

Analisis Neutronik Pada Gas Cooled Fast Reactor dengan Variasi Strategi *Shuffling* Bahan Bakar Arah Radial

Muthia Annisa Putri*, Dian Fitriyani, Feriska Handayani Irka

Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Andalas, Padang

*muthiaannisa212@gmail.com

ABSTRAK

Analisis neutronik pada *Gas Cooled Fast Reactor* (GCFR) dengan variasi strategi *shuffling* bahan bakar telah dilakukan dengan pengaturan awal daya reaktor 550 MWth dan umur 100 tahun menggunakan *input* bahan bakar uranium alam tanpa pengayaan. Bahan bakar pada teras reaktor dibagi atas 10 region, dengan label region 1 hingga region 10. Setiap region bahan bakar mengalami perbedaan lama proses *burnup* dan perbedaan densitas nuklida. Variasi strategi *shuffling* dilakukan dengan cara menyusun masing-masing region bahan bakar secara acak dari region 1 hingga 10. Pada penelitian ini dirancang 4 macam variasi strategi *shuffling* bahan bakar arah radial. *Shuffling* bahan bakar dilakukan sekali dalam 10 tahun bersamaan dengan periode *refueling*. Perhitungan dilakukan dengan metode komputasi menggunakan kode SRAC dengan input data nuklir dari JENDL-32 *Library* dengan model teras silinder 2D R-Z. Hasil analisis menunjukkan bahwa berdasarkan nilai faktor multiplikasi efektif, variasi strategi *shuffling* memenuhi kriteria desain reaktor. Strategi *shuffling* dengan pengaturan region bahan bakar berdensitas fisil tertinggi yang didekatkan dengan region bahan bakar berdensitas fisil rendah menghasilkan densitas ^{239}Pu yang tinggi.

Kata kunci: analisis neutronik, GCFR, SRAC, strategi *shuffling*

ABSTRACT

Neutronic analysis on Gas Cooled Fast Reactor (GCFR) with radial shuffling strategy has been conducted. Neutronic analysis using initial setting 550 MWth output power, 100 years reactor operation and using natural uranium without enrichment as fuel. The core reactor subdivided into 10 region. Each region are diverification on burnup periode and density. Variation of radial shuffling strategy arranged the region not in sequently from region 1 to region 10. This research designed 4 radial shuffling strategy. Fuel shuffling do every 10 years burnup periode simultaneously refueling periode. Calculation used computation method with SRAC JENDL-32 Library code, with cylindrical 2D R-Z core model. The result show that, base on k_{eff} value the radial shuffling strategy has fullfilled reactor design criteria. Radial shuffling strategy placing the region with highest fisil contents with the lowest fisil contents produce highest ^{239}Pu densitiy.

Keywords: *neutronic analysis, GCFR, SRAC, shuffling strategy*

I. PENDAHULUAN

Energi nuklir merupakan sebuah teknologi unggul dengan memanfaatkan bahan bakar dengan jumlah yang sedikit dan menghasilkan energi lebih besar yang menjadi harapan baru energi masa depan. Energi nuklir yang dimanfaatkan berasal dari reaksi fisi yang melepaskan sekitar 200 MeV energi. Pemanfaatan reaksi nuklir sebagai sumber energi telah dilakukan sejak Perang Dunia II untuk pengoperasian kapal selam. Pada tahun 1957 energi nuklir digunakan sebagai pembangkit listrik di Chicago. Perkembangan reaktor nuklir sebagai PLTN telah memasuki Generasi IV. Beberapa aspek yang ditingkatkan pada Reaktor Generasi IV seperti kepastian ketersediaan bahan bakar dalam jangka waktu yang panjang, peningkatan efisiensi biaya pembangkit listrik, dan peningkatan aspek keselamatan.

GCFR (*Gas Cooled fast Reactor*) merupakan salah satu jenis reaktor pembangkit listrik yang dikembangkan pada Generasi IV. GCFR menggunakan helium sebagai pendingin dimana helium dapat beroperasi pada suhu tinggi yang mencapai 850°C. Selain itu GCFR juga memiliki kemampuan untuk memproses limbah pembuangan nuklir dari hasil bahan bakar bekas tanpa biaya tambahan dengan menggunakannya sebagai bahan bakar Rancangan GCFR memiliki sistem sirkulasi dari *Decay Heat Removal* (DHR) yang bertujuan menjaga ketahanan suhu reaktor. GCFR juga dapat menggunakan uranium alam tanpa pengayaan sebagai bahan bakar (GIF, 2017).

Uranium alam memiliki kandungan 0,7% nuklida bersifat fisil yaitu ^{235}U dan 99,3% nuklida bersifat fertil yaitu ^{238}U . Nuklida fisil merupakan nuklida yang mudah berfisi pada

semua rentangenergi neutron, sedangkan nuklida fertil mempunyai penampang lintang reaksi yang tinggi hanya pada neutron energi tinggi. Nuklida fertil dapat diubah menjadi nuklida fisiil dengan menyerap neutron terlebih dahulu. Strategi khusus diperlukan agar dapat menggunakan uranium alam sebagai bahan bakar, diperlukan strategi khusus dalam pembakaran (*burnup*) salah satunya adalah strategi *shuffling* bahan bakar arah radial. Strategi *shuffling* bahan bakar arah radial merupakan pengembangan dari strategi *burnup* yaitu CANDLE (*Constant Axial Shape of Neutron Flux Nuclide Densities and Power Shape During Life of Energy Producing Reactor*).

Rida (2007) melakukan studi desain Pb-Bi *Cooled Fast Reactor* dengan strategi *shuffling* arah radial dengan periode *refueling* 15 tahun menyimpulkan bahwa reaktor yang dirancang dapat beroperasi selama 90 tahun. Irka dkk (2015) meneliti mengenai analisis *burnup* pada reaktor cepat berpendingin gas menggunakan bahan bakar uranium alam dengan strategi *shuffling* bahan bakar arah radial. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi *burnup* bahan bakar dengan strategi *shuffling* arah radial memungkinkan reaktor beroperasi menggunakan uranium alam tanpa pengayaan dengan mendapatkan nilai faktor multiplikasi efektif (k_{eff}) lebih dari 1 sehingga reaktor berada dalam keadaan kritis dan dapat dioperasikan.

Perbedaan strategi *shuffling* bahan bakar yang digunakan dapat mengubah keadaan neutronik pada teras reaktor. Keadaan neutronik pada teras reaktor GCFR dilihat berdasarkan analisis neutronik. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis neutronik pada GCFR menggunakan strategi *shuffling* bahan bakar arah radial. Parameter neutronik yang ditinjau yaitu nilai faktor multiplikasi efektif dan densitas ^{235}U , ^{238}U , dan ^{239}Pu .

II. METODE

Analisis neutronik dilakukan berdasarkan perhitungan dengan metode komputasi menggunakan kode SRAC yang dikembangkan oleh JAERI (*Japan Atomic Energy Research Institute*). Spesifikasi desain reaktor yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi umum desain reaktor

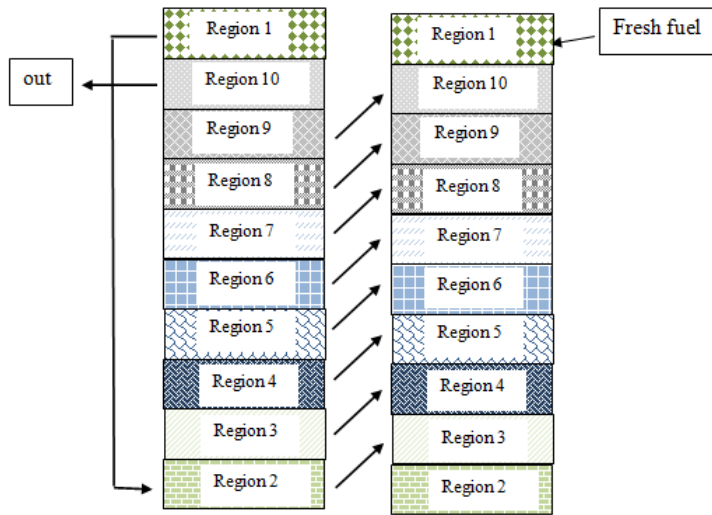
Parameter	Deskripsi
Daya	550 Mwth
Tipe pin sel	<i>Cylindercell</i>
Geometri teras	2-D <i>cylinder</i>
Jumlah region bervolume sama dalam arah radial	10 region
Periode <i>refueling</i>	10 tahun
Bahan bakar (<i>fuel</i>)	UN-PuN
Struktur (<i>cladding</i>)	SS316
Diameter pin/ <i>pitch</i>	1,4 cm
Tinggi teras aktif	3,5 m
Diameter teras aktif	2,4 m
Lebar reflector	50 cm

Desain teras yang digunakan dalam penelitian ini bertipe silinder 2-D karena ditinjau dari faktor kebocoran neutron (neutron *leakage*) dan aliran *coolant*, maka geometri silinder merupakan geometri yang memberikan kinerja yang optimal. Secara umum teras dibagi menjadi 11 region arah radial dan 2 region arah aksial. 10 region pertama merupakan bahan bakar dan yang ke sebelas merupakan reflektor. Pada pembagian arah aksial, region pertama merupakan untuk bakar dan yang kedua untuk reflektor. Geometri sel bahan bakar yang digunakan berbentuk silinder yang terdiri dari 3 region yaitu bahan bakar, *cladding* (struktur), dan *coolant* (pendingin).

2.1 Strategi *shuffling* Arah Radial

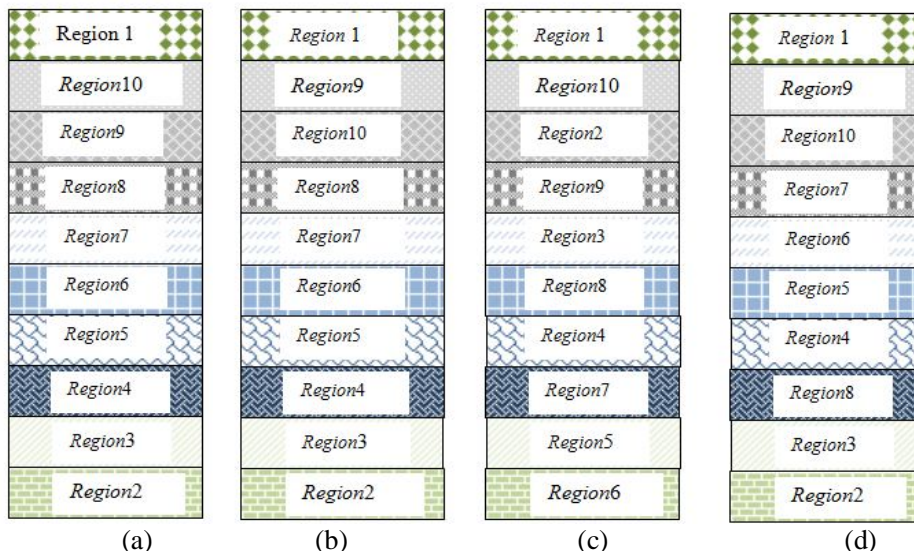
Variasi strategi *shuffling* dilakukan dengan mengubah urutan susunan region bahan bakar dengan periode *refueling* selama 10 tahun. Region bahan bahan bakar dibagi kedalam 10 region. Region 1 merupakan bahan bakar berupa uranium alam yang diposisikan pada pusat

region, region 2 merupakan bahan bakar yang telah melalui 10 tahun periode *burnup* begitu seterusnya hingga region 10 yang melalui periode *burnup* selama 90 tahun. Saat periode refueling, region 1 dipindahkan ke region 2, region 2 dipindahkan ke region 3 begitu seterusnya hingga region 9 dipindahkan ke region 10. Skema simulasi strategi *shuffling* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema strategi *shuffling* arah radial (Sumber: Irka dan Su'ud, 2015)

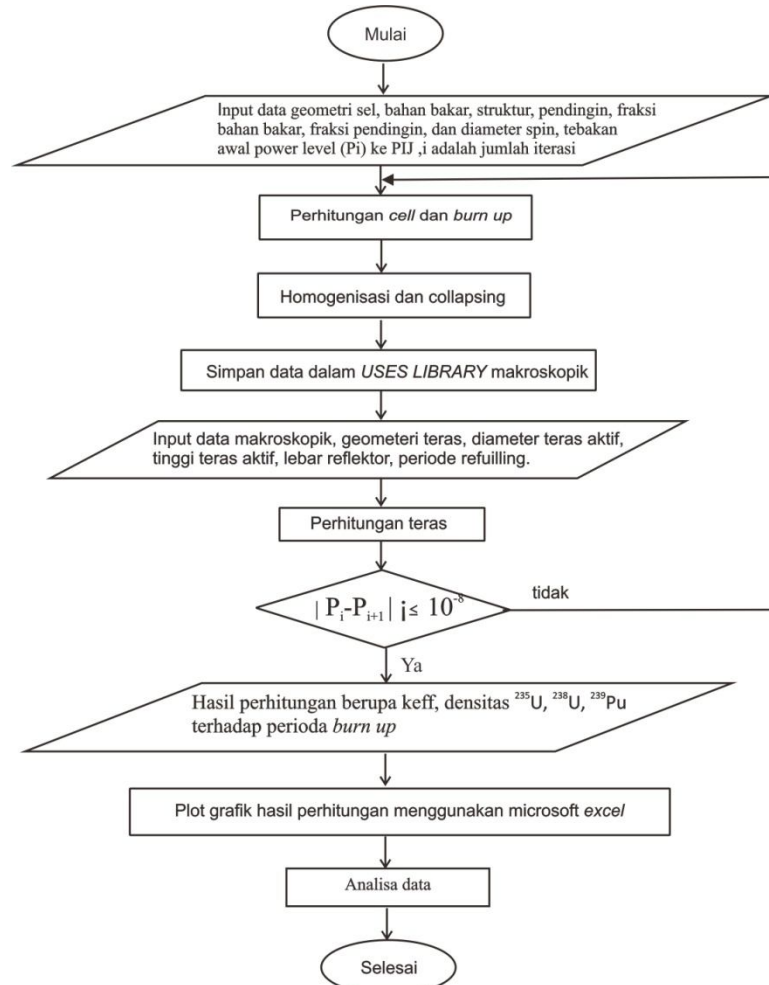
Variasi strategi *shuffling* dilakukan dengan mengubah posisi susunan region bahan bakar secara acak. Strategi *shuffling* bahan bakar arah radial yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Variasi strategi *shuffling* (a) variasi 1, (b) variasi 2, (c) variasi 3, (d) variasi 4

2.2 Prosedur Perhitungan SRAC

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan kode komputasi SRAC. Data yang digunakan adalah data nuklida dari JENDL-3.2, SRAC melakukan perhitungan dan menghasilkan data penampang lintang makroskopik dan mikroskopik dari masing-masing material teras reaktor. Diagram alir untuk perhitungan parameter neutronik menggunakan SRAC dapat dilihat pada Gambar 3.

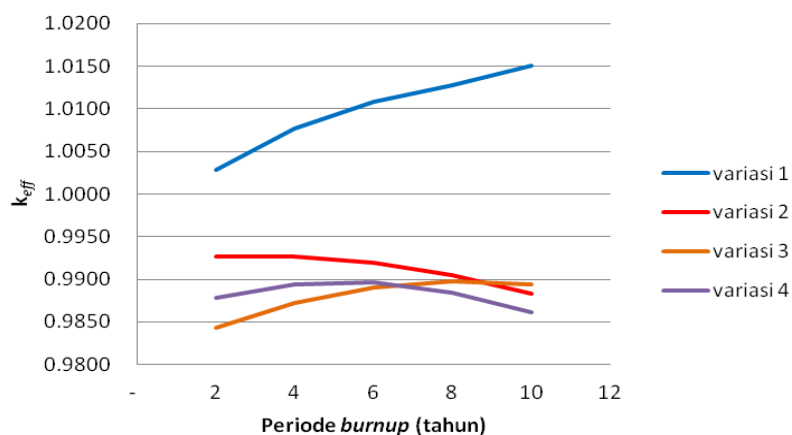


Gambar 3 Diagram alir perhitungan neutronik menggunakan SRAC.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Faktor Multiplikasi Efektif (k_{eff})

Nilai faktor multiplikasi efektif merupakan nilai yang menggambarkan kekritisan reaktor. Reaktor berada dalam keadaan kritis dengan nilai $k_{eff} = 1$. Nilai k_{eff} berdasarkan hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.



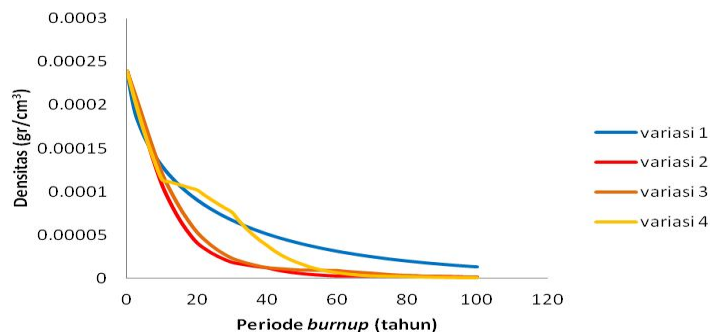
Gambar 4 Hubungan k_{eff} terhadap periode burnup pada 4 variasi strategi shuffling bahan bakar arah radial

Nilai faktor multiplikasi memiliki rentang nilai *reactivity swing* sebesar $\pm 0,05$. Nilai faktor multiplikasi yang baik untuk desain reaktor yaitu dengan nilai faktor multiplikasi efektif pada awal operasi reaktor yaitu berada dalam keadaan kritis atau superkritis (Duderstadt dan Hamilton, 1976).

Keempat variasi yang digunakan menunjukkan reaktor berada dalam keadaan kritis. Dengan menyisipkan region dengan periode *burnup* yang lebih lama dengan periode *burnup* yang lebih singkat akan mengurangi neutron yang terdapat pada teras reaktor karena reaksi serapan neutron oleh nuklida yang bersifat fertil. Perbedaan susunan salah satu region pada variasi 2 dan variasi 4 menghasilkan nilai k_{eff} yang berbeda, namun dengan selisih penurunan setiap periode *burnup* sama. Nilai faktor multiplikasi pada variasi 3 cenderung naik selama periode *burnup*. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menempatkan bahan bakar dengan densitas bahan fertil yang lebih besar dengan densitas bahan bakar fisil yang lebih besar dapat meningkatkan jumlah neutron pada teras reaktor.

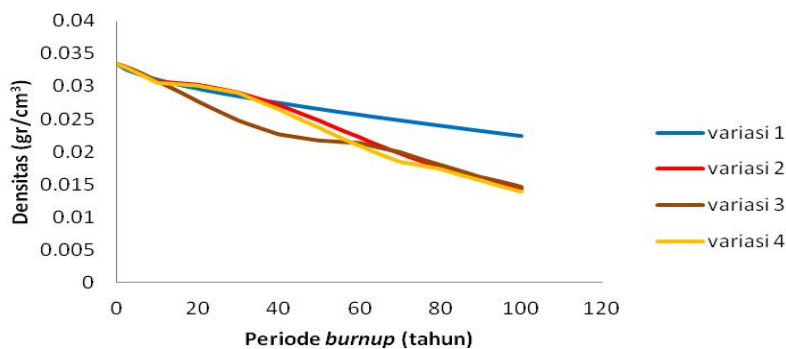
3.2 Densitas nuklida ^{235}U , ^{238}U , ^{239}Pu

^{235}U merupakan nuklida fisil yang terdapat pada uranium alam. ^{235}U bereaksi dengan neutron termal pada teras reaktor yang menghasilkan neutron cepat. Selama reaktor beroperasi ^{235}U menurun karena bereaksi fisi. Hasil reaksi fisi ^{235}U akan menghasilkan neutron baru yang akan bereaksi dengan ^{238}U . Densitas ^{235}U variasi 1 menurun lebih konstan dibandingkan dengan variasi lainnya. Penurunan densitas ^{235}U variasi 2 dan variasi 3 lebih besar dibandingkan dengan variasi lainnya. Perbedaan penyusunan region pada variasi 4 terhadap variasi 2 menyebabkan probabilitas reaksi fisi ^{235}U lebih rendah. Grafik hubungan densitas ^{235}U terhadap periode *burnup* dapat dilihat pada Gambar 5.

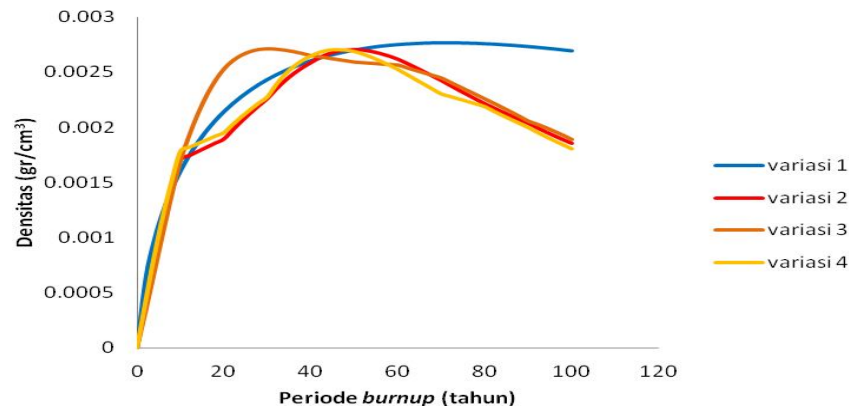


Gambar 5 Hubungan densitas ^{235}U terhadap periode *burnup* pada strategi *shuffling* bahan bakar arah radial.

^{238}U pada teras reaktor ditembak dengan neutron cepat sehingga dapat menghasilkan nuklida baru yang bersifat fisil yaitu ^{239}Pu . Grafik hubungan densitas ^{238}U dan ^{239}Pu terhadap periode *burnup* dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6 Hubungan densitas ^{238}U terhadap periode *burnup* pada strategi *shuffling* bahan bakar arah radial.



Gambar 7 Hubungan densitas ^{239}Pu terhadap periode *burnup* pada strategi *shuffling* bahan bakar arah radial.

Nilai densitas ^{238}U pada variasi 2 dan variasi 4 memiliki nilai yang hampir sama. Densitas ^{238}U pada variasi 4 lebih kecil dibandingkan dengan variasi 2. Keadaan ini menjadikan densitas ^{239}Pu pada variasi 4 lebih tinggi dibandingkan dengan variasi 2. Melalui penempatan posisi region 8 yang merupakan bahan bakar dengan periode *burnup* yang lebih lama diantara region 4 dan region 5 dapat meningkatkan densitas ^{239}Pu pada teras reaktor.

Penurunan nilai densitas ^{238}U pada variasi 3 lebih besar dari variasi lainnya. Keadaan ini menghasilkan densitas ^{239}Pu yang lebih besar dibandingkan variasi lainnya. Diketahui bahwa variasi 3 merupakan strategi *shuffling* bahan bakar arah radial dengan menempatkan region berkonsentrasi fisil tinggi didekatkan dengan region konsentrasi fertil yang tinggi. Dalam keadaan ini, variasi 3 merupakan strategi *shuffling* bahan bakar arah radial yang lebih efektif dibandingkan dengan variasi lainnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan nilai faktor multiplikasi efektif, variasi strategi *Shuffling* yang digunakan memenuhi kriteria kekritisasi reaktor dengan nilai *reactivity swing* $\pm 0,05$. Variasi Strategi *shuffling* dapat mempengaruhi keadaan neutronik, densitas, yang dihasilkan selama reaktor beroperasi. Variasi 2 menghasilkan reaksi ^{235}U yang lebih efektif. variasi 3 menghasilkan densitas ^{239}Pu yang lebih besar, keadaan ini menunjukkan desain yang lebih optimal dibandingkan variasi lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Duderstadt, J.J. dan Hamilton, L.J., 1976, *Nuclear Reactor Analysis*, John Wiley&Sons, Inc., New York, hal 74-76.
- Irka, F.H., dan Su'ud, Z., *Analisis Burnup pada Reaktor Cepat Berpendingin Gas Menggunakan Bahan Bakar Uranium Alam* (Jurnal Ilmu Fisika, 2015), Hal 78-86.
- Rida, S.N.M., *Design Study of Long Life Pb-Bi Cooled Reactors With Natural Uranium as Fuel Cycle Input Using Radial Fuel Shuffling Strategy*, Proceedings of International Conference on Advance in Nuclear Science and engineering in conjunction with LKTSN 2007, (Institut Teknologi Bandung, 2007).
- Generation IV International Forum (GIF), 2017, The Generation IV Gas Cooled Fast Reactor, https://www.iaea.org/GFR_Staisby, diakses Juli 2017.