



Perhitungan *Burn Up* Model *Assembly* Heksagonal Pada Reaktor Scwr Menggunakan Bahan Bakar Thorium

Mey Puji Astuti*, Yanti Yulianti, Posman Manurung, dan Simon Sembiring

Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

Article Information

Article history:

Received November 24th, 2021

Received in revised form December 17th, 2021

Accepted February 19th, 2022

Keywords: ASMBURN, burn up, SCWR, thorium

Abstract

The research about the calculation of burn-up model of the hexagonal assembly in SCWR reactor using thorium as fuel materials has been done. This research uses thorium-232 and uranium-233 as fuel materials. Calculations were performed using the ASMBURN code in the SRAC program, by determining fuel enrichment, cell radius, analyzing atomic density after burn up, increasing burn up level, and change of linear heat. The calculation results obtained show the value of efficient fuel enrichment at 4% enrichment, with 0.3902 cm of fuel cell radius, 0.4508 cm of cladding, and 0.5586 cm of moderator. The atomic density of Th^{232} decreased for each burn-up period meanwhile, the atomic density of U^{233} , U^{235} , and Pu^{239} increased. The k_{eff} value will decrease along with the addition of burn-up and greater change of linear heat.

Informasi Artikel

Proses artikel:

Diterima 24 November 2021

Diterima dan direvisi dari 17 Desember 2021

Accepted 19 Februari 2022

Kata kunci: ASMBURN, burn up, SCWR, thorium.

Abstrak

Penelitian perhitungan *burn up* model *assembly* heksagonal pada reaktor scwr menggunakan bahan bakar thorium telah dilakukan. Penelitian ini menggunakan bahan bakar thorium-232 dan uranium-233. Perhitungan dilakukan menggunakan kode ASMBURN pada program SRAC, dengan menentukan pengayaan bahan bakar, radius sel, menganalisis densitas atom setelah *burn up*, penambahan *burn up*, dan perubahan daya linear. Hasil perhitungan yang diperoleh menunjukkan nilai pengayaan bahan bakar yang efisien yaitu pada pengayaan 4%, dengan radius sel bahan bakar sebesar 0,3902 cm, *cladding* 0,4508 cm, dan moderator sebesar 0,5586 cm. Nilai densitas atom Th^{232} mengalami penurunan untuk setiap periode *burn up*, sementara densitas atom U^{233} , U^{235} , dan Pu^{239} mengalami kenaikan. Nilai k_{eff} akan mengalami penurunan seiring dengan penambahan *burn up* dan daya linear yang lebih besar.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik di Indonesia dan juga dunia semakin hari semakin bertambah. Hal ini seiring dengan jumlah penduduk yang kian meningkat. Sumber-sumber energi terbarukan yang saat ini digunakan dinilai belum mampu untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia, sehingga dibutuhkan sumber energi alternatif lain. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat digunakan yaitu pembangunan reaktor sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) (Rijanti & Sahala, 2011).

Reaktor air berpendingin superkritis atau *Supercritical Cooled Water Reactor* (SCWR) merupakan salah satu jenis reaktor nuklir generasi IV. Reaktor SCWR pada prinsipnya merupakan reaktor air rendah atau *Low Water Reactor* (LWR) yang dapat bekerja pada tekanan 25 MPa atau setara dengan 246,73 atm (Oka *et al.*, 2003).

Terdapat dua jenis bahan bakar yang biasa digunakan pada reaktor nuklir, yaitu bahan bakar fisil dan bahan bakar fertil. Pada penelitian ini bahan bakar yang digunakan yaitu Th^{232} yang bersifat fertil. Th^{232} ini akan menghasilkan U^{233} yang bersifat fisil jika menyerap neutron di dalam reaktor nuklir (Carrera *et al.*, 2008). Dalam melakukan analisis reaktor nuklir, salah satu hal yang perlu diperhatikan yaitu tingkat kekritisan berdasarkan nilai faktor multiplikasi (k_{eff}) sehingga dapat diperoleh reaksi fisi berantai yang terkendali, dan reaktor dalam keadaan kritis ($k_{eff} = 1$).

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perhitungan *burn up* pada reaktor scwr dengan menggunakan model *assembly* heksagonal. Parameter yang digunakan yaitu persentase pengayaan bahan bakar, ukuran radius sel, dan densitas atom. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan kode ASMBURN pada program SRAC.

* Corresponding author.

E-mail address: meyastp03@gmail.com

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan menentukan desain *assembly* yang akan digunakan. Selanjutnya yaitu menentukan pengayaan dan menghitung densitas atom bahan bakar. Densitas atom bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1 berikut.

$$N = \frac{\rho N_A}{M} \quad (1)$$

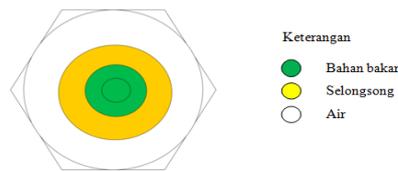
dimana N adalah nilai densitas atom (atom/cm³), ρ = massa jenis (gr/cm³), N_A adalah Bilangan Avogadro (6,02 x 10²³ atom/mol), dan M = Massa molekul (gr/mol).

Setelah diperoleh pengayaan bahan bakar yang paling efisien, selanjutnya yaitu menghitung radius sel bahan bakar, selongsong, dan moderator dengan menggunakan perbandingan antara bahan bakar dan moderator yang akan menghasilkan ukuran radius sel yang berbeda. Selanjutnya yaitu melakukan perhitungan *burn up* dengan menggunakan kode ASMBURN. Kode ASMBURN merupakan salah satu kode pilihan yang terdapat pada program SRAC, yang digunakan untuk perhitungan *burn up assembly* bahan bakar. Kemudian dilakukan perhitungan untuk penambahan *burn up* dan perubahan daya linear.

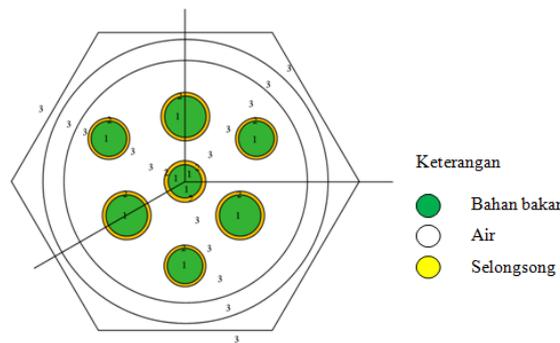
3. Hasil Dan Pembahasan

Pada perhitungan *burn up assembly*, file *xs* pada kode ASMBURN digunakan untuk memperoleh pemodelan sel heksagonal yang digunakan. Selanjutnya, untuk memperoleh model *assembly* heksagonal, dengan menggunakan file *sh*. Pemodelan sel dan *assembly* heksagonal IGT-12 yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.

Gambar 1 merupakan geometri sel yang terdiri dari susunan bahan bakar, *cladding*, dan moderator. Sementara **Gambar 2** menunjukkan desain heksagonal yang tersusun atas beberapa sel.

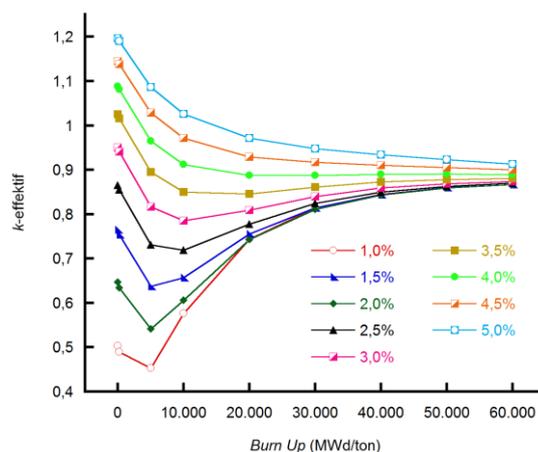


Gambar 1. Geometri dan pembagian daerah sel.

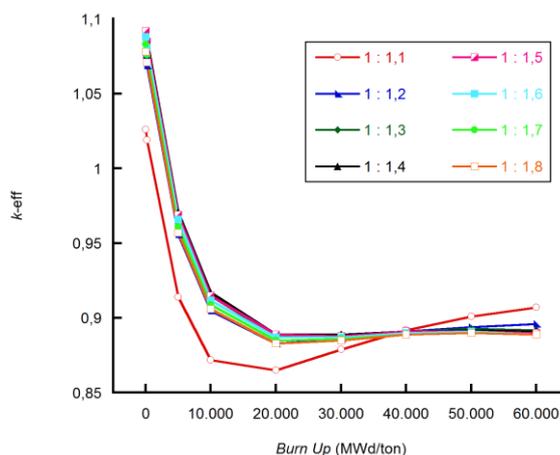


Gambar 2. Desain *assembly* heksagonal.

Perhitungan densitas atom pada pengayaan bahan bakar dilakukan sebagai langkah awal untuk memperoleh nilai yang akan digunakan sebagai input pada program SRAC ASMBURN. Setelah diperoleh pengayaan yang paling efisien, selanjutnya yaitu menghitung nilai radius sel bahan bakar, *cladding*, dan moderator dengan menggunakan perbandingan antara sel bahan bakar dan moderator. Nilai densitas atom dan radius sel yang diperoleh ini, selanjutnya digunakan sebagai input untuk menghitung *burn up*. Setelah melakukan *running* pada program SRAC ASMBURN, hasil yang diperoleh dari perhitungan *burn up* ini yaitu berupa nilai k_{eff} untuk setiap periode *burn up* yang ditunjukkan pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Pada penelitian ini, digunakan 9 step *burn up* yaitu 0, 200, 5000, 10.000, 20.000, 30.000, 40.000, 50.000, dan 60.000 MWd/ton. *Burn up* adalah total energi yang dilepaskan per unit massa bahan bakar sebagai hasil pembakaran bahan bakar (Monado *et al.*, 2013). *Burn up* atau yang bisa juga disebut sebagai derajat bahan bakar ini dapat dinyatakan dengan menggunakan satuan MWd/ton (jumlah energi yang telah dihasilkan dalam megawatt-hari dari tiap ton uranium).



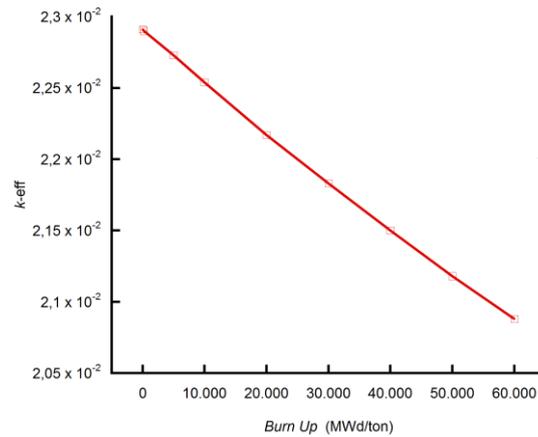
Gambar 3. Nilai k_{eff} pada tiap periode *burn up* dengan pengayaan bahan bakar.



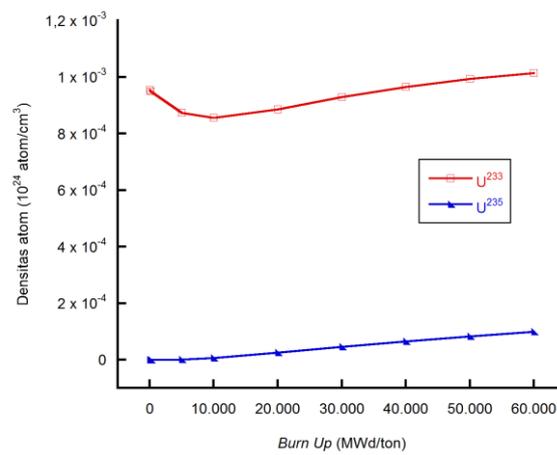
Gambar 4. Nilai k_{eff} pada tiap periode *burn up* dengan mengubah radius sel.

Gambar 3 merupakan grafik yang menunjukkan nilai k_{eff} pada setiap periode *burn up* pada pengayaan bahan bakar. Terlihat bahwa nilai k_{eff} yang diperoleh pada awal *burn up* berbeda-beda untuk setiap pengayaan bahan bakar. Semakin besar persentase bahan bakar yang digunakan, maka nilai k_{eff} yang diperoleh juga semakin tinggi (Utami & Yulianti, 2013). Nilai k_{eff} ini akan berkurang pada setiap periode *burn up*. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah reaksi fisi berantai di dalam reaktor semakin berkurang. Nilai pengayaan bahan bakar yang paling efisien yaitu 4% yang ditunjukkan dengan garis yang cukup landai, artinya penurunan k_{eff} terjadi sedikit demi sedikit, dan ketika terjadi kenaikan k_{eff} tidak terlalu besar. **Gambar 4** menunjukkan grafik nilai k_{eff} pada setiap periode *burn up* dengan mengubah radius sel. Perbandingan radius sel bahan bakar dan moderator dimulai dari 1 : 1,1 hingga perbandingan 1 : 1,8. Berdasarkan grafik pada **Gambar 4**, terlihat bahwa nilai k_{eff} pada saat periode *burn up* 0 hingga 20.000 MWd/ton mengalami penurunan. Kemudian ketika periode *burn up* 30.000 Md/ton hingga 60.000 MWd/ton, nilai k_{eff} yang diperoleh tidak terlalu besar perubahannya.

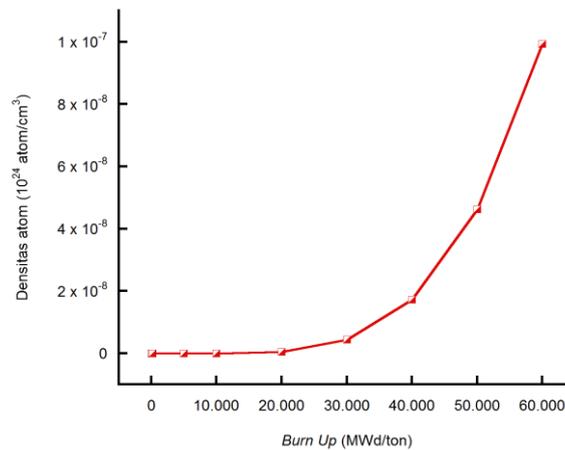
Selain nilai k_{eff} pada setiap periode *burn up*, hasil *running* program SRAC ASMBURN juga menunjukkan nilai densitas atom bahan bakar Th^{232} , U^{233} , U^{235} , dan Pu^{239} . Nilai densitas atom ini menunjukkan jumlah atom yang ada di dalam reaktor setelah *burn up*. Nilai densitas atom Th^{232} mengalami penurunan pada setiap periode *burn up*. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar *burn up* yang digunakan, jumlah Th^{232} yang ada di dalam reaktor semakin berkurang. Nilai densitas atom Th^{232} pada setiap periode *burn up* ditunjukkan pada **Gambar 5**. U^{233} dan U^{235} dua isotop fisi yang dihasilkan selain Pu^{239} . Pada saat keadaan awal sebelum dilakukan *burn up*, nilai densitas atom U^{235} yang diperoleh yaitu 0, yang berarti tidak terdapat U^{235} di dalam reaktor. Setelah *burn up*, nilai densitas atom U^{235} semakin bertambah, meskipun jumlahnya tidak sebanyak U^{233} . Grafik densitas atom U^{233} dan U^{235} dapat terlihat pada **Gambar 6**. Densitas atom Pu^{239} yang diperoleh untuk setiap periode *burn up* semakin besar. Berbeda dengan U^{233} dan U^{235} yang tidak terlalu besar kenaikannya, nilai densitas atom Pu^{239} mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Kenaikan densitas atom Pu^{239} ditunjukkan pada **Gambar 7**. Kenaikan densitas atom Pu^{239} dan U^{235} karena jumlah atom Pu^{239} yang dihasilkan dari reaksi fisi bertambah. Sedangkan untuk densitas atom U^{233} semakin berkurang karena massa U^{233} setelah *burn up* semakin berkurang.



Gambar 5. Densitas atom Th^{232} setelah *burn up*.

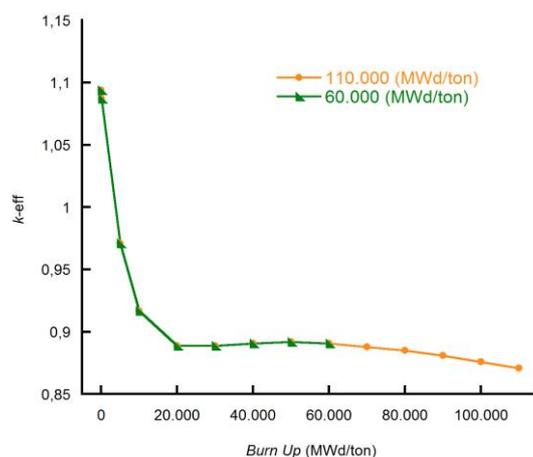


Gambar 6. Densitas atom U^{233} dan U^{235} setelah *burn up*.

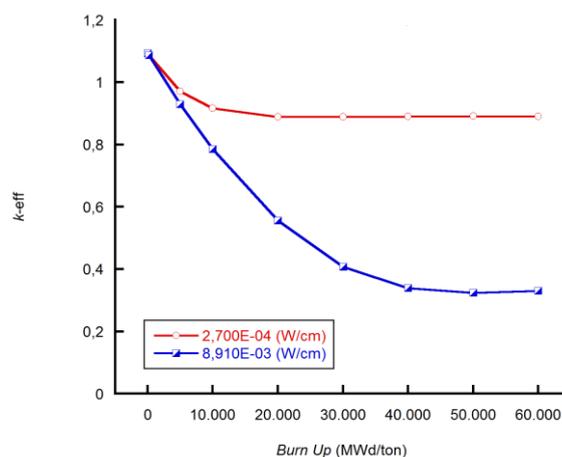


Gambar 7. Densitas atom Pu^{239} setelah *burn up*.

Radius sel dan pengayaan bahan bakar efektif yang telah dianalisis, kemudian dilakukan penambahan *burn up* dari 60.000 MWd/ton hingga 110.000 Md/ton. Perbandingan nilai k_{eff} sebelum dan sesudah penambahan *burn up* ditunjukkan pada **Gambar 8**. Berdasarkan grafik pada **Gambar 8**, terlihat bahwa penambahan *burn up* yang semakin tinggi akan menghasilkan grafik yang menurun dan menunjukkan bahwa nilai k_{eff} yang diperoleh semakin kecil. Hal ini karena semakin meningkat *burn up*, maka jumlah atom yang terkandung dalam bahan bakar akan semakin sedikit sehingga menyebabkan laju reaksi pembelahan semakin kecil dan neutron yang dihasilkan berkurang (Atiqoh dkk., 2014).



Gambar 8. Perbandingan k_{eff} sebelum dan sesudah penambahan *burn up*.



Gambar 9. Nilai k_{eff} sebelum dan sesudah penambahan daya linear.

Gambar 9 merupakan grafik k_{eff} pada setiap periode *burn up* sebelum dan sesudah penambahan daya linear. Nilai daya linear awal yang digunakan yaitu $2,700E-04$ W/cm, kemudian diubah menjadi $8,910E-03$ W/cm. Pada **Gambar 9**, terlihat bahwa pada saat kondisi awal, nilai k_{eff} yang diperoleh mengalami penurunan yang tidak terlalu besar. Sementara ketika daya linearnya diubah menjadi $8,910E-03$ W/cm, nilai k_{eff} mengalami penurunan yang cukup besar pada setiap periode *burn up*. Hal ini menunjukkan bahwa nilai daya linear yang lebih besar, akan menghasilkan k_{eff} yang lebih kecil karena berkurangnya jumlah nuklida fisil yang ada di dalam reaktor (Simanjuntak, 2017).

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa nilai pengayaan bahan bakar yang paling efisien pada persentase 4%. Sementara untuk ukuran radius sel yang efisien untuk desain *assembly* heksagonal IGT-12 yaitu pada radius sel bahan bakar 0,389 cm, *cladding* 0,557 cm, dan moderator sebesar 0,450 cm. Densitas atom Th^{232} setelah *burn up* mengalami penurunan, yang berarti jumlah atom Th^{232} semakin berkurang pada setiap periode *burn up*. Nilai densitas atom U^{233} , U^{235} , dan Pu^{239} mengalami kenaikan yang menandakan jumlah ketiga atom fisil ini semakin bertambah untuk setiap periode *burn up*. Penambahan periode *burn up* dan penambahan daya linear yang lebih besar menghasilkan nilai k_{eff} yang semakin kecil dengan grafik yang semakin menurun.

5. Daftar Pustaka

- Athiqoh, F., Wahyu, S.B., Choirul A., dan Tri W.T. (2014). Distribusi Fluks Neutron sebagai Fungsi *Burn Up* Bahan Bakar pada Reaktor Kartini. *Youngster Physics Journal*, Vol. 3, No. 2, 107-112.
- Carrera., Alejandro, N., Gilberto, E.P. dan Juan, L.F. (2008). Transient and Stability Analysis of a BWR Core with Thorium-Uranium Fuel. *Journal of Annals of Nuclear Energy*, Vol. 35, 1550-1563.
- Monado, F., Z. Su'ud., A. Waris., K. Basar., M. Ariani & H. Sekimoto. (2013). Application of Modified CANDLE Burnup to Very Small Long Life Gas-Cooled Fast Reactor. *Advanced Material Research*, Vol. 772. Pp. 501-506.

- Oka, Y., Koshizuka, S., Ishiwatari, Y. dan Yamaji, A. (2003). *Conceptual Design of High Temperature Reactor Cooled by Supercritical Light Water*. ICCAP. Cordoba. Spain.
- Rianti, R.A.P. dan Sahala, L.M. (2011). Dampak Kecelakaan Reaktor Fukushima terhadap Rencana Pembangunan PLTN di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV*. Hal 290-300.
- Simanjuntak, S. A. (2017). Perhitungan Pembakaran Lengkap (*Burn-Up*) Reaktor Air Superkritis Bahan Bakar Thorium Model Perangkat (*Assembly*) Heksagonal Menggunakan SRAC. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Utami, Rina dan Yanti Yuliyanti. (2013). Desain Reaktor Air Superkritis (*Super Critical Water Reactor*) dengan Bahan Bakar Thorium. *Jurnal Ilmu Dasar*. Volume 14, No. 1, Hal 1-6.