

Studi Perbandingan Ukuran Reflektor pada Reaktor Cepat Berpendingin Pb208-Bi dengan Skema MCANDLE

Nina Widiawati^{1,a)}, Zaki Suud^{1,b)}, Dwi Irwanto^{1,c)} dan Asril Pramutadi Andi Mustari^{1,d)}

¹Laboratorium Fisika Nuklir,
Kelompok Keilmuan Fisika Nuklir dan Biofisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} ninawidiawati@gmail.com (corresponding author)

^{b)} szaki@fi.itb.ac.id

^{c)} dirwanto@fi.itb.ac.id

^{d)} pramutadi@fi.itb.ac.id

Abstrak

Studi perbandingan ukuran reflektor dalam reaktor cepat berpendingin timbal dengan skema MCANDLE telah dilakukan. Reaktor cepat berpendingin berpendingin (LFR) adalah salah satu rancangan reaktor generasi keempat. Reaktor ini dirancang dengan output daya termal 500 MWt. Skema burn-up Modifikasi yang dimodifikasi memungkinkan reaktor memiliki operasi umur panjang dengan hanya menyediakan uranium alami sebagai masukan siklus bahan bakar. Skema ini yang mengenalkan daerah diskrit, bahan bakar pada awalnya diletakkan di daerah 1, setelah satu siklus 10 tahun terbakar, bergeser ke wilayah 2 dan wilayah 1 diisi oleh bahan bakar uranium alami segar. Reaktor ini dirancang selama 100 tahun dengan 20 daerah disusun secara aksial dan radial. Reaktor didesain dengan variasi ukuran reflektor yaitu 50 cm, 60 cm dan 70 cm. Perhitungan neutronik dilakukan dengan kode SRAC menggunakan perpustakaan data nuklir berdasarkan JENDL 4.0. Nilai faktor multiplikasi efektif masing-masing untuk setiap ukuran reflektor 50 cm, 60 cm dan 70 cm adalah 1,062365; 1,063184; 1,064139 pada awal operasi (Begin Of Life) dan 1,095358; 1,095427; 1,095446 pada akhir operasi (End Of Life). Berdasarkan hasil yang diperoleh reflektor sebagai komponen dasar reaktor cukup berpengaruh terhadap nilai faktor multiplikasi efektif (k_{eff}) suatu reaktor cepat. Semakin besar ukuran reflektor maka semakin besar nilai k_{eff} nya. Hal ini mengindikasikan semakin sedikit neutron yang bocor dari reaktor.

Kata-kata kunci: LFR, MCANDLE, SRAC, K_{eff} , Reflektor

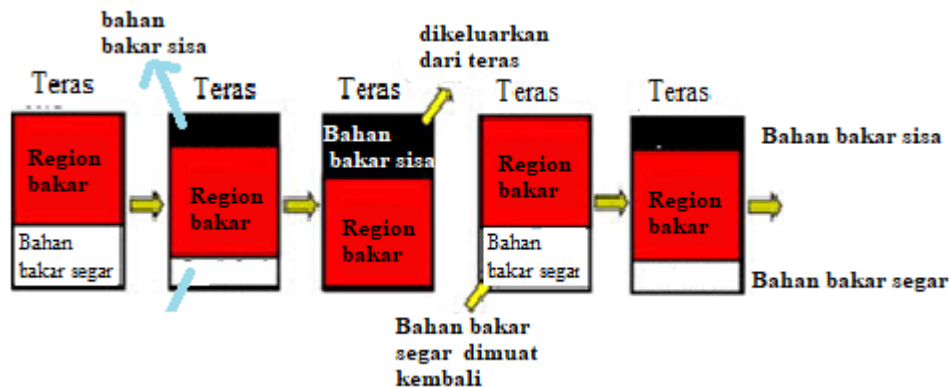
PENDAHULUAN

Reaktor berpendingin timbal (LFR) adalah reaktor yang termasuk reaktor generasi IV dengan tujuan memiliki keselamatan inheren, berkelanjutan (*sustainability*), limbahnya tidak bisa dijadikan senjata (non-proliferasi), dan tentu ekonomis. Reaktor jenis ini memiliki spektrum neutron cepat, menggunakan timbal (Pb) cair atau timbal- bismuth (Pb-Bi) eutektik (LBE) cair sebagai pendingin.

Dimulai pada akhir tahun 1950an, reaktor berpendingin LBE didesain dan dibangun di Uni Soviet untuk tujuan tenaga penggerak kapal selam. Sejak tahun 2000 dan sebagian distimulasi oleh program Generasi IV, LFR telah banyak dikembangkan di berbagai lokasi di dunia. Seperti di negara Rusia, SVBR dan BREST. Eropa, ELSY, LEADER, ELFR, ALFRED, SCK-CEN, dan MYRRHA. Amerika, SSTAR dan China, CLEAR.

REAKTOR CANDLE (*CONSTANT AXIAL SHAPE OF NEUTRON FLUX, NUCLIDE DENSITIES AND POWER SHAPE DURING LIFE OF ENERGY PRODUCTION*)

Reaktor CANDLE (*Constant Axial Shape Of Neutron Flux, Nuclide Densities And Power Shape During Life Of Energy Production*) merupakan skema bakar pada reaktor cepat yang dipelopori oleh Prof. Hiroshi Sekimoto dari *Tokyo Institute of Technology*. Skema bakar CANDLE ini memperkenalkan skema pembakaran seperti terbakar lilin. Ada area bahan bakar segar (*fresh fuel*), bahan bakar yang telah dibakar (*region bakar*), bahan bakar yang telah dibakar akan menjadi bahan bakar sisa (*spent fuel*) yang nantinya dilepaskan dan ditambah bahan bakar baru. Skema bakar CANDLE dapat dilihat pada gambar 1. di bawah ini



Gambar 1. Skema bakar CANDLE

Beberapa karakteristik yang dimiliki oleh skema bakar CANDLE, di antaranya,

1. Menggunakan bahan bakar tanpa pengayaan.
2. Dapat dirancang juga sebagai reaktor berumur panjang, karena kecepatan *burning region* sangat rendah.
3. Membutuhkan lebih banyak neutron daripada reaktor cepat konvensional karena tidak adanya pemrosesan kembali, penting untuk menggunakan pendingin yang sangat bagus dari segi neutronik.

REAKTOR CANDLE MODIFIKASI

Skema bakar reaktor yang digunakan pada penelitian ini adalah skema bakar CANDLE modifikasi. Skema ini telah diperkenalkan oleh Prof. Zaki Suud dari ITB pada tahun 2008. Pada skema burn up ini terdapat 10 daerah diskrit dimana pada semua daerah I berisi uranium alam. Saat reaktor beroperasi selama 10 tahun, uranium alam pada daerah 1 dipindahkan ke daerah 2 dan pada daerah 1 diisi oleh uranium alam yang baru. Konsep ini berlaku untuk semua daerah, sebagai contoh perpindahan dari daerah I menuju daerah I+1 setiap 10 tahun reaktor beroperasi (Su'ud, 2008).

Skema CANDLE modifikasi memiliki beberapa kelebihan, di antaranya:

1. Konsep ini telah diterapkan pada reaktor cepat berpendingin Pb-Bi (Su'ud, 2008) dengan memperkenalkan daerah diskrit yang tersusun secara aksial. Kemudian dimodifikasi arah reshuffling menjadi aksial dan radial.
2. Lebih fleksibel dari segi teknik dan implementasi. Pembagian teras menjadi beberapa region memudahkan dalam hal penggantian bahan bakar secara periodik dan *recladding*.
3. Pengaturan komposisi bahan bakar di tiap region memungkinkan reaktor ini memiliki tingkat kritikalitas lebih baik. Region berisi bahan bakar fresh dapat diletakkan di sebelah region berisi bahan bakar dengan level burnup tinggi

Faktor multiplikasi efektif (K-Eff)

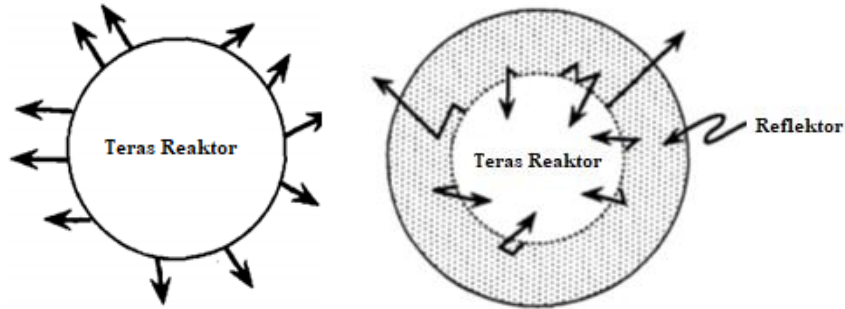
Neutron memiliki peranan yang sangat penting dalam teras reaktor. Neutron dihasilkan dan dapat juga hilang, diserap atau bocor. Reaktor dikatakan stabil, apabila terjadi keseimbangan antara jumlah neutron hasil fisi dan jumlah neutron yang hilang. Rasio jumlah neutron antara suatu generasi dengan generasi sebelumnya dikenal sebagai factor multiplikasi efektif (K_{eff}).

$$K_{eff} = \frac{\text{Jumlah neutron pada suatu generasi}}{\text{Jumlah neutron pada generasi sebelumnya}} \quad (1)$$

Jika nilai $k_{eff} = 1$, maka jumlah neutron dalam suatu generasi akan sama dengan jumlah neutron dalam generasi sebelumnya. Reaktor dalam keadaan seperti ini dikatakan kritis. Jika $k_{eff} < 1$ maka reaktor subkritis. Jika $k_{eff} > 1$, reaksi berantai semakin lama akan semakin banyak bahkan bisa tidak terkontrol dan akan menyebabkan teras meleleh dan dikhawatirkan radiasi nuklir bocor ke lingkungan. Reaktor dikatakan superkritis.

REFLEKTOR

Hal terakhir yang mempengaruhi kebocoran adalah apa yang terjadi pada neutron saat mencapai batas? Jika kita kelilingi reaktor dengan material yang akan memantulkan beberapa neutron yang bocor kembali ke reaktor maka kerugian akibat kebocoran berkurang. Material yang mengelilingi reaktor ini dinamakan reflektor. Sebuah reflektor yang ideal memiliki probabilitas hamburan neutron yang tinggi dan probabilitas menyerap neutron yang rendah.



Gambar 2. Teras tanpa dan dengan reflektor.

PARAMETER DESAIN REAKTOR

Tabel berikut adalah parameter desain reaktor yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 1. Parameter desain reaktor

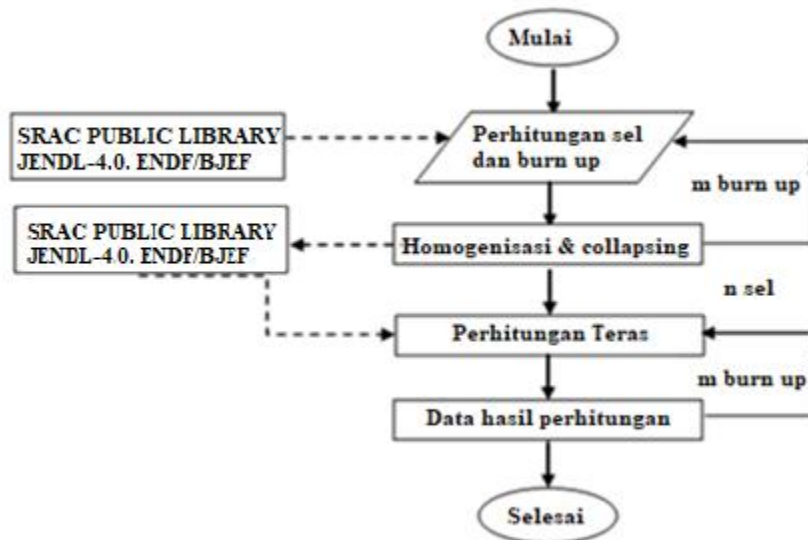
Parameter	Spesifikasi
Daya termal	500 MWt
Masa operasi reaktor	100 tahun
Siklus pengisian bahan bakar (refueling)	10 tahun
Material fuel pellet	Uranium Nitrida (UN)
Material cladding	HT-9 (2048)
Material coolant	Pb-208 dan Bi eutektik
Fraksi coolant-cladding-fuel	27,5%-12,5%-60%
Tipe sel bahan bakar	Silinder
Geometri teras	Silinder RZ
Ukuran Reflektor (cm)	40 / 50 / 60 / 70

METODOLOGI

Untuk perhitungan aspek neutronik digunakan program SRAC. SRAC (*Standard thermal Reactor Analysis Code system*) adalah sebuah program yang dikembangkan oleh JAEA (*Japan Atomic Energy Agency*). Sistem kode neutronik ini dapat diterapkan untuk menganalisis teras reaktor pada penelitian ini, termasuk perhitungan sel dan *burn up*.

Public Library yang digunakan adalah JENDL-4.0 yang merupakan data nuklida terbaru dari SRAC. Dengan menggunakan data nuklida ini perhitungan SRAC akan menghasilkan data penampang lintang mikroskopik dan makroskopik dari material sel bahan bakar dan teras reaktor.

Pada penelitian ini, modul perhitungan yang digunakan pada software SRAC adalah PIJ untuk perhitungan sel bahan bakar dan CITATION untuk perhitungan teras reaktor.

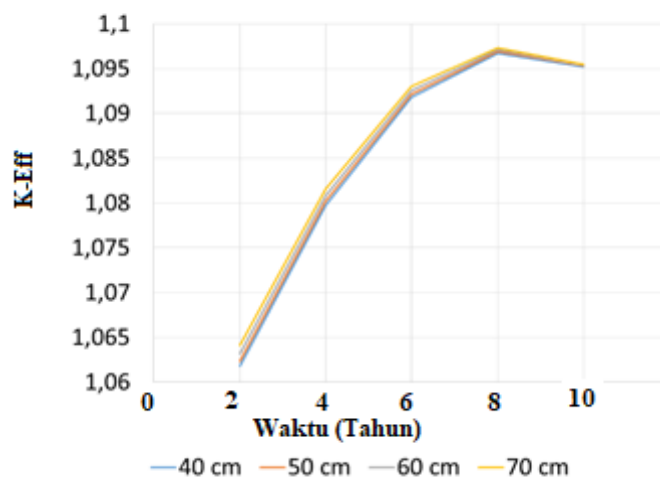


Gambar 3. Skema perhitungan dengan menggunakan SRAC

HASIL PENELITIAN

Nilai Faktor multiplikasi Efektif (*K-eff*).

Grafik 1. Menunjukkan nilai faktor multiplikasi efektif (*K-Eff*) dengan variasi ukuran reflektor.

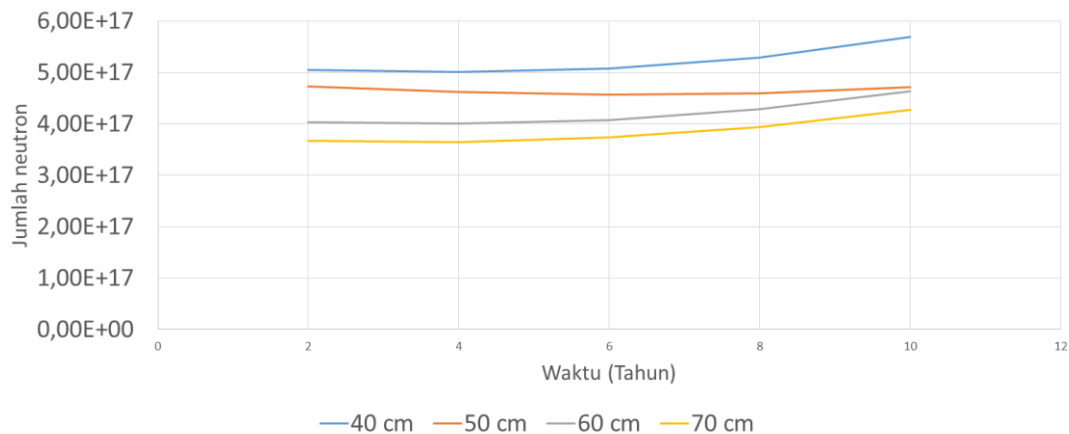


Gambar 4. Nilai *K-eff* untuk berbagai ukuran reflektor

Terlihat bahwa semakin tebal reflektor maka terlihat semakin besar nilai K-eff. Hal ini sangat dimungkinkan oleh tingkat kebocoran neutron yang semakin kecil. Hasil ini memperlihatkan bahwa perbedaan ukuran reflektor cukup berpengaruh terhadap nilai K-eff. Namun, harus dilakukan survey parameter lainnya agar didapatkan reaktor yang lebih ekonomis.

Neutron leakage (Kebocoran neutron)

Grafik 2. Menunjukkan perbandingan jumlah neutron yang bocor dari teras dengan ukuran reflektor yang berbeda.



Grafik 2. Perbedaan jumlah neutron yang bocor dari teras untuk berbagai ukuran reflektor.

Hasil di atas menunjukkan bahwa hasil perhitungan dengan menggunakan program SRAC senada dengan teori bahwa semakin tebal reflektor maka semakin sedikit pula neutron yang bocor dari teras.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Ketebalan reflektor berpengaruh terhadap nilai K-eff suatu reaktor. Semakin tebal reflektor maka semakin besar nilai K-eff.
2. Semakin tebal reflektor maka semakin sedikit neutron yang bocor keluar dari teras reaktor selama reaktor beroperasi.
3. Variasi ketebalan reaktor ini merupakan salah satu survey parameter untuk menentukan desain reaktor yang optimal dan efisien. Untuk itu perlu dilakukan survey parameter lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini. Makalah ini didanai oleh Lab. Nuklir dan Biofisika ITB.

REFERENSI

1. Cinotti, L. (2011): Lead-cooled system design and challenges in the frame of Generation IV International Forum, Journal of Nuclear Materials 415 245–253
2. Crist, J.E. 2005. Neutron Life Cycle. <https://canteach.candu.org/Content%20Library/20050509.pdf>
3. Duderstadt, J., Hamilton, L. (1976), Nuclear Reactor Analysis, first edition, John Willey and Sons, Ltd, 105-117, 124-140
4. Okumura, K. et.al, (2007), SRAC2006: A Comprehensive Neutronics Calculation Code System, JAERI report.
5. Sekimoto, H., Ryu, K., Yoshimura, Y., (2001) CANDLER: The New Burnup Strategy, Nuclear Science and Engineering Vol. 139 Number 3 pp 306-317

6. Sekimoto, H. (2005): Application of Candle Burn-up Strategy for Future Nuclear Energy Utilization. Progress in Nuclear Energy; Vol. 47, No. 1-4, pp. 91-98
7. Stacey, Weston M., (2007), Nuclear Reactor Physics 2nd edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA
8. Su'ud, Z., (1995): Performasi Keselamatan Reaktor Cepat Berpendingin Timbal dan Campuran Timbal-Bismuth. Prosiding Seminar ke-3 Teknologi dan Keselamatan PLTN dan Fasilitas Nuklir, PPTKR-PRSG BATAN.
9. Su'ud, Z., Sekimoto, H., (2007), "Modified CANDLE Burnup Scheme and Its Application for Long Life Pb-Bi Cooled Fast Reactor with Natural Uranium as Fuel Cycle Input", Proceeding of International Conference on Advantages in Nuclear Science and Engineering, November 13-14, Bandung-Indonesia
10. Su'ud, Z., Widiawati, N., Sekimoto. (2017), Safety Analysis of Pb-208 Cooled 800 MWt Modified CANDLE Reactors. IOP Conf. Series:Journal of Physics: Conf. Series799(2017)012013.
11. Su'ud, Z., Sekimoto. (2010), Design study of long-life Pb-Bi cooled fast reactor with natural uranium as fuel cycle input using modified CANDLE burn-up scheme. IJNEST Vol 5, No. 4 , p.347-368.
12. Su,ud, Z., Sekimoto. (2012), Design study of medium-sized Pb-Bi cooled fast reactors with natural uranium as fuel cycle input using modified CANDLE burn-up scheme. IJNEST Vol. 7 (1) , pp. 23-44.
13. Waltar, A., Reynolds, A. (1981). Fast Breeder Reactor. Pergamon Press.
14. Widiawati, N. (2015): Void Effect Analysis of Pb-208 of Fast Reactors With Modified CANDLE Burn-up Scheme, AIP Conference Proceeding Volume 1677, Issue 1