

**PERHITUNGAN AKUMULASI MAKSIMUM ^{239}Pu DAN ^{241}Pu
PADA AQUEOUS HOMOGENEOUS REACTOR (AHR)**

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan

mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan Oleh

Ikhlas Halomoan Siregar

11620044

Kepada

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2016**



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

FM-UINSK-BM-05-07/R0

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR


Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/2177/2016

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : Perhitungan Akumulasi Maksimum ^{239}Pu dan Pu^{241} Pada Aqueous Homogeneous Reactor (AHR)

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :
Nama : Ikhlas Halomoan Siregar
NIM : 11620044
Telah dimunaqasyahkan pada : 30 Mei 2016
Nilai Munaqasyah : A
Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

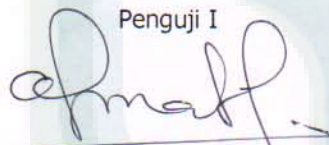
TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang



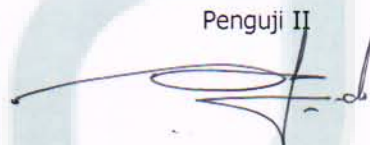
Drs, Suharyana, M.Sc, Ph.D
NIP.196112171989031003

Penguji I



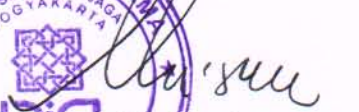
Frida Agung Rakhmadi, M.Sc.
NIP.19780510 200501 1 003

Penguji II



Cecilia Yanuarief, M.Si
NIP. 19840127 201503 1 001

Yogyakarta, 21 Juni 2016
UIN Sunan Kalijaga
Fakultas Sains dan Teknologi
Dekan



Dr. Hj. Maizer Said Nahdi, M.Si
NIP. 19650427 198403 2 001



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi

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 : Ikhlas Halomoan Siregar
NIM : 11620044
Judul Skripsi : Perhitungan Akumulasi Maksimum Pu-239 dan Pu-241 pada *Aqueous Homogeneous Reactor (AHR)*

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 Sains

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 9 Mei 2016

Pembimbing

Dr. Suharyana, M.Sc.

NIP. 1961 1217 1989 03 1003



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi

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 : Ikhlas Halomoan Siregar
NIM : 11620044
Judul Skripsi : Perhitungan Akumulasi Maksimum Pu-239 dan Pu-241 pada *Aqueous Homogeneous Reactor (AHR)*

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 Sains

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 9 Mei 2016

Pembimbing

Frida Agung Rakhmadi, M.Sc

NIP. 19780510 200501 1 003

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

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, 10 Mei 2016



Ikhlas Halomoan Siregar
NIM: 11620044

MOTTO

~ Close to Zero ~



PERSEMBAHAN

Dedicate to my family

Father, Mother

My Brother and Sister



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, haturan syukur dan pujian tercurah pada zat yang maha Agung, pemilik jagat raya dan seisinya. Tiada keindahan ini kecuali hanya karena campur tanganNya. Semoga curahan rahmat dan petunjukNya senantiasa ada bersama makhluk yang mengimaniNya.

Sholawat bertangkaikan salam yang senantiasa terucap atas keharibaan junjungan alam, nabiullah Muhammad SAW. Yang senantiasa mendoakan ummatnya karena kasih sayangNya, sebagai uswatun hasanah bagi ummatnya lewat tutur kata dan perilakunya, yang menjadikan kegelapan hati kian benderang disinari oleh iman dan islam. Semoga kelak, syafaatnya menyertai seluruh ummat yang berada pada jalan-Nya. Amin.

Tugas akhir ini adalah hasil produk penelitian yang dikerjakan atas dasar kepedulian dan semangat juang yang tinggi, sehingga untuk mencapai output yang menghasilkan tidak dapat dilakukan sendiri. Peran dan sumbangsih Elemen-elemen pendukung dibalik laporan ini dapat menjadikannya sebuah produk tulisan yang kokoh dan apik. Untuk itu izinkan kami untuk berterimakasih kepada:

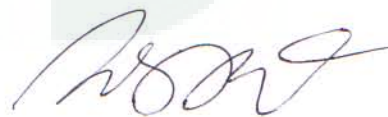
1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat, rahmat beserta hidayah-Nya begitu banyak sehingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini dalam keadaan sehat wal'afiat

2. Bapak Dahman Siregar dan Ibu Nurliana Harahap yang sudah merawat dan membesarkan serta dukungan yang terus mengalir baik moril maupun materil. Tanpa mereka berdua penulis tidak akan ada.
3. Abang Enjoyment Akbar Siregar dan adek kami Sartika Khairani Siregar, yang telah mensupport dan terus mendorong penulis selama ini untuk terus bergerak menyelesaikan pendidikan ini.
4. Bapak Dr. Suharyana, pembimbing utama yang telah menyempatkan waktu luang dan terus bersabar dalam membimbing hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Azizul Khakim, sebagai konsultan dan jantung dari penelitian ini, dan telah banyak menyempatkan waktunya untuk berbagi wawasan dan ilmu yang bermanfaat dan sangat berguna dalam penyelesaian tulisan ini.
6. Bapak Frida Agung Rokhmadi, M.Sc selaku Kepala Jurusan Program Studi Fisika sekaligus pembimbing kedua dalam penyelesaian tugas akhir ini yang telah banyak memberikan masukan terkait integrasi dan interkoneksi antara Alquran dan sains.
7. Ibu Asih Melati, M.Sc selaku dosen pembimbing akademik yang terus memotivasi untuk dapat menyelesaikan penelitian ini.
8. Mas Ilma, Mbak Nina Fauziah, Mbak Dwi, sudah banyak membantu dalam memperelajari software MCNP

9. Segenap teman-teman fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta angkatan 2011 yang sudah merelakan perhatian kalian untuk dibagi. Mohon maaf bila masih banyak kesalahan dan kekurangan selama berada di sisi kalian.
10. Segenap teman-teman IKRH terimakasih sudah terus mengingatkan dan bersabar menghadapi penulis yang tidak sesuai dengan keinginan kalian.
11. Segenap guru kehidupan, terimakasih telah banyak memberikan arti dalam kenyataan ini.

Serta seluruh elemen yang tak dapat disebutkan satu persatu, tanpa kalian laporan ini hanyalah hasil produk yang lemah, produk yang tak bernilai. Atas bantuan semua, tugas akhir ini dapat diselesaikan sesuai yang diharapkan. Atas keterbatasan yang penulis miliki, kami menyadari masih banyak kekurangan yang harus disempurnakan untuk menghasilkan hasil yang lebih maksimal lagi. Tidak ada yang bisa kami balas kecuali mendoakan semua pihak agar senantiasa diberi kemudahan dalam segala urusannya baik di dunia maupun di akhirat, semoga apa yang telah diberikan menjadi amal jariyah bagi kita semua. Dan bermanfaat bagi nusa dan bangsa. Amin.

Yogyakarta, 12 Mei 2016



Penulis

PERHITUNGAN AKUMULASI MAKSIMUM PU-239 DAN PU-241 PADA *AQUEOUS HOMOGENEOUS REACTOR (AHR)*

Ikhlas Halomoan Siregar

11620044

INTISARI

PERHITUNGAN AKUMULASI MAKSIMUM PU-239 DAN PU-241 PADA *AQUEOUS HOMOGENEOUS REACTOR (AHR)*. Telah dilakukan perhitungan akumulasi maksimum Pu-239 dan Pu-241 menggunakan MCNPX dengan bahan bakar $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ diperkaya 19,75% dan dioperasikan pada suhu 80°C . Desain AHR disimulasikan berbentuk silinder dengan diameter teras 63,4 cm dan tinggi 122 cm. Setelah desain ditentukan dilakukan variasi konsentrasi larutan $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ untuk mendapatkan reaktor yang kritis. Dari hasil variasi tersebut ditemukan bahwa konsentrasi yang optimum untuk menghasilkan AHR yang kritis adalah 108 gr/L. Hasil simulasi menunjukkan reaktor memiliki k_{eff} sebesar 1,05284. Setelah reaktor kritis dilakukan *burning* dengan variasi waktu mulai dari 5 hari hingga 285 tahun. Dari hasil *burning* ditemukan bahwa waktu saturasi AHR memproduksi Pu-239 terletak diantara tahun ke 40 sampai 50, dengan demikian akumulasi maksimum dari Pu-239 AHR terletak pada pengoperasian AHR selama 40 tahun dengan perolehan massa sebesar $1,23 \times 10^2$ gr dan aktivitas radioaktif 7,645 Ci. Sedangkan untuk Pu-241 waktu operasi AHR hendaknya dibawah 80 tahun dengan perolehan massa sebesar 21,7 gr dan aktivitas radioaktif $2,247 \times 10^3$ Ci. Angka akumulasi Pu-239 dan Pu-241 tergolong sangat kecil sehingga potensi penyelahtgunaan limbah AHR berupa Pu-239 dan Pu-241 untuk senjata nuklir sangat kecil. Begitu pula pada nilai aktivitas yang diperoleh juga sangat kecil, sistem ekstraksi Mo-99 dari produk fisi cukup kompleks namun pengotor radiasi alfa dari Pu-239 pada produk Mo-99 tetap dijaga seminimal mungkin.

Kata Kunci: AHR, Pu-239, Pu-241, MCNPX, Uranium Nitrat,

**CALCULATION ACCUMULATION MAXIMUM OF PU-239 AND PU-241
ON AQUEOUS HOMOGENEOUS REACTOR (AHR)**

Ikhlas Halomoan Siregar
11620044

ABSTRACT

CALCULATION ACCUMULATION MAXIMUM OF PU-239 AND PU-241 ON AQUEOUS HOMOGENEOUS REACTOR (AHR). Calculations on maximum accumulation of Pu-239 and Pu-241 using MCNPX computer code with $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ fuel solution enriched by 19.75% operating at temperature 80°C have been conducted. AHR design was simulated with cylindrical core having diameter of 63.4 cm and 122 cm high. After design executed From this geometry we found that reactor was critical with density 108 gr/L of $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ solution. And simulation result showed that multiplication factor (k_{eff}) of AHR was 1.50284. Then the burn up calculations were done for various time intervals from 5 days until 285 years to analyze the result. From calculation, it was found out that the saturated concentration of Pu-239 was reached after 40-50 years of operation, producing 1.23×10^2 gr and the activity 7.645 Ci. While for operate time of AHR to produce Pu-241 should under 80 years by result mass 21.7 gr and the activity 2.247×10^3 Ci. The accumulations of both isotopes are considered to be small, having low potential for misusing them for producing nuclear weapon. Likewise the activity also had a very small value. The extraction system of Mo-99 production should take into account on its impurity from alpha radiation coming from Pu-239

Key Word: AHR, Pu-239, Pu-241, MCNPX, Uranyl Nitrate

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
INTISARI	xi
ABSTRACT.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Batasan Penelitian	8
1.5 Manfaat Penelitian	9

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Studi Pustaka.....	10
2.2 Landasan Teori.....	12
2.2.1 Reaksi Fisi.....	12
2.2.1.1 Material Fisil.....	13
2.2.1.2 Material Fertil.....	13
2.2.2 Pengayaan Uranium.....	15
2.2.3 Nuklida ^{99}Mo	16
2.2.4 Nuklida ^{239}Pu dan ^{241}Pu	17
2.2.5 Pemanfaatan ^{99}Mo	20
2.2.6 Metode Produksi ^{99}Mo	22
2.2.7 Medical Isotope Production System (MIPS).....	25
2.2.8 Larutan Bahan Bakar.....	28
2.2.8.1 Uranium Sulfat.....	29
2.2.8.2 Uranium Nitrat.....	30
2.2.8.3 Uranium Florida.....	31
2.2.9 Simulasi AHR Menggunakan MCNPX.....	33
2.2.10 Origen 2.2.....	35
2.2.11 Penciptaan dan Penemuan dalam Perspektif Alquran.....	37

BAB III METODE PENELITIAN	40
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	40
3.2 Alat dan Bahan.....	40
3.3 Diagram Alir Penelitian	41
3.4 Diagram Alir Simulasi	42
3.4.1 Pemodelan AHR	43
3.4.2 Prosedur Pembuatan File Input dan Pengolahan Data	45
3.4.3 Metode Analisa	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Hasil Penelitian	48
4.1.1 Desain AHR	48
4.1.2 Tabel Hasil Penelitian	49
4.2 Pembahasan.....	52
4.2.1 Kritikalitas AHR	52
4.2.2 Akumulasi ^{239}Pu dan ^{241}Pu	54
4.2.3 Potensi Penyalahgunaan ^{239}Pu dan ^{241}Pu	58
4.2.4 Aktivitas ^{239}Pu dan ^{241}Pu	59
4.2.5 Integrasi dan Interkoneksi.....	59

BAB V KESIMPULAN	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran.....	64
BAB VI DAFTAR PUSTAKA	65
BAB VII LAMPIRAN	69



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik peluruhan isotop plutonium.....	18
Tabel 2.2. Grade konsentrasi plutonium.....	19
Tabel 2.3. Kumpulan metode produksi Mo-99	24
Tabel 2.4. Perbedaan MIPS dengan sistem tradisional	28
Tabel 2.5. Tampang lintang mikroskopik neutron termal garam uranium.....	32
Tabel 2.6. Kelebihan dan kekurangan dari tiap garam uranium.....	32
Tabel 3.1. Parameter inti reaktor AHR sebagai input MCNPX	44
Tabel 3.2. Material penyusun stainless-steel-304	44
Tabel 4.1. Hubungan Keff AHR dengan $UO_2(NO_3)_2$	49
Tabel 4.2. Burning AHR selama 5 hari	49
Tabel 4.3. Burning AHR selama 10 hari	50
Tabel 4.4. Burning AHR selama 25 hari	50
Tabel 4.5. Burning AHR selama 40 hari	50
Tabel 4.6. Burning AHR selama 25 tahun	51
Tabel 4.7. Burning AHR selama 285 tahun	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Konversi nuklida fertil ke nuklida fisil.....	14
Gambar 2.2. Hasil produk fisi yang diinduksi neutron termal	16
Gambar 2.3. Peluruhan beta Mo-99	20
Gambar 2.4. Skema produksi Mo-99 dan Tc-99m	23
Gambar 2.5. Proses ekstraksi Mo-99.....	23
Gambar 2.6. MIPS reaktor 200 kW	27
Gambar 2.7. Simulasi AHR dengan MCNPX.....	33
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 3.2. Diagram Alir Pemodelan	42
Gambar 3.3. Parameter inti reaktor AHR	43
Gambar 4.1. Hasil simulasi menggunakan vised MCNPX	48
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara konsentrasi $UO_2(NO_3)_2$ & k_{eff}	52
Gambar 4.3. Grafik konsentrasi 105 s/d 110 pada grafik 4.2.....	53
Gambar 4.4. Grafik Pu-239 dalam 40 hari	55
Gambar 4.5. Grafik Pu-241 dalam 10 hari	55
Gambar 4.6. Akumulasi maks Pu-239 dan Pu-241 dalam 285 tahun.....	56
Gambar 4.7. Perubahan Keff pada AHR	58

LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Input code</i> AHR pada MCNPX	69
Lampiran 2. Proses burning	71
Lampiran 3. Perhitungan densitas atom pada bahan bakar	72



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya kemajuan teknologi tidak bisa lagi dibendung, semangat meneliti serta rasa ingin tahu para ilmuwan terus menjamur dan berkembang setapak demi setapak. Hasil penemuan para ilmuwan untuk membaca gejala alam dijadikan simpul kesatuan yang dibentuk dalam teori-teori yang diajukan. Hal ini sangat sesuai dengan perintah Al-Quran yang mendorong manusia untuk terus berusaha membaca ayat-ayat Allah sebagai manifestasi kekuasaan dan kebesaran yang patut untuk diakui dan diimani. Allah berfirman dalam Alquran surat Al-‘Alaq ayat 1-5:

أَقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ ۝ خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ ۝ أَلَمْ يَكُنْ الْأَكْرَمُ ۝
الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ ۝ عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ۝

Artinya: “Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu yang Menciptakan. Dia Telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah yang Mahamulia. Yang mengajar (manusia) dengan pena. Dia mengajarkan manusia apa yang tidak diketahuinya.” (Depag, 2012)

Ayat diatas merupakan wahyu pertama yang diturunkan Allah kepada rasulNya Muhammad SAW, seorang “ummi” yang berarti tidak dapat membaca ataupun menulis namun diberikan perintah untuk “iqro’(bacalah)” bukan sekedar membaca, akan tetapi mampu menelaah lebih lanjut maksud dari ayat-ayat Allah

yang diturunkan tentang penciptaan langit dan bumi serta seisinya. Dalam surat Yunus ayat 101 Allah berfirman:

قُلْ أَنْظَرُوا مَاذَا فِي السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَمَا تُغْنِي الْآيَاتُ وَالنُّذُرُ عَنْ قَوْمٍ لَا يُؤْمِنُونَ ﴿١٠١﴾

Artinya: Katakanlah: "Perhatikanlah apa yang ada di langit dan di bumi. tidaklah bermanfaat tanda kekuasaan Allah dan rasul-rasul yang memberi peringatan bagi orang-orang yang tidak beriman" (Depag, 2012)

Nyatalah bahwa tujuan dari perintah Allah "iqro" atau "melihat", "memperhatikan", atau "menelaah" lebih lanjut apa yang ada di bumi dan langit agar mampu meningkatkan keimanan dan ketakwaan serta pengakuan seorang hamba atas kekuasaan dan kehebatan sang pencipta-Nya. Ayat lain dalam surat Fushshilat ayat 53 menjelaskan:

سَنُرِيهِمْ آيَاتِنَا فِي الْأَفَاقِ وَفِي أَنْفُسِهِمْ حَتَّىٰ يَتَبَيَّنَ لَهُمْ أَنَّهُ الْحَقُّ ۗ أَوَلَمْ يَكْفِ بِرَبِّكَ أَنَّهُ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ شَهِيدٌ ﴿٥٣﴾

Artinya: "Kami akan memperlihatkan kepada mereka tanda-tanda (kekuasaan) kami di segala wilayah bumi dan pada diri mereka sendiri, hingga jelas bagi mereka bahwa Al Quran itu adalah benar. Tiadakah cukup bahwa Sesungguhnya Tuhanmu menjadi saksi atas segala sesuatu?" (Depag, 2012)

Dalam ayat ini Allah menjelaskan bahwa akan ada suatu masa nanti Allah memperlihatkan tanda-tanda kekuasaan-Nya dalam kehidupan alam semesta makrokosmos atau kehidupan dunia kecil mikrokosmos. Salah satu contoh dari

makrokosmos adalah unsur-unsur di alam semesta yang tersusun di dalam tabel periodik. *Tecnesium-99m* (^{99m}Tc) adalah salah satu contoh nuklida radioaktif yang termaktub di dalam tabel periodik yang didapatkan lewat proses reaksi nuklir. ^{99m}Tc didapatkan melalui peluruhan *Molybdenum-99* (^{99}Mo) yang juga merupakan unsur radioaktif dan dapat digunakan sebagai tracer untuk diagnosis dalam kedokteran nuklir. Radionuklida ^{99}Mo merupakan hasil pembelahan *Uranium-235* (^{235}U). Cara lain untuk mendapatkan ^{99}Tc adalah melalui iradiasi ^{98}Mo dari alam menggunakan metode ekstraksi (Awaludin, Rohadi *et al*, 2012). Selain daripada itu, untuk mendapatkan ^{99}Mo dalam jumlah yang besar telah dikembangkan *Aqueous Homogeneous Reactor* (AHR) yaitu tipe reaktor nuklir yang menggunakan bahan bakar garam cair yang juga berfungsi sebagai moderator, maka dari itu sebutan “Homogeneous” itu muncul. Kelebihan reaktor ini terletak pada bentuknya, lebih kecil dari reaktor nuklir pada umumnya dan total daya yang dimilikinya juga relatif lebih kecil (Huisman, 2013; IAEA, 2008).

Di dalam Alquran, Allah tidak menyebutkan secara eksplisit unsur ^{99m}Tc , ^{99}Mo , Plutonium-239 (^{239}Pu), Plutonium-241 (^{241}Pu) dan reaksi nuklir. Akan tetapi Allah menyebutkan kata “dzarrah” yang memiliki arti sesuatu yang sangat kecil dan memiliki ukuran. Ada beberapa ayat yang mencantumkan kata “dzarrah” di dalam Al-quran sebagai berikut:

وَمَا تَكُونُ فِي شَأْنٍ وَمَا تَتْلُوا مِنْهُ مِنْ قُرْآنٍ وَلَا تَعْمَلُونَ مِنْ عَمَلٍ إِلَّا كُنَّا عَلَيْكُمْ شُهُودًا إِذْ تُفِيضُونَ فِيهِ ۚ وَمَا يَعْزُبُ عَنْ رَبِّكَ مِنْ مِثْقَالِ ذَرَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي السَّمَاءِ وَلَا أَصْغَرَ مِنْ ذَلِكَ وَلَا أَكْبَرَ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُبِينٍ ﴿٦١﴾

Artinya: "Kamu tidak berada dalam suatu keadaan dan tidak membaca suatu ayat dari Al Quran 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,10: 61) (Depag, 2012)

وَقَالَ الَّذِينَ كَفَرُوا لَا تَأْتِينَا السَّاعَةُ ۗ قُلْ بَلَىٰ وَرَبِّي لَتَأْتِيَنَّكُمْ عِلْمُ الْغَيْبِ ۗ لَا يَعْزُبُ عَنْهُ مِثْقَالُ ذَرَّةٍ فِي السَّمَوَاتِ وَلَا فِي الْأَرْضِ وَلَا أَصْغَرَ مِنْ ذَلِكَ وَلَا أَكْبَرَ إِلَّا فِي كِتَابٍ مُبِينٍ ﴿٦٢﴾

Artinya: "Dan orang-orang yang kafir berkata: "Hari berbangkit itu tidak akan datang kepada kami". Katakanlah: "Pasti datang, demi Tuhanku yang mengetahui yang ghaib, Sesungguhnya kiamat itu pasti akan datang kepadamu. tidak ada tersembunyi daripada-Nya sebesar zarahpun yang ada di langit dan yang ada di bumi dan tidak ada (pula) yang lebih kecil dari itu dan yang lebih besar, melainkan tersebut dalam Kitab yang nyata (Lauh Mahfuzh)". (QS-As Saba', 34:3) (Depag, 2012)

قُلِ ادْعُوا الَّذِينَ زَعَمْتُمْ مِّنْ دُونِ اللَّهِ ۗ لَا يَمْلِكُونَ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ فِي السَّمَوَاتِ وَلَا فِي الْأَرْضِ وَمَا لَهُمْ فِيهِمَا مِنْ شِرْكٍَ وَمَا لَهُمْ مِنْ ظَهِيرٍ ﴿٦٣﴾

Artinya: "Katakanlah: " Serulah mereka yang kamu anggap (sebagai Tuhan) selain Allah, mereka tidak memiliki (kekuasaan) seberat zarrahpun di langit dan di bumi, dan mereka tidak mempunyai suatu sahampun dalam (penciptaan) langit dan bumi dan sekali-kali tidak ada di antara mereka yang menjadi pembantu bagi-Nya." (QS- As Saba', 34:22) (Depag, 2012)

Sebagaimana telah disebutkan bahwa istilah "dzarrah" di dalam Al-Quran adalah sesuatu yang amat kecil, dalam terjemahan Al-Quran bahasa Indonesia yang dikeluarkan oleh Departemen Agama RI dan beberapa kitab terjemah dan tafsir Al-Quran disepakati bahwa arti dari "dzarrah" adalah atom (Wardhana, 2009). Walau pun demikian kata "dzarrah" bisa jadi suatu hal yang lebih kecil daripada atom. Hal ini sesuai dengan firman Allah dalam surat Al-Qomar ayat 49 yang berbunyi:

إِنَّا كُلَّ شَيْءٍ خَلَقْنَاهُ بِقَدَرٍ ﴿٤٩﴾

Artinya: "Sesungguhnya kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran." (Depag, 2012)

Belum ada yang mengetahui pada waktu itu ukuran nyata dari sesuatu yang kecil itu, termasuk atom ataupun sesuatu yang lebih kecil daripada itu. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan perlahan muncul penemuan J.J. Thomson (1897) tentang sesuatu yang tidak dapat dibagi lagi yang disebut atom.

Teori J.J. Thomson terus mengalami penyempurnaan sampai pada teori Niels Bohr (1916) bahwa atom masih dapat dibagi menjadi inti atom (nuklir) dan elektron yang mengorbit mengelilingi inti atom persis seperti dinamika benda langit. Teori tentang atom terus berevolusi sehingga dapat diketahui ukuran-

ukuran atom dari unsur-unsur di seluruh jagat raya ini berkat kerja keras seorang ilmuwan Rusia bernama D.I. Mendeleev (tahun 1869) yang telah menyusunnya dalam bentuk tabel berkala. (Wardhana, 2009) Dari penemuan-penemuan tersebut dapat diketahui sementara bahwa unsur-unsur yang disebut sebelumnya telah termaktub dalam Al-Quran sejak 15 abad lalu hasil dari manifestasi kata “*dzarrah*”.

Sampai saat ini kebutuhan ^{99m}Tc di dunia terus meningkat sebanding dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat. Pasqualini menyebutkan pada *33rd International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactor* pada Oktober 2011 di Santiago, Chile bahwa ^{99m}Tc dan ^{99}Mo digunakan lebih dari dua puluh juta radiotracer dan prosedur diagnostik nuklir medis per tahun. Permintaan dunia atas ^{99}Mo sebanyak 85% digunakan untuk citra nuklir medis, diperkirakan 12.000 Ci *6-day* per minggu (Paquailani, 2011; Verbeek, 2008; NEA, 2010)

Menurut data IAEA pada tahun 2013 penggunaan ^{99m}Tc sekitar 85% prosedur diagnostic citra nuklir medis dunia. Dan akan meningkat 3-8% untuk pasar yang baru seperti di Asia (IAEA, 2013) melihat pangsa pasar yang terbentang lebar, saat ini pemerintah Indonesia melalui PT. Inuki sedang mengkaji pendirian AHR untuk menghasilkan ^{99m}Tc dalam jumlah yang banyak, hal ini dapat diperoleh dengan melakukan pemisahan nuklida hasil fisi ^{235}U di dalam AHR yang menggunakan bahan bakar *High Enrichment Uranium* (HEU) atau *Low Enrichment Uranium* (LEU).

Menurut Maskur dkk. Produk fisi dari ^{235}U berjumlah sekitar 360 nuklida yang memiliki waktu paruh bervariasi mulai dari detik hingga ribuan bahkan jutaan tahun, beberapa nuklida hasil produk fisi yang bisa dimanfaatkan untuk aplikasi medis yakni ^{99}Mo , *Iodine-131* (^{131}I), dan *Samarium-89* (^{89}Sm), *Xenon-133* (^{133}Xe) ada pula *Xenon-135* (^{135}Xe) dan *Samarium-149* (^{149}Sm) sebagai racun di dalam reaktor dan ^{239}Pu serta ^{241}Pu yang bersifat fisil seperti ^{235}U . (Maskur, dkk., 2010 ; National Research Council, 2009)

Plutonium dapat dihasilkan lewat proses kimiawi, bisa juga terbentuk dari kerusakan nuklida karena faktor radiasi, serta dapat pula dihasilkan melalui hasil reaksi absorpsi neutron oleh uranium. Perlu diketahui bahwa ^{239}Pu dan ^{241}Pu adalah nuklida hasil produk transmudasi dari reaktor AHR yang bersifat fisil. Biasanya kedua nuklida ini digunakan dalam beberapa reaktor daya untuk memproduksi listrik, diproses ulang dengan campuran Uranium menjadi bahan bakar *mixed oxide* (MOX) atau untuk kepentingan non damai (fattal, Elias., 2015 ; Tanaka, K., 2012)

Penggunaan AHR dalam jangka panjang akan menghasilkan plutonium terakumulasi. Peluruhan alpha dari plutonium sangat berbahaya bila terjadi interaksi langsung dengan jaringan di dalam tubuh manusia. Proses ekstraksi ^{99}Mo dari AHR berpotensi tercampur dengan plutonium terakumulasi. Sehingga akan membahayakan pasien bila diinjeksikan ke dalam tubuh. Tidak hanya itu aspek keselamatan kerja bagi pekerja di wilayah radiasi maupun warga sipil yang berada disekitarnya akan menjadi pertimbangan dalam pembangunan sebuah reaktor. Efek radiasi dan dampak yang ditimbulkan dari Plutonium sangat berbahaya bagi

kesehatan (Burn, casey., 2002) Maka dari itu penting adanya penelitian lebih lanjut tentang akumulasi maksimum dari limbah reaktor AHR berupa produk transmudasi ^{239}Pu dan ^{241}Pu sebagai bahan pertimbangan bagi pemegang kebijakan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian kali ini adalah mengetahui akumulasi hasil sampingan AHR ^{239}Pu dan ^{241}Pu selama proses produksi isotop ^{99}Mo .

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menelaah potensi limbah AHR daya rendah (200 kW) berupa akumulasi maksimum ^{239}Pu dan ^{241}Pu yang dapat disalahgunakan untuk keperluan non damai.

1.4 Batasan Masalah

- Desain AHR mengikuti desain reaktor B&W Company
- Larutan uranium yang digunakan berupa *Uranium Nitrat* ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$)
- Daya yang digunakan 200 kW
- Software yang digunakan adalah *Monte Carlo N-Particle X* (MCNPX) dan ORIGEN 2.2
- Lama waktu Burn Up 285 tahun

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian tentang akumulasi maksimum ^{239}Pu dan ^{241}Pu hasil sampingan AHR ini dapat digunakan sebagai:

- Mengetahui akumulasi maksimum ^{239}Pu dan ^{241}Pu serta potensinya digunakan untuk keperluan non damai.
- Sebagai bahan referensi dalam menetapkan kebijakan terkait keamanan bahan nuklir dan *safeguards*.
- Sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya terkait kajian tentang aspek keselamatan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian akumulasi maksimum ^{239}Pu dan ^{241}Pu pada AHR 200 kW. Untuk mendapatkan hasil yang maksimum dari ^{239}Pu waktu operasi yang dibutuhkan adalah 40 tahun atau kurang dengan hasil akumulasi sebesar $1,23 \times 10^2$ gram. Sedangkan pada ^{241}Pu waktu operasi AHR adalah dibawah 80 tahun dengan hasil akumulasi maksimum 21,7 gram.

Dari aspek keselamatan, jumlah akumulasi maksimum tersebut masih sangat kecil untuk dapat digunakan sebagai bahan baku senjata nuklir, dengan demikian pembangunan AHR 200 kW untuk memproduksi ^{99}Mo di Indonesia memungkinkan untuk dilaksanakan.

4.2 Saran

Penelitian kali ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu ada beberapa saran dari penulis untuk peneliti berikutnya:

1. Hendaknya diteliti lebih lanjut orde hari pada tahun ke 80
2. Gunakan komputer dengan RAM yang tinggi atau menggunakan super komputer
3. Hendaknya mencari tahu batas atas ^{239}Pu yang bisa dianggap sebagai pengotor ^{99}Mo

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Abdullah Yusuf. 1993. Qur'an Terjemahan dan Tafsirnya Jus I s/d XV. Penerjemah: Ali Audah. Jakarta: Pustaka Firdaus
- Ames, Avelyn. 2016. *Health Effect of Radiation*. Diakses pada 30 April 2016 dari <http://www.wvu.edu/wwura/1105.pdf>
- Anonim. 2014. Teori Bingung Alam Semesta. Diakses 27 April 2016 dari <http://ivanugm.web.ugm.ac.id/Artikel/DYK/Teori%20Bingung%20Alam%20Semesta.html>
- Alquran Al karim. Departemen Agama RI.
- Arya, Atam P., 1996. *Fundamental of Nuclear Physics*. West Virginia University. Boston: Allyn and Bacon Inc.
- Awaludin, Rohadi, Hotman Lubis, Sriyono, Abidin, Herlina, Adang Hardi G., Yono Sugiharto, Masakazu Tanase, Tsuguo Genka. 2012. Ekstraksi Teknesium-99m dari Larutan Molibdenum Skala Besar. **Seminar Nasional VIII SDM Teknologi Nuklir. ISSN 1978-0176**
- Ball, Russell M., V.A. Pavshook, V. Ye. Khvostionov. 1998. *Present Status of the use of LEU in Aqueous Reactor to Produce Mo-99*. Presented at the 1998 International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors. October 18-23, 1998 Sao Paulo, Brazil.
- Casey Burns. 2002. *Overview of Plutonium and Its Health Effects*. George Perkins Marsh Institute Clark University.
- Einstein, Andrew J. 2009. Breaking America's Dependence on Imported Molybdenum. **JAAC: Cardiovascular Imaging, Vol. 2. No. 3 March (2009) 369-371. ISSN 1936-878X. Elsevier.**
- Fattal, Elias,, Nicolas Tsapis, Guillaume Phan. 2015. Novel drug delivery systems for actinides (uranium dan plutonium) decontamination agent. **Advanced Drug Delivery Reviews 90 (2015) 40-45. Elsevier.**

- Harmon, Charles D., Robert D. Busch, Judith F. Briesmeister, R. Arthur Forster. 1994. *Criticality Calculation with MCNPTM: A Primer*. Los Alamos National Laboratory. New Mexico: Los Alamos.
- Huisman, M.V.. 2013. *Medical Isotope Production: Reactor design for a small sized Aqueous Homogeneous Reactor for producing molybdenum-99 for regional demand NERA-131-2013-005*. (Master Thesis), Radiation science and Technology. Faculty of Applied Sciences. Delf University of Technology.
- IAEA. 1999. IAEA-TECDOC-1065. *Production technologies for molybdenum-99 and technetium-99m*. ISSN 1011-4289. Austria: IAEA
- IAEA. 2003. IAEA-TECDOC-1340. *Manual for reactor produced radioisotopes*. ISBN 92-0-0-101103-2. Austria: IAEA
- IAEA. 2008. IAEA-TECDOC-1601: *Homogeneous Aqueous Solution Nuclear Reactor for the Production of Mo-99 and other Short Lived Radioisotopes*. Austria: IAEA
- IAEA. 2009. *TECHNETIUM-99m RADIOPHARMACEUTICALS: STATUS AND TREND*. ISSN 2077-6462. Austria: IAEA
- IAEA. 2013. *Non-HEU Production Technologies for Molybdenum-99 and Technetium-99m*. IAEA NUCLEAR ENERGY SERIES No. NF-T-5.4. Austria: IAEA
- Isnaeni, A., M. S. Aljohani, T. G. Aloalfaraj, S. I. Bhuiyan. 2014. Analysis of ⁹⁹Mo Production Capacity in Uranyl Nitrate Aqueous Homogeneous Reactor using ORIGEN and MCNP. **Atom Indonesia Vol. 40 No.1 (2014) 40-43**
- Kosuda, Shigeru., Faridul Alam, Zhiming Yao, 4Kardinah Kardinah, 5Boon-Nang Lee, Byambajav Enkhthuya, Hla Soe, Raza Hasan, Jonas Francisco Santiago, Chang Woon Choi, David Ng Chee Eng, S. Somanesan, Damayanthi Kusum Kumari Nanayakkara, Molrudee Ekmahachai, Nonglak Vilasdechanon, Anchali Krisanachinda, Thuan Tran Van, Sze Ting Lee, Tomio Inoue, Venkatesh Rangarajan, Maurizio Dondi. 2013. Report on the Current Nuclear Medicine Status of the Asian Member State from the Initial Cooperative Project Meeting (RAS6061/9001/01) of International Energy Agency / Regional Cooperative Agreement (IAEA/RCA). **Asian Journal of Cancer. ISSN-0972-2526, Vol 12, No.3 July 2013 pp 133-143**

- Kementerian Agama RI. 2012. *Tafsir Ilmi: Penciptaan Jagat Raya*. Jakarta: PT. Sinergi Pustaka Indonesia.
- Liem, Peng Hong., Hoai Nam Tran, Tagor Malem Sembiring. 2015. Design Optimization of new homogeneous reactor for medical radioisotope Mo-99/Tc-99m production. **Progress in Nuclear Energy 82 (2015) 191-196. Elsevier.**
- Maskur, Andang. H.G., Sriyono, Gatot S. 2010. Sistem Perhitungan Produksi Radioisotop Mo-99 dan Generator Mo-99/Tc-99m menggunakan Microsoft Access. **Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir. ISSN 1978-0176. Yogyakarta.**
- National Research Council. 2009. *Medical Isotope Production without Highly Enriched Uranium*. Washington, D. C.: The National Academies Press.
- Ni'mah, Maslihatun., 2015. *Pengaruh Konsentrasi Uranil Sulfat terhadap Kritikalitas Aqueous Homogeneous Reactor (AHR)*. (Skripsi). Jurusan Fisika, SAINTEK. UIN Sunan Kalijaga.
- Nuclear Energy Agency (NEA). 2010. *The Supply of Medical Radioisotopes: An Economic Study the Molybdenum-99 Supply Chain*. **ISBN 978-92-64-99149-1. OECD**
- OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY. 2002. RSICC COMPUTER CODE COLLECTION. ORIGEN 2.1. Oak Ridge, Tennessee.
- Pasquailini, Enrique E. 2011. Semi-Homogeneous Reactor fo Mo-99 Production: Conceptual Design. **RERTR 2011-33rd International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactor.**
- Rahman, Afzalur. 1992. *Al Qur'an Sumber Ilmu Pengetahuan*. Penerjemah: Drs. H. M. Arifin, M.Ed. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Rijnsdorp, S., 2014. *Design of a small Aqueous Homogeneous Reactor for production of ⁹⁹Mo. Improving the reliability of the supply chain*. (Master Thesis). Radiation Science and Technology, Applied Sciences. Delft University of Technology.

- Sauerwein, Wolfgang A.G., Andrea Wittig, Raymond Moss, Yoshinobu Nakagawa. 2012. *Neutron Capture Therapy, Principle and Applications*. ISBN 978-3-642-31334-9 (e-Book). Springer Heidelberg New York Dordrecht London.
- Sekimoto, Hiroshi., 2007. *Nuclear Reactor Theory*. COE-INES. Tokyo: Tokyo Institute of Technology. ISBN 978-4-903054-11-7 C3058
- Supriyadi, Joko. 2012. *FITUR DAN ISU KESELAMATAN TERKAIT AQUEOUS HOMOGENEOUS REACTOR (AHR)*. (Prosiding). **Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah-Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir. PSTA-BATAN. ISSN 0216 – 3128**
- Song, Xiaoming., Wenhua Niu. IAEA-TECDOC-1601. 2008. *Optimization of 200 kW Medical Isotope Production Reactor Design*. Paper by participant of the consultant meeting. Hal 17-22. Austria: IAEA
- Syakir, Syeikh Ahmad. 2014. *Umdah At-Tafsir An Al-Hafizh Ibn Katsir (Jilid 2)*. Penerjemah: Syeikh Ahmad Syakir. Penerbit Darus Sunnah: Jakarta
- Tanaka, Kosuke. Masahiko Osaka, Shuhei Miwa, Takashi Hirosawa, Ken Kurosaki, Hiroaki Muta, Masayoshi Uno, Shinsuke Yamanaka. 2012. Preparation and characterization of the simulated burnup americium-containing uranium-plutonium mixed oxide fuel. **Journal of Nuclear Material 420 (2012) 207-212. Elsevier.**
- U.S Department of Energy. 1993. *DOE FUNDAMENTALS HANDBOOK NUCLEAR PHYSICS AND REACTOR THEORY*. Washington, D.C
- Verbeek, Pierre., AIPES. 2008. Report on Molybdenum-99 Production for Nuclear Medicine 2010-2020. Association of Imaging Producers & Equipment Suppliers.
- Wardhana, Wisnu Arya. 2009. *Alqur'an dan Energi Nuklir*. Yogyakarta: Penerbit Pustaka Pelajar.
- Wolterbeek, Bert., Jan Leen Kloosterman, Danny Lathouwers, Martin Rohde, August Winkelman, Lodewijk Frima, Frank Wols. 2014. What is wise in the production of ⁹⁹Mo? A comparison of eight possible production routes. **Journal Radioanal Nuclear Chemistry (2014) 302: 773-779.**

LAMPIRAN

Lampiran 1. *Input code* AHR pada MCNPX.

```
-----  
----- MCNPX computer code -----  
-----  
-----Reaktor AHR konsentrasi 108 g/L Uranium Nitrat-----  
-----c cell card-----  
1  1 -1.11250616  4 -1 -5  
   vol= 200150.9496 imp:n 1 $Uranyl Nitrat  
2  2 -7.92  (-6 1 -2 4 ):(-4 7 -2 ) imp:n 1  
   $Bejana reaktor  
3  3 -1.85  (-6 2 -3 7 ):(-7 -3 8 ) imp:n 1  
   $ReflektorBeryllium  
4  4 -0.00125  6 -10 -11:-1 5 (-10 -11):(3:-8) 9 -10 -11  
   imp:n 1 $Reflektor udara  
5  0 11 : 10 : -9 imp:n 0 $void  
-----  
-----c Surfaces cards-----  
-----  
1  cz  31.7  $silinder dengan pusat di z=0  
2  cz  33.7  $silinder luar bejana  
3  cz  43.7  $silinder luar reflektor  
4  pz  0     $plat pada z=0  
5  pz  63.4  $batas atas larutan  
6  pz  93.4  $plat pada z=122  
7  pz  -1    $plat bawah bejana  
8  pz  -10   $plat bawah reflektor  
9  pz  -30   $Udara Bawah  
10 cz  63.7  $Udara luar  
11 pz  113.4 $Udara atas  
-----  
----- -c data card-----  
-----  
kcode 15000 1.000000 50 160  
ksrc 0.000000 0.000000 8.600000  
     0.000000 0.000000 12.000000  
     12.000000 0.000000 10.000000  
     -12.000000 0.000000 10.000000  
burn time = 1825.0 1825.0 1825.0 1825.0 1825.0
```

```
power= 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
mat = 1
pfrac= 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
AFMIN = 1.E-20
BOPT= 1.0 21 1
PHYS:N 100 0 0 -1 -1 0 0
m1  92235.66c 5.46499574541E-05
    92238.66c 2.19250888469E-04
    8016.66c 3.33976144257E-02
    7014.66c 5.47801691952E-04
    1001.66c 6.24128153157E-02
mt1 lwtr
m2  26000.42c 5.81E-2 $Fe
    24000.42c 1.74E-2 $Cr
    28000.42c 8.51E-3 $Ni
    25055.60c 1.52E-3 $Mn
m3  4009.60c 1.0 $Be-9
mt3 be.01t
m4  7014.66c 0.778 7015.66c 0.003 8016.66c 0.209 2004.66c 0.01 $Air
THTME 1
TMP1 3.04309335-8
```

Lampiran 2. Proses burning MCNPX

```

E:\MCNPX\Win32\bin\mcnp.exe
66158. c
66160. c
66161. c
66162. c
66163. c
66164. c
68162. c
68164. c
68166. c
68167. c
68168. c
68170. c
90234. c
91232. c
warning.      2 materials had unnormalized fractions. print table 40.
imcn is done
warning. 90231.42c lacks delayed neutron cross sections.
warning. 90233.42c lacks delayed neutron cross sections.
warning. 93235.42c lacks delayed neutron cross sections.
warning. 93236.42c lacks delayed neutron cross sections.
warning. 93238.42c lacks delayed neutron cross sections.
warning. nubar of 91233.66c may be either prompt or total.
warning. 91233.66c lacks delayed neutron cross sections.
warning. nubar of 93239.66c may be either prompt or total.
warning. 93239.66c lacks delayed neutron cross sections.
warning. 94236.66c lacks delayed neutron cross sections.
warning. nubar of 94237.66c may be either prompt or total.
warning. 94237.66c lacks delayed neutron cross sections.
warning. neutron energy cutoff is below some cross-section tables.
warning. 131 cross sections modified by free gas thermal treatment.
dump 1 on file runtpe nps = 0 coll = 0
      ctm = 0.00 nrn = 0
source distribution to file srctp cycle = 0
xact is done
dynamic storage = 0 words, 0 bytes. cp0 = 0.18

```


Lampiran 3. Perhitungan densitas atom pada bahan bakar

Konsentrasi garam uranium 108 gr/L

Konsentrasi bahan bakar 108 gr U/liter atau 0,108 gr U/cc,

$$\bar{A}_u = 237,4494309 \text{ gr/mol.}$$

$$N_u = \frac{0,108 \times 6,022 \times 10^{24}}{237,4494309} = 2,739 \times 10^{20} \text{ atom/cc}$$

$$1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2 \text{ lalu } n = 2,739 \times 10^{20} \text{ atom/cc} = 2,739 \times 10^{-4} \text{ atom/barn.cm}$$

Larutan uranil nitrat ^{235}U 19,75 wt. %

$$w_{f_{u-235}} = 0,1975 \text{ dan } w_{f_{u-238}} = 0,8025$$

$$A_{u-235} = 235,04 \text{ g/mol dan } A_{u-238} = 238,05 \text{ g/mol.}$$

$$\bar{A}_u = 237,4494309 \text{ g/mol.}$$

$$af_{235} = 0,1975 \times \frac{237,4494309}{235,04} = 0,1995$$

$$af_{238} = 0,8025 \times \frac{237,4494309}{238,05} = 0,8005$$

$$N_{u235} = 0,1995 \times 2,739 \times 10^{-4} = 5,464305 \times 10^{-5} \text{ atom/barn.cm}$$

$$N_{u238} = 0,8005 \times 2,739 \times 10^{-4} = 2,192508 \times 10^{-4} \text{ atom/barn.cm}$$

Dalam uranil nitrat ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) terdapat 1 atom U, 2 atom N dan 8 atom O

$$N_N = N_u \times 2 = 2,739 \times 10^{-4} \times 2 = 5,478 \times 10^{-4} \text{ atom/barn.cm}$$

$$N_O = N_u \times 8 = 2,739 \times 10^{-4} \times 8 = 2,1912 \times 10^{-3} \text{ atom/barn.cm}$$

Konsentrasi bahan bakar adalah 108 gr U / liter, $\bar{A}_u = 237,4494309 \text{ g/mol.}$

$$\text{Konsentrasi uranium} = \frac{108 \text{ gr U/Liter}}{237,4494309 \text{ g/mol}} = 0,4548336864 \text{ mol/L}$$

Dalam uranil nitrat $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ terdapat 1 atom U, yang berarti:

$$U = \text{mol } \text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$$

Konsentrasi $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ = konsentrasi U = 0,4548336864 mol/L

$\bar{A}_u = 237,4494309$ g/mol, $A_{\text{Oksigen}} = 15,999$ gr/mol, $A_{\text{nitrogen}} = 14,007$ gr/mol

$$\begin{aligned} \text{Berat atom } \text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 &= \bar{A}_U + (8 \times A_{\text{Oksigen}}) + (2 \times A_{\text{Nitrogen}}) \\ &= 237,4494309 + (8 \times 15,999) + (2 \times 14,007) \\ &= 393,4554309 \text{ gr/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi } \text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 &= 0,4548336864 \text{ mol/L} \times 393,4554309 \text{ gr/mol} \\ &= 178,9567841 \text{ gr/L} \end{aligned}$$

Densitas $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 = 2,81$ gr/cc

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi uranil nitrat} &= \frac{178,9567841 \text{ gr/Liter}}{2,81 \text{ gr/cc}} \\ &= 63,68568829 \text{ cc Uranil Nitrat / Liter bahan bakar} \end{aligned}$$

Penyelesaian

$$= 0,06368568829 \text{ Liter Uranil Nitrat / Liter}$$

Penyelesaian bahan bakar terdiri dari uranil nitrat ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) dan air (H_2O),

Konsentrasi air dalam 1 liter penyelesaian bahan bakar = 1 – konsentrasi $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ di dalam 1 liter penyelesaian bahan bakar

$$\begin{aligned} &= 1 - 0,06368568829 \\ &= 0,9363143117 \text{ Liter air/penyelesaian bahan bakar} \end{aligned}$$

Densitas $\text{H}_2\text{O} = 0,9363143117 \times 997,047 = 933,5493756$ gr/L

Atau 0,9335493756 gr/cc

$A_{\text{Hdrogen}} = 1,008$ gr/mol, $A_{\text{Oksigen}} = 15,999$ gr/mol

$$N_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0,9335493756 \times 6,022 \times 10^{23}}{15,999 + (2 \times 1,008)} = 3,1206408 \times 10^{22} \text{ atom/cc}$$

Atau $3,1206408 \times 10^{-2}$ atom/barn.cm

Di dalam H₂O terdapat 1 atom H dan 2 atom O

$$N_{\text{O}} = N_{\text{H}_2\text{O}} = 3,1206408 \times 10^{-2} \text{ atom/barn.cm}$$

$$N_{\text{H}} = 2 \times N_{\text{H}_2\text{O}} = 2 \times 3,1206408 \times 10^{-2} = 6,2412816 \times 10^{-2} \text{ atom/barn.cm}$$

$$\text{Total } N_{\text{O}} = N_{\text{O}} \text{ di } \text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 + N_{\text{O}} \text{ di } \text{N}_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$= 2,1912 \times 10^{-3} \text{ atom/barn.cm} + 3,1206408 \times 10^{-2} \text{ atom/barn.cm}$$

$$= 3,3397608 \times 10^{-2} \text{ atom/barn.cm}$$

Tabel . densitas atom bahan bakar baru

Isotop	Atom/barn.cm
U-235	$5,46499574514 \times 10^{-5}$
U-238	$2,19250888469 \times 10^{-4}$
O-16	$3,33976144257 \times 10^{-2}$
N-14	$5,47801691952 \times 10^{-4}$
H-1	$6,24128153157 \times 10^{-2}$

$$\text{Konsentrasi } \text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 = 178,9567841 \text{ gr/L}$$

$$\text{Konsentrasi } \text{H}_2\text{O} = 933,5493756 \text{ gr/L}$$

$$\text{Densitas dari penyelesaian bahan bakar} = \text{Konsentrasi } \text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 + \text{Konsentrasi } \text{H}_2\text{O}$$

$$= 178,9567841 + 933,5493756$$

$$= 1112,50616 \text{ gr/Liter}$$

$$= 1,11250616 \text{ gr/cc}$$

Curriculum Vitae

Personal Data

Name : Ikhlas Halomoan Siregar
Gender : Male
Place and Birth day : Aek Kanopan May'15, 1993
Citizenship : Indonesia
Marital Status : Single
Height, Weight : 168 cm, 69 kg
Health : Good
Religion : Islam
Address : Jl. Bimokurdo sapen GK I/491 Yogyakarta
Phone Number : +62857-4750-4574
E-mail : mister.ikhlas@gmail.com

Education

1998 - 1999 : TK Aisyiah Bustanul Athfal
1999 - 2005 : SDN 115466 lk.II Wonosari, Aek Kanopan
2005 - 2008 : Islamic Boarding School Ar-Raudhatul Hasanah Medan
2008 – 2011 : Islamic Boarding School Ar-Raudhatul Hasanah Medan
2011 – Now : Islamic State of University Sunan Kalijaga Yogyakarta / Physics

Organization

2011 – Now : IKRH (Ikatan Keluarga Ar-Raudlatul Hasanah)
2012 – Now : TDA Campus Jogja
2013 – 2014 : Association Of Physics Student Of Sunan Kalijaga University
2014 – Now : Research and Development AHR
2015 – Now : Muslim Culinary Club
2015 – Now : Sahabat Pena Nusantara Community
2015 – Now : Indonesia Collaborative Science Incubator (ICS.Inc)
2015 – Now : Alms Science Community
2015 – Now : Export and Import Community of CV. SAM Management
2015 – Now : Subak Generation
2015 – Now : Suka Student Forum

Certified Achievement

2008 Scout camp students raiser and enforcement in Sibolangit
2008 1st Qosidah tambourine on PORSENI schools and Islamic schools throughout North Sumatra
2009 Competition scout camp in Bireuen, NAD
2010 2nd Writing Short Story Islami
2010 1st Qosidah Tambourine on POSPEDASU IV in Central Tapanuli
2010 2nd Qosidah Tambourine on POSPENAS V in Surabaya, East Java.
2012 Exact LKTI Student Finalists
2012 National Business Plan Competition
2015 3Th Place Technology Innovation Student Competition DIY

Certified Training

2009 Press and journalism training base rate
2012 Pupils Pesantren of Physics Hikmah Techno Science Foundation
2012 National Entrepreneurship Seminar
2012 National Seminar “Publikasi karya ilmiah “saya setuju tanpa ragu”
2012 ASEAN BRAIN
2013 Data Processing Training Online
2013 Application Workshop for Neutron Scattering Characterization of Materials, BATAN
2013 School Of Physics for Undergraduate-IV
2014 Motivator on “Sarasehan Motivasi”
2014 Internship Student in Industry
2015 National Subak Study Camp

Publication

Book : Berubah Bukan Seperti Superman (2013, Citra Media)
: Berhentilah mencari mulailah menggali (2015, Sahabat Pena Nusantara)
: Mau Kuliah atau Ijazah? (2015, Sahabat Pena Nusantara)
Blog : <http://aikhlas.wordpress.com>
Website: <http://goodcinema21.com>