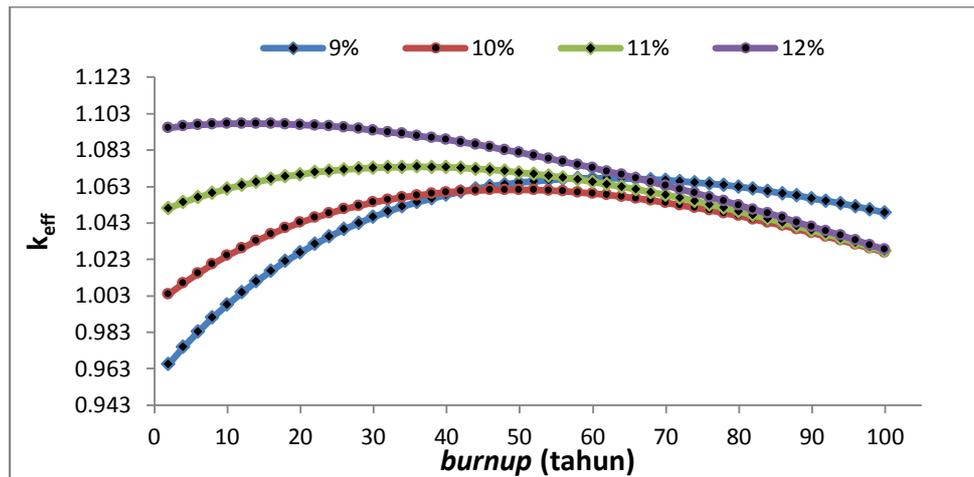


Gambar 2. Grafik faktor multiplikasi efektif (k_{eff})
(Duderstard dan Hamilton, 1976).

Pada penelitian ini menggunakan modul PIJ pada *Standard Reactor Analysis Code* (SRAC) dengan pustaka JENDL-3.2 untuk perhitungan neutronik sel bahan bakar (Okumura, 2007).

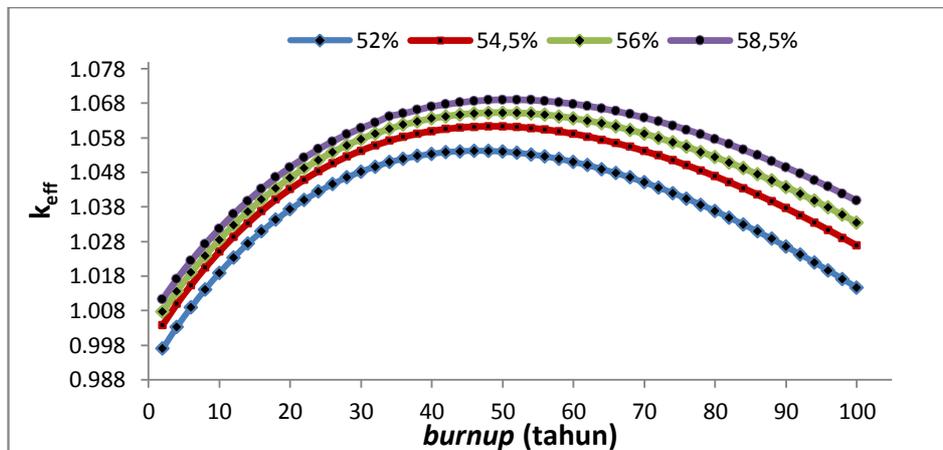
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dibahas hasil dan pembahasan dari perhitungan sel bahan bakar berbasis uranium oksida (UO_2) yang telah dibuat dengan beberapa parameter survei yang telah ditentukan. Jumlah U-235 yang terdapat di alam hanya 0,07%, sedangkan sisanya 99% adalah U-238, walaupun jumlahnya sedikit, U-235 merupakan bahan bakar fisil yang dapat langsung memancarkan neutron yang menghasilkan produk fisi dalam reaktor. Dengan demikian, maka diperlukan proses pengayaan U-235 agar densitas atomik dari U-235 juga bertambah. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 3** yang menunjukkan grafik perubahan faktor multiplikasi efektif (k_{eff}) dengan variasi pengayaan U-235 mulai dari 9% sampai 12%. Pada pengayaan 9% diperoleh $k_{\text{eff}} < 1$, sedangkan pengayaan 10-12% mencapai keadaan kritis dengan $k_{\text{eff}} > 1$.



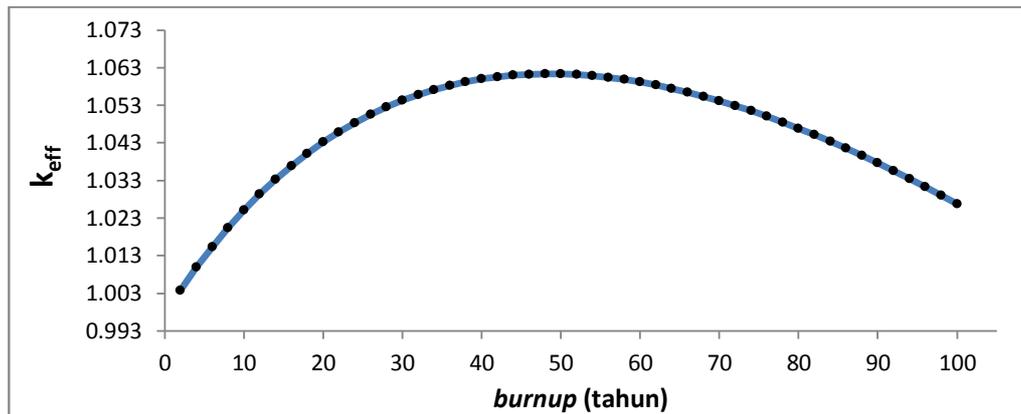
Gambar 3. Faktor multiplikasi efektif untuk variasi pengayaan U-235.

Gambar 4 menunjukkan pengayaan 10% U-235 dengan perubahan variasi fraksi volume bahan bakar. Survei dilakukan dari fraksi bahan bakar 52%, 54,5%, 56% dan 58,5%. Kekritisan reaktor terjadi pada fraksi bahan bakar 54,5%, hal ini didukung oleh hasil perhitungan faktor multiplikasi efektif yang bernilai satu.



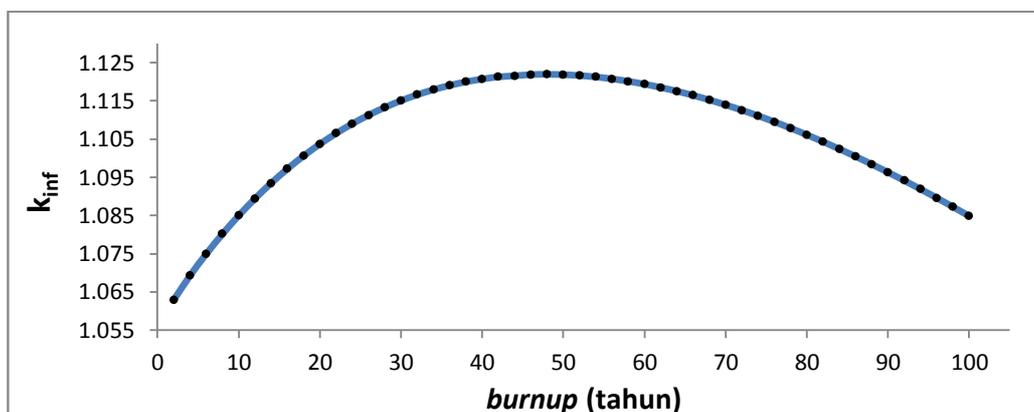
Gambar 4. Faktor multiplikasi efektif untuk variasi fraksi volume bahan bakar.

Jika ditelaah lebih mendalam lagi (**Gambar 5**) faktor multiplikasi efektif untuk satu siklus periode *burnup*, diperoleh $k_{eff} = 1,003$ pada tahun kedua *burnup* dan terus meningkat hingga $k_{eff} = 1,062$ pada *burnup* tahun ke lima puluh dua, kemudian k_{eff} turun kembali hingga tahun ke seratus ($k_{eff} = 1,026$).



Gambar 5. Faktor multiplikasi efektif untuk pengayaan 10% untuk fraksi bahan bakar 54,5%, *cladding* 15% dan *coolant* 30,5%.

Gambar 6 menunjukkan perubahan faktor multiplikasi infinitif (k_{inf}). k_{inf} ini memperlihatkan ukuran kenaikan atau penurunan fluks neutron, yang dihitung tanpa adanya faktor kebocoran. Pada tahun kedua *burnup* nilai $k_{inf} = 1,062$ dan terus meningkat sampai tahun ke empat puluh delapan ($k_{inf} = 1,122$) dan akan turun kembali hingga tahun ke seratus *burnup* ($k_{inf} = 1,084$), hal ini seiring dengan berkurangnya jumlah densitas U-235 selama waktu *burnup*.

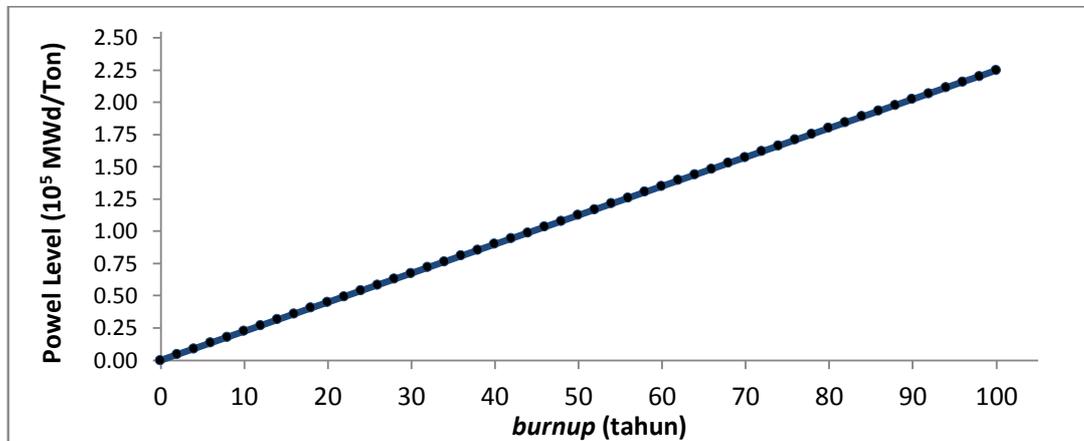


Gambar 6. Perubahan faktor multiplikasi infinitif selama periode *burnup*.

Burnup diartikan sebagai total energi yang dilepaskan per unit massa bahan bakar sebagai hasil pembakaran bahan bakar (Menik, 2013).

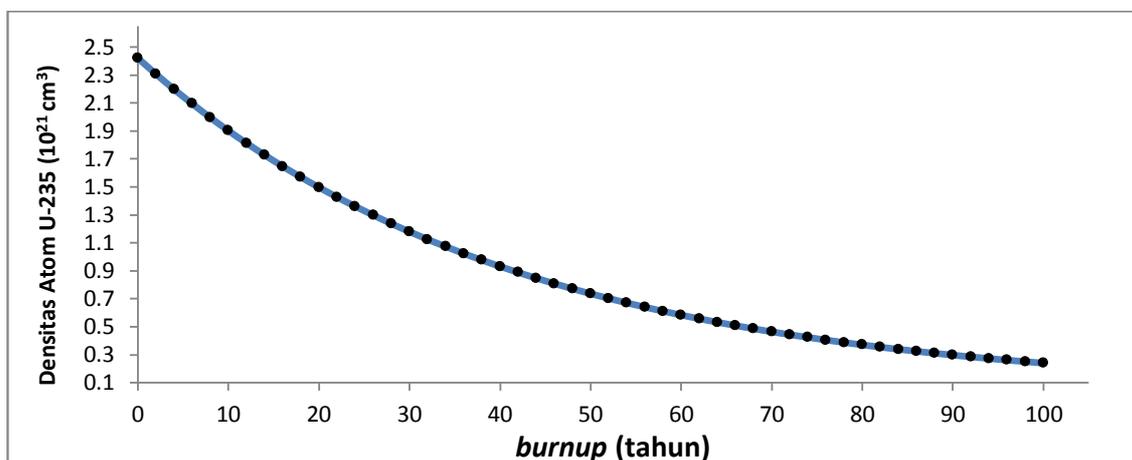
Gambar 7 menunjukkan perubahan level *burnup* sepanjang waktu

burnup. Dapat dilihat bahwa level *burnup* terus meningkat seiring bertambahnya waktu *burnup*. Pada tahun ke seratus, level *burnup* berada pada $2,25 \times 10^5$ MWd/Ton.



Gambar 7. Perubahan level *burnup*.

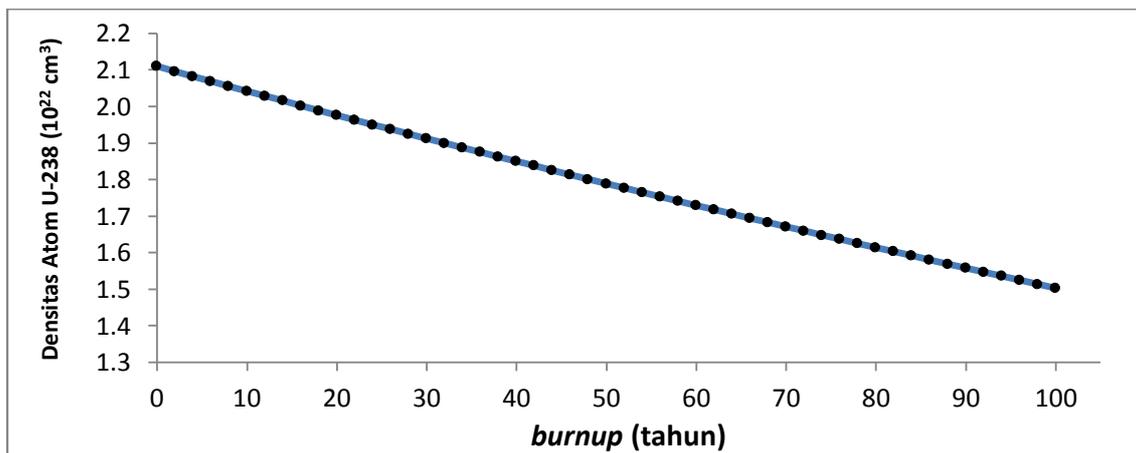
Selama proses *burnup*, U-235 yang bersifat fisil akan mengalami fisi, sehingga akan berubah menjadi unsur lainnya. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 8** yang menunjukkan penurunan densitas U-235 secara signifikan, sebanding dengan lamanya waktu *burnup*.



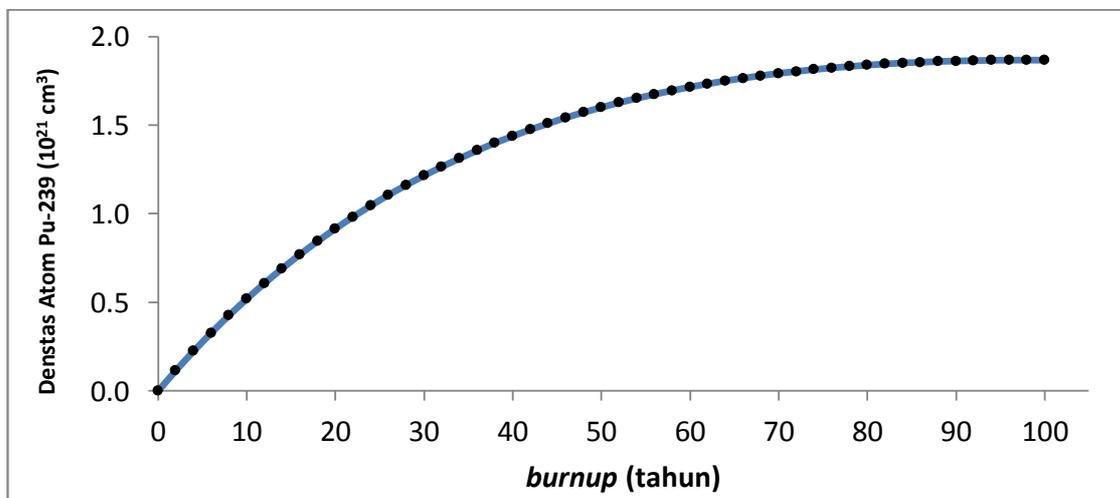
Gambar 8. Perubahan densitas atomik U-235.

Selama proses *burnup*, U-238 yang bersifat fertil akan berubah menjadi unsur lain akibat dari reaksi fisi yang terjadi dalam sel bahan bakar tersebut. Salah satu produk fisi yang dihasilkan dari U-238 adalah Pu-

239. Seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 9** dan **10** terjadi perubahan densitas atomik U-238 dan Pu-239. Densitas atomik U-238 akan berkurang selama proses *burnup*, sedangkan Pu-239 yang pada awal reaksi fisi belum ada, hingga proses *burnup* berjalan Pu-239 akan mulai tercipta dan akan bertambah secara signifikan selama proses *burnup* berlangsung.



Gambar 9. Perubahan densitas atomik U-238.



Gambar 10. Perubahan densitas atomik Pu-239.

4. KESIMPULAN

Sel bahan bakar UO₂ menggunakan pengayaan 10% U-235 dengan fraksi volume *fuel* 54,5%, *cladding* 15% dan *coolant* 30,5% diperoleh $k_{\text{eff}} = 1,003$ tahun ke 2 *burnup* dan terus meningkat sampai $k_{\text{eff}} = 1,062$ tahun

ke 48 delapan dan pada tahun ke 100 dengan nilai $k_{\text{eff}} = 1,026$, maka sel bahan bakar ini tetap dalam keadaan kritis sampai tahun keseratus *burnup*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Menik, A. Su'ud, Z. Monado, F. Waris, A. Rijal, K. Arif, I. Ferhat, A. and Sekimoto, H. Applied Mechanics and Materials, Vols.260-261 (2013) pp 307-311.
- Duderstadt, J.J. dan Hamilton, J.H. 1976. Nuclear Reactor Analysis. John Wiley& Sons Inc, USA.
- GIF. (2009). GIF R&D Outlook For Generation IV Nuclear Energy Systems.
- Choi, H. Rimpault, G. and Bosq, J.C. 2006. Nuclear Science and Engineering 152(2): 204-218.
- Okumura, K. Kugo, T. Kaneko, K. and Tsuchihashi, K. 2007. A Comprehensive Neutronic Calculation Code System. JAEA-Data/Code 2007-004. Reactor Physics Group, Nuclear Science and Engineering Directorate. Japan Atomic Energy Agency.
- Fiber, M. Su'ud, Z. Waris, A. Basar, K. Menik, A. and Sekimoto, H. 2013. Advanced Materials Research 772: 501-506.
- Sudarsono, B. 2011. Pusat Listrik Tenaga Nuklir. Pusat Pengembangan Informatika Nuklir BATAN.