

Analisis Kekritisitas *Lead-Cooled Fast Reactor* (LFR) Berdasarkan Variasi Bahan Bakar (U-Zr dan UN-PuN)

Lidia Munita^{*1}, Mohammad Ali Shafii¹, Feriska Handayani Irka¹, Zaki Su'ud²

¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas

²Laboratorium Nuklir dan Biofisika Institut Teknologi Bandung

*Lidiamunita0103@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan analisis kekritisitas *Lead-Cooled Fast Reactor* (LFR) menggunakan program SRAC. Reaktor ini menggunakan Pb-Bi sebagai pendingin. Analisis kekritisitas LFR dilakukan dengan bervariasi jenis bahan bakar yaitu uranium-plutonium nitrida (UN-PuN) dan uranium-zirkonium (U-Zr). Parameter neutronik yang dianalisis adalah faktor multiplikasi neutron (k_{eff}). Pada penelitian ini digunakan metode *shuffling*. Metode *shuffling* digunakan agar reaktor dapat beroperasi tanpa pengayaan dan menggunakan uranium alam sebagai bahan bakar. Teras reaktor dibagi menjadi 11 region arah radial. Sepuluh region pertama digunakan untuk menempatkan bahan bakar dan region ke-11 sebagai reflektor. Pada awal operasi reaktor, masing-masing region diisi dengan bahan bakar uranium alam yang telah di *burn up* terlebih dahulu. Setelah 10 tahun pembakaran, hasil *burn up* pada region 1 di *shuffling* ke region 2, hasil *burn up* region ke-2 di *shuffling* ke region 3, begitu seterusnya sampai hasil *burn up* region ke-9 di *shuffling* ke region 10 dan hasil *burn up* region ke-10 dikeluarkan dari teras reaktor sehingga region 1 dapat diisi dengan bahan bakar baru dan begitu seterusnya sampai 100 tahun operasi reaktor. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa bahan bakar UN-PuN lebih optimal dibandingkan bahan bakar U-Zr. Hal ini ditunjukkan oleh nilai k_{eff} yang diperoleh pada bahan bakar UN-PuN lebih tinggi dibandingkan U-Zr untuk fraksi bahan bakar yang sama.

Kata kunci : k_{eff} , LFR, SRAC, UN-PuN, U-Zr, strategi *shuffling*.

ABSTRACT

Analysis of the criticality lead-cooled fast reactor has been (LFR) performed using computation of SRAC program. This reactor uses Pb-Bi as a coolant. Analysis of the criticality on LFR was done by varying fuel uranium-plutonium nitrida (UN-PuN) and uranium-zirconium (U-Zr). Parameter that observed is the factor multiplication of neutron (k_{eff}). The research uses shuffling method. The shuffling method is used so that the reactor can operate without enrichment and uses natural uranium as a fuel. Reactor core was divided into 11 regions of radial. The ten first region were used to place the fuel and region 11th as reflector. At the beginning of the reactor operation, each region filled with natural uranium fuel which has been burned up. After 10 years of burning, the results of burn up in the region 1st is shuffled into region 2nd, the results of burn up of region 2nd is shuffled to region 3rd, and so on until the results of burn up of the region to 9th shuffled to region 10th and the results of burn up the region 10th removed from the reactor core and then the region 1st can be filled with fresh fuel and so on up to 100 years of reactor operation. The result show that UN-PuN fuel is more optimal than U-Zr fuel. This is indicated by k_{eff} values obtained on UN-PuN fuel higher than U-Zr for the same fuel fraction.

Keywords : k_{eff} , LFR, SRAC, UN-PuN, U-Zr, shuffling method.

I. PENDAHULUAN

LFR merupakan reaktor generasi IV dengan spektrum neutron cepat dan menggunakan siklus bahan bakar tertutup untuk konversi uranium (fertil) dan pengelolaan aktinida yang lebih efektif. Reaktor ini memiliki karakteristik yaitu menggunakan pendingin Pb atau Pb-Bi, bahan bakar U-Zr atau UN (U-TRU) nitrida, temperatur keluaran 550°C-800°C, menghasilkan energi listrik 120-400 MWe, kemampuan operasi teras 15-30 tahun masa *refueling*, dan keselamatan pasif (Vujic, 2006). Kelebihan dari reaktor ini adalah memiliki sistem yang baik dalam aspek keberlanjutan bahan bakar, sistem yang baik dalam aspek pencegahan pemanfaatan senjata nuklir dan perlindungan fisik, sistem yang baik dalam aspek keselamatan dan kehandalan karena dilengkapi dengan *relatively inert coolant* (Anggoro dkk, 2013).

Penelitian tentang LFR telah dilakukan oleh Cinantya (2014) yang menggunakan tiga variasi bahan bakar diantaranya adalah UN-PuN, UC-PuC, dan MOX. Berdasarkan analisisnya disimpulkan bahwa bahan bakar UN-PuN mempunyai kinerja neutronik yang optimal. Guskha (2016) juga telah melakukan penelitian tentang LFR menggunakan variasi daya keluaran. Pada

penelitian yang dilakukan diperoleh bahwa daya 300 MWth menunjukkan kinerja neutronik yang optimal.

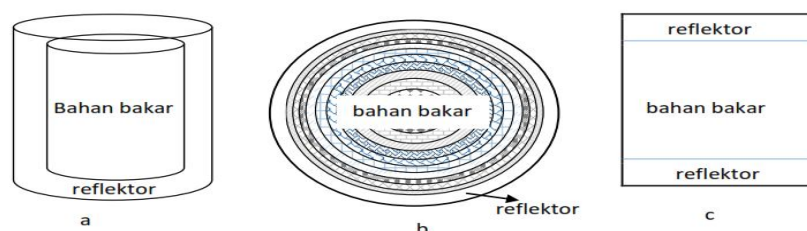
Berbeda dengan penelitian sebelumnya, pada penelitian ini dilakukan dengan variasi bahan bakar yaitu U-Zr dan UN-PuN pada reaktor LFR yang menggunakan strategi *shuffling* berpendingin Pb-Bi. Uranium-Zirkonium (U-Zr) memiliki titik leleh yang tinggi sekitar 2060 °F, densitas sebesar 18,3 g/cm³ pada suhu kamar, ketahanan korosi yang baik dan ulet. Ketahanan terhadap korosi menyebabkan bahan bakar ini memiliki serapan neutron yang kecil yaitu antara 0,18-0,2 barn (Lutsman and Kerze, 1995). UN-PuN (Uranium-Plutonium Nitrida) memiliki titik leleh yang tinggi sekitar 2500 °C dan konduktivitas termal tinggi memungkinkan diperolehnya perbedaan temperatur relatif rendah antara titik pusat pin bahan bakar dengan pendinginnya (Su'ud, 1998).

Pada penelitian ini dilakukan analisis kekritisan reaktor pada hasil perhitungan melalui komputasi menggunakan SRAC (*Standard Thermal Analysis Code System*) dengan strategi *shuffling*. Analisis kekritisan reaktor merupakan salah satu aspek penting yang perlu ditinjau dalam perancangan reaktor nuklir. Analisis kekritisan reaktor membahas populasi neutron di teras reaktor. SRAC merupakan sebuah sistem kode terpadu untuk analisis perhitungan neutronik pada beberapa jenis reaktor termal (Okumura, 2006). SRAC mulai dikembangkan pada tahun 1978 sebagai standar untuk kode analisis reaktor termal di badan energi atom Jepang JAEA (*Japan Atomic Energy Agency*) (Okumura, 2006). Pada penelitian ini digunakan strategi *shuffling* agar suatu reaktor dapat beroperasi tanpa pengayaan, karena strategi ini menggunakan uranium alam sebagai bahan bakar.

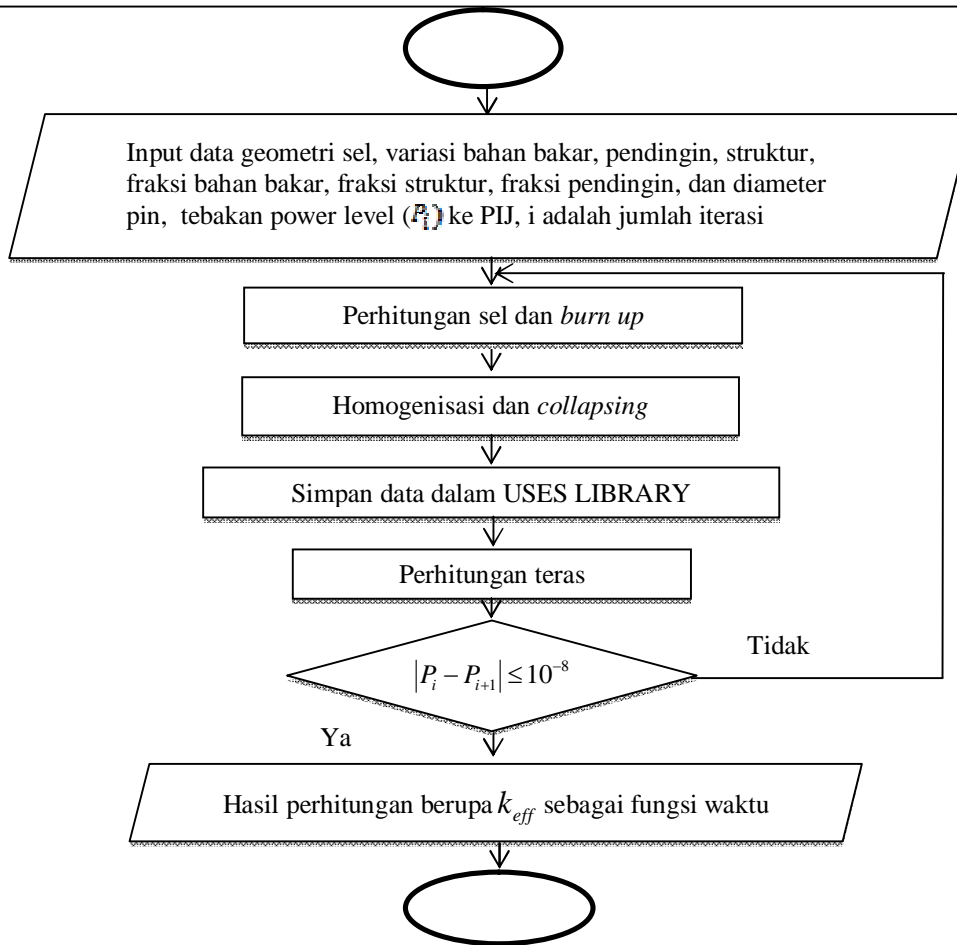
II. METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Nuklir Jurusan Fisika Universitas Andalas dari bulan Juni 2017 sampai Maret 2018. Penelitian menggunakan program SRAC yang dikembangkan oleh JAEA (*Japan Atomic Energy Agency*). SRAC terdiri dari 5 kode dasar diantaranya PIJ, ANISN, TUD, TWOTRAN, dan CITATION. Pada penelitian ini hanya digunakan dua kode dasar yaitu PIJ untuk perhitungan sel dan CITATION untuk perhitungan teras reaktor. Program SRAC memiliki beberapa perpustakaan data nuklir yaitu JENDL-3.3, JENDL-3.2, END/B-VI, dan JEF-2.2 (Okumura dkk, 2006).

Reaktor yang digunakan adalah reaktor cepat berpendingin timbal-bismuth dengan spektrum neutron cepat menggunakan strategi *shuffling* arah radial. Strategi *shuffling* digunakan supaya reaktor dapat beroperasi tanpa pengayaan dan menggunakan uranium alam sebagai bahan bakar. Pada strategi ini, teras reaktor dibagi menjadi 11 region. Sepuluh region pertama digunakan untuk menempatkan bahan bakar dan region ke-11 sebagai reflektor. Pada awal operasi reaktor masing-masing region di isi dengan bahan bakar uranium alam yang telah di *burn up* terlebih dahulu. Setelah 10 tahun pembakaran, hasil *burn up* pada region 1 di *shuffling* ke region 2, hasil *burn up* region ke-2 di *shuffling* ke region 3, begitu seterusnya sampai hasil *burn up* region ke-9 di *shuffling* ke region 10 dan hasil *burn up* region ke-10 dikeluarkan dari teras reaktor sehingga region 1 dapat diisi dengan bahan bakar baru dan begitu seterusnya sampai 100 tahun operasi reaktor. Spesifikasi desain teras reaktor menggunakan geometri silinder 2D, *cladding* SS316, bahan bakar U-Zr dan UN-PuN, serta periode *refueling* 10 tahun. Fraksi bahan bakar yang digunakan sebanyak 50%, fraksi *cladding* 10%, dan fraksi pendingin 40%. Geometri teras dan pembagian *region* dapat dilihat pada Gambar 1 dan diagram alir perhitungan desain teras reaktor dengan SRAC dapat dilihat pada Gambar 2.



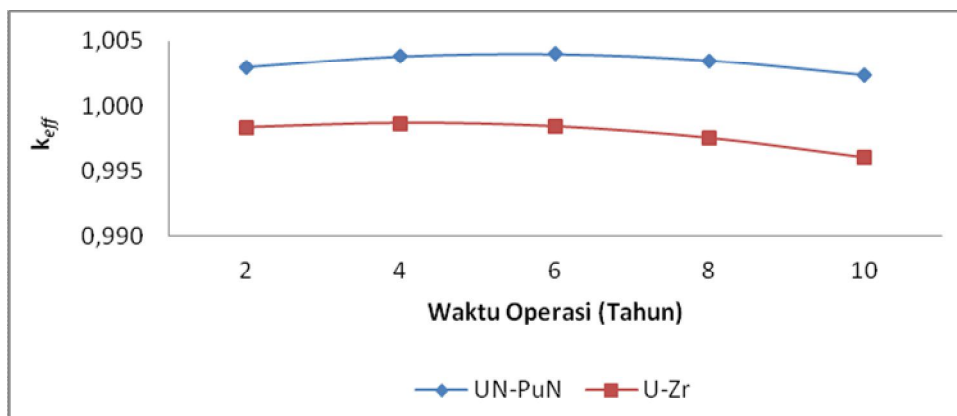
Gambar 1 (a) Geometri teras, (b) Pembagian *region* arah radial (11 *region*), (c) Pembagian *region* arah aksial (2 *region*)



Gambar 2 Diagram alir perhitungan neutronik menggunakan SRAC

III. HASIL DAN DISKUSI

Melalui perhitungan neutronik pada diagram alir (Gambar 3) maka diperoleh nilai faktor multiplikasi neutron (k_{eff}). k_{eff} menunjukkan perbandingan jumlah populasi neutron pada suatu generasi dengan jumlah populasi neutron pada generasi sebelumnya di teras reaktor, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Hubungan keff dengan waktu operasi untuk semua variasi bahan bakar

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara faktor multiplikasi (k_{eff}) dengan waktu operasi untuk semua variasi bahan bakar. Nilai k_{eff} ditinjau sekali dalam dua tahun selama masa *refueling*. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai k_{eff} yang diperoleh dari awal operasi sampai 10 tahun operasi reaktor untuk bahan bakar UN-PuN adalah 1,002349 sampai 1,003988. Untuk bahan bakar U-Zr, nilai k_{eff} yang diperoleh dari awal operasi sampai 10 tahun operasi reaktor

adalah 0,9960248 sampai 0,998668. Nilai k_{eff} yang diperoleh pada masing masing jenis bahan bakar masih dalam rentang yang ditentukan ($k_{eff} \approx 1$). Sehingga reaktor ini berada dalam kondisi kritis dan baik untuk digunakan.

Pada grafik terlihat bahwa nilai k_{eff} naik kemudian turun kembali baik untuk bahan bakar UN-PuN maupun U-Zr. Naik dan turunnya nilai k_{eff} disebabkan karena jumlah populasi neutron di teras reaktor. Apabila jumlah populasi neutron di teras reaktor meningkat maka nilai k_{eff} yang diperoleh semakin besar. Sebaliknya, apabila jumlah populasi neutron di teras reaktor menurun maka nilai k_{eff} yang diperoleh semakin kecil.

Bahan bakar U-Zr merupakan bahan bakar khusus yang digunakan untuk reaktor LFR (Vujic,2006), sedangkan bahan bakar UN-PuN merupakan bahan bakar fleksibel yang bisa digunakan untuk jenis reaktor cepat lainnya (Su'ud, 1998). Cinantya (2014) menggunakan bahan bakar UN-PuN, UC-PuC dan MOX untuk analisis neutronik pada reaktor LFR. Dari ketiga jenis bahan bakar tersebut dinyatakan bahwa UN-PuN merupakan bahan bakar yang paling optimal digunakan untuk reaktor LFR dengan nilai k_{eff} yang diperoleh sebesar 1,0005095. Sari (2016) juga menggunakan bahan bakar UN-PuN, UC-PuC dan MOX tetapi, bahan bakar tersebut digunakan untuk analisis neutronik pada reaktor *Super Critical Water Reactor* (SCWR). Setelah dianalisis dapat dinyatakan bahwa UN-PuN merupakan bahan bakar yang menunjukkan kinerja neutronik yang optimal dengan nilai k_{eff} sebesar 0,99100 sampai 1,01000.

Pada penelitian ini digunakan bahan bakar UN-PuN dan bahan bakar baru yaitu U-Zr yang merupakan bahan bakar khusus untuk LFR. Setelah dianalisis diantara kedua jenis bahan bakar tersebut maka dapat dinyatakan bahwa bahan bakar UN-PuN lebih optimal digunakan pada reaktor LFR. Hal ini ditunjukkan oleh nilai k_{eff} yang diperoleh pada kedua jenis bahan bakar. Bahan bakar UN-PuN memiliki nilai k_{eff} yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar U-Zr.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis perhitungan neutronik maka disimpulkan bahwa bahan bakar UN-PuN dan U-Zr sangat sesuai digunakan pada reaktor cepat jenis LFR dan berada dalam kondisi kritis (kondisi optimal). Namun, diantara kedua jenis bahan bakar tersebut UN-PuN lebih efektif karena memiliki nilai k_{eff} yang lebih tinggi untuk fraksi bahan bakar yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro, Y. D., Dewi, D., Nurlaila., Yuliyanto, A. T., "Kajian Perkembangan PLTN Generasi IV", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, **15**, 69-79 (2013).
- Cinantya, N.D., "Analisis Neutronik Pada Reaktor Cepat Dengan Variasi Bahan Bakar (UN-PuN, UC-PuC dan MOX)", *Jurnal Fisika Unand*, **3**, 1-7(2014).
- Guskha, C.R., "Analisis Densitas Nuklida Lead-Bismuth Cooled Fast Reactor (LFR) Berdasarkan Variasi Daya Keluaran", *Jurnal Fisika Unand*, **5**, 7-13 (2016).
- Lutsman, B., dan Kerze, F. Jr., 1995, *The Metallurgy Zirconium*, Mc Graw Hill Book Company, Inc, New York.
- Okumura, K., Kugo, T., Kaneko, K., dan Tsuchihashi, K., 2006, *A Comprehensive Neutronics Calculation Code System*, JAEA, Japan.
- Sari, N.P., "Analisis Neutronik Super Critical Water Reactor (SCWR) dengan Variasi Bahan Bakar (UN-PuN, UC-PuC, dan MOX)", *Jurnal Fisika Unand*, **5**, 47-52 (2016).
- Su'ud, Z., "FI-Institut Teknologi Bandung" *A Computer Code for Nuclear Reactor Cell Homogenization Calculation-1998*, Prosiding Seminar Ke-7 Proc of Computation in Nuclear Science & Technology, Batan-Jakarta.
- Vujic, J., 2006, *Lecture handout: Renaissance of Nuclear Energy Option*, University of California, Berkeley.