



PROSIDING

SEMIRATA 2017 BIDANG MIPA
BKS-PTN WILAYAH BARAT
Jambi, Ratu Convention Center 12 - 14 Mei 2017

“Peran Sains, Teknologi dan Pendidikan MIPA dalam Menopang Sains Park, Teknopark, Serta Geopark Berbasis Argoindustri dan Lingkungan”



Penerbit: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) bekerja sama dengan Fakultas Sains dan Teknologi (FST) Universitas Jambi

BUKU 2

FISIKA

PROSIDING SEMIRATA 2017 BIDANG MIPA BKS-PTN WILAYAH BARAT

Editor:

Maison
Feri Tiona Pasaribu
Ahmad Syarkowi
Evtita
Novferma
Rosi Widia Asiani
Aulia Ul Millah
Martina Asti Rahayu

Reviewer:

Maison
Evita Anggereini
Haris Effendi

Desain Sampul:

Taufan Dyusanda Putra

ISBN: 978-602-50593-0-8

Penerbit:

Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP)
bekerjasama dengan Fakultas Sains dan Teknologi (FST) Universitas Jambi

Redaksi:

Kampus Unja Mendalo
Jl. Raya Jambi – Ma. Bulian Km. 15, Mendalo Indah
Jambi
Telp./Fax: 0741 - 583453

ISBN 978-602-50593-0-8



APLIKASI TEKNIK OVERLAY UNTUK PENENTUAN POTENSI PANAS BUMI BERDASARKAN DATA GEOSAINS DAN REMOTE SENSING	971
Muhammad Isa , Muhammad Syukri S Muhammad Rusdi	
VARIASI TEMPERATUR, KECEPATAN ANGIN DAN TINGGI EFEKTIF PADA KAJIAN MIXING HEIGHT	979
SW Suciyati	
STUDI KESTABILAN THERMAL BERDASARKAN PERUBAHAN CARBONIL INDEX POLIMER NANOKOMPOSIT	987
Diana Alemin Barus , Basuki W	
VISUALISASI DISTRIBUSI SUHU PADA BAHAN HOMOGEN DAN MULTILAYER MENGUNAKAN METODE BEDA HINGGA	993
SW Suciyati, Warsito*, dan Fahad Almafakir	
ANALISIS VS30 BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR, MASW DAN DATA USGS	1006
Refrizon*, Suhendra, Budi Harlianto, dan Nanang Sugianto	
VALIDASI ANGKET KECERDASAN SPRITUAL MELALUI EXPLORATORY FACTOR ANALYSIS: PENERAPAN PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS	1013
Irwan Koto*, Gozi Abdul Jabbar	
RANCANGAN SWITCHING NANO DETIK DENGAN SALURAN TUNDA INDUKTOR BERBASIS TRANSISTOR AVALANCHE	1023
Kerista Tarigan	
DESIGN AWAL TEORI KEMAGNETAN SOLENOIDA BERPENAMPANG SEGITIGA	1028
Haerul Pathoni	
PEMODELAN ARUS MUSIMAN DI PERAIRAN LEMUKUTAN KALIMANTAN BARAT	1034
Arie Antasari Kushadiwijayanto*, Apriansyah , Nora Idiawati	
STUDI PARAMETER BURNUP SEL BAHAN BAKAR BERBASIS URANIUM METALIK (U _{Zr}) PADA REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN HELIUM	1047
Heffi Naini , Fiber Monado *, Menik Ariani	

STUDI PARAMETER BURNUP SEL BAHAN BAKAR BERBASIS URANIUM METALIK (UZr) PADA REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN HELIUM

Heffi Naini¹, Fiber Monado^{2*}, Menik Ariani²

¹Program Studi S2 Fisika, FMIPA Universitas Sriwijaya

Email: heffinaini@gmail.com

²Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Sriwijaya

ABSTRACT

The study of burnup parameters uranium metallic (UZr) -based fuel cells on Gas-cooled Fast Reactors has been performed. Fuel cell geometry is cylindrical cell with a composition of 65% fuel (uranium metallic), 10% cladding (stainless steel) and 25% coolant (helium). The cell and burnup calculations are done by using PIJ module at Standard Reactor Analysis Code (SRAC) with a library JENDL-3.2. Feasibility performance of the fuel can be seen from some of the parameters of the effective multiplication factor (keff), infinite multiplication factor (kinf), burnup level and value of the conversion rate which showed comparable levels of production and consumption of fissile fuel.

Keywords: fuel cells, uranium, UZr, burnup

PENDAHULUAN

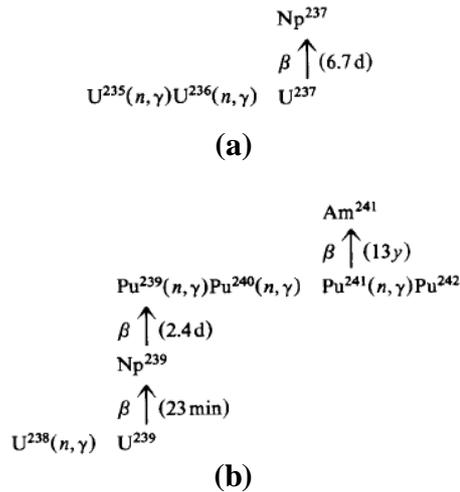
Salah satu reaktor generasi ke-IV yang sedang dikembangkan adalah reaktor cepat berpendingin helium, *Gas cooled Fast Reactor* (GFR). Langkah awal dalam mendesain teras reaktor nuklir adalah dengan melakukan penyusunan sel bahan bakar. Sel bahan bakar terdiri dari bahan bakar (*fuel*), kelongsong (*cladding*) dan pendingin (*coolant*) (Okumura et al., 2007).

Penyusunan sel bahan bakar bertujuan untuk menghasilkan fluks neutron yang merata dari hasil reaksi fisi berantai. Penyusunan dilakukan melalui perhitungan sel bahan bakar menghasilkan parameter *burnup* yang menentukan kelayakan sel bahan bakar yang menjadi titik tolak kelayakan teras reaktor. Makalah ini menguraikan parameter *burnup* sel bahan bakar yang berbasis *uranium metalik* (UZr) pada reaktor cepat berpendingin helium.

KAJIAN LITERATUR

Bahan bakar reaktor yang digunakan sebagai sumber energi nuklir adalah bahan bakar yang bersifat fisil. Bahan fisil adalah unsur atau atom yang langsung membelah apabila menangkap neutron. Adapun bahan yang banyak digunakan sebagai bahan bakar nuklir yaitu uranium. Uranium alami yang ditemukan di kerak bumi terdiri dari tiga buah isotop yaitu U-238 (99,275%), U-235 (0,720%) dan U-234 (0,005%). Dari ketiga isotop tersebut yang memiliki sifat fisil adalah uranium-235 (Kidd, 2009). Sedangkan uranium-238 bersifat fertil, namun dapat pula bersifat fisil dengan cara ditransmutasi menjadi plutonium-239.

Pada Gambar 1 diperlihatkan konversi rantai *burnup* U-235 dan U-238.



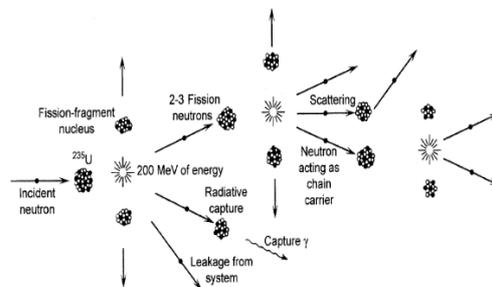
Gambar 1. Rantai Burnup (a) U-235 dan (b) U-238 (Duderstadt dan Hamilton, 1976).

Rantai *burnup* U-238 (Gambar 1.(b)) akan menghasilkan lima isotop plutonium yang dominan, yaitu Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-241 dan Pu-242. Dari kelima isotop tersebut hanya Pu-239 dan Pu-241 yang bersifat fisil dan dapat digunakan sebagai bahan bakar reaktor.

Paduan unsur metalik Zr (zirkonium) ditambahkan untuk memperbaiki ketahanan korosi, meningkatkan temperatur solidus dan menambah stabilitas dimensi. UZr memiliki kepadatan tinggi yang memungkinkan bahan bakar dapat beroperasi dengan derajat bakar (*burnup*) yang jauh lebih tinggi (Monado et.al., 2014).

Selain uranium metalik (UZr), penggunaan paduan UZr dengan plutonium yaitu uranium-plutonium-zirkonium (U-Pu-Zr) sebagai salah satu bahan bakar reaktor cepat karena kemampuan derajat bakar yang tinggi dan respon termal yang menguntungkan (Nakamura et.al., 2001)

Konsep dasar dari sebuah reaktor adalah reaksi fisi dari sebuah bahan bakar. Reaksi fisi adalah inti dari reaksi yang terjadi pada reaktor nuklir. Ketika sebuah inti ditembakkan oleh sebuah neutron dengan presentase tertentu, inti akan mengalami pembelahan (fisi). Reaksi fisi dapat dilihat pada Gambar 1.

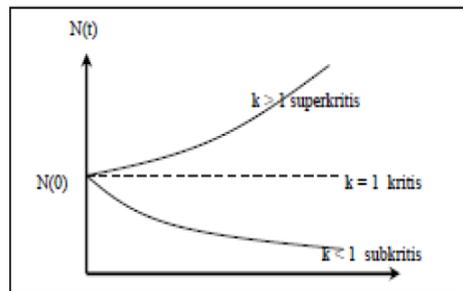


Gambar 2. Reaksi fisi (Stacey, 2007).

Reaksi fisi yang terjadi akan menghasilkan fluks neutron. Agar menghasilkan daya listrik yang diinginkan, maka sebaran fluks neutron harus merata pada teras reaktor. Oleh karena itu, penyusunan sel bahan bakar harus tepat dengan melakukan perhitungan sel bahan bakar. Reaktor selalu dijaga agar fluks neutron (yaitu jumlah neutron per satuan luas per satuan waktu) selalu tetap aman dalam keadaan kritis.

Kekritisitas suatu reaktor dapat dinyatakan dengan faktor multiplikasi efektif (k_{eff}). Reaktor dinyatakan superkritis jika $k_{eff} > 1$, sub-kritis $k_{eff} < 1$ dan dalam keadaan kritis jika $k_{eff} = 1$ yang dinyatakan seperti pada Gambar 3. Kritikalitas yaitu kemampuan mengendalikan populasi neutron sepanjang reaktor beroperasi. Secara matematis, faktor multiplikasi efektif ditunjukkan pada persamaan (Duderstad dan Hamilton, 1976):

$$k_{eff} = \frac{\text{jumlah neutron pada satu generasi}}{\text{jumlah neutron pada generasi sebelumnya}} \quad (1)$$



Gambar 3. Grafik Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff}) (Duderstad dan Hamilton, 1976)

Selama masa pengoperasian reaktor, komposisi bahan bakar akan senantiasa berubah karena isotop-isotop fisil akan terkonsumsi (berkurang) dan dihasilkan produk fisi. Persamaan *burnup* yang menyatakan hal ini yaitu:

$$\frac{dN_A}{dt} = -\lambda_A N_A - [\sum_g \sigma_{Ag}^A \phi_g] N_A + \lambda_B N_B + [\sum_g \sigma_{Ag}^C \phi_g] N_C \quad (2)$$

Suku $\lambda_A N_A$ adalah bagian yang hilang karena peluruhan radioaktif, sedangkan $[\sum_g \sigma_{Ag}^A \phi_g] N_A$ adalah bagian yang hilang karena tangkapan neutron, $\lambda_B N_B$ merupakan nuklida tambahan nuklida A akibat peluruhan B menjadi A dan $[\sum_g \sigma_{Ag}^C \phi_g] N_C$ adalah perubahan C menjadi A melalui tangkapan neutron.

Kelayakan performa bahan bakar dapat dilihat dari beberapa parameter yaitu faktor multiplikasi efektif (k_{eff}), faktor multiplikasi infinite (k_{inf}), burnup level dan nilai rasio konversi yang menunjukkan tingkat perbandingan produksi dan konsumsi bahan bakar fisil.

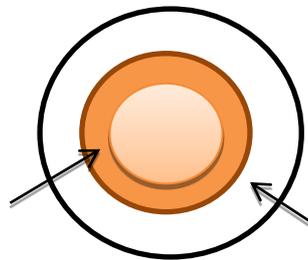
METODE PENELITIAN

Perhitungan parameter *burnup* sel bahan bakar reaktor menggunakan modul PIJ pada SRAC (*System Reactor Analysis Code*) yang dikembangkan oleh JAERI (*Japan Atomic Energy Research Institute*) dengan pustaka JENDL 3.2. Parameter-parameter desain sel reaktor dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Parameter Desain Sel Reaktor

Parameter	Spesifikasi
Bahan Bakar (<i>fuel</i>)	U-10%Zr
Kelongsong (<i>Cladding</i>)	Stainless Steel
Pendingin (<i>Coolant</i>)	Helium
Fraksi Volume (<i>Fuel</i> : <i>Cladding</i> : <i>Coolant</i>)	65% : 10% : 25%
<i>Smear Density</i>	85% TD
Tipe Geometri sel	<i>Cylindrical</i> <i>cell</i>
Diameter <i>Pin pitch</i>	1,4 cm
Densitas Daya	75 Watt/cc

Geometri sel bahan bakar berbentuk silinder, dengan penampang lintang seperti Gambar 4.

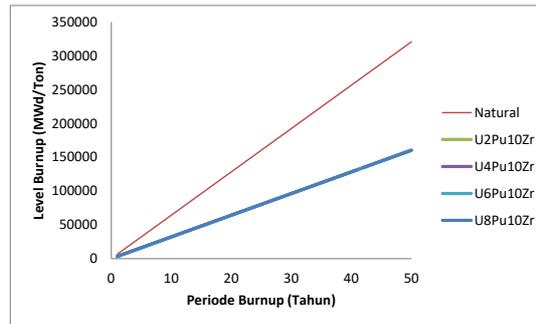


Gambar 4. Geometri sel bahan bakar

HASIL DAN PEMBAHASAN

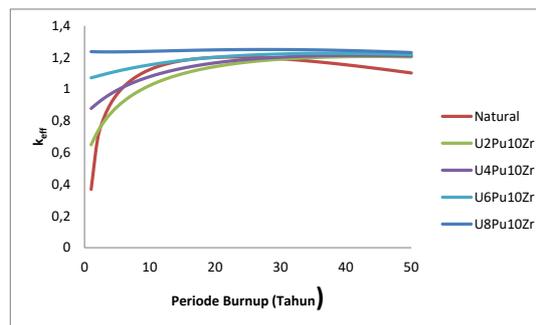
Hasil perhitungan bahan bakar untuk 50 tahun *burnup* disajikan sebagai berikut. Penambahan unsur plutonium bervariasi dari 2%, 4%, 6% dan 8%. Gambar 5 menunjukkan perubahan *level burnup* sepanjang periode *burnup*. *Burnup* didefinisikan sebagai total energi yang dilepaskan per unit massa bahan bakar sebagai hasil pembakaran bahan bakar. Satuan yang digunakan megawatt day per metric ton (MWd/Ton) bahan bakar, yaitu jumlah berat yang diperlukan untuk menghasilkan daya perhari (Ariani, et.al, 2013)

Dapat dilihat bahwa *level burnup* terus meningkat seiring bertambahnya periode *burnup*. Dengan naiknya periode *burnup* jumlah bahan bakar yang *diburn* semakin besar. *Level burnup* pada bahan bakar UZr (natural) lebih tinggi dari pada *level burnup* pada bahan bakar U-10%Zr dengan penambahan unsur plutonium. Hal ini berarti jumlah bahan bakar yang *diburn* pada bahan bakar UZr lebih besar dibandingkan UZr dengan penambahan unsur plutonium.



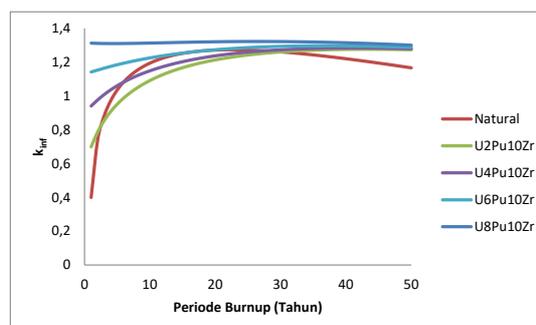
Gambar 5. Perubahan Level Burnup

Gambar 6 menunjukkan bahwa faktor multiplikasi efektif yang dihasilkan sel bahan bakar UZr (natural) pada awal periode *burnup* nilai k_{eff} kurang dari 1 (subkritis) dan mencapai kritis ($k_{\text{eff}} = 1$) pada tahun ke 6 sampai sepanjang periode burnup. Sedangkan nilai k_{eff} pada bahan bakar U-10%Zr dengan penambahan 6% plutonium (U6Pu10Zr) mencapai kritis dari tahun pertama *burnup* sampai tahun ke 50. Pada penambahan plutonium 2% (U2Pu10Zr) mencapai kritis pada tahun ke-9 *burnup* sampai 50 tahun dan pada penambahan plutonium 4% (U4Pu10Zr) mencapai kritis pada tahun ke-6 *burnup*. Dari hasil penelitian, k_{eff} yang optimum terdapat pada penambahan plutonium 6% (U6Pu10Zr) mencapai kritis dari tahun pertama ($k_{\text{eff}} = 1.071$) dan tetap kritis sepanjang periode *burnup*.

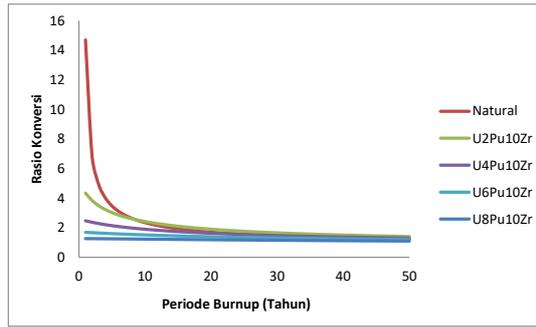


Gambar 6. Perubahan Faktor Multiplikasi Efektif

Gambar 7 menunjukkan k-infinite, yaitu faktor multiplikasi tak hingga. Konstanta ini akan menunjukkan ukuran kenaikan atau penurunan fluks neutron, yang dihitung tanpa adanya kebocoran ke luar teras. UZr mengalami fisi yang cukup lambat dibandingkan dengan UPuZr. Jumlah neutron mengalami kenaikan pada 10 tahun pertama pada UZr dan tetap stabil sampai 50 tahun *burnup*.

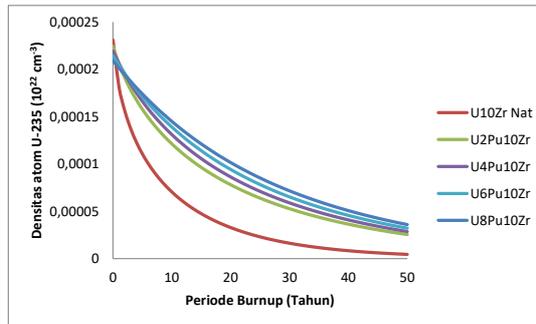


Gambar 7. Perubahan Faktor Multiplikasi Infinitif

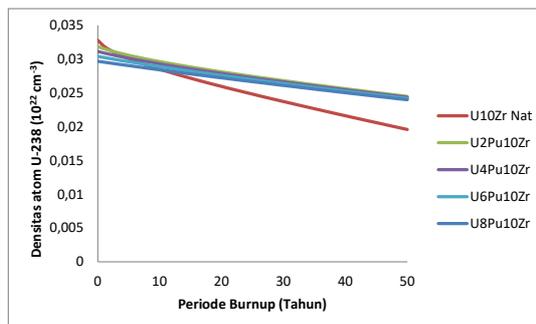


Gambar 8. Perubahan Rasio Konversi

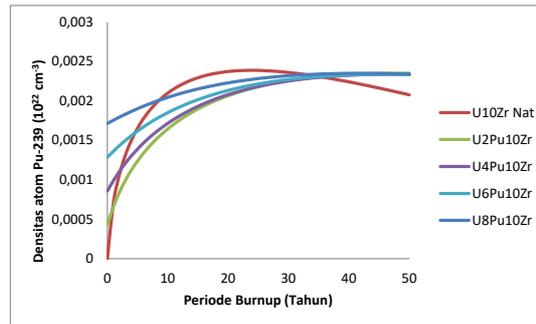
Gambar 8 menunjukkan perubahan rasio konversi selama *burnup*. Pada 10 tahun pertama bahan bakar UZr, konversi rasio menurun tajam dengan rasio konversi lebih dari 1. Hal ini disebabkan oleh bahan bakar fisil yang dihasilkan lebih besar dari pada bahan bakar fisil yang dikonsumsi. Sedangkan bahan bakar UPuZr menunjukkan semakin besar persentase penambahan plutonium maka semakin kecil konversi rasio yang dihasilkan. U8Pu10Zr menghasilkan rasio konversi kurang dari 1.



Gambar 9. Perubahan Densitas atom U-235 selama *burnup*



Gambar 10. Perubahan Densitas atom U-238 selama *burnup*



Gambar 11. Densitas atom Pu-239 selama *burnup*

Selama proses *burnup*, sebagian uranium-238 yang bersifat fertil akan berubah menjadi unsur lain akibat fisi maupun serapan neutron, sehingga beberapa atom mengalami perubahan densitas atom seperti densitas atom U-235, U-238 dan Pu-239. Densitas atom U-235 berkurang bahkan habis sesuai dengan konsentrasinya yang lebih kecil, sedangkan densitas atom U-238 yang konsentrasinya lebih besar juga berkurang secara signifikan. Sedangkan densitas atom Pu-239 bertambah secara signifikan pada penambahan unsur Pu sedangkan pada UZr justru berkurang pada tahun ke-29 *burnup*.

KESIMPULAN

Perhitungan sel bahan bakar UZr dengan penambahan 6% plutonium pada fraksi volume *fuel* 65%, *cladding* 10% dan *coolant* 25% dari tahun pertama *burnup* dihasilkan nilai kritis $k_{\text{eff}} = 1,071$ dan terus meningkat sampai tahun ke-50 dengan nilai $k_{\text{eff}} = 1,21$.

REFERENSI

- Duderstadt, J.J and Hamilton, L.J. 1976. *Nuclear Reactor Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Ariani, M. Su'ud, Z. Monado F, Waris, A. Rijal, K. Arif, I., Ferhat, A, and Sekimoto, H. 2013 *Applied Mechanics and Materials*, Vol.260-261), pp 307-311.
- Kidd, S.W. 2009. *Nuclear Fuel Resources*. CRC Press: New York.
- Monado, F. Ariani, M, Su'ud, Z. Waris, A. Basar, K. Ferhat, A. Permana, S. Sekimoto, H. 2014. Conceptual design study on very small long-life gas cooled fast reactor using metallic natural uranium-Zr as fuel cycle input. *AIP Proceedings*. **1584** pp 105-108.
- Nakamura, K.. Ogata, T. Kurata, M. Yokoo, T. Mignanelli, MA. 2001. Reaction of Uranium-Plutonium Alloys with Iron. *Journal of Nuclear Science and Technology*. Vol.38, No. 2, pp 112-119.
- Okumura, K. and Teruhiko Kugo. 2007. *SRAC 2006: A comprehensive neutronics calculation code system*. Japan Atomic Energy Agency(JAEA).
- Stacey, Weston M.2007. *Nuclear Reactor Physics*. Willey-VCH: USA.