

KAJIAN FLUKS NEUTRON TERAS REAKTOR DAYA GENERASI LANJUT

Oleh :

Maman Mulyaman

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir - BATAN

ABSTRAK

KAJIAN FLUKS NEUTRON TERAS REAKTOR DAYA GENERASI LANJUT. Pada saat ini sedang dikembangkan sistem energi nuklir generasi keempat (SEN Gen IV) atau generasi lanjut oleh *Generation IV International Forum* (GIF). Sistem energi nuklir tersebut adalah : (1) *Gas-Cooled Fast Reactor* (GFR), (2) *Lead-Cooled Fast Reactor* (LFR), (3) *Molten Salt Reactor* (MSR), (4) *Sodium-Cooled Fast Reactor* (SFR), (5) *Super Critical Water Reactor* (SCWR), dan (6) *Very High Temperature Reactor* (VHTR). Dalam perkembangannya reaktor generasi lanjut diharapkan akan bisa menggantikan PLTN yang sedang beroperasi sekarang ini. Agar suatu reaktor bisa beroperasi sesuai dengan yang diharapkan, maka kajian teras reaktor merupakan suatu hal yang sangat penting untuk beroperasinya suatu reaktor. Sebagai langkah awal untuk memahami reaktor generasi lanjut, maka pada penelitian ini telah dilakukan kajian fluks neutron teras reaktor daya generasi lanjut dari reaktor jenis GFR dengan daya 600 MWth berbahan bakar U_{Pu}C/SiC dengan komposisi (U_{Pu}C=70% dan SiC=30%) dengan kandungan Pu =20%. Hasil perhitungan dengan menggunakan program komputer MCNP IVB diperoleh fluks neutron $1,851 \times 10^{15}$ n/cm²/dt.

Kata Kunci : GFR, Fluks neutron

ABSTRACT

NEUTRON FLUX ANALYSIS FOR ADVANCED GENERATION POWER REACTOR CORE. Recently the nuclear energy system generation IV (SEN Gen IV) or advanced generation is being developed by *Generation IV International Forum* (GIF). The nuclear energy systems are : (1) *Gas-Cooled Fast Reactor* (GFR), (2) *Lead-Cooled Fast Reactor* (LFR), (3) *Molten Salt Reactor* (MSR), (4) *Sodium-Cooled Fast Reactor* (SFR), (5) *Super Critical Water Reactor* (SCWR), and (6) *Very High Temperature Reactor* (VHTR). In their development, advanced generation reactors are expected to be able to replace the nuclear power plants which are operating nowadays. In order the reactor to operate with the hope, therefore the reactor core assessments are an important. The first step to understand the advanced generation reactor, in this study neutron flux analysis for gas-cooled fast reactor typed of advanced generation power reactor core, with power of 600 MWth and fuel element of U_{Pu}C/SiC with composition of U_{Pu}C = 70% and SiC = 30% where Pu content is 20% has been studied. The calculation result with MCNP IVB computer code has resulted neutron flux of 1.851×10^{15} n/cm²/sec.

Keyword : GFR, Neutron flux

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan penduduk dunia pada tahun 2050 yang akan mencapai hampir dua kali lipat, diperlukan pasokan energi yang cukup besar. Energi tersebut akan dimanfaatkan untuk membawa penduduk dunia pada perbaikan standar hidup, tingkat kesehatan yang lebih baik dan harapan hidup yang lebih panjang serta kesejahteraan yang lebih tinggi. Pemenuhan kebutuhan pasokan energi untuk mencukupi pertumbuhan penduduk dunia pada tahun 2050 dengan hanya meningkatkan produksi dari sistem pembangkit yang ada pada saat ini adalah kurang bijaksana. Teknologi yang diadopsi oleh sistem pembangkit energi yang ada mempunyai kelemahan yang signifikan, yaitu dampak negatif terhadap lingkungan. Peningkatan produksi energi dengan sistem ini akan selalu dibayangi oleh peningkatan dampak negatif terhadap lingkungan.

Pada saat ini terdapat 438 Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) yang beroperasi di seluruh dunia^[1]. PLTN tersebut menyumbang 16% pasokan energi dunia. Dari pengoperasian PLTN ini, telah disadari oleh dunia bahwa kontribusi PLTN mempunyai arti penting dalam menekan efek rumah kaca pada lingkungan. Keunggulan PLTN sebagai salah satu sistem pemasok energi dunia dengan tanpa mengeluarkan gas rumah kaca perlu dipertimbangkan sebagai salah satu cikal bakal pemasok energi dunia dimasa mendatang. Terutama untuk mengimbangi peningkatan kebutuhan energi yang mengikuti pertumbuhan penduduk dunia.

Reaktor nuklir yang bebas dari emisi gas rumah kaca secara konseptual dapat terus dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik maupun energi dalam bentuk lain. Selain untuk pembangkitan listrik, energi termal reaktor nuklir dapat dimanfaatkan untuk produksi hidrogen dan proses produksi air bersih dari air laut (proses

desalinasi). Hidrogen yang dihasilkan akan digunakan sebagai bahan bakar dalam sel bahan bakar. Sedangkan proses desalinasi, juga sangat berguna untuk memasok kebutuhan air bersih yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk.

Untuk menyongsong peningkatan kebutuhan terhadap energi yang bersih dan dengan kuantitas yang memadai serta berkelanjutan (*sustainability*), pada saat ini dikembangkan sistem energi nuklir generasi keempat oleh sepuluh negara maju yang tergabung dalam suatu forum internasional (*Generation IV International Forum, GIF*). Forum ini telah mengeluarkan enam konsep desain reaktor nuklir generasi lanjut yang diharapkan menjadi sistem energi nuklir sebagai pemasok kebutuhan energi dimasa mendatang. Penekanan desain difokuskan pada peningkatan sustainability (memperpanjang usia pasokan bahan bakar dan meminimasi kualitas dan kuantitas limbah), keandalan, keselamatan, ekonomi dan tahan proliferasi. Konsep reaktor generasi lanjut ini dirancang dapat memasok energi listrik dan energi termal untuk produksi hidrogen dan desalinasi. Keenam konsep reaktor tersebut adalah : (1) *Gas-cooled Fast Reactor (GFR)*, (2) *Lead-cooled Fast Reactor (LFR)*, (3) *Molten Salt Reactor (MSR)*, (4) *Sodium-cooled Fast Reactor (SFR)*, (5) *Super-Critical-Water-cooled Reactor (SCWR)*, (6) *Very High Temperature Reactor (VHTR)*.

Dari program pengembangan reaktor generasi lanjut, diharapkan reaktor ini akan dapat menggantikan PLTN yang sekarang sedang beroperasi, yaitu PLTN generasi II, III dan III+. Oleh karena itu, reaktor daya generasi lanjut ini sering disebut sebagai Sistem Energi Nuklir Generasi IV (SEN Gen-IV). Forum pengembang SEN Gen-IV berencana akan mulai memanfaatkan SEN Gen-IV pada tahun 2020 untuk secara

bertahap mengambil alih fungsi PLTN generasi sebelumnya.

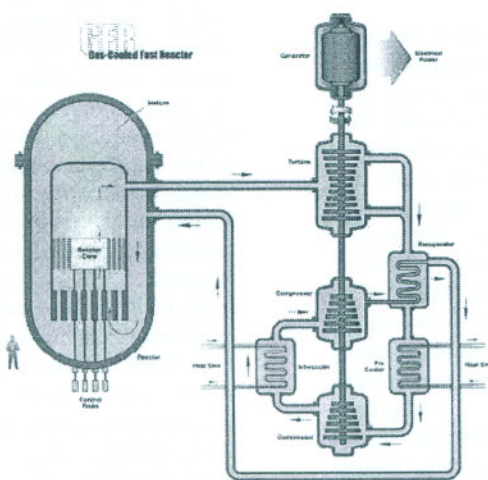
Pengembangan PLTN dimasa mendatang difokuskan untuk lebih menghemat cadangan uranium dunia dengan meningkatkan efisiensi reaktor, ramah lingkungan, aman, ekonomis dan tahan proliferasi. Selain itu PLTN generasi yang akan datang (reaktor generasi lanjut) dirancang agar dapat memasok energi listrik dan energi termal untuk produksi hidrogen dan desalinasi.

Agar suatu reaktor bisa beroperasi sesuai dengan yang diharapkan, maka kajian teras reaktor merupakan suatu hal yang sangat penting untuk beroperasinya suatu reaktor. Sebagai langkah awal untuk memahami reaktor generasi lanjut, maka pada penelitian ini telah dilakukan kajian fluks neutron teras reaktor daya generasi lanjut dari reaktor jenis *Gas-Cooled Fast Reactor (GFR)* dengan menggunakan program komputer MCNP IVB.

TEORI

Deskripsi GFR

Gas-Cooled Fast Reactor (GFR) merupakan salah satu konsep reaktor dari enam konsep reaktor generasi lanjut (Gen IV). GFR adalah jenis reaktor berpendingin gas helium dengan daya 288 MWe, efisiensi termal 48 % serta temperatur gas keluar dari reaktor 850 °C. Teras reaktor tersusun dari blok bahan bakar yang terberbentuk dari kumpulan batang (pin) atau lempengan pelat bahan bakar. Gambar 1 memperlihatkan konsep GFR^[2]. Usulan konsep ini dipelopori oleh Perancis, tetapi saat ini bentuk bahan bakar serta struktur konstruksi teras belum ditetapkan. Konsep ini masih memerlukan banyak penelitian termasuk di dalamnya tentang teknologi siklus daur bahan bakarnya.



Gambar 1. Konsep reaktor cepat berpendingin gas (GFR)

Tabel 1. Parameter reaktor GFR [2]

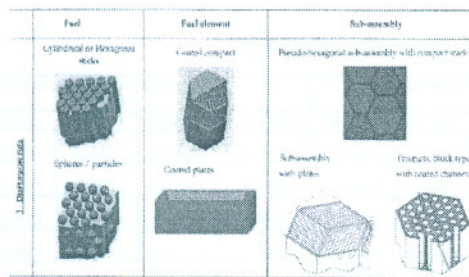
| | |
|--|---|
| Teras Reaktor | |
| Daya reaktor, MWt | 600 |
| Temperatur pendingin masukan dan keluaran °C | 490 / 850 |
| Efisiensi, % | 48 |
| Rata-rata densitas daya, MWt/m ³ | 100 |
| Debit aliran helium, kg/det | 320 |
| Bahan bakar | UPuC/SiC UPuC : 70% SiC : 30% kandungan Pu : 20% |
| Fraksi volume bahan bakar / gas He / SiC | 50%/40%/10% |

Parameter teras untuk konsep reaktor cepat berpendingin gas diperlihatkan pada Tabel 1.

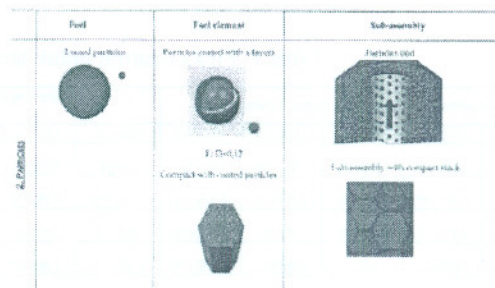
Bahan bakar GFR

Kandidat bahan bakar untuk reaktor cepat berpendingin gas adalah UPuC/SiC yang dilapisi keramik, dengan geometri berbentuk bola atau

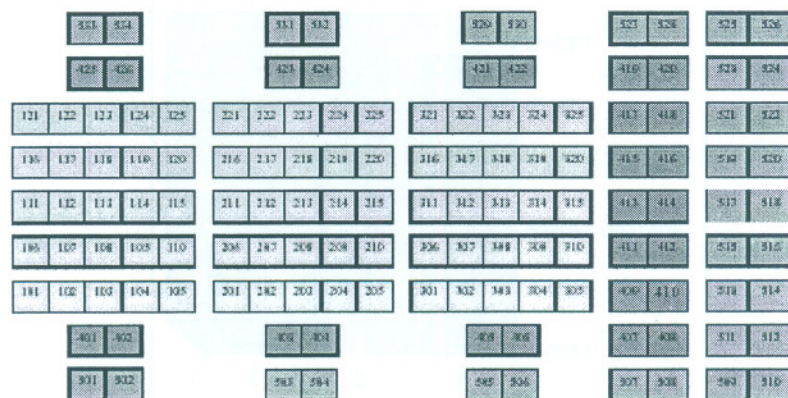
batang silinder atau batang heksagonal, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2^[3]. Adapun komposisi kandungan bahan bakar GFR adalah UPuC : 70% dan SiC : 30%, dengan kandungan Pu dalam UPuC adalah 20%.



Gambar 2a. Dispersi bahan bakar GFR



Gambar 2b. Partikel bahan bakar GFR



Keterangan

- : bahan bakar
- : re flektor
- : silencing

Gambar 3. Pemodelan teras reaktor cepat berpendingin gas.

Pemodelan

Pemodelan teras reaktor cepat berpendingin gas dilakukan dalam dua arah yaitu arah vertikal dan radial, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Elemen bakar dimodelkan dalam arah radial dengan 3 bundel bahan bakar, dimana setiap bundel elemen bakar dimodelkan dengan 25 node, dengan rincian 5 node dalam arah vertikal dan 5 node dalam arah radial, sehingga secara keseluruhan untuk bahan bakar dimodelkan menjadi 75 node.

Reflektor bagian atas dimodelkan menjadi 6 node dalam arah radial, demikian juga reflektor bagian bawah dimodelkan menjadi 6 node dalam arah radial, sedangkan bagian samping dimodelkan menjadi 14 node, dengan rincian 2 node dalam arah radial dan 7 node dalam arah vertikal.

Shielding bagian atas dimodelkan menjadi 8 node dalam arah radial, demikian juga shielding bagian bawah dimodelkan menjadi 8 node dalam arah radial, sedangkan bagian samping dimodelkan menjadi 18 node, dengan rincian 2 node dalam arah radial dan 9 node dalam arah vertikal.

Hasil Perhitungan dan Pembahasan

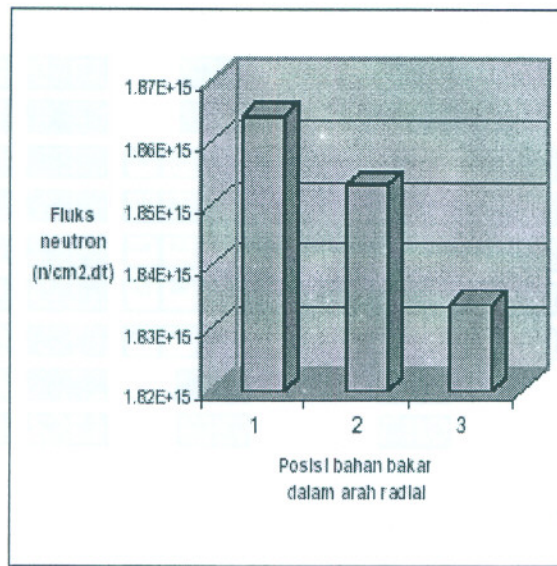
Hasil perhitungan fluks neutron untuk bahan bakar pada teras reaktor cepat berpendingin gas dengan menggunakan program komputer MCNP IVB diperlihatkan pada Tabel 2. Sesuai dengan posisi node pada Gambar 3, fluks neutron untuk masing-masing node pada bahan bakar diperlihatkan pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 2, fluks neutron untuk bundel elemen bakar di pusat teras, fluks neutron untuk ring kedua, dan fluks neutron untuk bundel elemen bakar pada posisi ring ketiga untuk reaktor cepat berpendingin gas diperlihatkan pada Gambar 4.

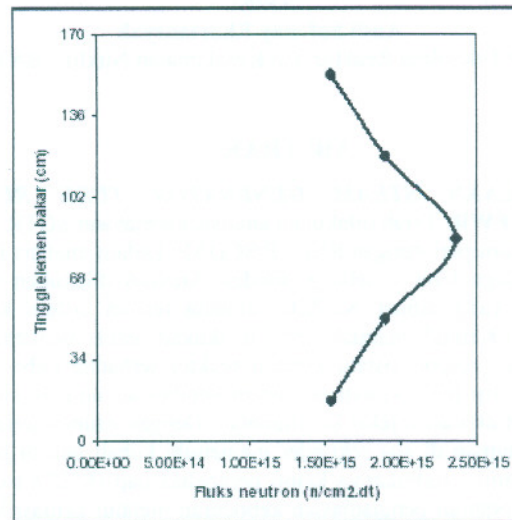
Gambar 4 memperlihatkan fluks neutron untuk posisi elemen bakar pada ring satu, ring dua, dan ring tiga. Fluks neutron untuk elemen bakar pada posisi ring satu, ring dua, dan ring tiga adalah $1,864 \times 10^{15}$ n/cm².dt, $1,853 \times 10^{15}$ n/cm².dt, dan $1,834 \times 10^{15}$ n/cm².dt. Dari Gambar 3, menunjukkan bahwa besar fluks neutron dari pusat ke arah radial semakin kecil.

Tabel 1. Fluks neutron untuk teras reaktor cepat berpendingin gas.

| Fluks neutron bundel elemen bakar 1 (n/cm ² .dt) | | | | | Fluks netron bundel elemen bakar 2 (n/cm ² .dt) | | | | | Fluks neutron bundel elemen bakar 3 (n/cm ² .dt) | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|--|----------|----------|----------|----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1.57E+15 | 1.57E+15 | 1.56E+15 | 1.56E+15 | 1.57E+15 | 1.56E+15 | 1.55E+15 | 1.54E+15 | 1.54E+15 | 1.53E+15 | 1.53E+15 | 1.53E+15 | 1.53E+15 | 1.53E+15 | 1.54E+15 | 1.52E+15 |
| 1.92E+15 | 1.91E+15 | 1.92E+15 | 1.91E+15 | 1.9E+15 | 1.9E+15 | 1.91E+15 | 1.9E+15 | 1.9E+15 | 1.9E+15 | 1.89E+15 | 1.89E+15 | 1.88E+15 | 1.87E+15 | 1.88E+15 | 1.88E+15 |
| 2.38E+15 | 2.38E+15 | 2.37E+15 | 2.38E+15 | 2.37E+15 | 2.36E+15 | 2.38E+15 | 2.37E+15 | 2.38E+15 | 2.36E+15 | 2.36E+15 | 2.35E+15 | 2.35E+15 | 2.35E+15 | 2.35E+15 | 2.34E+15 |
| 1.91E+15 | 1.91E+15 | 1.91E+15 | 1.9E+15 | 1.91E+15 | 1.91E+15 | 1.9E+15 | 1.9E+15 | 1.9E+15 | 1.9E+15 | 1.89E+15 | 1.88E+15 | 1.88E+15 | 1.87E+15 | 1.87E+15 | 1.87E+15 |
| 1.57E+15 | 1.56E+15 | 1.56E+15 | 1.56E+15 | 1.55E+15 | 1.56E+15 | 1.56E+15 | 1.56E+15 | 1.55E+15 | 1.54E+15 | 1.53E+15 | 1.53E+15 | 1.53E+15 | 1.54E+15 | 1.52E+15 | 1.52E+15 |



Gambar 4. Fluks neutron untuk posisi elemen bakar pada ring satu, ring dua, dan ring tiga.



Gambar 5. Fluks neutron berdasarkan ketinggian elemen bakar

Gambar 5 memperlihatkan fluks neutron berdasarkan posisi ketinggian pada elemen bakar, pada ujung atas dan ujung bawah elemen bakar fluks neutron relatif kecil dibandingkan dengan fluks neutron pada posisi bagian tengah elemen bahan bakar. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan MCNP IVB diperoleh fluks neutron rata-rata untuk ujung bawah elemen bakar adalah $1,548 \times 10^{15}$ n/cm².dt, untuk ujung atas elemen bakar $1,547 \times 10^{15}$ n/cm².dt, dan pada bagian tengah elemen bakar diperoleh fluks neutron sebesar $2,363 \times 10^{15}$ n/cm².dt.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan program komputer MCNP IVB, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1, fluks neutron rata-rata untuk teras reaktor cepat berpendingin gas $1,851 \times 10^{15}$ n/cm².dt.

KESIMPULAN

Dari hasil kajian fluks neutron teras reaktor generasi lanjut untuk reaktor cepat berpendingin gas, dengan menggunakan program komputer MCNP4 diperoleh :

1. Fluks neutron rata-rata pada teras reaktor cepat berpendingin gas adalah $1,851 \times 10^{15}$ n/cm.dt.

2. Fluks neutron untuk elemen bakar pada posisi ring satu, ring dua, dan ring tiga adalah $1,864 \times 10^{15}$ n/cm².dt, $1,853 \times 10^{15}$ n/cm².dt, dan $1,834 \times 10^{15}$ n/cm².dt.
3. Fluks neutron rata-rata untuk ujung bawah elemen bakar adalah $1,548 \times 10^{15}$ n/cm².dt, untuk ujung atas elemen bakar $1,547 \times 10^{15}$ n/cm².dt, dan pada bagian tengah elemen bakar diperoleh fluks neutron sebesar $2,363 \times 10^{15}$ n/cm².dt.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonimous, "Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy System", US DOE Nuclear Energy Advisory Committee and Generation IV International Forum, December 2002.
2. HUSSEIN KHALIL, "The Gas Cooled-Fast Reactor System", Argonne National Laboratory, USA
3. K.D. WEAVER, "Gen IV Nuclear Energy Systems Gas-Cooled Fast Reactor", Idaho National Engineering and Environmental Laboratory, September 2004.