Prosiding Semirata2015 bidang MIPA BKS-PTN Barat
Universitas Tanjungpura Pontianak
Hal 39 - 45

POTENSI THORIUM SEBAGAI BAHAN BAKAR PADA REAKTOR CEPAT BERPENDINGIN GAS UNTUK PLTN

POTENTIAL OF THORIUM AS FUEL AT GAS COOLED FAST REACTOR FOR NUCLEAR POWER PLANT

Menik Ariani[1]*, Supardi [1], Fiber Monado[1], Zaki Su'ud [2]

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, Indralaya[1*]
menikariani@gmail.com
Departemen Fisika FMIPA Institut Teknologi Bandung[2]

ABSTRACT

Besides of consideration that thorium reserve in the world is high (about 3 times higher than uranium reserves), the use of thorium based fuel will also decrease the amount of radioactive waste. In this study the gas-cooled reactor system coupled with modified CANDLE burning scheme to make the small reactors with long-lived, with natural thorium as input fuel cycles. The system can utilize natural thorium resources efficiently without the need for reprocessing and enrichment unit. Therefore the use of nuclear power plants can be optimally utilized nuclear energy without nuclear proliferation problem. Survey parameters that determine the achievement of the target design include the criticality and burn-up level of fuels. Further investigation related to the comparison between the use of thorium with uranium on 500 MWth gas cooled fast reactors.

Keywords: reactor, natural thorium, burn-up, CANDLE, criticality

ABSTRAK

Selain pertimbangan sumberdaya thorium(Th) dunia yang besar (sekitar 3 kali lebih besar dari sumber daya uranium), penggunaan bahan bakar basis thorium juga akan mengurangi jumlah limbah radioaktif. Kajian ini membahas sistem reaktor berpendingin gas yang digabungkan dengan skema pembakaran CANDLE yang dimodifikasi, untuk reaktor berukuran kecil dan berumur panjang, dengan thorium alam sebagai input dalam setiap siklus bahan bakarnya. Sistem ini dapat memanfaatkan sumber daya thorium secara efisien tanpa memerlukan unit pengolahan dan pengayaan. Oleh karena itu penggunaan pembangkit listrik tenaga nuklir ini dapat memanfaatkan energi nuklir secara optimal tanpa masalah proliferasi nuklir. Survey parameter yang menentukan tercapainya target desain meliputi kritikalitas dan level burn-up bahan bakar. Investigasi lebih lanjut terkait perbandingan antara penggunaan thorium dengan uranium sabagai bahan bakar dilakukan pada desain teras reaktor penghasil daya listrik berukuran 500 MWth.

Katakunci: reaktor, thorium alam,burn-up,CANDLE, kritikalitas

1. PENDAHULUAN

Saat ini di Indonesia terjadi keterbatasan sumber energi terutama energi bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas dan batubara sebagai bahan penunjang utama dalam kelistrikan. Energi berbahan bakar fosil tersebut ketersediaannya semakin menipis. PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) dapat dipertimbangkan menjadi salah satu sumber energi listrik alternatif di Indonesia. Kebutuhan energi listrik yang masih belum memadai dan merata di seluruh wilayah Indonesia juga ikut mendorong pemikiran ini. Pemanfaatan teknologi reaktor nuklir yang tepat dapat menjadi modal untuk memperoleh sumber listrik murah yang dapat dijangkau seluruh lapisan masyarakat. Reaktor juga dapat menghasilkan hidrogen yang digunakan sebagai bahan bakar baru. Energi nuklir juga lebih menguntungkan ditinjau dari segi lingkungan karena tidak menghasilkan unsur berbahaya seperti logam berat (Pb, arsen, Ag, vanadium), gas SO_2 dan NO_x pembentuk efek rumah kaca.

Reaktor generasi IV mengembangkan sistem keselamatan pasif (*passive safety*) yang memungkinkan reaktor mampu mengendalikan dan meminimalkan kecelakaan reaktor serta tidak bergantung pada operator. Dengan kondisi ini kecelakaan reaktor nuklir seperti Chernobyl dan Fukushima dapat dihindari. Kajian terhadap potensi thorium sebagai bahan bakar reaktor generasi IV Gas-Cooled Fast Reactor (GFR) dilakukan dalam penelitian ini.

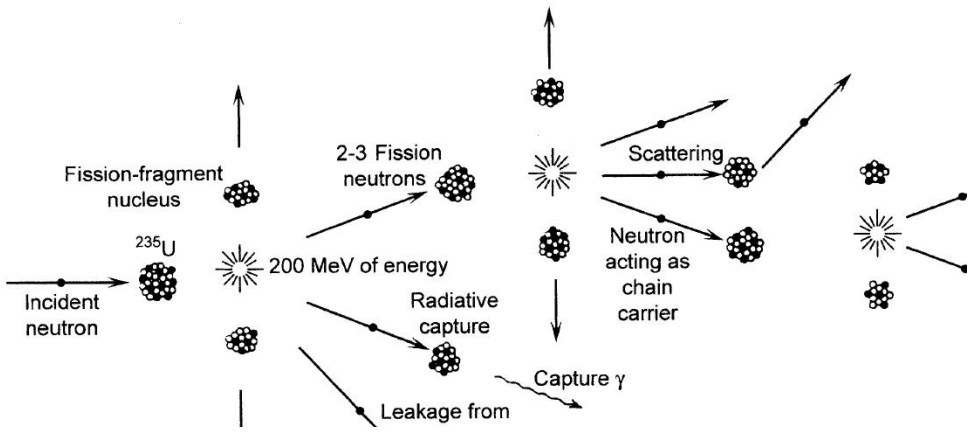
Strategi baru untuk *burnup* bahan bakar yaitu Modified CANDLE yang berbeda dengan reaktor konvensional diterapkan pada reaktor cepat berpendingin helium ini. Konsep lilin *(candle*) ini memungkinkan harga listrik menjadi sangat murah sekaligus juga memiliki tingkat keselamatan sangat tinggi. Reaktor ini juga mampu membakar limbah nuklir untuk menambah pasokan energinya. Selama ini limbah radioaktif menjadi sesuatu yang dikhawatirkan oleh dunia, karena selain membahayakan lingkungan juga bisa menjadi bahan baku senjata nuklir. Desain reaktor pada penelitian ini hanya diisi pertama kali dengan thorium yang masa hidupnya sampai 10 tahun. Pengisian berikutnya hanya setiap 10 tahun dan seterusnya hingga 100 tahun [1,4,6,7].

Keunggulan lain jika menggunakan konsep Modified CANDLE adalah lepasnya ketergantungan dari teknologi pengayaan uranium dan pemrosesan ulang bahan bakar nuklir yang saat ini dikuasai oleh negara-negara maju. Dengan teknologi ini sekali reaktor telah berjalan maka untuk selanjutnya hanya diperlukan penyediaan bahan bakar thorium alam yang teknologinya telah dikuasai Indonesia dan bahan bakunya juga tersedia di Indonesia

2. TEORI

2.1 Reaksi Fisi Sumber Energi

Reaksi fisi adalah pembelahan inti atom berat menjadi inti-inti atom yang lebih ringan akibat tumbukan dengan neutron, yang menghasilkan energi dalam 200 MeV yang setara dengan 3,204E-11 Joule (Gambar 1).



Gambar 1. Skema reaksi fisi berantai (Stacey, 2006)

Untuk mengontrol reaksi berantai dan pelepasan energi, diperlukan mekanisme pengendali seperti batang kendali yang terbuat dari bahan penyerap neutron. Mekanisme inilah yang mempertahankan kestabilan reaksi berantai dan daya keluaran. Persamaan umum reaksi fisi yaitu:

$$ {}_{0}^{1}n + {}_{Z1}^{A1}X \rightarrow {}_{Z2}^{A2}Y + {}_{Z3}^{A3}Z + neutron + energi $$

Contoh dari reaksi fisi yaitu yang terjadi pada ini Uranium-235,

$$ {}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \rightarrow {}_{54}^{140}Xe + {}_{38}^{94}Sr + 2\,{}_{0}^{1}n + 200MeV $$

Uranium-235 merupakan satu-satunya bahan fisil yang terdapat secara alami. Kandungan U-235 dalam Uranium alam hanya 0,7%, sedangkan sisanya adalah Uranium-238 sekitar 99,3%. Dengan reaksi penangkapan neutron, Uranium-238 akan menjadi radioaktif kemudian meluruh menjadi Plutonium-239 dengan reaksi [2]:

$$ {}_{0}^{1}n + {}_{92}^{238}U \rightarrow {}_{92}^{239}U \xrightarrow{\beta} {}_{93}^{239}Np \xrightarrow{\beta} {}_{94}^{239}Pu $$

Pu-239 merupakan isotop radioaktif dan tergolong bahan fisil sehingga jika ada nutron dengan sembarang energi menumbuk Pu-239, maka akan terjadi reaksi fisi. Waktu paruhnya mencapai 24,4 ribu tahun sehingga cukup stabil untuk digunakan dan disimpan sebagai bahan bakar.

2.2 Thorium sebagai Bahan Bakar

Selain Uranium-238, bahan fertil yang terdapat secara alami juga adalah thorium-232. Jika mengalami reaksi penangkapan neutron maka Th-232 dapat menghasilkan bahan fisil Uranium-233 dengan reaksi sebagai berikut [5]:

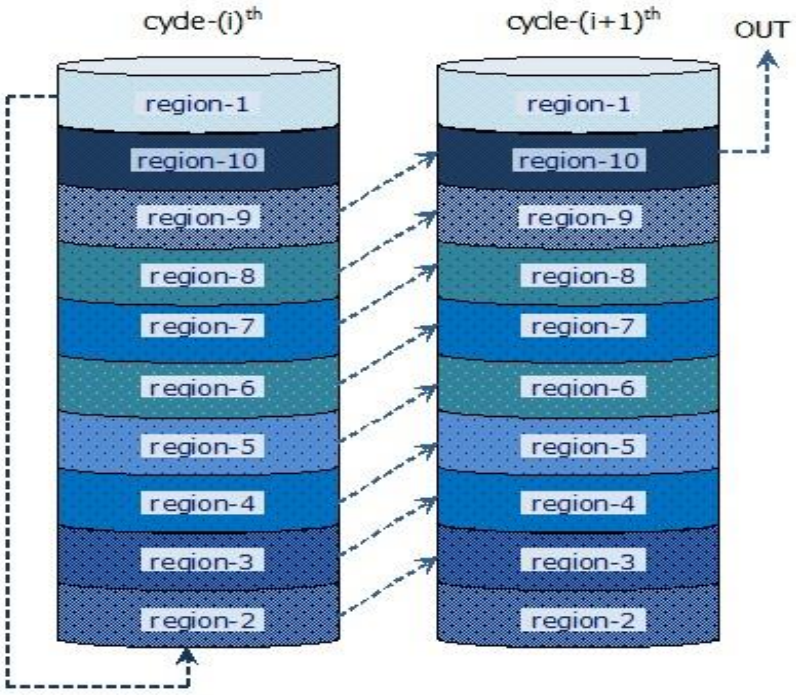
$$ {}^{1}_{0}n + {}^{232}_{90}Th \rightarrow {}^{233}_{90}Th \xrightarrow{\beta} {}^{233}_{91}Pa \xrightarrow{\beta} {}^{233}_{92}U $$

Reaksi ini menunjukkan bahwa Thorium-232 dapat menjadi bahan bakar alternatif untuk reaktor mengingat kandungan Thorium alam di permukaan bumi mencapai 4 kali lipat dibandingkat Uranium alam.

3. DESAIN DAN PERHITUNGAN

Studi potensi thorium sebagai bahan bakar dilakukan dengan membandingkan hasil desain neutronik pada 2 buah desain reaktor GCFR yang menggunakan supplai bahan bakar berbeda yaitu thorium dengan uranium alam. Agar diperoleh desain yang efisien dalam hal penggunaan bahan bakar maka diperlukan tahapan yang meliputi: penentukan spesifikasi dari parameter desain reaktor, perhitungan sel bahan bakar dan teras reaktor serta analisis neutronik berdasarkan hasil survey parameter.

Strategi *burnup* yang berbeda dengan reaktor konvensional diterapkan untuk mewujudkan hal ini yaitu Modified CANDLE. Skemanya adalah sebagai berikut.



Gambar 2. Skema strategi *burnup* Modified CANDLE

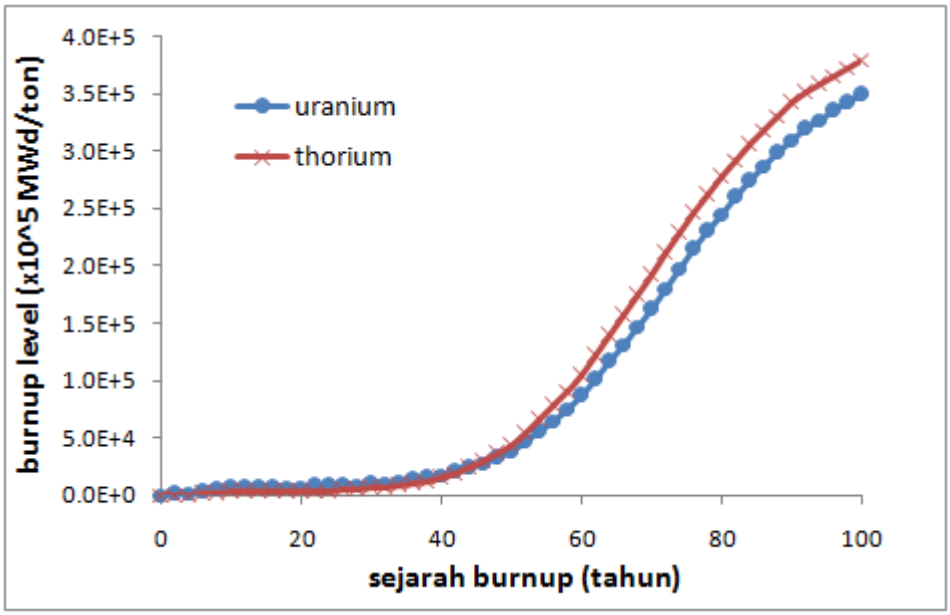
Teras aktif dibagi dalam arah aksial menjadi 10 bagian dengan volume sama. Pada awalnya thorium alam (Th232) diletakkan pada region-1. Setelah 1 siklus berjalan (10 tahun) maka terjadi pergeseran isi bahan bakar di tiap region. Isi region-1 bergeser menjadi region-2, isi region-3 digeser ke region-4 dan seterusnya. Konsep ini berlaku untuk region yang lain, yaitu pergeseran region-(i) ke wilayah region-(i+1). Region-10 yang telah habis masa pakainya dikeluarkan dan region-1 diisi kembali dengan bahan bakar baru (thorium alam).

Perhitungan neutronik sel bahan bakar dan teras dilakukan dengan bantuan kode SRAC-CITATION yang terdiri dari tiga bagian yaitu [3]: (a) perhitungan penampang lintang makroskopik multigrup hasil homogenisasi, (b) penyelesaian persamaan difusi multigrup dan (c) penyelesaian persamaan *burnup* yang terkopel dengan persamaan difusi.

4. HASIL

Pada tingkat perhitungan sel, bahan bakar dibakar selama 100 tahun, dengan interval pengambilan data setiap 2 tahun. Perhitungan ini menghasilkan beberapa survey parameter neutronik seperti level *burnup* dan faktor multiplikasi efektif.

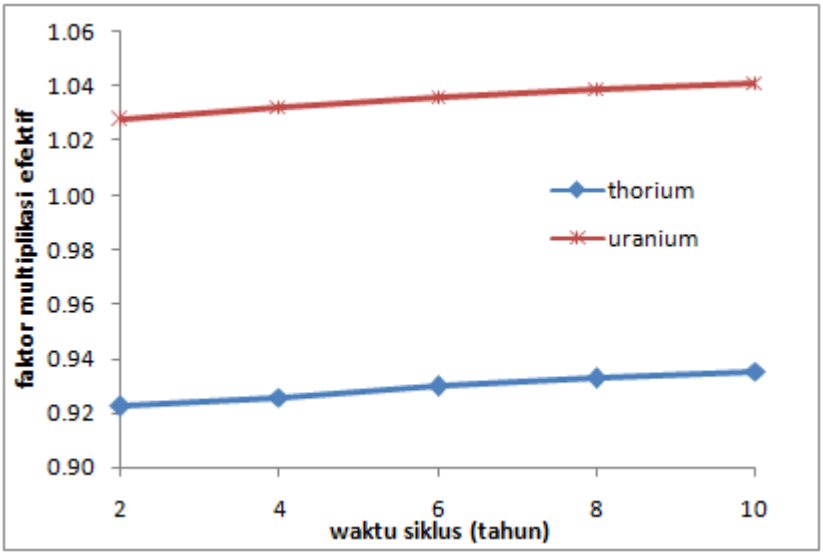
a. *Burnup* didefinisikan sebagai total energi yang dilepaskan per unit massa bahan bakar sebagai hasil pembakaran bahan bakar. Satuan yang digunakan megawatt *days per metric ton* (MWd/MT) bahan bakar, yaitu jumlah berat yang diperlukan untuk menghasilkan daya per hari. Grafik hasil perhitungan disajikan sebagai berikut:



Gambar 3. Perbandingan level *burnup* antara desain teras berbahan bakar thorium dengan teras berbahan bakar uranium

Perbadingan level *burnup* antara teras berbahan bakar uranium dengan teras berbahan bakar thorium pada Gambar 3. Pada grafik terlihat bahwa meski di awal tahun terlihat lebih lambat namun setelah 40 tahun thorium menghasilkan bahan bakar fisil lebih cepat sehingga memiliki tingkat *burnup* yang lebih tinggi dibandingkan dengan uranium. *Burnup* rata-rata untuk pembakaran thorium bernilai 118,9 GWd/t, sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan uranium yang memiliki *burnup* rata-rata 107,2 GWd/t.

b. Parameter survey berikutnya yaitu nilai faktor multiplikasi efektif, k_{eff} yang menentukan tingkat kestabilan reaksi fisi berantai di dalam teras. Kondisi stabil dicapai jika nilai $\boldsymbol{k_{eff}}$ = 1. Hasil perhitungan dua desain teras menggunakan bahan bakar uranium dan thorium menghasilkan nilai faktor multiplikasi efektif yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Nilai faktor multiplikasi efektif dalam 1 siklus pengisian bahan bakar pada reaktor 500 MWth berbasis bahan bakar uranium dan dengan thorium

Berdasarkan grafik pada Gambar 4 dapat ditentukaan bahwa desain teras berbahan bakar uranium dapat beroperasi selama 1 siklus (10 tahun) tanpa pengisian ulang bahan bakar. Namun teras dengan suplai bahan bakar thorium belum dapat menghasilkan teras yang kritis karena memiliki nilai k_{eff} < 1,0. Kondisi ini disebut dengan keadaan subrkritis, dimana populasi neutron terus berkurang. Diperlukan modifikasi dan optimasi terhadap komposisi bahan bakar agar potensi thorium sebagai dapat dimanfaatkan dengan lebih efisien. Salah satunya adalah dengan cara mengkombinasikan uranium dengan thorium dalam satu buah teras.

5. KESIMPULAN

1. Melalui serangkaian reaksi, thorium alam (Th-232) dapat menghasilkan bahan fisil uranium-233 sehingga memiliki potensi sebagai bahan bakar sebuah reaktor nuklir.

2. Meski di awal tahun terlihat lebih lambat namun selanjutnya thorium menghasilkan bahan bakar fisil lebih cepat sehingga memiliki tingkat *burnup* yang lebih tinggi dibandingkan dengan uranium.
3. Teras dengan suplai bahan bakar thorium belum dapat menghasilkan teras yang kritis karena memiliki nilai $k_{eff} < 1{,}0$ sehingga masih diperlukan optimasi terhadap komposisi bahan bakar agar potensi thorium sebagai bahan bakar dapat dimanfaatkan dengan lebih efisien.

PUSTAKA

[1]. Ariani, M, 2012, Optimization of Small Long Life Gas Cooled Fast Reactors With Natural Uranium as Fuel Cycle Input, Advance, Applied Mechanics and Materials Vol. 260-261

[2]. Duderstadt, J.J., Hamilton, L.J, Nuclear Reactor Analysis, John Wiley & Sons, Inc, 1976

[3]. Okumura, K. Kaneko and K. Tsuchihashi, SRAC(Ver.2002): The Comprehensive Neutronics Calculation Code System, JAERI report Japan Atomic Energy Research Institute, Japan, 2002

[4]. Sekimoto, H & Yan,M.Y., Design Research of Small Long Life CANDLE Fast Reactor, Annals of Nuclear Energy 35, 2007 p. 18-36

[5]. Stacey, W.M., 2001, Nuclear Reactor Physics, John Wiley & Sons

[6]. Su'ud, Z., Sekimoto, H., Design Study of Long-life Pb-Bi Cooled Fast Reactor with Natural uranium as Fuel Cycle Input using Modified CANDLE *Burnup* Scheme, IJNEST Vol 5, No.4, 2010, p.347-358

[7]. Su'ud, Z and Sekimoto, H., The prospect of gas cooled fast reactors for long life reactors with natural uranium as fuel cycle input, Annals of Nuclear Energy Vol 54, 2013, p.56-66