

PERHITUNGAN FLUKS NEUTRON TERAS KERJA REAKTOR RSG-GAS UNTUK FASILITAS BNCT

Rokhmadi, Pudjianto MS, Syaiful Bakhri

ABSTRAK

PERHITUNGAN FLUKS NEUTRON TERAS KERJA REAKTOR RSG-GAS UNTUK FASILITAS BNCT. Telah dilakukan perhitungan distribusi fluks neutron teras kerja RSG-GAS menggunakan paket program MCNP 4b. Perhitungan diawali dengan pemodelan elemen bakar oksida U_3O_8 dengan disusun surface cell dan surface geometri dari meat, kelongsong dan air yang mengungkung elemen bakar tersebut. Untuk mendapatkan hasil fluks neutron disimulasikan (*digenerate*) 200.000 sampai dengan 2.000.000 buah neutron. Dari hasil perhitungan diperoleh fluks neutron di teras reaktor RSG-GAS dengan orde pangkat 14. Fluks tersebut cukup besar untuk fasilitas BNCT yang hanya diperlukan fluks neutron berorde pangkat 10. Dengan berbagai cara, seperti memasang perisai radiasi dan kolimator maka fluks neutron tersebut akan menurun. Dari penelitian sebelumnya (Laporan Litbang tahun 2001) diperoleh fluks neutron dengan orde pangkat 10 setelah memasang kolimator setebal 45 cm dari bahan Pb pada posisi 380 cm dari pusat teras. Dari hasil perhitungan ini yang didukung dengan laporan Litbang tahun 2001, tahun 2000 dan tahun 1999, fluks neutron cukup dan bisa jika dipasang fasilitas BNCT.

ABSTRACT

CALCULATIONS OF NEUTRON FLUX FOR BNCT FACILITY OF TYPICAL WORKING CORE MULTIPURPOSE REACTOR (RSG-GAS) USING MCNP4B CODE. Calculation of neutron flux distributions of RSG-GAS typical working core using MCNP 4b Code has been done. Prior to the calculations, modelling of fuel element of meat as well as surfaces of cladding cell and geometry should be made. The model was then included water as a containment also developed. To achieve neutron flux behavior, it was simulated 200,000 to 2,000,000 neutrons. The calculation results indicated that the neutron flux in TWC core is in the order of 10^{14} . Meanwhile, the best flux order for the BNCT facility should be in the order of 10^{10} . With the use of any method, such as constructing of shielding and collimator, the order of neutron flux will decrease. In the previous research in 2001, the results showed the neutron flux in the order of 10^{10} by installing the collimator with 45 cm thick, made of Pb and 380 cm from the core centre. The results of this research completed with the research done in 2001, 2000 and 1999 certainly support the possibility to construct the BNCT facility in RSG-GAS reactor core.

PENDAHULUAN

Karakteristik berkas neutron untuk fasilitas BNCT (*Boron Neutron Capture Therapy*) adalah mempunyai fluks neutron epithermal berorde 10^9 n $cm^{-2} s^{-1}$, paparan gamma berorde 10^{-13} Gy $cm^3 n^{-1}$ dan rasio arus neutron terhadap fluks adalah 0,63 . Neutron yang dipancarkan dari teras reaktor akan ditangkap oleh inti stabil ^{10}B yang telah diinjeksikan ke dalam *neoplastic cell* pasien, maka terjadilah reaksi nuklir, inti stabil tersebut akan berubah menjadi radioaktif sambil memancarkan partikel alpha.

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor riset dengan berbagai fasilitas iradiasi. Sebelum mendesain berkas neutron perlu dihitung besarnya fluks neutron pada teras kerja (TWC), sehingga memudahkan desain

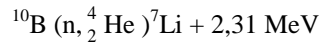
pada masing-masing berkas neutron tersebut sesuai keperluan..

Untuk menghitung fluks neutron tersebut digunakan paket program MCNP. Perhitungan dilakukan dengan cara memodelkan teras RSG-GAS beserta material dan geometrinya dan disusun input, sehingga akan terbentuk plotting teras sesuai dengan teras RSG-GAS yang sebenarnya. Kemudian disimulasikan elemen bakar masuk dalam teras sesuai dengan pemuatan teras kerja (TWC) dan di hitung besar fluks dalam teras tersebut.

TEORI

BNCT (*Boron Neutron Capture Therapy*) didasarkan pada penembakan atom Boron ^{10}B dengan partikel neutron yang berlangsung di

reaktor, sehingga akan terjadi reaksi nuklir menjadi Litium ${}^7\text{Li}$ dengan memancarkan partikel α (helium ${}^4_2\text{H}$) dan energi 2,31 MeV.



Jangkauan partikel α adalah 9 μm , jangkauan ini sama dengan diameter sel tubuh manusia sehingga tidak akan merusak sel selain yang menjadi sasaran ²⁾.

Mula-mula penderita kanker otak sebelum diterapi diinjeksikan Boron ${}^{10}\text{B}$ sebesar 45 ppm kedalam otak penderita kemudian diiradiasi di instalasi BNCT selama waktu tertentu. Lama iradiasi ditentukan dengan tingkat keparahan pasien terhadap kanker yang dideritanya. Fasilitas BNCT harus memenuhi berbagai persyaratan, setiap pasien yang diterapi harus menerima fluks neutron diatas $0,5 \times 10^9 \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, paparan gamma kurang dari $3 \times 10^{-11} \text{ cG cm}^2 \text{ n}^{-1}$ dan besarnya dosis neutron kurang dari $5 \times 10^{-11} \text{ cG cm}^2 \text{ n}^{-1}$.

PAKET PROGRAM MCNP ³⁾

Metode Monte Carlo adalah suatu teknik untuk menyelesaikan persamaan transport tidak secara eksplisit, tetapi dengan cara simulasi partikel individu dan mencatat beberapa aspek (tallies) yang mempengaruhi. Penyelesaiannya dalam bentuk persamaan integral transport. Kejadian transport partikel dipisahkan kedalam ruang dan waktu, namun diferensial ruang atau waktu atau ruang dan waktu tidak akan muncul dalam transport Monte Carlo. Sehingga persamaan integralnya tidak merupakan fungsi ruang atau waktu.

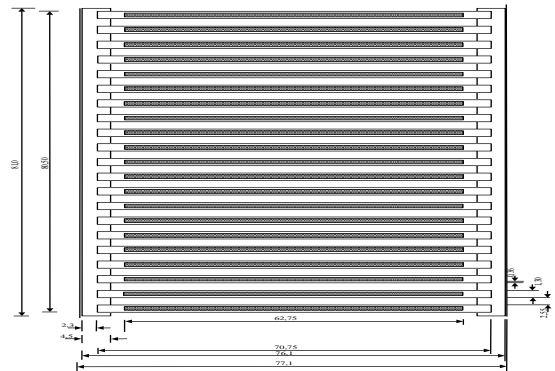
Proses statistik dalam interaksi partikel nuklir dengan material atau suatu problem sangat kompleks yang tidak bisa diselesaikan secara deterministik sekalipun, dapat diselesaikan dengan metode Monte Carlo. Probabilitas kejadian individu dapat disimulasikan sebagai proses sequential keseluruhan kejadian. Dasar pemikiran metode Monte Carlo diibaratkan permainan lotere untung-untungan atau gambling casino yaitu beruntung (1) atau gagal (0).

Paket program MCNP adalah paket program yang digunakan untuk menghitung transport neutron, photon, pasangan neutron/photon dan photon electron dalam 3 D model, menggunakan data tampang lintang kontinu & diskrit ENDF atau ENDL dan pustaka data nuklir ENDF/B V serta hamburan $S(\alpha, \beta)$. Energi neutron thermal,

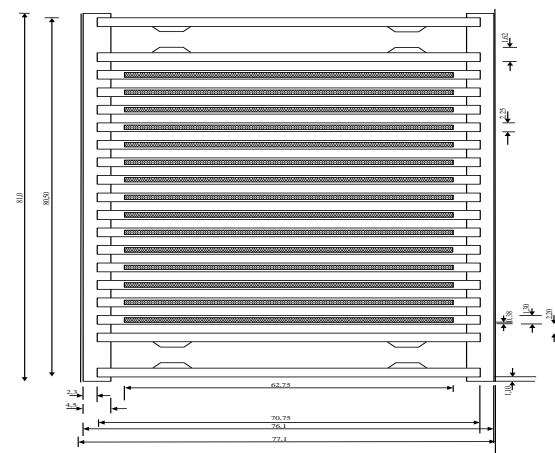
epithermal dan cepat masing-masing adalah $< 0,4 \text{ eV}$, $0,4 \text{ eV s/d } 10 \text{ eV}$ dan $> 10 \text{ keV}$.

DESKRIPSI TERAS KERJA DAN ELEMEN BAKAR RSG-GAS

Elemen bakar RSG-GAS termasuk dalam jenis MTR (Material Testing Reactor) berbentuk pelat. Pada masing-masing pelat tersusun meat $\text{U}_3\text{O}_8\text{-Al}$ setebal 0,054 cm panjang 6,275 dan tinggi 6,00 cm tersimpan dalam kelongsong AlMg3 setebal 0,038 cm dan tersusun berjajar sebanyak 21 pelat dengan jarak antar pelat 0,255 cm yang terisi air berfungsi sebagai pendingin. Penampang Elemen Bakar seperti terlihat pada gambar 1, setiap elemen bakar bermuatan 250 gram U-235 setara dengan densitas inti uranium sebesar $2,96 \text{ g U/cm}^3$. Dimensi dan material elemen kendali seperti elemen bakar namun setiap elemen kendali hanya terdiri dari 15 pelat, dan diapit *absorber blade* terbuat dari AgInCd yang berfungsi sebagai penyerap neutron, seperti terlihat pada gambar 2.



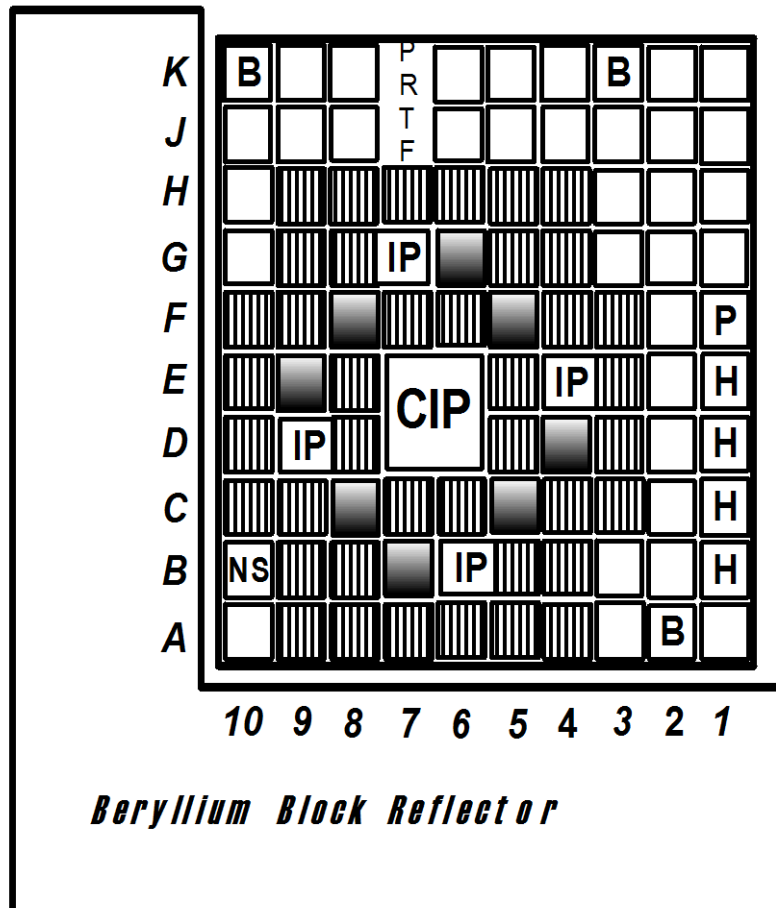
Gambar 1 : Penampang Pelat 1 Elemen Bakar Reaktor RSG-GAS












Gambar 2 : Penampang pelat 1 Elemen Kendali

Teras Kerja (Typical Working Core =TWC) Reaktor RSG-GAS tersusun dari 40 buah elemen bakar dan 8 elemen kendali, 1 posisi iradiasi utama (CIP) dan 8 posisi iradiasi yang lain . Pada sekeliling teras aktif dipasang reflektor berilium, sehingga teras

kerja RSG-GAS berbentuk bujur sangkar dengan ukuran kisi 81 mm x 77 mm, penampang teras kerja RSG-GAS seperti terlihat pada gambar 3.



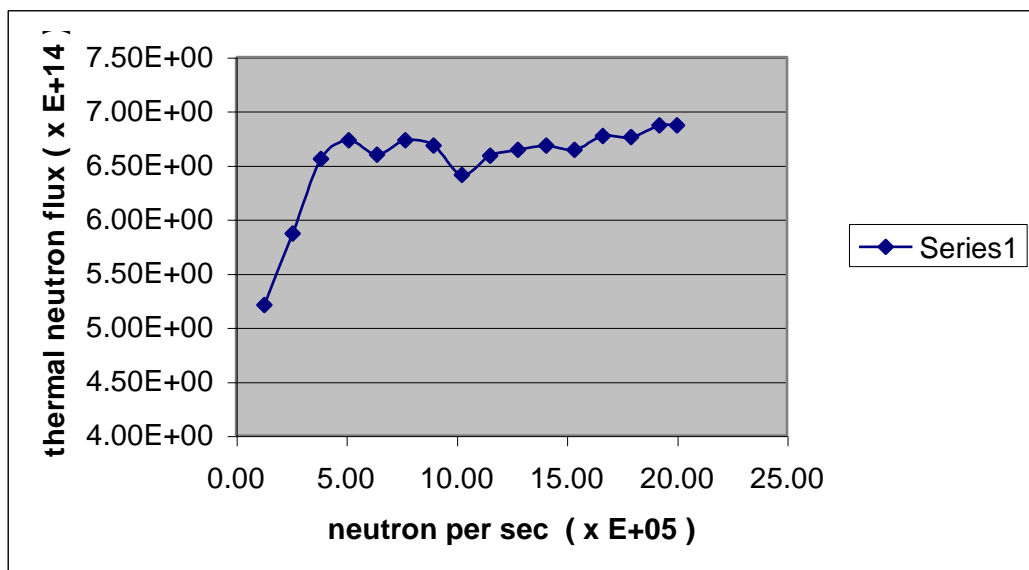
- | | |
|---|---|
|  Elemen Bakar Standar |  Posisi Iradiasi |
|  Elemen bakar Kendali |  Sumber Neutron |
|  Reflektor Berilium |  Posisi Iradiasi tengah teras |
|  Berilium stoper |  Hydraulic Rabbit System |
|  Pneumatic Rabbit System | |

Gambar 3. Konfigurasi teras setimbang Reaktor RSG-GAS

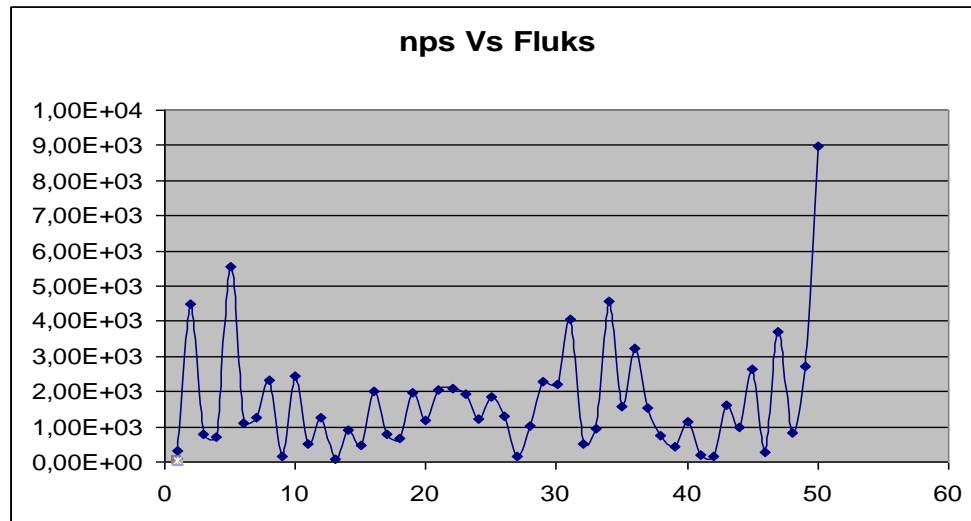
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1: Jumlah neutron vs fluk neutron

nps	Fluk neutron (n/cm det)
128000	5.21E+14
256000	5.87E+14
384000	6.56E+14
512000	6.73E+14
640000	6.60E+14
768000	6.73E+14
896000	6.68E+14
1024000	6.41E+14
1152000	6.59E+14
1280000	6.64E+14
1408000	6.68E+14
1536000	6.64E+14 </td
1664000	6.77E+14
1792000	6.76E+14
1920000	6.87E+14
2000000	6.87E+14



Gambar 4 : Grafik Distribusi Fluks Neutron Teras Kerja RSG-GAS



Gambar 5 : Grafik Jumlah Simulasi Neutron

Dari perhitungan fluks neutron teras kerja RSG-GAS terlihat bahwa harga fluks fluktuatif pada orde pangkat 14, seperti terlihat pada tabel 1 dan gambar 3. Pada perhitungan ini masih menemui kendala khususnya pada simulasi desain teras kerja RSG-GAS, karena rumitnya menyusun input untuk teras tersebut. Untuk mengatasi kendala tersebut dibuat asumsi menghomogenisasi teras kerja, sehingga teras menjadi sangat sederhana dengan 1 elemen bakar nuklir. Hasil perhitungan dari asumsi ini banyak kelemahan, karena material penyekat pada masing masing kisi teras berukuran 81 mm x 77 mm yang terbuat dari aluminium terabaikan. Pada hal pada perhitungan menggunakan paket program MCNP peranan material beserta geometrinya sangat berpengaruh, sehingga hasilnya pun juga kurang memuaskan. Asumsi ini hanya cukup menggambarkan besarnya fluks neutron teras kerja reaktor RSG-GAS. Untuk

mendapatkan hasil yang akurat perlu dihitung kembali sesuai dengan susunan material dan geometri pada masing-masing matrik teras kerja reaktor RSG-GAS tersebut dan dibandingkan dengan perhitungan dengan paket program lain maupun dengan hasil eksperimen.

Peranan jumlah simulasi neutron juga berpengaruh terhadap besar fluks neutron, terlihat pada gambar 4 bahwa fluks neutron drastis naik mulai pada 50 neutron perdetik, setelah itu mulai pada simulasi 200.000 neutron perdetik harga fluks neutron selalu pada orde pangkat 14.

KESIMPULAN

Fluks neutron Reaktor RSG-GAS layak dan layak untuk fasilitas BNCT

DAFTAR PUSTAKA

1. BATAN – INTERATOM, 1989, “ *Safety analysis Report, Multipurpose Reactor GA. Siwabessy, Rev. 7, Chap. 4*”
2. Maucec. M, *Conceptual Design of A Clinical BNCT Beam in An Adjacent Dry Cell of The Jozef Stefan Institute Triga Reactor*, Nuclear Technology Vol 132 Nov 2000, p 178-195
3. Booth, T.E. et.al, 1997, “*MCNP4B2 – Monte Carlo N-Particle Transport Code System*”.
4. Rokhmadi et al, *Perhitungan Perisai Radiasi Reaktor RSG-GAS Menggunakan Paket Program MCNP*, Laporan Penelitian P2TRR Tahun 2000.
5. Matsumoto, T, *Design Studies of an Epithermal Neutron Beam For Neutron Capture Therapy at the Musashi Reactor*, Journal of Nuclear Science and Technology , 32(2) pp. 87-94 (February 1995)
6. Rokhmadi et al, *Disain Awal Kolimator BNCT di Tabung Berkas S3 RSG-GAS dengan PAKET PROGRAM MCNP*, Laporan Penelitian P2TRR Tahun 2001
7. Endiah PH, *Diktat Perpindahan Panas*, Diklat Penyegaran Operator, 3-24 Nopember 2000.