

## Analisis Neutronik pada *Gas Cooled Fast Reactor* (GCFR) dengan Variasi Bahan Pendingin (He, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>)

Riska\*, Dian Fitriyani, Feriska Handayani Irka

Jurusan Fisika Universitas Andalas

\**riska\_fya@yahoo.com*

### ABSTRAK

Telah dilakukan analisis perhitungan neutronik pada *gas cooled fast reactor* (GCFR) menggunakan program SRAC yang dikembangkan oleh JAERI. Parameter neutronik pada GCFR yang diamati adalah nilai faktor multiplikasi ( $k_{eff}$ ) dan *burn up level* pada teras reaktor. Analisis neutronik dilakukan untuk tiga variasi bahan pendingin, yaitu: helium, karbon dioksida dan nitrogen. Pada reaktor diterapkan strategi *shuffling*, yang bertujuan agar reaktor dapat beroperasi menggunakan uranium alam. Langkah pertama yang dilakukan adalah menetapkan spesifikasi umum reaktor, menentukan nilai densitas dan variasi fraksi volume yang akan digunakan pada program. Selanjutnya, dilakukan perhitungan *power level* pada bagian sel. Hasil perhitungan akan dihomogenisasi dan *colapsing* berdasarkan grup yang telah ditentukan. Kemudian hasil ini digunakan pada perhitungan teras untuk mendapatkan faktor multiplikasi dan *power density*. Proses ini terus berulang sampai didapatkan *power level* yang homogen dengan  $error \leq 10^{-6}$ . Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa pendingin karbon dioksida dengan fraksi *coolant* 25% mempunyai nilai faktor multiplikasi ( $k_{eff}$ ) dan *burn up level* yang paling optimal.

Kata kunci: analisis neutronik, bahan pendingin, GCFR, karbon dioksida.

### ABSTRACT

*A simulation of neutronic analysis on gas cooled fast reactor (GCFR) by using SRAC program developed by JAERI has been done. Neutronic parameters on GCFR investigated were multiplication factors ( $k_{eff}$ ) and burn up level in reactor core. Neutronic analysis were conducted for three variations of coolant, respectively: helium, carbon dioxide and nitrogen. This reactor uses shuffling strategy, so that reactor can operate with natural uranium. Firstly, general specification of reactor is set, determine the value of density and variation of the volume fraction that will be used in the program. Then has been, calculating of power level in cells. The result will be homogenized and colapsing based on a group that determined. The results used for core calculation to get multiplication factors and power density. This process repeat until the power level homogen with error less than  $10^{-6}$ . The result of simulation show that carbon dioxide with 25% coolant fraction has optimal multiplication factors ( $k_{eff}$ ) and burn up level.*

*Keywords: neutonic analysis, coolant, GCFR, carbon dioxide.*

## I. PENDAHULUAN

Energi nuklir merupakan salah satu solusi alternatif dalam menghasilkan energi yang sedang dikembangkan saat ini. Energi nuklir menghasilkan energi yang besar, dengan keuntungan lainnya yaitu: tidak menimbulkan polusi dan ekonomis. Energi nuklir dihasilkan dari pembelahan inti berat menjadi inti ringan diikuti dengan pelepasan energi yang dapat terjadi secara berantai. Energi nuklir hasil pembelahan inti perlu dikendalikan dalam suatu tempat yang disebut reaktor nuklir.

Berdasarkan spektrum neutronnya reaktor nuklir dibedakan menjadi reaktor termal (*thermal reactor*) dan reaktor cepat (*fast reactor*). Reaktor termal menggunakan neutron termal pada proses reaksinya. Pada reaktor termal diperlukan sebuah moderator untuk memperlambat neutron yang dihasilkan dari proses fisi untuk melakukan fisi selanjutnya. Reaktor cepat merupakan reaktor yang menggunakan neutron cepat untuk proses fisinya. Reaktor ini tidak memerlukan moderator sehingga neutron cepat langsung digunakan untuk proses berikutnya. Pada reaktor cepat neutron memiliki energi (1-2) MeV, yang mampu mengubah bahan fertil menjadi bahan fisil (Duderstadt, 1976).

Pada reaktor nuklir, energi yang dihasilkan berupa panas atau kalor. Oleh karena itu reaktor membutuhkan bahan pendingin yang bersifat mampu menyerap panas dengan baik, daya serap terhadap neutron rendah, stabil dalam lingkungan radiasi dan suhu tinggi. Pendingin ini dimanfaatkan untuk menyalurkan panas yang dihasilkan pada saat reaksi fisi berantai terjadi. Pemakaian bahan pendingin harus berdasarkan pada syarat ideal dari karakteristik pendingin.

Dalam perancangan reaktor diperlukan analisis yang komprehensif, yaitu meliputi analisis neutronik, analisis termalhidrolik, dan analisis keamanan. Serangkaian perhitungan neutronik sangat diperlukan untuk mengetahui informasi seperti persediaan dan fraksi fisil yang dibutuhkan, data siklus bahan bakar, distribusi fluks neutron dan distribusi daya. Analisis neutronik diawali dengan penyelesaian persamaan difusi untuk memperoleh gambaran distribusi neutron, faktor multiplikasi dan distribusi daya di dalam reaktor.

Reaktor cepat generasi IV merupakan reaktor yang sedang dikembangkan saat ini, salah satunya adalah *gas cooled fast reactor* (GCFR). GCFR adalah reaktor yang baik dalam hal ketahanan karena mempunyai siklus bahan bakar tertutup dan sangat bagus dalam manajemen aktinida. Selain itu, GCFR yang beroperasi pada suhu 850 °C juga mendukung dalam produksi hidrogen. Penelitian sebelumnya menggunakan gas helium sebagai pendingin pada GCFR. Helium sudah dibuktikan mempunyai beberapa keunggulan seperti: memiliki kemampuan menyerap neutron dan daya moderasi yang rendah, beroperasi pada satu fasa yaitu gas, tidak menjadi radioaktif dan lain-lain. Namun helium akan bekerja maksimal pada saat kemurniannya (*purity*) terjaga. Pada saat helium sudah tercampur dengan unsur pengotor yang masuk ke sistem pendingin, maka pada suhu yang sangat tinggi akan menjadi gas kontaminan yang bisa menurunkan efisiensi transfer panas dari sistem pendingin (Supriatna, 2008). Selain helium, karbon dioksida dan nitrogen dapat juga digunakan sebagai pendingin pada reaktor cepat berpendingin gas.

Keunggulan karbon dioksida adalah mampu bekerja pada tekanan yang rendah, dan menurut Fauzia (2009) karbon dioksida memiliki kapasitas panas dan koefisien panas yang tinggi dibandingkan dengan helium. Nitrogen merupakan gas yang tidak aktif bereaksi dengan unsur lainnya. Kedua jenis gas ini berada pada kondisi tidak ideal (bukan gas mulia) sehingga memberikan kelebihan pada efisiensi termal yang baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik neutronik teras reaktor GCFR dengan memvariasikan jenis pendingin yaitu: helium (He), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan nitrogen (N<sub>2</sub>). Analisis dilakukan terhadap nilai faktor multiplikasi dan *burn up* level pada teras reaktor. Setelah mengetahui karakteristik neutronik, dapat dilakukan pemilihan pendingin yang sesuai untuk reaktor GCFR. Penelitian ini diharapkan memberi manfaat untuk menjadi dasar dalam menentukan jenis pendingin yang sesuai untuk reaktor GCFR.

## II. METODE

Penelitian ini dilakukan melalui simulasi komputasi menggunakan kode program SRAC (*Standard Thermal Reactor Analysis Code System*) yang dikembangkan oleh JAERI (*Japan Atomic Energy Research Institute*). Desain reaktor yang digunakan adalah reaktor cepat berpendingin gas dengan spektrum neutron cepat menggunakan strategi *shuffling* arah radial. Pada simulasi ini reaktor dioperasikan pada siklus tertutup yaitu siklus dimana selama operasi berlangsung tidak dilakukan pengisian ulang bahan bakar pada reaktor. Spesifikasi umum desain reaktor yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Spesifikasi model disain teras reaktor

| Parameter                                      | Deskripsi     |
|--|---------------|
| Daya (MWth)                                    | 550           |
| Tipe pin cell                                  | Cylinder cell |
| Geometri teras                                 | 2-D Cylinder  |
| Jumlah region bervolume sama dalam arah radial | 10            |
| Periode refueling                              | 10 tahun      |
| Bahan bakar (fuel)                             | UN dan PuN    |
| Struktur (cladding)                            | SS316         |
| Diameter Pin /pitch                            | 1,4 cm        |
| Tinggi teras aktif                             | 3,5 m         |
| Diameter teras aktif                           | 2,4 m         |
| Lebar reflektor                                | 50 cm         |

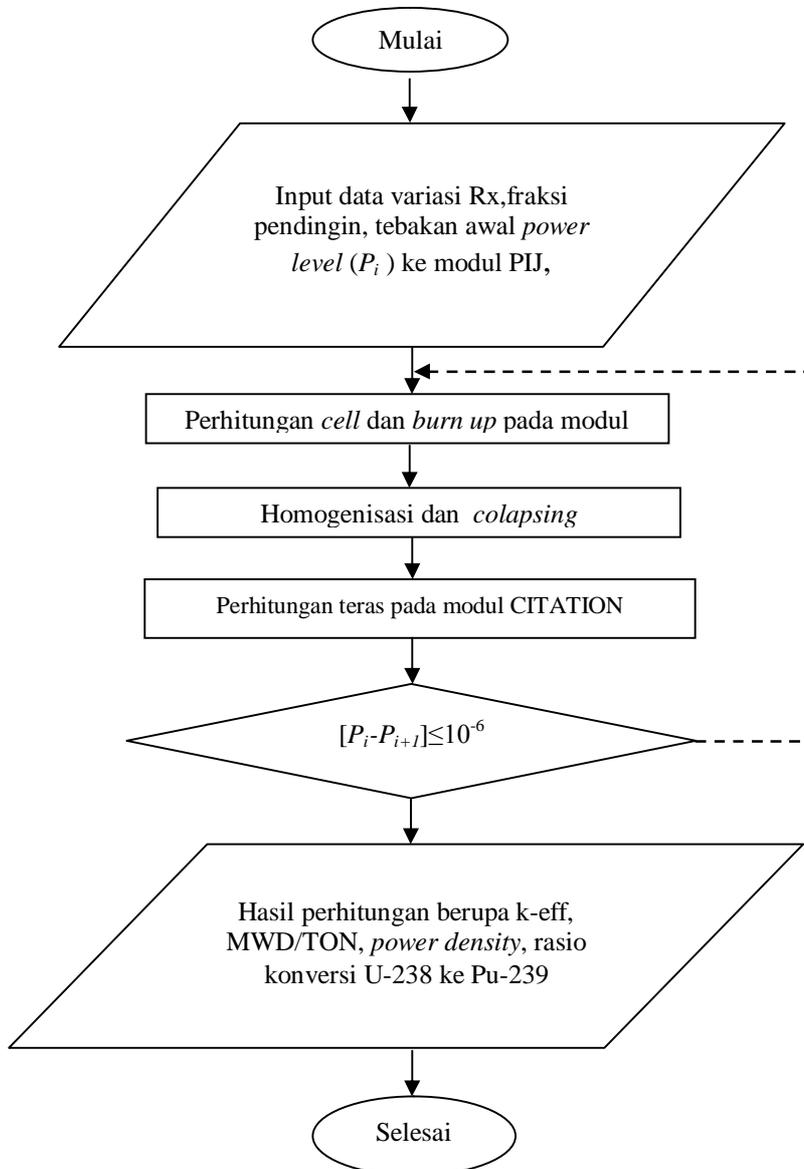
(Sumber: Irka, 2011)

Pada penelitian ini dilakukan variasi jenis bahan pendingin (*coolant*) yang dipakai yaitu: helium, karbon dioksida dan nitrogen. Fraksi material untuk *fuel*, *cladding* dan *coolant* dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2** Pembagian distribusi sel

| <b>Fuel</b> | <b>Cladding</b> | <b>Coolant</b> |
|-------------|-----------------|----------------|
| % V         | % V             | % V            |
| 45          | 10              | 45             |
| 50          | 10              | 40             |
| 55          | 10              | 35             |
| 60          | 10              | 30             |
| 65          | 10              | 25             |

Data nuklir yang digunakan pada penelitian ini adalah data nuklida dari JENDL-3.2, SRAC akan melakukan perhitungan dan menghasilkan data penampang lintang makroskopik dari masing-masing material teras reaktor (Okumura, dkk., 2007). Untuk diagram alir perhitungan dapat dilihat pada Gambar 1.

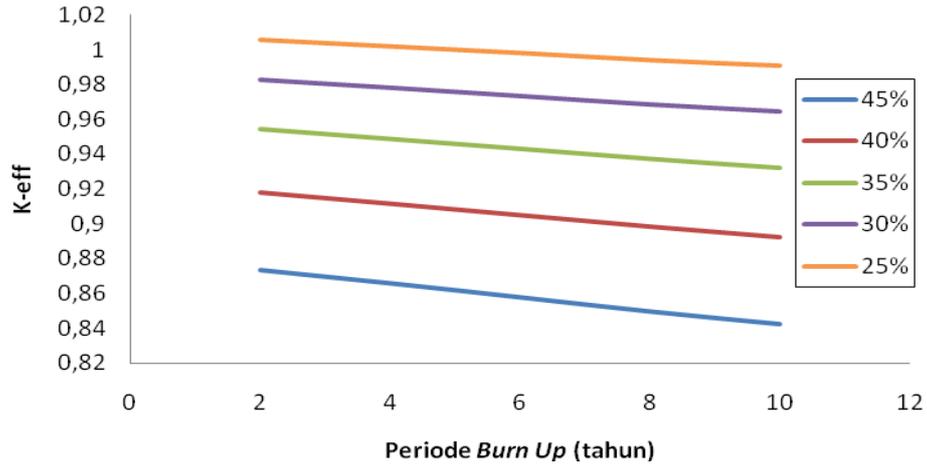


**Gambar 1** Diagram blok perhitungan desain reaktor dengan SRAC

### III. HASIL DAN DISKUSI

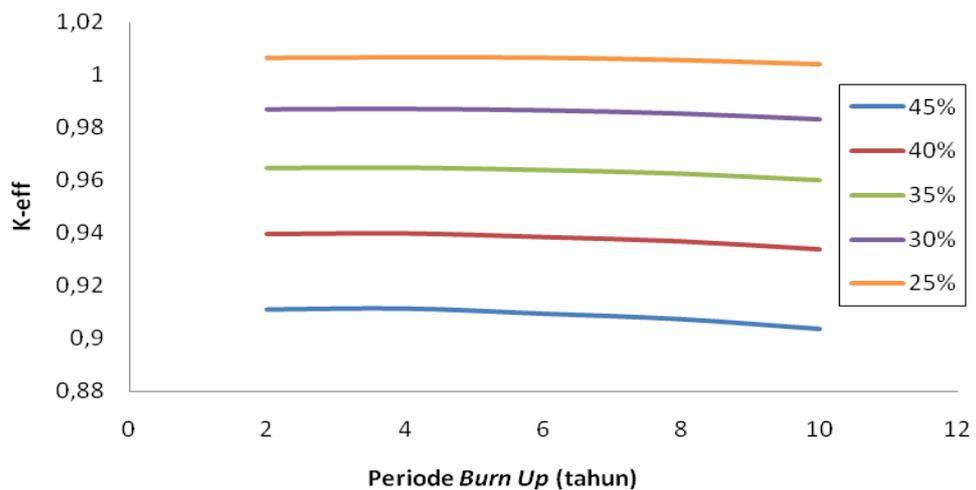
#### 3.1 Faktor Multiplikasi

Faktor multiplikasi menunjukkan keadaan neutronik dari sebuah reaktor dan menjadi salah satu acuan dalam mendesain sebuah reaktor. Faktor multiplikasi diharapkan selalu bernilai kritis untuk menjamin keberlangsungan operasi reaktor dengan pembangkitan daya yang terkendali dan stabil selama reaktor beroperasi. Nilai faktor multiplikasi yang diharapkan selalu berada dalam rentang nilai  $(1 \pm 0,05)$  selama reaktor beroperasi.



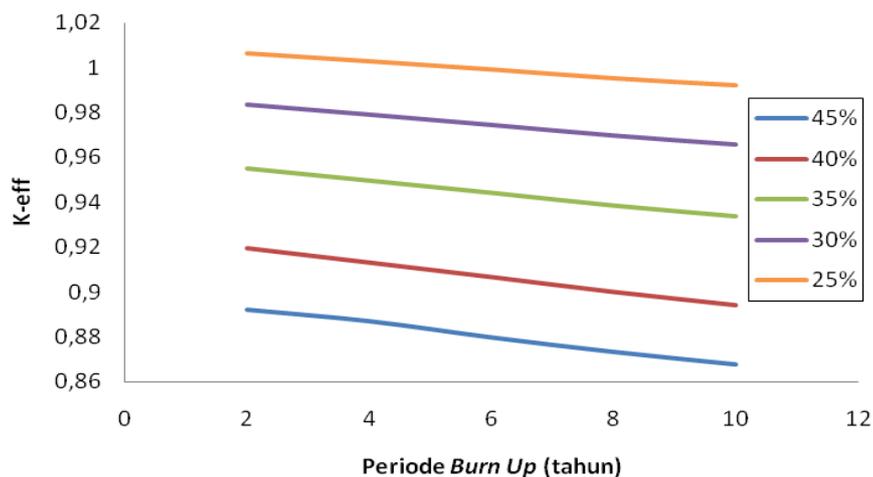
Gambar 2 Nilai  $k_{eff}$  pada pendingin helium

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa selama 10 tahun beroperasi nilai faktor multiplikasi pada pendingin helium cenderung turun, walaupun nilainya masih dalam rentang  $k_{eff} \approx 1$ . Hal ini disebabkan oleh semakin bertambahnya waktu *burn up*, maka densitas bahan bakar fisil dan fertile menjadi berkurang. Berkurangnya densitas bahan bakar fisil dan fertile mengakibatkan jumlah neutron yang dihasilkan pada satu generasi menjadi berkurang dibandingkan generasi sebelumnya.



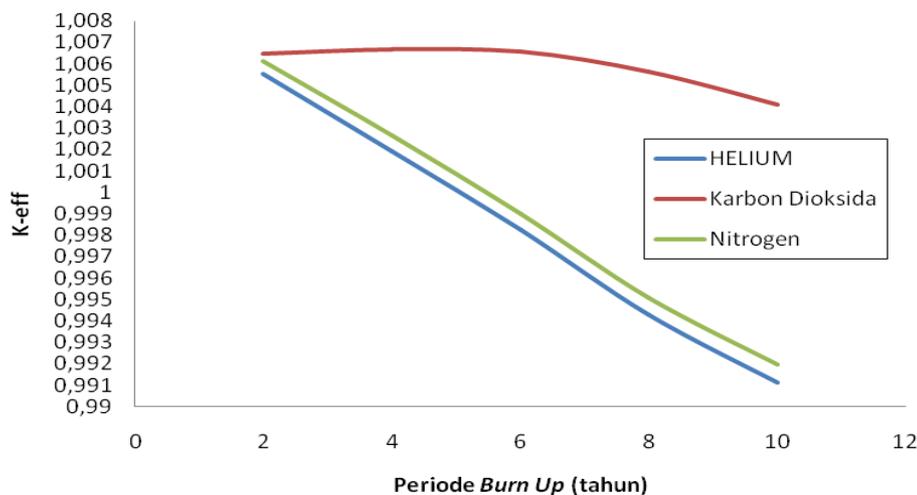
Gambar 3 Nilai  $k_{eff}$  pada pendingin karbon dioksida

Semakin kecil fraksi *coolant* yang digunakan maka neutron yang diserap oleh pendingin semakin sedikit, sehingga reaksi fisi lebih banyak terjadi. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa selama 10 tahun beroperasi nilai  $k_{eff}$  dari karbon dioksida berada dalam keadaan kritis karena  $k_{eff} \approx 1$  sehingga reaktor dapat beroperasi dengan baik.



**Gambar 4** Nilai  $k_{eff}$  pada pendingin nitrogen

Dari Gambar 4 dapat dilihat nilai faktor multiplikasi pada pendingin nitrogen, nilainya cenderung turun selama 10 tahun beroperasi. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tampang lintang serap (*absorpsi*) dari nitrogen sangat besar, karena selama 10 tahun beroperasi neutron yang dihasilkan menjadi lebih sedikit. Selama reaktor beroperasi neutron lebih banyak yang diserap dari pada yang dihasilkan, sehingga reaktor tidak dapat bekerja dengan baik dan berada dalam keadaan subkritis.

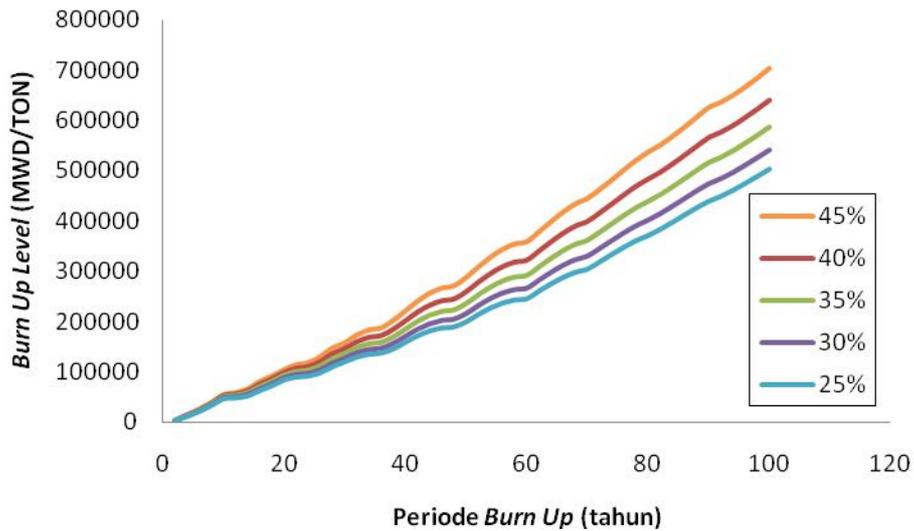


**Gambar 5** Perbandingan nilai  $k_{eff}$  pada ketiga pendingin (fraksi *coolant* 25%)

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai faktor multiplikasi pada pendingin karbon dioksida yang terbaik dibandingkan dengan helium dan nitrogen, karena nilai  $k_{eff}$  karbon dioksida yang lebih mendekati nilai 1 dan cenderung lebih stabil. Nilai  $k_{eff}$  terbaik sama-sama didapatkan pada fraksi *fuel* 65%, *cladding* 10 % dan *coolant* 25%. Dari ketiga jenis pendingin yang digunakan pada penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa dalam tinjauan neutronik karbon dioksida menunjukkan kinerja yang lebih optimal untuk reaktor GCFR.

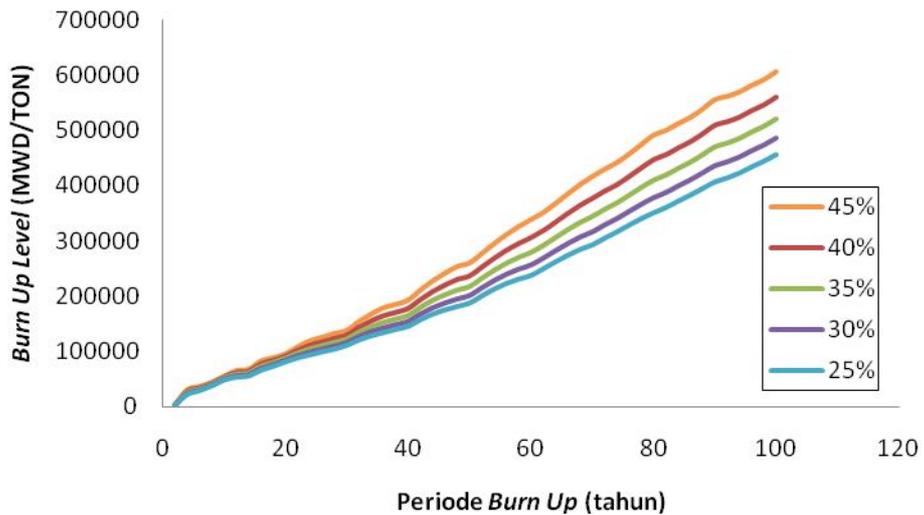
### 3.2 Burn Up Level

*Burn up* level menunjukkan banyaknya bahan bakar yang dibakar selama reaktor beroperasi. Pada awal pembakaran jumlah bahan bakar yang digunakan masih sedikit, jumlah ini terus meningkat selama waktu *burn up*.



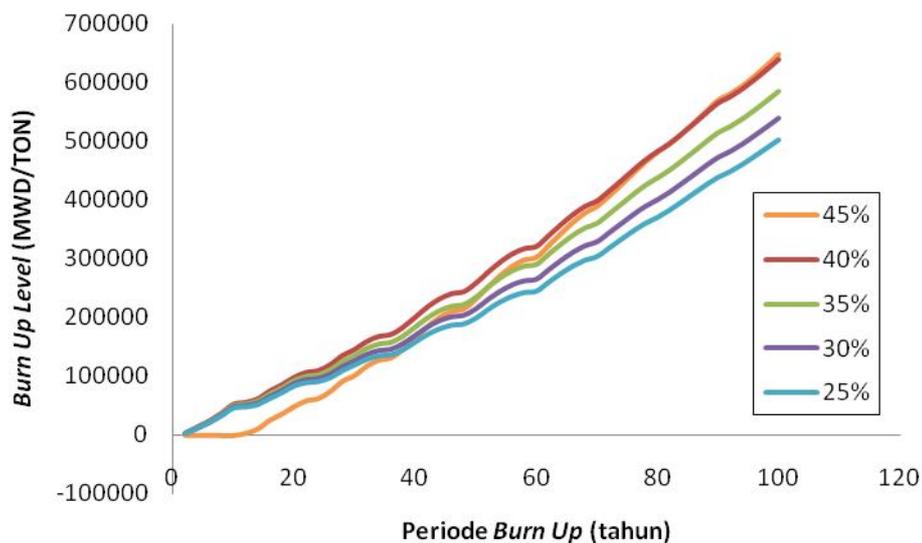
**Gambar 6** Level *burn up* dengan variasi fraksi pendingin helium

Dari Gambar 6 terlihat bahwa dengan bertambahnya fraksi *coolant* mengakibatkan jumlah bahan bakar yang di bakar menjadi lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar fraksi *coolant* yang digunakan, untuk mencapai daya keluaran yang sama dibutuhkan pembakaran bahan bakar yang lebih banyak. Sebaliknya, jika fraksi *coolant* yang digunakan kecil maka untuk mencapai daya keluaran yang sama tidak diperlukan pembakaran bahan bakar yang lebih banyak.



**Gambar 7** *Burn up* level dengan variasi fraksi pendingin karbon dioksida

Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai *burn up* level pada pendingin karbon dioksida lebih kecil dibandingkan dengan helium dan nitrogen, hal ini dapat dilihat dari ketiga grafik bahwa *burn up* level dari karbon dioksida terlihat lebih rapat dan nilainya hampir mendekati antara yang satu dengan yang lainnya.



**Gambar 8** Burn up level dengan variasi fraksi pendingin nitrogen

Dari Gambar 8 dapat dilihat nilai *burn up* level pada pendingin nitrogen bahwa pada awal pembakaran jumlah bahan bakar yang di bakar masih sedikit, jumlah ini terus meningkat selama waktu *burn up*. Pada fraksi 45% nilai *burn up* level yang didapat berbeda dengan nilai *burn up* level yang lainnya. Nilai yang didapatkan seharusnya lebih besar dibandingkan dengan fraksi *coolant* 40%.

#### IV. KESIMPULAN

Penggunaan gas karbon dioksida pada fraksi *coolant* 25% menunjukkan hasil yang lebih bagus dibandingkan dengan helium dan nitrogen. Hal ini dapat dilihat dari nilai faktor multiplikasi yang didapatkan, selama 10 tahun beroperasi nilai  $k_{eff}$  dari karbon dioksida berada dalam keadaan kritis karena  $k_{eff}$  stabil dalam rentang nilai yang diharapkan ( $1 \pm 0,05$ ) dan perubahan nilainya sedikit dari waktu ke waktu sehingga reaktor dapat beroperasi dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Duderstadt, J. J. dan Hamilton, L. J., 1976, *Nuclear Reactor Analysis*, John Wiley & Sons., Kanada.
- Fauzia, A. S., 2009, Studi Perbandingan Penggunaan Gas Helium Dan Karbon Dioksida sebagai Pendingin pada *High Temperature Engineering Test Reactor* (HTTR) Berbahan Bakar Mixed Oxide dan Aktinida Minor, *Skripsi*, ITB, Bandung.
- Irka, F. H., 2011, Studi Desain Reaktor Cepat Berpendingin Gas Dengan Bahan Bakar Uranium Alam Menggunakan Strategi *Shuffling* Arah Radial, *Tesis*, ITB, Bandung.
- Okumura, K., Kugo, T. dan Kaneko, K., 2007, *SRAC2006: A Comprehensive neutronics calculation code system*, JAERI, Jepang.
- Supriatna, P., 2008. Konsep Rancangan Sistem Pemurnian Gas Pendingin Primer pada *High Temperature Reactor* (HTR), *Prosiding Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta.