

**PERHITUNGAN BAHAN BAKAR YANG TERSISA PADA  
*REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY (RSG-GAS)*  
MENGUNAKAN MCNPX**

**SKRIPSI**

Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S-1  
Program Studi Fisika



diajukan oleh :

Nur Hidayah

10620012

Kepada

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA  
2014**



## SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal :

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Nur Hidayah  
NIM : 10620012  
Judul Skripsi : Perhitungan Sisa Bahan Bakar yang Tersisa pada *Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy* (RSG-GAS) Menggunakan MCNPX

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Fisika

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 03 Oktober 2014

Pembimbing

Dr. Suharyana, M.Sc

NIP. 1961 1217 198903 1 003



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Surat Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Nur Hidayah

NIM : 10620012

Judul Skripsi : Perhitungan Bahan Bakar yang Tersisa pada *Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS)* Menggunakan MCNPX

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Jurusan Fisika

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 19 Oktober 2014

Pembimbing II

Nita Handayani, M.Si.

NIP. 19820126 200801 2008



**PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/3248/2014

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : Perhitungan Bahan Bakar Yang Tersisa Pada *Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy* (RSG-GAS) Menggunakan MCNPX

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :  
Nama : Nur Hidayah  
NIM : 10620012  
Telah dimunaqasyahkan pada : 23 Oktober 2014  
Nilai Munaqasyah : A-

Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

**TIM MUNAQASYAH :**

Ketua Sidang

Dr. Suharyana, M.Sc.  
NIP.196112171989031003

Anggota Penguji I  
Anggota Kaprodi Fisika

Frída Agung Rahmadi, M.Sc  
NIP. 19780510 200501 1 003

Penguji II

Cecilia Yanuarif, M.Si.

Yogyakarta, 03 November 2014  
UIN Sunan Kalijaga  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Dekan



Prof. Drs. H. Akh. Minhaji, M.A, Ph.D  
NIP. 19580919 198603 1 002

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi – sanksi lainnya sesuai dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Yogyakarta 20 Oktober 2014

Yang menyatakan



Nur Hidayah  
10620012

## MOTTO



*Hati adalah ukuran yang membedakan antara kebaikan dengan kehebatan.*

*(Michael Jordan)*

*Karena untuk berbicara orang harus lebih dulu mendengarkan, belajarlaha bicara dengan mendengarkan.*

*(Jalaluddin Rumi)*

*Kita hidup dengan apa yang kita peroleh. Tapi, kita memperoleh kehidupan dengan apa yang kita beri.*

*(Winston Churchill)*

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Karya ini penulis persembahkan untuk:*

✚ *Ibu dan Bapak tersayang, sebagai pahlawan hidupku*

*jantung hidupku*

✚ *Keluarga besar penulis yaitu keluarga Alm. Ardi dan*

*keluarga Sahid*

✚ *Almamater tercinta Prodi Fisika Fakultas Sains dan*

*Teknologi UIN Sunan Kalijaga*

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kehadiran Allah SWT., karena atas berkat, rahmat dan karunia-Nya, penulis masih diberikan kesehatan dan kekuatan hingga saat ini, sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat dan salam semoga terlimpah kepada Junjungan kita yakni Nabi Muhammad S.A.W., Nabi pendobrak kebatilan yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan ke zaman yang terang benderang seperti sekarang.

Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir (skripsi) dengan judul **“Perhitungan Bahan Bakar yang Tersisa pada Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) Menggunakan MCNPX”** dengan baik. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan yang datang dari berbagai pihak yang sangat berarti, untuk itu dengan segenap kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Musa Asya'ri, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta
2. Prof. Drs. H. Akhmad Minhaji, M.A., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc, selaku Ketua Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Retno Rahmawati, M.Si, selaku Penasehat Akademik Program Studi Fisika dan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.



5. Dr. Suharyana, M.Sc, dan Nita Handayani, M.Si selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan semangat serta memberikan bimbingan dengan penuh keikhlasan dan keterbukaan.
6. Semua staff Tata Usaha dan karyawan di lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi serta Laboratorium Terpadu UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
7. Ibunda dan ayahanda tercinta yang senantiasa membimbing, mengingatkan, menawarkan nasihat, memberi semangat dan berdo'a untuk kesuksesan putrinya.
8. Mbak Bila yang selalu berbagi dan bertukar informasi demi terselesaikannya skripsi ini.
9. Kawan-kawan tersayang Fisika 2010, Dwi, Fuad, Fiqih, Alan, Hera, Ary, Luthfi, Irul, Bambang, Nana, Antik, Aya, Fitri, Hani, Alaika, Shidiq, Yapie, Dani, Kukuh yang telah menjadi keluarga kedua bagi penulis.
10. Kawan-kawan coklat, Zayyin, Sulis, Hani, Atik, Tia, Yayan, Pipit, Uci, Nopa, Indah, Dita yang selalu memberi semangat dikala penulis lagi galau.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis sehingga laporan penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis hanya dapat berdo'a semoga mereka mendapatkan balasan kebaikan yang berlipat ganda dan penulis berharap semoga karya sederhana ini dapat bermanfaat. Aamiin. Untuk menjadikan tulisan ini lebih baik, penulis mengharapkan saran dan kritik para pembaca.

Yogyakarta, Oktober 2014

Penulis

**PERHITUNGAN BAHAN BAKAR YANG TERSISA PADA REAKTOR  
SERBA GUNA G.A. SIWABESSY (RSG-GAS) MENGGUNAKAN MCNPX**

**Nur Hidayah  
10620012**

**INTISARI**

Telah dilakukan perhitungan bahan bakar yang tersisa pada *Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy* (RSG-GAS) menggunakan paket program MCNPX. Metode perhitungan sisa bahan bakar ini dilakukan dengan menggunakan paket program MCNP yang menerapkan metode Monte Carlo yang bersifat statistik dalam mencari penyelesaiannya. Komponen-komponen atau material dalam reaktor ini dimodelkan dalam bentuk geometri, dimensi dan komposisi yang sedekat mungkin dengan objek aslinya. Perhitungan sisa bahan bakar reaktor RSG-GAS, dibutuhkan data ukuran material bahan yang dirujuk dari Laporan Analisis Keselamatan (LAK). Data ini dibutuhkan untuk membuat masukan MCNPX yang digunakan untuk menghitung sisa bahan bakar reaktor setelah beroperasi, dengan memberikan karakter *input* berupa lama waktu operasi, daya, fraksi, material dan spesifikasi nomor material diperoleh hasil *output* MCNPX berupa konsentrasi dari bahan bakar. *Output* yang diperoleh, diketahui terdapat banyak nuklida baru yang terbentuk dari pembelahan hasil reaksi fisi yang mempunyai massa yang berbeda-beda. Hal ini terjadi karena massa dari produk fisi tidak selalu sama persis, tetapi bervariasi. Selanjutnya, dari massa dari bahan bakar dilakukan perhitungan fraksi bakar. Hasil yang diperoleh adalah jumlah fraksi bakar yang tersisa pada reaktor RSG-GAS setelah beroperasi selama berturut-turut 3, 4, 5 dan 6 hari sebesar 97,511%, 97,516%, 97,522% dan 97,528%.

**Kata Kunci:** Fraksi bakar, LAK, MCNPX, nuklida, reaksi fisi, produk fisi, reaktor RSG-GAS.

**CALCULATION OF THE REMAINING FUEL IN THE *REACTOR SERBA*  
*GUNA G.A. SIWABESSY (RSG-GAS) USING MCNPX***

**NurHidayah**  
**10620012**

**ABSTRACT**

Calculations have been carried out on the remaining fuel *Reactor Serba Guna G.A. Siwabessy* (RSG-GAS) using the program package MCNPX. The method of calculating the residual fuel was performed using the program package MCNPX applying the Monte Carlo method is statistical in finding the solution. Components or materials in the reactor is modeled in the form of geometry, dimensions and composition as close as possible to the original object. Calculation of residual fuel RSG-GAS reactor, the data size of the material needed materials referenced from Safety Analysis Reports (SARs). This data is needed to make the MCNPX input that is used to calculate the rest of the reactor fuel after the operation, by providing input in the form of characters long operation time, power, fractions, material and material specification numbers obtained MCNPX output results in the form of fuel mass. Output is obtained, it is known that there are many new nuclides formed from the cleavage of fission product having a different mass. This occurs because the mass of fission products are not always exactly the same, but it varies. Furthermore, the mass of the fuel burn up calculation. The result is the amount of fuel remaining fraction of the RSG-GAS reactor after operating for successive 3, 4, 5 and 6 days of 97.511%, 97.516%, 97.522% and 97.528%.

**Key Words:** Fraction of fuel, LAK, MCNPX, nuclides, fission, fission products, RSG-GAS reactor.

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR</b> .....	iii
<b>SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR</b> .....	iv
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b> .....	vi
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	vii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	viii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ix
<b>INTISARI</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Batasan Penelitian .....	6
1.5 Manfaat Penelitian .....	7

<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Studi Pustaka .....	8
2.2 Landasan Teori .....	9
2.2.1 Reaktor .....	9
2.2.1.1 Bahan Bakar Nuklir / Bahan Dapat Belah .....	15
2.2.1.2 Bahan Moderator .....	16
2.2.1.3 Pendingin .....	16
2.2.1.4 Batang Kendali .....	17
2.2.1.5 Perisai Beton .....	20
2.2.2 Fraksi Bakar ( <i>Burn-up</i> ) .....	20
2.2.3 Deskripsi <i>Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy</i> (RSG-GAS) ....	21
2.2.3.1 Deskripsi Elemen Bakar Standar RSG-GAS .....	23
2.2.3.2 Elemen Bakar Kendali .....	25
2.2.3.3 Bahan Bakar Uranium Silsida ( $U_3Si_2-Al$ ) .....	26
2.2.4 Perangkat Lunak Monte Carlo N-Particle (MCNP) .....	29
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
3.1 Alokasi Waktu Penelitian .....	32
3.1.1 Waktu Penelitian .....	32
3.1.2 Tempat Penelitian .....	32
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	32
3.3 Metode Perhitungan .....	34
3.4 Prosedur Pembuatan Simulasi .....	34

3.4.1	Pemodelan Perangkat Bahan Bakar RSG-GAS .....	34
3.4.2	Model Geometri RSG-GAS .....	35
3.2.3	Prosedur Pembuatan <i>File Input</i> dan Pengolahan Data .....	35
3.5	Metode Analisa .....	37
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>38</b>
4.1	Hasil Penelitian .....	38
4.1.1	Grafik Hasil Penelitian.....	38
4.1.2	Analisa Data.....	39
4.2	Pembahasan.....	40
4.2.1	Pengaruh Variasi Lama Waktu Reaktor Beroperasi Terhadap Massa Bahan Bakar .....	42
4.2.2	Pengaruh Variasi Lama Waktu Reaktor Beroperasi Terhadap Massa Masing-Masing Bahan Bakar .....	43
4.2.3	Massa Bahan Bakar Setelah Reaktor Beroperasi Selama 3-6 Hari	43
4.2.2	Pengaruh Variasi Lama Waktu Reaktor Beroperasi Terhadap Hasil <i>Burn up</i> .....	44
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>46</b>
5.1	Kesimpulan .....	46
5.2	Saran .....	46
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>48</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>51</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Data bahan bakar .....	25
<b>Tabel 2.2</b> Spesifikasi reaktor RSG-GAS .....	29
<b>Tabel 3.1</b> Data <i>burn</i> untuk <i>input</i> MCNPX .....	35
<b>Tabel 4.1</b> Hasil perhitungan sisa bahan bakar RSG-GAS .....	39



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Proses terjadinya reaksi fisi .....	14
<b>Gambar 2.2</b> Gedung Pusat Reaktor Serba Guna <i>G.A. Siwabessy</i> .....	14
<b>Gambar 2.3</b> Teras RSG-GAS .....	15
<b>Gambar 2.4</b> Sistem pendingin primer RSG-GAS .....	18
<b>Gambar 2.5</b> Elemen bakar RSG-GAS .....	24
<b>Gambar 2.6</b> Elemen kendali RSG-GAS .....	26
<b>Gambar 2.7</b> Susunan teras setimbang .....	27
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir penelitian .....	36
<b>Gambar 4.1</b> Pengaruh variasi lama waktu reaktor beroperasi terhadap massa masing-masing nuklida hasil reaksi fisi .....	38
<b>Gambar 4.2</b> Pengaruh variasi lama waktu reaktor beroperasi terhadap massa $U^{238}$ .....	39
<b>Gambar 4.2</b> Pengaruh variasi lama waktu reaktor beroperasi terhadap massa $U^{235}$ .....	39



## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Perhitungan <i>burn up</i> RSG-GAS .....	51
<b>Lampiran 2</b> Perhitungan % ketepatan massa $U^{235}$ .....	53



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat dewasa ini, termasuk kemajuan dalam bidang teknologi nuklir telah mengantarkan umat manusia kepada tingkat kehidupan yang lebih baik dibanding pada waktu sebelumnya. Usaha manusia untuk meningkatkan kehidupannya ke arah yang lebih baik tidak akan pernah berhenti dan akan terus berjalan sampai akhir zaman nanti. Aplikasi teknologi nuklir merupakan suatu kemajuan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir yang pada saat ini telah banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang kegiatan, seperti bidang energi, bidang industri, bidang kedokteran, bidang pertanian, bidang arkeologi, dan lain-lainnya. Aplikasi teknologi nuklir yang begitu banyak dan terbukti besar sekali manfaatnya bagi kehidupan umat manusia harus dapat diikuti kemajuannya agar tidak ketinggalan dan dapat ikut memanfaatkannya. Sebagaimana yang dijelaskan dalam QS. Yunus (10): 61.

وَمَا تَكُونُ فِي شَأْنٍ وَ مَا تَتْلُوا مِنْهُ مِنْ قُرْآنٍ وَلَا تَعْمَلُونَ مِنْ عَمَلٍ إِلَّا كُنَّا عَلَيْكُمْ  
شُهُودًا إِذْ تُفِيضُونَ فِيهِ وَ مَا يَعْرُبُ عَنْ رَبِّكَ مِنْ مِّثْقَالِ ذَرَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي  
الْأَسْمَاءِ وَلَا أَصْغَرَ مِنْ ذَلِكَ وَلَا أَكْبَرَ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُبِينٍ (يونس: )

Artinya: “Kamu tidak berada dalam suatu keadaan dan tidak membaca surat ayat dari Al-Qur’an dan kamu tidak mengerjakan suatu pekerjaan, melainkan

Kami menjadi saksi atasmu di waktu kamu melakukannya. Tidak luput dari pengetahuan Tuhanmu biarpun sebesar zarah (atom) di bumi ataupun di langit. Tidak ada yang lebih kecil dan tidak (pula) yang lebih besar dari itu, melainkan (semua tercatat) dalam kitab yang nyata (*Lauh Mahfuzh*)”.

QS. Yunus: 61

Maksud dari ayat di atas bahwa massa raksasa dan reaksi-reaksi nuklir hebat yang terjadi didalamnya terus melakukan aktivitas selama berjuta-juta tahun dalam keharmonisan sempurna dengan bumi dan perilaku terkendali (Harun Yahya, T.T). Untuk memahami betapa hebat, terkendali, dan seimbangny sistem ini, kita hanya perlu megingat bahwa sehebat-hebatnya manusia dalam mengendalikan sumber tenaga nuklir paling sederhanapun maka ketika Tuhan mengizinkan hal yang lain maka semuanya hanyalah sia-sia. Seperti contoh pada reaktor Chernobyl, tidak ada ilmuwan, tidak peralatan teknologi canggih yang mampu mencegah kecelakaan nuklir yang terjadi di reaktor Chernobyl di Rusia pada tahun 1986. Dikatakan bahwa efek kecelakaan nuklir ini bertahan hingga 30-40 tahun. Walaupun ilmuwan telah menutup bagian reaktor yang terkontaminasi dengan beton sangat tebal untuk mencegah kerusakan lebih lanjut, belakangan dikabarkan bahwa ada kebocoran pada beton ini. Tidak hanya ledakan nuklir, kebocoran nuklir saja sudah sangat berbahaya bagi kehidupan manusia, dan sains tidak berdaya terhadap ancaman ini (Harun Yahya, T.T) dalam arti bahwasanya Maha suci Dzat yang apabila menghendaki segala sesuatu hanyalah berkata kepadanya “Jadilah”, maka terjadilah ia.

Di sini, kita berhadapan dengan kekuatan Allah yang Maha Luas dan kedaulatan-Nya pada setiap partikel (atom) di alam semesta dan partikel-partikel subatomik di dalamnya (proton, neutron) (Harun Yahya, T.T). Dimana kekuatan Allah dan kedaulatan-Nya atas segala sesuatu yang diciptakan-Nya dinyatakan dalam QS. Yunus: 61 di atas.

Penggunaan energi baru terbarukan pada reaktor nuklir sudah tentu akan terkait dengan limbah dan pembentukan nuklida atau bahan bakar baru yang dihasilkan setelah reaktor dioperasikan. Begitu juga dengan *Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy* (RSG-GAS) yang merupakan reaktor jenis MTR (*Material Testing Reactor*) yang berfungsi untuk penelitian, produksi isotop, Analisis Aktivasi Neutron (AAN) dan produksi silikon doping, dalam terminologi nuklir, keselamatan (*safety*) meliputi keselamatan terhadap fasilitas nuklir dan aktivitas yang berpotensi mengakibatkan bahaya radiasi. Selain itu reaktor nuklir didesain secara khusus sedemikian sehingga di dalamnya dapat terjadi reaksi pembelahan inti secara berantai. Di dalam reaktor terjadi reaksi pembelahan inti, setelah bahan bakar fisil bereaksi dengan neutron termal. Setiap reaksi pembelahan akan menghasilkan neutron baru. Neutron ini dapat melanjutkan reaksi pembelahan dengan inti bahan fisil, sehingga reaksi inti berantai dapat terjadi.

Dalam reaktor nuklir PLTN, panas yang dihasilkan digunakan untuk membangkitkan listrik, sedangkan di dalam reaktor penelitian RSG-GAS dimanfaatkan neutronnya untuk produksi radioisotop, AAN, hamburan neutron dan lain-lain. Dalam reaktor nuklir PLTN, reaksi fisi berantai dipertahankan kontinuitasnya dalam bahan bakar sehingga bahan bakar menjadi panas. Bahan

bakar nuklir dirancang agar dapat memberikan unjuk kerja yang optimal selama pemakaiannya di reaktor. Hal ini mempertimbangkan pengoperasian reaktor pada suhu tinggi, dengan fluks panas yang tinggi dan radiasi tinggi. Pada prinsipnya, persyaratan bahan bakar nuklir adalah dapat menghasilkan energi fisi sesuai yang dipersyaratkan dengan derajat bakar (*burn-up*) tertentu dan memiliki sifat *thermal* yang baik agar transfer panas ke pendingin berlangsung secara efisien. Disamping itu, bahan bakar juga harus memiliki struktur yang dapat bertahan dengan baik selama pemakaiannya di reaktor. Hal ini dikarenakan, bahan yang mengalami radiasi di reaktor dapat mengalami perilaku unik, disamping terjadinya perubahan stoikiometri bahan. Perilaku tersebut dapat berakibat pada potensi bahaya berupa pelepasan produksi fisi yang radioaktif dari batang bahan bakar (Pusdiklat-BATAN, 2010).

Setelah reaktor beroperasi selama jangka waktu tertentu, maka akan terjadi pengurangan atau penyusutan bahan bakar. Penyusutan bahan bakar akan menyebabkan jumlah reaksi fisi yang terjadi berkurang dan neutron yang dihasilkan pada tiap siklus juga akan berkurang (Athiqoh *et al.*, 2014). Oleh karena itu, penelitian ini menyajikan perhitungan sisa bahan bakar yang terjadi setelah reaktor beroperasi. Hal ini penting dilakukan karena sisa bahan bakar merupakan parameter yang terkait langsung dengan kekuatan material bahan bakar setelah diiradiasi di dalam teras reaktor sehingga nilai ini berkaitan dengan keselamatan operasi reaktor.

Dari pemaparan di atas, maka dapat dilakukan perhitungan jumlah bahan bakar yang tersisa pada sebuah teras reaktor. Walaupun ada beberapa cara untuk mengetahui jumlah bahan bakar yang tersisa pada teras reaktor, akan tetapi pada

penelitian ini untuk menghitung jumlah bahan bakar yang tersisa pada reaktor digunakan sebuah pemrograman komputer. Dengan pemahaman yang baik tentang bahasa pemrograman dan urutan proses suatu kerja program, maka dapat diciptakan suatu aplikasi yang mampu menyelesaikan persoalan tersebut dengan hasil yang secara langsung dapat ditampilkan dalam bentuk grafik (Rahmawati, 2009).

Dalam penelitian ini digunakan program MCNPX (*Monte Carlo N-Particle eXtended*). Program MCNPX menggunakan metode Monte Carlo yang bersifat statistik. Program ini melakukan simulasi perjalanan hidup neutron mulai dari neutron tersebut lahir sampai neutron tersebut diserap oleh material penyusun teras reaktor.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka terdapat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menghitung bahan bakar yang tersisa pada reaktor RSG-GAS dengan MCNPX?
2. Bagaimana pengaruh variasi lama waktu reaktor beroperasi terhadap hasil simulasi perhitungan bahan bakar yang tersisa pada reaktor RSG-GAS?
3. Berapa jumlah bahan bakar yang tersisa pada RSG-GAS dari hasil perhitungan berdasarkan *output* dari MCNPX?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui cara menghitung bahan bakar yang tersisa pada reaktor RSG-GAS.
2. Mengetahui pengaruh variasi lama waktu reaktor beroperasi terhadap hasil simulasi perhitungan bahan bakar yang tersisa pada reaktor RSG-GAS.
3. Menghitung jumlah bahan bakar yang tersisa pada reaktor RSG-GAS dari hasil perhitungan berdasarkan *output* MCNPX.

### 1.4 Batasan Penelitian

Untuk menghindari meluasnya objek kajian dalam penelitian ini, maka diberikan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Pembuatan simulasi bahan bakar dalam teras reaktor RSG-GAS menggunakan daya 15 MW.
2. Variasi lama waktu reaktor beroperasi selama 3, 4, 5 dan 6 hari.
3. Pemodelan yang dibuat adalah berdasarkan elemen bakar RSG-GAS dengan ukuran yang sama dengan ukuran aslinya yaitu  $7,61\text{cm} \times 8,05\text{cm} \times 60\text{cm}$ .
4. Penelitian ini dilakukan perhitungan sisa bahan bakar reaktor RSG-GAS menggunakan paket program MCNPX dalam perangkat bahan bakar.
5. Fraksi bakar (*Burn-up*) tergantung pada tingkat pengkayaan bahan bakar  $U^{235}$  sebesar 19,75%, daya dan lama waktu reaktor dioperasikan, temperatur teras serta moderator.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai sisa bahan bakar pada reaktor sehingga dapat dilakukan tindakan secara langsung agar reaktor tetap dapat beroperasi dan aman.
2. Memberikan informasi tentang waktu penggantian bahan bakar.
3. Menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai perhitungan sisa bahan bakar reaktor.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan diantaranya:

1. Untuk menghitung bahan bakar yang tersisa pada reaktor RSG-GAS dapat menggunakan MCNPX yaitu dengan memberikan *input* bahan bakar (*burn*) sesuai panduan di *user manual* MCNPX. Adapun masukan dari bahan bakar itu terdiri dari *time*, *power*, *pfrac*, *mat* dan *omit*.
2. Pengaruh variasi lama waktu reaktor beroperasi terhadap hasil simulasi perhitungan bahan bakar yang tersisa pada reaktor RSG-GAS, bahwa semakin lama reaktor beroperasi (3 hari sampai 6 hari) maka konsentrasi nuklida semakin kecil.
3. Jumlah bahan bakar yang tersisa pada reaktor RSG-GAS setelah beroperasi selama berturut-turut 3, 4, 5 dan 6 hari sebesar 97,511%, 97,516%, 97,522% dan 97,528%.

#### 5.2 Saran

Terkait dengan perhitungan bahan bakar yang tersisa pada reaktor RSG-GAS dengan menggunakan MCNPX, ada beberapa hal yang disarankan oleh peneliti:

1. Untuk penelitian selanjutnya dilakukan variasi waktu operasi yang sesuai dengan lama waktu reaktor beroperasi yang sesungguhnya dan daya yang

besar dengan menggunakan komputer dengan *spec* yang tinggi atau superkomputer untuk proses *running* agar didapatkan nilai sisa bahan bakar yang sesuai dengan LAK.

2. Untuk penelitian selanjutnya perhitungan sisa bahan bakar pada reaktor dapat diterapkan pada teras reaktor selain RSG-GAS.
3. Pemakaian simulasi ini baru sebatas perhitungan sisa bahan bakar. Untuk penelitian lebih lanjut, model teras reaktor juga dapat digunakan untuk perhitungan nilai  $k_{eff}$ , atau yang lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2014. “**Gedung Pusat Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy**”. (Diakses tanggal 26 September 2014, pukul 19:32 WIB) <<http://www.batan.go.id/prsg>>
- Anonim. 2014. “**Proses Terjadinya Reaksi Fisi**”. (Diakses tanggal 26 September 2014, pukul 19:32 WIB) <<http://indone5ia.wordpress.com/2012/02/17/prinsip-kerja-pembangkit-listrik-tenaga-nuklir>>
- Anonim. 2014. “**Sistem Pendingin Primer RSG-GAS**”. (Diakses tanggal 26 September 2014, pukul, 19:32 WIB) <[http://www.batan.go.id/prsg/index.php?option=com\\_content&task=view&id=37&Itemid=71](http://www.batan.go.id/prsg/index.php?option=com_content&task=view&id=37&Itemid=71)>
- Anonim. 2014. “**Teras RSG-GAS**”. (Diakses tanggal 26 September 2014, pukul 19:32 WIB) <[http://www.batan.go.id/prsgindex.php?option\\_Content&task=view&id=28&Itemid=61](http://www.batan.go.id/prsgindex.php?option_Content&task=view&id=28&Itemid=61)>
- Atihqoh Fatkhiyatul, Budi W. Setia, Anam Choirul & Tjiptono T. Wulan. 2014. *Distribusi Fluks Neutron Sebagai Fungsi Burn-Up Bahan Bakar pada Reaktor Kartini*. Youngster Physics Journal. Vol. 3, No. 2, Hal 107-112.
- Badan Tenaga Nuklir, “*Laporan Analisis Keselamatan Reaktor RSG-GAS Rev. 10*” Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG)-BATAN, Serpong, 2011.
- Budi, W. 1999. *Penentuan Burn-up Bahan Bakar Reaktor Kartini berdasarkan Aktivasi Produksi Fisi Cs-137*. Tesis Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Harun Yahya, T.T. *Pustaka Sains Populer Islami*.
- Imron, M. dan Sunardi, A., 2012. *Perhitungan Burn Up Bahan Bakar Reaktor RSG-GAS Menggunakan Paket Program BATAN-FUEL*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir.
- Judith, F. Briemsmeiter. 1997. *MCNP A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 4 B*. University of California : California.
- Krane, K.S., 1992. *Fisika Modern*. Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Kuntoro, I., 2000. *Kumpulan Diktat Diklat Selingkung Penyegaran Operator dan Supervisor Reaktor, Bidang Operasi Reaktor PUSBANG Teknologi Reaktor Riset BATAN*, Serpong.

- Pelowitz, Denise B., ed., April 2008. “*MCNPX User’s Manual, Version 2.6.0,*” LA-CP-07-1473.
- Penyusun, Tim. 2012. *Pedoman penulisan skripsi untuk program studi fisika*, Program studi fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Pusdiklat-BATAN, 2010.
- Rahmawati, Anis. 2009. *Kekuatan Beton Normal Fas 0,6 Sebagai Perisai Radiasi Gamma*. Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan UNS.
- Rahmawati, Retno. 2005. *Distribusi Intensitas Radiasi Gamma Sebagai Fungsi Perisai dengan Menggunakan Metode MCNP versi 4b pada Beam Port Radial Reactor Nuklir*. FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Ruslan, T.T. *Buku Pintar Nuklir*.
- Setyawan Daddy, Rohman Budi, Isnaeni Arif. 2011. *Verifikasi Data Fraksi Bahan Bakar pada Akhir Siklus Teras 69 Teras Reaktor RSG-GAS*. Prosiding Seminar Nasional ke-17 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir Yogyakarta, 01 Oktober 2011, **ISSN:0854-2910**.
- Setyawan Daddy, Rohaman Budi. 2013. *Kajian Pengaruh Kerapatan Moderator Terhadap Reaktivitas Reaktor RSG-GAS*. Seminar Keselamatan Nuklir. **ISSN:1412-3258**.
- Shultis J.K., dan Faw. R.E. 2010. *An MCNP Primer*. Manhattan: Department of Mechanical and Nuclear Engineering Kansas State University.
- Surbakti, Tukiran. 2005. *Analisis Pengaruh Lebar Kanal Pendingin Terhadap Muatan Bahan Bakar Teras RSG-GAS*. Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia.
- Tadeus D. Yoel, Setiyono Budi & Setiawan Iwan. *Simulasi Kendali Daya Reaktor Nuklir Dengan Teknik Kontrol Optimal*. Makalah Seminar Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro.
- Thamm, G.H., 1982. *KFA Julich, Status of The German AF-Programme Considerations with Respect to INFCER Recommendations and Criteria*. Proceeding of The International Meeting on RERTR, Argone, Illinois.
- Tri L. Astraatmadja, T.T. Max Planck Institut Für Astronomie (MPIA).

Tsoufanidis, N. 1983. *Measurement and Detection of Radiation*. Hemisphere Publishing Corporation: New York.

Wardhana, Wisnu Arya. 2006. *Teknologi Nuklir Proteksi Radiasi dan Aplikasinya*. Andi Offset: Yogyakarta.

X-5 Monte Carlo Team. 2003. *MCNP-A General Monte Carlo N-Particle transport Code. Version 5, Volume 1: Overview and Theory*; Los Alamos Laboratory.



## LAMPIRAN 1

### PERHITUNGAN *BURN UP* RSG GAS

Setelah reaktor beroperasi selama 3 hari

$$\begin{aligned}\% U^{235} &= \frac{U-235 \text{ siklus}}{U-235 \text{ awal}} \times 100\% \\ &= \frac{6,223}{250} \times 100\% \\ &= 2,489\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Burn Up} &= 100\% - 2,489\% \\ &= 97,511\%\end{aligned}$$

Besarnya *burn up* setelah reaktor beroperasi selama 3 hari dengan perhitungan adalah 97,511%

Setelah reaktor beroperasi selama 4 hari

$$\begin{aligned}\% U^{235} &= \frac{U-235 \text{ siklus}}{U-235 \text{ awal}} \times 100\% \\ &= \frac{6,209}{250} \times 100\% \\ &= 2,484\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Burn Up} &= 100\% - 2,484\% \\ &= 97,516\%\end{aligned}$$

Besarnya *burn up* setelah reaktor beroperasi selama 4 hari dengan perhitungan adalah 97,516%

Setelah reaktor beroperasi selama 5 hari

$$\begin{aligned}\% U^{235} &= \frac{U-235 \text{ siklus}}{U-235 \text{ awal}} \times 100\% \\ &= \frac{6,195}{250} \times 100\% \\ &= 2,478\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Burn Up} &= 100\% - 2,478\% \\ &= 97,522\%\end{aligned}$$

Besarnya *burn up* setelah reaktor beroperasi selama 5 hari dengan perhitungan adalah 97,522%

Setelah reaktor beroperasi selama 6 hari

$$\begin{aligned}\% U^{235} &= \frac{U-235 \text{ siklus}}{U-235 \text{ awal}} \times 100\% \\ &= \frac{6,181}{250} \times 100\% \\ &= 2,472\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Burn Up} &= 100\% - 2,472\% \\ &= 97,528\%\end{aligned}$$

Besarnya *burn up* setelah reaktor beroperasi selama 6 hari dengan perhitungan adalah 97,527%

## LAMPIRAN 2

### PERHITUNGAN % KETEPATAN MASSA $U^{235}$

Setelah reaktor beroperasi selama 3 hari

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Ketepatan} &= 100\% - \left| \frac{U-235 \text{ hitung} - U235 \text{ awal}}{U-235 \text{ awal}} \right| \times 100\% \\
 &= 100\% - \left| \frac{0,041}{6,264} \right| \times 100\% \\
 &= 100\% - 0,654\% \\
 &= 99,346\%
 \end{aligned}$$

Setelah reaktor beroperasi selama 4 hari

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Ketepatan} &= 100\% - \left| \frac{U-235 \text{ hitung} - U235 \text{ awal}}{U-235 \text{ awal}} \right| \times 100\% \\
 &= 100\% - \left| \frac{0,055}{6,264} \right| \times 100\% \\
 &= 100\% - 0,878\% \\
 &= 99,122\%
 \end{aligned}$$

Setelah reaktor beroperasi selama 5 hari

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Ketepatan} &= 100\% - \left| \frac{U-235 \text{ hitung} - U235 \text{ awal}}{U-235 \text{ awal}} \right| \times 100\% \\
 &= 100\% - \left| \frac{0,069}{6,264} \right| \times 100\% \\
 &= 100\% - 1,101\% \\
 &= 98,899\%
 \end{aligned}$$

Setelah reaktor beroperasi selama 6 hari

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Ketepatan} &= 100\% - \left| \frac{U-235 \text{ hitung} - U235 \text{ awal}}{U-235 \text{ awal}} \right| \times 100\% \\
 &= 100\% - \left| \frac{0,083}{6,264} \right| \times 100\% \\
 &= 100\% - 1,325\% \\
 &= 98,675\%
 \end{aligned}$$