

PENGARUH BAHAN BAKAR UN-PuN, UC-PuC DAN MOX TERHADAP NILAI *BREEDING RATIO* PADA REAKTOR PEMBIAK CEPAT

Meiby Astri Lestari, Dian Fitriyani
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang
e-mail : meibyasri@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh beberapa jenis campuran bahan bakar terhadap nilai *breeding ratio* pada reaktor pembiak cepat. Perhitungan dilakukan melalui simulasi komputasi untuk desain reaktor 3D dengan geometri teras berbentuk kubus berukuran $x = y = z = 80$ cm, berpendingin PbBi dengan memvariasikan tiga jenis campuran bahan bakar yang digunakan yaitu UN-PuN, UC-PuC dan MOX. Pemantauan terhadap hasil simulasi dilakukan selama 5 tahun waktu operasi. Melalui perhitungan difusi multigrup dan perhitungan *burnup*, dilakukan analisis tentang nilai faktor multiplikasi (k_{eff}) dan nilai *breeding ratio*. Pada awal operasi, fraksi pengayaan bahan bakar diatur agar nilai k_{eff} awal berada dalam kondisi kritis dengan nilai reaktifitas swing 0,002. Pada awal operasi nilai *breeding ratio* terbesar dicapai oleh bahan bakar UC-PuC sedangkan nilai terkecil pada penggunaan MOX masing-masing 1,31 dan 0,76. Pada penggunaan bahan bakar UN-PuN menunjukkan nilai *breeding ratio* yang stabil setiap tahunnya yaitu ~1,2.

Kata kunci : breeding ratio, faktor multiplikasi, bahan bakar

ABSTRACT

The research on the influence of some fuel mixture, toward the value of breeding ratio on fast breeder reactor has been done, by using the computation simulation code for reactor design of 3D with cubical geometry size $x=y=z=80$ cm, with PbBi coolant and three variation fuel mixture. It consists of UN-PuN, UC-PuC and MOX. Observation is done for 5 years operation. Base on the calculation of multigroup diffusion and burnup, the analysis on multiplication factor (k_{eff}) and breeding ratio value is conducted. At early stage, the fraction of fuel enrichment is arranged to obtain critical condition of k_{eff} values with 0.002 reactivity swing. The highest value of breeding ratio reached by UC-PuC and MOX is 1.31 and 0.76 respectively. Annual breeding ratio of UN-PuN is 1.2.

keywords : breeding ratio, multiplication values, fuel

I. PENDAHULUAN

Prinsip kerja reaktor dengan memanfaatkan Pu-239 sebagai bahan bakar terdapat pada reaktor cepat. Neutron berenergi tinggi yang diperoleh dari hasil fisi dimanfaatkan untuk mengubah bahan fertil menjadi bahan fisil sehingga pada reaktor jenis ini tidak diperlukan moderator untuk mentermalkan energi neutron seperti yang terdapat pada reaktor termal. Dengan demikian, reaktor ini dapat dirancang dengan ukuran kecil untuk mencapai optimalisasi reaksi. Jika suatu reaktor cepat dapat memproduksi bahan fisil yang lebih banyak dari pada bahan fisil yang digunakan maka reaktor ini disebut reaktor pembiak cepat (*Fast Breeder Reactor/FBR*).

Dalam perancangan reaktor nuklir, analisis *burnup* merupakan perhitungan standar yang menitikberatkan pada manajemen bahan bakar yaitu proses pembakaran, pengolahan serta susutan bahan bakar selama reaktor beroperasi. Secara umum perhitungan ini meliputi: (a) penyelesaian persamaan difusi neutron untuk memperoleh gambaran mengenai kekritisan reaktor dan distribusi fluks neutron di dalam teras reaktor, (b) penyelesaian persamaan *burnup*, yaitu pemecahan persamaan densitas isotop-isotop sebagai fungsi dari waktu dan posisi.

Bahan bakar nuklir adalah material yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi nuklir. Bahan bakar nuklir terbagi dua yaitu bahan bakar fisil dan bahan bakar fertil. Bahan fisil adalah bahan yang mudah berfisi dan mempunyai probabilitas berfisi yang besar relatif terhadap reaksi penangkapan neutron, walaupun ditembak oleh neutron termal. Contoh bahan fisil U-235, U-233, Pu-239 dan Pu-241. Bahan fertil adalah bahan yang berpotensi untuk diubah menjadi bahan fisil dengan reaksi penangkapan neutron, contohnya U-238, U-234, Pu-240, Pu-242, Th-232, dan sebagainya.

Selain bahan fisil dan fertil, bahan bakar reaktor juga dapat berupa campuran dari beberapa aktinida. Contoh campuran bahan bakar pada reaktor cepat berbasis campuran uranium dan plutonium antara lain.

1. Uranium-plutonium nitrida (UN-PuN)

Nitrida memiliki titik leleh tinggi sekitar 2500°C dan konduktivitas termal tinggi memungkinkan diperoleh perbedaan temperatur yang relatif rendah antara titik pusat pin bahan bakar dengan bahan pendingin. Bahan bakar nitrida juga sangat fleksibel untuk sejumlah kinerja reaktor cepat seperti tingkat rasio pembiakan yang cukup tinggi, pembakaran aktinida dan juga untuk waktu operasi teras yang cukup lama.

2. Uranium-plutonium karbida (UC-PuC)

Campuran uranium-plutonium karbida mempunyai potensi sebagai bahan bakar lebih lanjut untuk LMFBR (reaktor cepat) karena densitas atom fisil yang tinggi dan konduktivitas termalnya yang tinggi jika dibandingkan dengan campuran oksida. Campuran karbida juga akan menghasilkan nilai *breeding ratio* yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar campuran lainnya.

3. MOX (UO₂-PuO₂)

Bahan bakar MOX adalah alternatif untuk bahan bakar uranium pengkayaan rendah atau *Low Enrichment Uranium* (LEU) yang digunakan pada reaktor air pada generasi reaktor nuklir gaya. MOX mempunyai suhu leleh yang tinggi (~2750°C) yang sebagian besar mengimbangi konduktivitas termalnya yang rendah. Terlepas dari konduktivitas termalnya yang rendah, kerugian dasar dari bahan bakar oksida adalah rasio pembiakkannya yang agak rendah (Waltar dan Reynolds, 1981). Perbandingan parameter tiap bahan bakar yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan parameter tiap bahan bakar

Parameter	Bahan Bakar		
	MOX	UC-PuC	UN-PuN
Densitas (g/cm ³)	11	13,6	14,3
Densitas atom fisil (g/cm ³)	9,7	12,9	13,5
Titik Leleh			
Cair (°C)	2775	2480	2780
Padat (°C)	2740	2325	2720
Konduktivitas termal(1000°C, W/mK)	2,9	19,6	19,8
Ekspansi termal antara 20°C dan 1000°C (10 ⁻⁶ /°C)	12,6	12,4	10

Perhitungan *burnup* salah satunya akan menghasilkan nilai rasio pembiakan (*breeding ratio*) yaitu perbandingan antara bahan fisil yang diproduksi dan yang musnah dalam satu siklus. Perhitungan dan desain teras reaktor pada penelitian ini dilakukan secara simulasi komputasi yang diawali dengan penentuan faktor multiplikasi neutron, distribusi fluks neutron dan distribusi daya yang didapatkan dari penyelesaian persamaan difusi multigrup secara numerik. Nilai fluks neutron hasil penyelesaian persamaan ini digunakan untuk analisis penyusutan bahan bakar (analisis *burnup*). Selama reaktor beroperasi dilakukan pengamatan terhadap perubahan nilai faktor multifikasi (k_{eff}) dan perubahan nilai rasio pembiakan bahan fisil (*breeding ratio*). *Breeding ratio* (BR) didefinisikan seperti Persamaan 1:

$$BR = \frac{FP}{FD} \tag{1}$$

Dengan *FP* adalah material fisi yang dihasilkan per siklus dan *FD* adalah material fisil yang hilang. Dalam satu siklus material fisil yang dihasilkan dan yang hilang Persamaan 1 akan menjadi Persamaan 2:

$$FP = FD + FEOC - FBOC \tag{2}$$

Dengan *FBOC* adalah material fisil di dalam teras saat keadaan awal sedangkan *FEOC* adalah material fisil di dalam teras saat keadaan akhir.

II. METODE

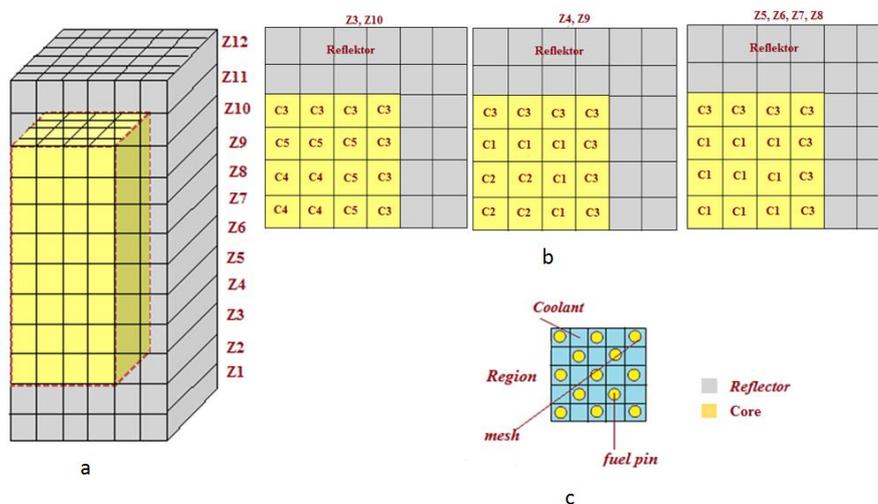
Penelitian untuk menganalisis nilai *breeding ratio* pada reaktor pembiak cepat dengan pengaruh variasi bahan bakar dilakukan menggunakan kode komputasi DTRIDI-FBR yang merupakan pengembangan kode komputasi FI.ITBCHI (Su'ud, 1998). Perhitungan untuk menganalisis hasil dimulai dengan perhitungan difusi multigrup untuk mendapatkan nilai faktor multiplikasi. Kemudian perhitungan dilanjutkan dengan perhitungan *burnup* untuk mendapatkan nilai *breeding ratio*.

Paramater yang digunakan dalam perancangan desain reaktor berdasarkan data dari penelitian sebelumnya (Fitriyani, 2006) dengan perubahan beberapa parameter seperti bahan bakar yang digunakan, pengayaan bahan bakar yang disesuaikan untuk setiap bahan bakar yang digunakan serta laju aliran primer. Tabel 2 menunjukkan parameter desain reaktor cepat yang digunakan. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah UN-PuN, UC-PuC, dan MOX dengan pendingin PbBi.

Tabel 2. Spesifikasi desain reaktor

Parameter		Spesifikasi
Daya Reaktor		100 ~ 200 MWth
Bahan Pendingin		Pb-Bi
Bahan <i>Shielding</i>		B ₄ C + <i>Steinless Steel</i>
Bahan Bakar		MOX, UC-PuC dan UN-PuN
Pengayaan (<i>Enrichment</i>) Bahan Bakar		9% -30 %
Reactivity Swing		Max. 0,002
Komponen Teras	Diameter Pin Bahan Bakar	1,0 cm
	Ukuran Teras X,Y,Z	80 cm, 80 cm, 80 cm
	Tebal <i>Cladding</i>	0,05 cm
	<i>Pin Pitch</i> Bahan Bakar	1,2 cm

Geometri teras reaktor yang digunakan adalah geometri 3 dimensi berbentuk kubus dengan ukuran $x = y = z = 80$ cm. Susunan konfigurasi teras dapat dilihat pada Gambar 1. Z1, Z2, Z11 dan Z12 merupakan reflektor pelindung teras yang berisi bahan pendingin, sedangkan Z3-Z10 merupakan bagian teras. Teras dibedakan dengan simbol C1-C5 untuk mempermudah pengaturan komposisi pengayaan bahan bakar pada masing masing bagian.



Gambar 1. Konfigurasi Teras

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil simulasi dari seluruh perhitungan dipantau selama 5 tahun operasi. Parameter-parameter yang diamati adalah nilai faktor multiplikasi neutron (k_{eff}) dan nilai *breeding ratio*. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan campuran bahan bakar UN-PuN, UC-PuC dan MOX terhadap parameter-parameter tersebut.

3.1 Nilai faktor multiplikasi (k_{eff})

Perhitungan faktor multiplikasi (k_{eff}) berguna untuk menentukan tingkat kekritisan reaktor. Kekritisan reaktor dapat diartikan sebagai tanda bahwa reaktor dalam kondisi neutronik yang baik. Kondisi kekritisan reaktor terbagi tiga yaitu sub kritis, kritis dan super kritis. Reaktor dikatakan kritis apabila nilai $k_{eff} \sim 1$, jika $k_{eff} < 1$ maka reaktor dalam kondisi sub kritis dan $k_{eff} > 1$ maka reaktor dalam kondisi super kritis. Berdasarkan batas nilai toleransi reaktifitas ($= 0,002$), reaktor berada dalam keadaan kritis dalam rentang nilai 0,998 hingga 1,002. Nilai fraksi pengayaan bahan bakar terlihat pada Tabel 3 dan nilai k_{eff} untuk setiap bahan bakar pada Tabel 4.

Tabel 3. Fraksi pengayaan tiap bahan bakar pada awal operasi

Bahan bakar	Fraksi pengayaan(%)					k_{eff}
	C1	C2	C3	C4	C5	
UN-PuN	12,8	14	13,5	13,9	13,7	0,998922
UC-PuC	13,6	12,7	11,5	10,1	11,1	0,998822
MOX	24,5	24,0	22,0	20	22,0	0,998167

Pada saat memulai simulasi, reaktor ditetapkan dalam kondisi kritis. Perbedaan bahan bakar yang digunakan membuat nilai awal k_{eff} pada setiap reaktor berbeda namun tetap mendekati nilai 1. Kondisi ini didapatkan melalui pengaturan pengayaan (*enrichment*) bahan bakar pada teras reaktor. Pengayaan bahan bakar pada reaktor cepat pada umumnya cukup besar karena nilai penampang lintang fisi yang kecil untuk neutron berenergi tinggi.

Pada Tabel 3 terlihat bahwa fraksi pengayaan bahan bakar plutonium pada UN-PuN dan UC-PuC $< 15\%$, namun pada bahan bakar MOX pengayaan plutonium lebih banyak yaitu $> 20\%$. Terlihat bahwa untuk mencapai kondisi kritis pada reaktor berbahan bakar MOX memerlukan plutonium lebih banyak dibandingkan dengan bahan bakar lainnya.

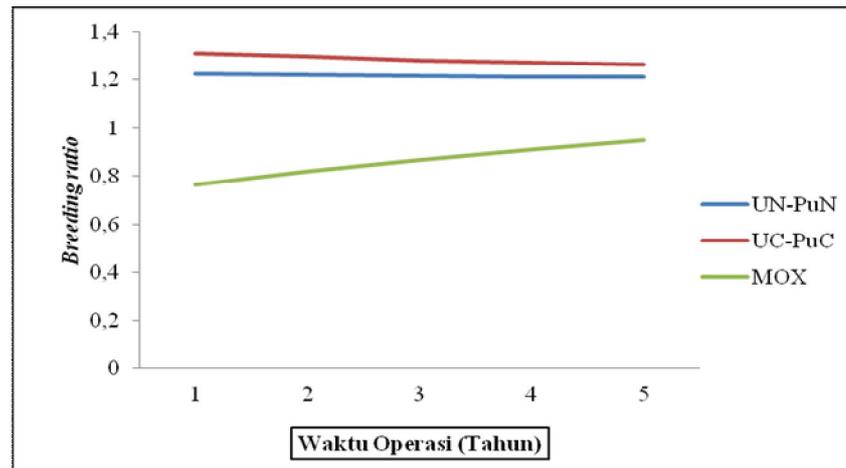
Tabel 4. Nilai faktor multiplikasi setiap bahan bakar

Tahun Operasi	UN-PuN	UC-PuC	MOX
1	1,001011	1,000646	0,999385
2	1,018619	1,022674	0,986167
3	1,036176	1,043948	0,976764
4	1,053109	1,063989	0,97081
5	1,069473	1,083027	0,968015

Pada Tabel 4 terlihat bahwa pada bahan bakar UN-PuN dan UC-PuC terjadi peningkatan k_{eff} setiap tahunnya. Hal ini menunjukkan bahwa neutron yang dihasilkan di dalam reaktor terus bertambah. Sedangkan pada bahan bakar MOX terjadi penurunan nilai k_{eff} , hal ini dapat berarti bahwa neutron yang dihasilkan di dalam teras berkurang.

3.2 Nilai *breeding ratio*

Nilai *breeding ratio* (BR) merupakan perbandingan antara bahan fisil yang diproduksi dengan bahan fisil yang musnah dalam satu siklus. Hasil nilai BR pada tiap bahan bakar pada simulasi ini terlihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Nilai *breeding ratio*

Pada reaktor, untuk dapat melakukan pembiakan maka nilai BR yang diharapkan lebih besar dari 1. Bilai $BR > 1$ dapat diartikan bahwa lebih banyak bahan fisil yang dihasilkan dari pada bahan fisil yang musnah sedangkan nilai $BR < 1$ dapat berarti terjadi pengurangan produksi bahan fisil di dalam reaktor. Hal ini menunjukkan bahwa pada reaktor lebih banyak bahan fisil yang diproduksi dari pada bahan fisil yang hilang.

Hasil dari simulasi memperlihatkan nilai BR yang dihasilkan besar dari 1,2 untuk bahan bakar UC-PuC dan UN-PuN. Hal ini menunjukkan bahwa pada reaktor lebih banyak bahan fisil yang diproduksi daripada bahan fisil yang musnah. Bahan bakar UC-PuC pada awalnya memiliki nilai BR yang paling besar yaitu 1,31 namun seiring dengan lamanya waktu operasi nilai BR tersebut terus berkurang. Artinya bahan fisil yang diproduksi semakin sedikit dibandingkan dengan bahan fisil yang musnah selama terjadi pembakaran di teras, dengan kata lain menunjukkan bahwa reaksi absorpsi semakin dominan dibandingkan dengan reaksi lainnya. Hal ini terjadi karena beberapa inti *fission product* (atau hasil peluruhan radioaktifnya) mempunyai σ_a yang sangat besar sehingga menyerap neutron lebih banyak. Pada penggunaan bahan bakar UN-PuN menghasilkan nilai BR yang lebih baik terlihat pada penurunan nilai BR lebih kecil setiap tahun dan cenderung stabil pada nilai 1,2.

Pada bahan bakar MOX nilai BR yang didapatkan < 1 yaitu 0,76 dan terus meningkat setiap tahunnya. Hal ini menunjukkan pada bahan bakar MOX di awal reaktor beroperasi bahan fisil yang terbentuk lebih sedikit daripada bahan fisil yang musnah. Namun seiring dengan bertambahnya waktu operasi reaktor, bahan bakar fisil yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan tahun sebelumnya.

Nilai *breeding ratio* dapat dipengaruhi oleh penempatan blanket pada teras reaktor. Penempatan blanket secara heterogen akan meningkatkan nilai *breeding ratio*. Penempatan blanket dapat mempengaruhi jumlah neutron yang terdapat pada reaktor karena pada umumnya blanket berisi bahan bakar fertil. Blanket berfungsi untuk mencegah neutron keluar dari teras, dengan begitu neutron pada teras reaktor akan lebih banyak. Pada simulasi ini tidak diberikan blanket pada teras reaktor. Oleh karena itu penempatan blanket secara heterogen sangat baik untuk reaktor cepat dengan bahan bakar MOX yang memiliki nilai *breeding ratio* yang kecil.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan *burnup* 3 dimensi pada reaktor pembiak cepat dengan penggunaan bahan bakar UN-PuN, UC-PuC dan MOX, maka dapat disimpulkan bahwa pengaturan pengayaan bahan bakar dilakukan untuk mendapatkan kondisi kritis pada sebuah reaktor. Pengayaan bahan bakar terbesar diperlukan pada reaktor berbahan bakar MOX yaitu $> 20\%$. Penggunaan bahan bakar UC-PuC menghasilkan nilai *breeding ratio* yang tinggi dibandingkan kedua bahan bakar lainnya tetapi pada bahan bakar UN-PuN menunjukkan nilai *breeding ratio* yang lebih stabil. Pada bahan bakar MOX nilai *breeding ratio* < 1 yaitu 0,76 mengartikan bahwa pada bahan bakar MOX tidak terjadi pembiakan Pu-239.

DAFTAR PUSTAKA

- Fitriyani, D., 2006, Studi Disain Reaktor Daya Nuklir Berbasis Kapal, *Disertasi*, Departemen Fisika, ITB, Bandung.
- Su'ud, Z., 1998, FI-ITB: A Computer Code for Nuclear Reactor Cell Homogenization Calculation, *Proc. of Computation in Nuclear Science & Technology VII Seminar*, Batan-Jakarta.
- Waltar, A.E. dan Reynolds, A.B., 1981, *Fast Breeder Reactors*, Pergamon Press, U.S.A.