

**OPTIMASI DESAIN PERISAI RADIASI UNTUK
PERSYARATAN KESELAMATAN PEKERJA PADA DESAIN
BNCT DENGAN SUMBER SIKLOTRON 30 MeV**

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1

Program studi Fisika



Diajukan oleh :
Nur Endah Sari
12620044

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 :B-4220/ UIN.02/D.ST/PP.01.1/ 11 /2016

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul

: Optimasi Desain Perisai Radiasi Untuk Persyaratan Keselamatan Pekerja Pada Desain BNCT Dengan Sumber Siklotron 30 MeV

Yang dipersiapkan dan disusun oleh

Nama : Nur Endah Sari

NIM : 12620044

Telah dimunaqasyahkan pada : 14-Nov-16

Nilai Munaqasyah : A

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

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Dr. Ir. Andang Widi Harto, M.T.
NIP. 19660304 199403 1 003

Penguji I

Asih Melati, S.Si, M.Sc.
NIP.19841110 201101 2 017

Penguji II

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

Yogyakarta, 22 November 2016

UIN Sunan Kalijaga

Fakultas Sains dan Teknologi

Dekan



**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 : Nur Endah Sari

NIM : 12620044

Judul Skripsi : Optimasi Desain Perisai Radiasi Untuk Persyaratan Keselamatan Pekerja Pada Desain BNCT Dengan Sumber Siklotron 30 MeV.

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 Fisika

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 18 Oktober 2016

Pembimbing I

Dr. Ir. Andang Widi Harto, M.T
NIP. 19660304 199403 1 003

Pembimbing II

Asih Melati, M.Sc.
NIP. 19841110 201101 2 017

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini saya:

Nama : Nur Endah Sari

NIM : 12620044

Prodi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "Optimasi Desain Perisai Radiasi Untuk Persyaratan Keselamatan Pekerja Pada Desain BNCT Dengan Sumber Siklotron 30 MeV" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 18 Oktober 2016

Yang menyatakan,



Nur Endah Sari
NIM.12620044

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalammu 'alaikum Wr.Wb

Alhamdullilah, segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia serta hidayah-Nya kepada kita semua. Sehingga saat ini kita masih dikarunia kehidupan dan berada dalam keadaan *sihat wal afiat*. Sholawat serta salam tak lupa kami dihaturkan kepada junjungan kita, Nabi Agung Muhammad SAW beserta para sahabat dan keluarga yang kita nantikan syafaatnya kelak di akhir zaman. Atas nikmat dari Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir/Skripsi yang berjudul “Optimasi Desain Perisai Radiasi Untuk Persyaratan Keselamatan Pekerja Pada Desain BNCT Dengan Sumber Siklotron 30 MeV”, hal ini merupakan karunia yang indah bagi penulis karena tanpa pertolongan serta kehendak-Nya semua ini tak akan pernah terjadi.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis memperoleh bantuan dari beberapa pihak, penulis sangat bersyukur serta berterima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat-Nya dari sekian nikmat itu salah satu yakni dapat menyelesaikan skripsi atas pertolongan-Nya karena semua yang terjadi di dunia ini merupakan kehendak Allah SWT.
2. Orangtua penulis, Ibu Supriyanti dan Bapak Satimin yang tanpa melalui perantara mereka penulis tidak akan pernah ada, doa kedua orangtua yang tiada pernah terputus sehingga dengan izin-Nya skripsi ini selesai.

3. Bapak Dr. Ir. Andang Widi Harto, M.T selaku dosen pembimbing I yang telah berbaik hati bersedia membimbing, mengarahkan, memberikan ilmu baru dan senantiasa sabar selama membimbing penulis.
4. Ibu Asih Melati, M.Sc selaku dosen pembimbing II yang banyak memberikan masukan dan saran yang berguna bagi penulis.
5. Bapak Frida Agung Rakhmadi, M.Sc selaku Dosen Pembimbing Akademik.
6. Bapak Dr. Thaqibul Fikri, M.Si selaku Kepala Jurusan Program Studi Fisika, UIN Sunan Kalijaga.
7. Mas Ilma, Mas Ikhlas dan Mbak Sita selaku tutor dalam belajar MCNPX yang telah berbaik hati bersedia berbagi ilmu kepada penulis yang masih pemula dengan sabar.
8. Teman-teman Fisika 2012 yang selalu berbagi semangat untuk bisa segera menyelesaikan skripsi.
9. Mbak Deni dan Dek Sakti serta segenap keluargaku yang menjadi pengobat penulis saat mengalami kesulitan.
10. Triple W (Wili aka Yuni, Wuli aka Dewi dan Wulan), sahabat setia yang selalu tak pernah lelah mendengarkan curhat penulis memberikan semangat serta pelepas penat dengan kebersamaan kalian.
11. Serta semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari masih ada kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, dikarenakan keterbatasan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis. Sehingga ini bisa menjadi ilmu yang

bermanfaat dan *amal jariyah* bagi kita semua. Penulis hanya bisa membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dengan ucapan terima kasih dan berdoa kepada Allah SWT agar semua kebaikan yang telah diberikan diberi pahala di sisi Allah serta dibalas dengan kebaikan yang melimpah (*Aamiin Yaa Rabbal 'Alamiin*).

Wassalammu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, 18 Oktober 2016

Penulis

MOTTO HIDUP

اللهُ غَایْتُنَا
الرَّسُولُ قُدُّوْتُنَا
الْقُرْآنُ دُسْتُورُنَا
الجِهَادُ سَبِيلُنَا
الْمَوْتُ فِي سَبِيلِ اللهِ أَسْمَى أَمَانِينَا

"Hidup ini adalah perjuangan, tiada masa tuk berpangku tangan"

"Sesuatu hal yang tidak ditemui dalam diri orang beriman adalah putus asa"

"Sesungguhnya Aku sesuai prasangka hambaku (*HR. Tirmidzi*)"

"Kejar yang bisa dikejar, lakukan yang bisa dilakukan"

"Karena kita tak kenal henti,,,"

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan skripsi ini untuk:

- Allah SWT yang telah meminjamkan setetes ilmu-Nya kepada hamba karena semua milik-Nya dan akan kembali pada-Nya.
- Mama, papa, kakak dan didek serta segenap keluargaku tercinta.
- Penyempurna agamaku yang telah tertulis di Lauh Mahfudz.
 - Teman-teman fisika 2012
 - Almamaterku tercinta

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xx
ABSTRAK	xxi

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan.....	8
2.2 Landasan Teori.....	10
2.2.1 <i>Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)</i>	10
2.2.2 Interaksi Radiasi dengan Materi.....	18
2.2.3 Proteksi Radiasi	33
2.2.4 MCNPX	43
2.2.5 Landasan Keislaman.....	47

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	50
---------------------------------------	----

3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	50
3.3 Prosedur Kerja	52
3.4 Analisis Hasil.....	60
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil	62
4.1.1 Pemodelan Kolimator	62
4.1.2 Pemodelan Ruangan.....	63
4.1.3 Pemodelan Perisai Radiasi.....	63
4.2 Pembahasan	73
4.2.1 Integrasi-Interkoneksi	83
BAB V. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	96
5.2 Saran	96
DAFTAR PUSTAKA	98
LAMPIRAN	104

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian yang dilakukan penulis.....	10
Tabel 2.2 Parameter berkas neutron yang disarankan IAEA.....	13
Tabel 2.3 Faktor kualitas foton dan neutron.....	34
Tabel 4.1 Laju dosis ekuivalen hasil simulasi desain 1	65
Tabel 4.2 Laju dosis ekuivalen untuk material beton barit dan <i>borated polyethylene</i>	66
Tabel 4.3 Laju dosis ekuivalen material beton barit dan <i>stainless steels</i> desain 1	67
Tabel 4.4 Laju dosis ekuivalen hasil simulasi desain 2	68
Tabel 4.5 Laju dosis ekuivalen untuk material beton barit.....	69
Tabel 4.6 Laju dosis ekuivalen material beton barit dan <i>stainless steels</i> desain 2	70
Tabel 4.7 Laju dosis ekuivalen hasil simulasi desain 3	71
Tabel 4.8 Laju dosis ekuivalen material beton barit dan parafin.....	72
Tabel 4.9 Laju dosis ekuivalen material beton barit dan <i>stainless steels</i> desain 3	73
Tabel A Konstanta	104
Tabel B.1 Koefisien atenuasi massa dan koefisien serapan massa energi untuk beton barit	122
Tabel B.2 Koefisien atenuasi <i>borated polyethylene</i>	123
Tabel B.3 Koefisien atenuasi parafin	124
Tabel B.4 Koefisien atenuasi <i>stainless steels</i>	125
Tabel C.1 Tampang lintang mikroskopis berdasarkan energi	126
Tabel D.1 <i>Buildup factor</i> untuk beton barit.....	131
Tabel D.2 <i>Buildup factor</i> untuk <i>stainless steels</i>	132
Tabel E.1 Perbandingan koefisien kerma baru (DS02) dan lama (DS86) untuk foton pada soft tissue dengan model referensi manusia ICRP 1975	139
Tabel E.2 Perbandingan koefisien kerma baru (DS02) dan lama (DS86) untuk neutron pada soft tissue dengan model referensi manusia ICRP 1975 .	140

Tabel F.1 Konversi dosis serap ke dosis ekuivalen untuk foton	141
Tabel F.2 Konversi dosis serap ke dosis ekuivalen untuk neutron.....	142
Tabel G.1 Laju dosis ekuivalen desain pertama.....	147
Tabel G.2 Laju dosis ekuivalen desain kedua	148
Tabel G.3 Laju dosis ekuivalen desain ketiga	150
Tabel H.1 Laju dosis ekuivalen gamma desain pertama	152
Tabel H.2 Laju dosis ekuivalen gamma desain kedua	152
Tabel H.3 Laju dosis ekuivalen gamma desain ketiga	153
Tabel H.4 Laju dosis ekuivalen gamma untuk pintu <i>stainless steels</i>	153
Tabel I. Presentase beberapa unsur di alam	154
Tabel J.1 Hasil kali perhitungan fraksi atom dengan tampang lintang mikroskopis untuk beton barit	156
Tabel J.2 Hasil kali perhitungan fraksi atom dengan tampang lintang mikroskopis untuk <i>borated polyethylene</i>	159
Tabel J.3 Hasil kali perhitungan fraksi atom dengan tampang lintang mikroskopis untuk parafin	159
Tabel J.4 Hasil kali perhitungan fraksi atom dengan tampang lintang mikroskopis untuk <i>stainless steels 202</i>	160
Tabel K.1 Laju dosis ekuivalen neutron desain pertama.....	162
Tabel K.2 Laju dosis ekuivalen neutron desain kedua	162
Tabel K.3 Laju dosis ekuivalen neutron desain ketiga	163
Tabel K.4 Laju dosis ekuivalen neutron untuk pintu <i>stainless steels</i>	164
Tabel L. Harga material	165
Tabel M. Estimasi biaya pembuatan perisai	166

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip dasar BNCT	11
Gambar 2.2 Peristiwa <i>Bremsstrahlung</i>	19
Gambar 2.3 Penggambaran proses anihilasi elektron - positron	20
Gambar 2.4 Efek Compton.....	24
Gambar 2.5 Penggambaran efek fotolistrik dalam atom bebas	25
Gambar 2.6 Skema representasi dari produksi pasangan	25
Gambar 2.7 Berkas neutron koheren menembus material berbentuk slab	27
Gambar 2.8 Beton.....	37
Gambar 2.9 Paraffin	39
Gambar 2.10 Simulasi <i>transport</i> partikel neutron.....	45
Gambar 3.1 Diagram alir pelaksanaan penelitian tugas akhir.....	52
Gambar 3.2 Diagram alir pemodelan kollimator.....	53
Gambar 3.3 Diagram alir perancangan desain perisai radiasi	55
Gambar 4.1 Desain kolimator tampak XZ	62
Gambar 4.2 Desain 1 tampak XZ.....	64
Gambar 4.3 Desain 2 tampak XZ	67
Gambar 4.4 Desain 3 tampak XZ	70
Gambar 4.5 Grafik ketebalan vs laju dosis ekuivalen desain 1	76
Gambar 4.6 Grafik ketebalan vs laju dosis ekuivalen desain 2	77
Gambar 4.7 Grafik ketebalan vs laju dosis ekuivalen desain 3	78
Gambar 4.8 Grafik ketebalan vs laju dosis ekuivalen desain perisai pintu geser.	79
Gambar 4.9 Grafik perbandingan laju dosis ekuivalen ketiga desain	81
Gambar A.1 Tampilan <i>input</i> di cmd.....	145
Gambar A.2 Tampilan <i>output</i> di cmd.....	145
Gambar A.3 Tampilan input di PuTTY.....	146

Gambar A.4 Tampilan output di WinSCP.....146



DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

<i>Lambang</i>	<i>Kuantitas</i>	<i>Satuan</i>
Φ	Fluks	partikel.cm ⁻² .detik ¹
σ	Tampang lintang mikroskopik	barn (10^{-24} cm ²)
Σ	Tampang lintang makroskopik	cm ⁻¹
μ	Koefisien atenuasi	cm ⁻¹
\emptyset	Diameter	cm
ρ	Densitas massa	gram.cm ⁻³
λ	Panjang gelombang, mfp	meter
χ	Fraksi atom atau fraksi mol	
A	Massa atom relatif	sma
B	Medan magnet	tesla
D	Dosis serap	gray
E	Energi	joule
f,v	Frekuensi	hz
H	Dosis ekuivalen	sievert
J	Arus partikel	partikel
K	Energi kinetik	joule
M	Massa molekul relatif	sma
M	Massa	kg
N	Densitas atom	atom.cm ⁻³
Q	Muatan	coulomb

Q	Faktor kualitas	
R	Radius	meter
V	Kecepatan	m.s^{-1}
W	Energi ambang	joule
Y	Fraksi massa	
Z	Nomor atom	

Lambang Deskripsi

α	Alpha
γ	Gamma
Al	Aluminium
Al_2O_3	Aluminium oksida
AlF_3	Aluminium florida
B	Boron
Be	Berilium
Bi	Bismut
B_4C	Boron karbida
He	Helium
Li	Lithium
LiF	Lithium Florida
Li_2CO_3	Lihium karbonat
Ni	Nikel
O	Oksigen

Pb	Timbal
PbF ₂	Timbal (II) florida
S	Sulfur
TiF ₃	Titanium (III) florida

Singkatan

ALARA	<i>As Low As Reasonably Achievable</i>
APD	Alat Pelindung Diri
BATAN	Badan Tenaga Nuklir Nasional
BAPETEN	Badan Pengawas Tenaga Nuklir
BNCT	<i>Boron Neutron Capture Therapy</i>
BPA	<i>Boronophenylalanine</i>
BSH	<i>Sodium Borocaptate</i>
Cmd	<i>Command Prompt</i>
GLOBOCAN	<i>Global resource for data on incidence, prevalence and mortality in cancer</i>
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
ICRP	<i>International Commission on Radiological Protection</i>
JANIS	<i>Java-based Nuclear Information Software</i>
KURRI	<i>Kyoto University Research Reactor</i>
LET	<i>Linear Energy Transfer</i>
MBE	Mesin Berkas Elektron

MCNPX	<i>Monte Carlo N-Particle eXtended</i>
Ms Excel	<i>Microsoft Excel</i>
Ms Word	<i>Microsoft Word</i>
NCT	<i>Neutron Capture Therapy</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
SHI	<i>Sumitomo Heavy Industries</i>
THOR	<i>Tsing Hua Openpool Reactor</i>
VISED	<i>Visual Editor Computer Code</i>
WinSCP	<i>Windows Secure CoPy</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Konstanta	104
Lampiran II	Konversi satuan radiasi	105
Lampiran III	Kode untuk <i>input</i> di MCNPX	106
Lampiran IV	Material.....	117
Lampiran V	Koefisien atenuasi material.....	122
Lampiran VI	Tampang lintang mikroskopis total	126
Lampiran VII	<i>Buildup</i> faktor.....	131
Lampiran VIII	KERMA	139
Lampiran IX	Konversi dosis serap ke dosis ekuivalen	141
Lampiran X	Tampilan <i>input output</i>	145
Lampiran XI	Laju dosis ekuivalen hasil simulasi	147
Lampiran XII	Hasil perhitungan teoritik untuk laju dosis ekuivalen gamma	152
Lampiran XIII	Presentase unsur di alam	154
Lampiran XIV	Hasil perhitungan teoritik untuk laju dosis ekuivalen neutron	156
Lampiran XV	Harga material	165
Lampiran XVI	Estimasi biaya pembuatan perisai.....	166

**OPTIMASI DESAIN PERISAI RADIASI
UNTUK PERSYARATAN KESELAMATAN PEKERJA
PADA DESAIN BNCT DENGAN SUMBER SIKLOTRON 30 MEV**

Nur Endah Sari

12620044

ABSTRAK

Telah dibuat sebuah model perisai radiasi untuk ruang terapi *Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)*. BNCT adalah metode baru dalam teknologi nuklir yang menggabungkan antara kemoterapi dan radioterapi. Terapi yang menggunakan radiasi pengion harus memperhatikan keselamatan pasien, pekerja radiasi dan lingkungan. Tujuan dari pembuatan desain perisai radiasi adalah agar pekerja radiasi terjamin keselamatannya selama bekerja sehingga tujuan proteksi radiasi dapat tercapai. Pemodelan perisai radiasi menggunakan *software Monte Carlo N-Particle eXtended (MCNPX)*. Perhitungan laju dosis ekivalen menggunakan gabungan metode simulasi dan analitik teoritik. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari tiga desain yang dibuat, dua buah desain telah memenuhi persyaratan keselamatan pekerja sesuai Perka Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No. 4 Tahun 2013 dengan nilai laju dosis ekivalen kurang dari 10 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Meskipun, satu desain lainnya gagal memenuhi. Desain perisai radiasi yang optimal diperoleh dari penggunaan material parafin dengan ketebalan 91,5 cm pada lapisan pertama dan beton barit dengan ketebalan 122 cm pada lapisan kedua serta dilengkapi dengan pintu geser dengan ketebalan 189 cm yang terdiri dari material beton barit setebal 185 cm yang seluruh permukaan luarnya dilapisi *stainless steel* setebal 2 cm dengan nilai laju dosis ekivalen maksimum sebesar 3,59 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$.

Kata kunci: BNCT, Dosis Ekuivalen, MCNPX, Perisai Radiasi, Proteksi Radiasi

**THE OPTIMIZATION OF RADIATION SHIELDING DESIGN
FOR WORKER SAFETY REQUIREMENTS ON BNCT DESIGN
WITH 30 MEV CYCLOTRON SOURCE**

Nur Endah Sari

12620044

Abstract

A radiation shielding model has been created for Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) treatment room. BNCT is a new method in nuclear technology that combines chemotherapy and radiotherapy. The therapy uses ionizing radiation should pay attention to the safety of patients, radiation workers and environment. The aim of radiation manufacturing shielding design are for ensuring the safety of radiation workers during working so the purpose of radiation protection can be achieved. The modeling of radiation shielding using software Monte Carlo N-Particle eXtended (MCNPX). The calculation of equivalent dose rate using a combination of simulation and analytic theoretical methods. Based on the results were obtained from the three designs were created, two design convenient the safety workers requirements suitable by Nuclear Energy Regulatory Agency of Indonesia (BAPETEN) Chairman's Regulation Number 4 Year 2013 with value of equivalent dose rate less than 10 $\mu\text{Sv}/\text{h}$. Although, one design failed. The most optimal design of radiation shielding material using of paraffin which has thickness 91,5 cm on the first layer and barite concrete which has thickness 122 cm in the second layer. Optimal design equipped a sliding door, this sliding door has thickness 189 cm and consist of barite concrete material inside which has thickness 185 cm and stainless steel outside which has thickness 2 cm. The results of this research also shown optimal design has maximum value of equivalent dose rate 3,59 $\mu\text{Sv}/\text{h}$.

Keywords: BNCT, Equivalent Dose, MCNPX, Radiation Protection, Radiation Shielding

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan aplikasi nuklir memang sangat menguntungkan, akan tetapi juga perlu diingat bahwa dalam penggunaannya juga harus sangat berhati-hati karena ada resiko yang harus ditanggung. Penelitian terkait dampak radiasi terhadap kesehatan pekerja radiasi pernah dilakukan di RSUD Arifin Achmad, RS Santa Maria dan RS Awal Bros Pekanbaru dari hasil penelitian tersebut diperoleh bahwa dari 39 koresponden diperoleh 4 orang memiliki kadar leukosit abnormal. Diketahui orang tersebut tidak memakai Alat Pelindung Diri (APD) seperti *apron* dan *film badge* selama bekerja di unit radiologi. Perubahan kadar leukosit merupakan salah satu efek yang terjadi karena terkena paparan radiasi yang cukup lama dan bisa berakibat fatal jika tidak segera dicegah. Oleh karena itu, *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) dalam publikasinya No. 26 bahwa dalam kegiatan yang melibatkan sumber radiasi pengion, sistem pembatasan dosis yang komprehensip harus diterapkan (Mayerni dkk, 2013).

Aplikasi nuklir di bidang medis yang berpotensi untuk dikembangkan saat ini salah satunya adalah *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT). BNCT merupakan terapi radiasi kanker. Penyakit kanker diangkat sebagai tema karena berdasarkan data GLOBOCAN (*global resource for data on incidence, prevalence and mortality in cancer*), IARC (*International Agency*

for Research on Cancer) diketahui bahwa pada tahun 2012 terdapat 14.067.894 kasus baru kanker dan 8.201.575 kematian akibat kanker di seluruh dunia.

BNCT merupakan gabungan dari kemoterapi dan radioterapi yang menggunakan nuklida nonradioaktif boron-10 untuk menangkap neutron termal dan epitermal sehingga terjadi reaksi nuklir cepat ^{10}B (n, α) ^7Li (Saurwien, 2012:1-2). Penelitian tentang terapi BNCT sedang dilakukan di negara maju seperti Amerika, Jepang, Jerman dan lain-lain. Terapi ini dipilih karena memiliki banyak keunggulan diantaranya: efektif, reaksi antara neutron dan boron menghancurkan sel kanker secara selektif, energi neutron termal dan epithermal yang digunakan rendah sehingga tidak merusak sel-sel sehat disekitarnya, pengobatannya singkat sekitar 20-60 menit dan obat yang mengandung senyawa boron seperti BPA dan BSH tidak bersifat *toxic* (racun) sehingga tidak ada efek sampingnya bagi kesehatan dalam (Holden dkk, 2005; R.L.Moss dkk).

Salah satu sumber neutron untuk terapi ini yang sedang dikembangkan adalah siklotron 30 MeV bernama HM-30. HM-30 merupakan siklotron produk terbaru yang tengah dikembangkan SHI (*Sumitomo Heavy Industry*) dan KURRI (*Kyoto University Research Reactor*). SHI merupakan perusahaan industri berat yang bergerak di berbagai bidang teknik mesin, peran SHI dalam riset BNCT di Jepang sebagai produsen dan pengembang siklotron. *Clinical trial* BNCT menggunakan siklotron 30 MeV ditempatkan

di KURRI untuk pengembangan terapi BNCT ke depannya. Siklotron dipilih karena lebih praktis dibandingkan dengan reaktor karena mudah dalam hal instalasinya di rumah sakit (T.Mitsumoto dkk, 2010).

Agar tidak terjadi kesalahan seperti kasus pekerja radiasi yang ada di di RSUD Arifin Achmad, RS Santa Maria dan RS Awal Bros Pekanbaru maka diperlukan suatu persiapan yang matang dalam penggunaan aplikasi ini. Selain pekerja yang menggunakan APD, juga harus dibuat perisai radiasi yang mampu menahan radiasi neutron dan gamma agar tidak keluar ruangan irradiasi. Sehingga pekerja yang berada di ruang kontrol aman dan selamat selama bekerja. Untuk menghemat biaya dan efisiensi perlu dilakukan simulasi perisai radiasi agar dapat diperoleh material dengan ketebalan yang sesuai untuk menahan laju radiasinya.

Jauh sebelum semua partikel itu digunakan dalam aplikasi nuklir bahkan sebelum ditemukan, pengetahuan tentang partikel atau zarrah telah ada dan disebutkan dalam Al-Qur'an. Sebagaimana firman Allah SWT dalam Surah Yunus ayat 61:

وَمَا تَكُونُ فِي شَاءٍ وَمَا تَنْلُو مِنْهُ مِنْ قُرْآنٍ وَلَا تَعْمَلُونَ مِنْ عَمَلٍ إِلَّا كُنَّا عَلَيْكُمْ شُهُودًا إِذْ تُفِيضُونَ
فِيهِ وَمَا يَعْزِبُ عَنْ رَبِّكَ مِنْ مِنْقَالِ ذَرَّةٍ فِي الْأَرْضِ وَلَا فِي السَّمَاءِ وَلَا أَصْغَرَ مِنْ ذَلِكَ وَلَا أَكْبَرَ إِلَّا فِي
كِتَابٍ مُّبِينٍ

Artinya:

Dan tidaklah engkau berada dalam suatu persoalan dan tidak engkau membaca satu bacaan dari Al Quran, dan tidak kamu mengerjakan suatu amalan, melainkan adalah Kami menjadi saksi atas kamu, seketika kamu

tertarik kepadanya. Dan tidak ada yang terlupakan dari pada Tuhan engkau dari yang seberat zarrah di bumi dan tidak pula di langit. Dan tidak pula yang lebih kecil dari itu dan tidak (pula) yang lebih besar dari itu, melainkan (semua tercatat) dalam kitab yang nyata (Lauh Mahfuzh) (Hamka, 1966).

Menurut Tafsir Al-Azhar “*Dari seberat zarrah pun*” bermakna benda yang tidak dapat dibagi, mulanya ditafsirkan atom tapi seiring perkembangan zaman ditemukan partikel yang lebih kecil dari atom maka zarrah tetaplah zarrah bukan atom. “Baik di bumi dan tidak pula di langit” bahwasanya seluruh wilayah alam ini, bumi dan langit, segala benda (materi) yang ada adalah kumpulan, pertemuan dan perpaduan dari pada zarrah-zarrah. “*Dan tidak pula yang lebih kecil dari itu dan tidak (pula) yang lebih besar dari itu, melainkan (semua tercatat) dalam kitab yang nyata (Lauh Mahfuzh)*” menjelaskan yang lebih kecil dari atom itu ada dan menuntun iman terhadap Tuhan bahwasanya ilmu Tuhan sangatlah luas sampai ke partikel yang sangat kecil yang tidak terlihat oleh mata. Ayat ini juga meneguhkan kepercayaan bahwa Al-Quran memang wahyu Ilahi bukan karangan Nabi Muhammad SAW karena saat ayat ini diturunkan masyarakat dunia belum semaju sekarang yang telah mengetahui tentang alam raya dan alam zarrah (Hamka, 1966).

Pada dasarnya Allah telah menciptakan semua yang ada di muka bumi ini untuk manusia, bahkan sesuatu yang tak terlihat seperti zarrah pun bisa menjadi hal yang sangat berguna. Sebagai hamba kita harus bersyukur dan dapat memanfaatkannya dengan sebaik-baiknya tidak kurang dan tidak lebih,

karena sesungguhnya Allah tidak menyukai segala sesuatu hal yang berlebihan. Begitu pula radiasi yang dimanfaatkan, jika digunakan secara berlebihan akan memberikan efek samping bagi tubuh kita yang berupa efek somatik atau efek genetik. Oleh karena itu, pada penelitian ini jika radiasi neutron dan gamma dibiarkan lolos akan berbahaya. Sehingga agar tidak membahayakan para pekerja radiasi di sekitarnya, maka perlu dibuat perisai radiasi. Tujuan pembuatan perisai radiasi ini agar pekerja radiasi bisa bekerja dengan aman dan tujuan proteksi radiasi dapat diterapkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada latar belakang diatas diperoleh suatu rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang desain perisai fasilitas terapi pasien BNCT yang optimal serta sesuai dengan standar BAPETEN?
2. Apa material dan berapa ketebalannya yang sesuai agar diperoleh desain perisai yang optimal?
3. Bagaimana menentukan nilai *output* setelah melewati perisai radiasi yang berupa laju dosis ekuivalen gamma dan neutron untuk mencapai persyaratan keselamatan pekerja radiasi sesuai Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2013.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan:

1. Membuat desain perisai fasilitas terapi pasien BNCT yang optimal dari beberapa rancangan desain yang dibuat serta sesuai dengan standar BAPETEN.
2. Mengkaji material dan ketebalannya yang paling efektif dalam menahan radiasi neutron dan gamma.
3. Menentukan nilai *output* setelah melewati perisai radiasi yang berupa laju dosis gamma dan neutron melalui perhitungan analitik teoritik serta simulasi untuk mencapai persyaratan keselamatan pekerja radiasi sesuai Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2013.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini mengguankan batasan masalah dan asumsi berikut:

1. Siklotron 30 MeV diasumsikan sebagai sumber neutron.
2. Pemodelan ruangan fasilitas terapi pasien BNCT menggunakan ukuran $4 \times 4 \times 3$ m
3. Penyelesaian masalah memakai software MCNPX.
4. Desain dilakukan dengan menguji variasi bahan dan ketebalannya sesuai karakteristiknya
5. Kriteria batasan dosis radiasi berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Keilmuan
 - a. Mengetahui desain perisai yang optimal sesuai dengan standar BAPETEN.
 - b. Mengetahui material beserta ketebalan material yang paling efektif dalam menahan radiasi neutron dan gamma yang berasal dari siklotron 30 MeV.
 - c. Terpenuhinya persyaratan keselamatan pekerja radiasi sesuai peraturan BAPETEN.
2. Bagi Masyarakat
 - a. Melengkapi penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan BNCT.
 - b. Menjadi referensi khususnya tentang perisai radiasi untuk penelitian lebih lanjut mengenai BNCT.
 - c. Kelak ketika BNCT berhasil diaplikasikan di Indonesia, masyarakat khususnya yang mengidap penyakit kanker dapat tertolong dengan adanya terapi pengobatan kanker yang lebih efektif dan efisien dalam membunuh sel kanker sehingga angka harapan hidup juga meningkat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian pemodelan desain perisai radiasi dengan sumber siklotron 30 MeV untuk fasilitas terapi BNCT dapat ditarik kesimpulan:

1. Telah berhasil dibuat dua perisai radiasi yang memenuhi kriteria persyaratan keselamatan pekerja radiasi sesuai Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2013 dari tiga desain yang dibuat.
2. Bahan material yang paling efektif diperoleh dari desain ketiga yang berupa parafin dengan ketebalan 91,5 cm pada lapisan pertama dan beton barit dengan ketebalan 122 cm pada lapisan kedua dilengkapi dengan pintu geser dengan ketebalan 189 cm yang terdiri dari material beton barit yang seluruh permukaan luarnya dilapisi *stainless steel* setebal 2 cm.
3. Desain yang paling optimum diperoleh dari desain ketiga dengan nilai laju dosis ekuivalen hasil simulasi MCNPX sebesar 0 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ sedangkan hasil perhitungan teoritik untuk material beton barit dan paraffin sebesar $1,43269 \times 10^{-10} \text{ Sv}/\text{jam}$ dan $3,59 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ pada pintu geser yang terdiri dari material beton barit dan *stainless steel*.

5.2 Saran

Demi memperoleh hasil yang lebih baik, maka penulis memiliki saran untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Jumlah nps dinaikkan melebihi 1 milyar sampai lolos uji statistik, perlu diingat penambahan jumlah nps akan membuat waktu running semakin lama.
2. Sumber yang digunakan lebih besar agar intensitas berkasnya lebih kuat, perlu diingat hal ini akan membuat waktu running semakin lama..
3. Pembagian *range energi* yang di *tally* lebih detail, dekat dan kecil untuk memperoleh nilai yang lebih teliti.
4. Penambahan material yang lebih variatif sehingga dapat menemukan desain yang lebih baik dalam segi ketebalan agar lebih praktis.
5. Material *stainless steel* 347 lebih disarankan dibandingkan *stainless steel* 202.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardana, I Made. 2015. *Optimasi Desain Kollimator dan Dosimetri Terapi Kanker Sarkoma Jaringan Lunak Pada Leher dan Kepala Dengan Boron Neutron Capture Therapy Untuk Sumber Neutron Cyclotron 30 MeV Menggunakan Program Monte Carlo N Particle X.* (Thesis), Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Gajah Mada.
- Arya.W, Wisnu. 2004. *Al Qur'an dan Energi Nuklir.* Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Arya.W, Wisnu. 2007. *Teknologi Nuklir Proteksi Radiasi dan Aplikasinya.* Yogyakarta: ANDI.
- Az-Zuhaili, Wahbah. 2013. *Tafsir Al-Munir: Aqidah-Syariah-Manhaj (Al-Fatihah – Al-Baqarah) Juz 1 & 2.* Jakarta: Gema Insani.
- Bapeten. 2013. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013.*
- Bapeten. 2016. *Dokumen Instrumentasi Proteksi Radiasi.* Diakses 27 Desember 2015 dari <http://ansn.bapeten.go.id/>.
- Beiser, Arthur. 2000. *Konsep Fisika Modern.* Jakarta: Erlangga.
- Beton. Diakses 19 November 2016 dari <http://precast.org/wp-content/uploads/2013/04/concrete-block.jpg>.
- Beton barit. Diakses 19 November 2016 dari http://www.betontechnology.it/en/barite_concrete.html.
- Bremsstrahlung. Diakses 10 September 2016 dari <http://hardhack.org.au/book/export/html/76>.
- Buildup factor. Diakses 22 September 2016 dari <http://www.nucleonica.net/Application/Help/Helpfiles/Appendix4.htm>.
- Chabot, George.E. *Shielding of Gamma Radiation.*
- Chamber, Herman dan Thomas E.Johnson. 2009. *Introduction to Health Physics (4th edition).* United States: The McGraw-Hill Companies.
- Chen, A.Y, Y.W.H Liu and R.J Sheu. 2008. Radiation shielding evaluation of the BNCT treatment room at THOR: A TORT-coupled MCNP Monte Carlo simulation study *Applied Radiation and Isotopes.* Vol.66 13 Juli 2007: 28-38

- Darsono, Safirudin dan M.Toifur. 2013. Simulasi Desain Perisai Radiasi MBE-Lateks Menggunakan MCNP5. *Jurnal BATAN*.
- Edi.P, Buyung. 2015. *Desain Perisai Radiasi Fasilitas Uji In Vitro Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) Pada Beam Port Tembus Radial Reaktor Kartini Menggunakan Simulator Monte Carlo N-Particle Extended (MCNPX)*. (Skripsi), Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Elmahroug, Y., B.Tellili dan C.Souga. 2013. Calculation Of Gamma And Neutron Shielding Parameters For Some Materials Polyethylene-Based. *International Journal of Physics and Research (IJPR)*, **Vol.3 Mar 2013**: 33-40, ISSN: 2250-0030
- Endah.S, Nur., Andang W.H dan Asih Melati. 2016. Optimization Radiation Shielding Design For Worker Safety Requirements on BNCT Design With 30 MeV Cyclotron Source. The *6th International Conference on Mathematics and Natural Sciences: ON THE ROAD TOWARDS SUSTAINABLE DEVELOPMENT*. (Bandung:ITB), 2-3 November 2016.
- Endah.S, Nur., Y.Sardjono, Andang W.H and Susilo.W. 2016. Analysis of Radiation Effects on Workers and Environment Pilot Plant Boron Neutron Capture Therapy (BNCT). *2nd International Symposium The Application of Nuclear Technology to Support National Sustainable Development: Health, Agriculture, Energy, Industry and Environment*. (Surakarta: BATAN), 10-11 August 2016.
- Faghihi, F., dan Khalili.S. 2013. Beam Shaping Assembly of a D – T Neutron Source for BNCT and its Dosimetry Simulation in Deeply-seated Tumor. *Radiation Physics and Chemistry*, **Vol. 89 2013**: 1–13.
- Fujibuchi,Toshioh., Satoshi Obara, Masaru Nakajima, Nozomi Kitaura dan Tomoharu Sato. 2014. Estimation of neutron and gamma radiation doses inside the concrete shield wall for 10 and 15 MV medical linear accelerators. *Progress in Nuclear Science and Technology*, **Vol. 4 2014** :280-284.
- Freund, Mihály., Mózes.G dan Jakab.E. 1982. *Paraffin products: properties, technologies, applications*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier
- Hadi Santoso, Bambang. 2014. *Pemodelan Perisai Radiasi Dengan Sumber Beamport Reaktor Kartini Menggunakan MCNP5*. (Skripsi), Jurusan Teknik Nuklir, FT, Universitas Gajah Mada.
- Hamka. 1966. *Tafsir Al-Azhar Juzu' XI*. Jakarta: Panji Masyarakat.
- Hamka. 1983. *Tafsir Al-Azhar Juzu' XVII*. Surabaya: Pustaka Islam.

- Hamka. 1986. *Tafsir Al-Azhar Juzu' IV*. Jakarta:Pustaka Panjimas.
- Harga borated polyethylene. Diakses 06 Oktober 2016 dari <http://www.eplastics.com/Plastic/borated-hdpe-sheet>
- Holden, N.E dan R.N.Reciniello. 2005. Radiation Dosimetry ain the Patient Treatment Room at the BMRR. *12th International Symposium on Reactor Dosimetry Gatlinburg, TN May 2005*.
- IAEA. 2001. *Current status of neutron capture therapy*, International Atomic Energy Agency. Dokumen Teknis No 1223. Wina: IAEA
- IAEA. 2001. *Current status of neutron capture therapy "Dose And Volume Specification For Reporting Bnct: An Iaea-Icru Initiative"*. Dokumen Teknis. Wina: IAEA
- Ilma M.A, Muhammad. 2013. *Pemodelan Perisai Radiasi Fasilitas BNCT Dengan Sumber Beampoint Tembus Reaktor Kartini Menggunakan MCNP5*. (Skripsi), Jurusan Teknik Nuklir, FT, Universitas Gajah Mada.
- Imanuddin, Teguh. 1987. *Beton penahan radiasi yang menggunakan agregat barit dan campuran fly ash*. (Skripsi), Jurusan Teknik Sipil, FT, UI.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2012). *GLOBOCAN 2012: Estimated cancer incidence, mortality, and prevalence worldwide in 2012*. Diakses 27 Desember 2015 dari http://globocan.iarc.fr/Pages/fact_sheets_population.aspx.
- Isotop alam . Diakses 06 Oktober 2016 dari <HTTP://WWW.CHEMICOOL.COM/ELEMENTS.HTML>
- Kaye, George William Clarkson dan Laby,Thomas Howell. 2013. "Mechanical properties of materials". *Kaye and Laby Tables of Physical and Chemical Constants*. National Physical Laboratory.
- Kementerian Kesehatan RI. Hasil Riskesdas 2013. Kanker. Diakses 30 Desember 2015 dari <http://www.depkes.go.id/resources/download/general/Hasil%20Riskeidas%202013.pdf>.
- Kerr, George.D, Joseph V.Pace III dan Stephen D.Egbert. *Survivor Dosimetry "Part A. Fluence-to-Kerma Conversion Coefficients"*.
- Koefisien attenuasi. Diakses 22 September 2016 dari <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab3.html>
- Krane, Kenneth.S. 1992. *Fisika Modern*. Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Lamarsh, John.R. 1972. *Introruction to Nuclear Theory*. New York: Addison Wesley publishing Company.

- Lamarsh, John.R dan Anthony Barata. 2001. *Introduction to Nuclear Engineering*. New York: Prentice Hall.
- Mayerni, Adrianto Ahmad dan Zainal Abidin. 2013. Dampak Radiasi Terhadap Kesehatan Pekerja Radiasi Di RSUD Arifin Achmad, RS Santa Maria dan RS Awal Bros Pekanbaru. *Jurnal Ilmu Lingkungan*. Vol.7 2013.
- McConn.Jr, RJ., C.J Gesh, R.T Pagh, R.A Rucker dan R.G William III. 2011. *RADIATION PORTAL MONITOR PROJECT “Compendium of Material Composition Data for Radiation Transport Modeling”*. United States, Washington: Pacific Northwest National Laboratory Richland.
- Mitsumoto,T., K. Fujita, T. Ogasawara, H. Tsutsui dan S. Yajima. 2010. BNCT System Using 30 Mev H⁻ Cyclotron. *Proceedings of CYCLOTROONS 2010, Lanzhou, China*, 2010 : 430-432.
- Moss,R.L., Finn Stecher-Rasmussen, Klaas H.Appelman, A Roca, Wolfgang A.G Saurwien dan Andrea Wittig. 2005. Neutron Activation of Patients following BNCT at the HFR Petten.
- Muhammad, Syed.1989. *Islam & Filsafat SAINS*. Bandung: MIZAN.
- Nasser, William E. 1999. "Waxes, Natural and Synthetic". In McKetta, John J. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*. 67. New York: Marcel Dekker.
- National Physics Laboratory. *Electrical insulating materials*. Diakses 20 November 2016 dari http://www.kayelaby.npl.co.uk/general_physics/2_6/2_6_3.html
- National Physics Laboratory. *Attenuation of fast neutron: neutron moderation and siffusion* . Diakses 20 November 2016 dari http://www.kayelaby.npl.co.uk/atomic_and_nuclear_physics/4_7/4_7_3.html.
- Nelson,G dan D. Relly. *Gamma Interaction with Matter*.
- Nigg, David.W. 2012. *Physical Dosimetry and Spectral Characterization of Neutron Sources for Neutron Capture Therapy. Neutron Capture Therapy Principles and Application*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Paraffin. Diakses 20 November 2016 dari <http://pwp-paraffin.com/petrowaxparsina/2015/12/16/paraffin-wax/>.
- Pelowitz, Denise B. 2008. *MCNPX™ USER'S MANUAL Version 2.6.0*.United States: Los Almos.

- Purwanto, Agus. 2014. *AL-'ALIM AL-QUR'AN DAN TERJEMAHANNYA Edisi Ilmu Pengetahuan*. Bandung: Al-Mizan Publishing House.
- Sardjono,Yohannes, Andang Widi Harto, M.Ilma M.Arrozaqi, Irhas, Bambang Hadi Santosa dan Helmi Tanthawi. 2015. *Pengantar Monte Carlo N-Partikel*. Yogyakarta:Jogja Bangkit Publisher.
- Satoru,Yajima. 2015. Present Status of BNCT Using Cyclotron 30 MeV. Simposium Salatiga.
- Sauerwein, Wolfgang A.G dan Ray Moss. 2009. *Requirement for Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) at a Nuclear Research Reactor*. The European BNCT Project: Belanda.
- Saurwien, Wolfgang A.G. 2012. *Principles and Roots of Neutron Capture Therapy. Neutron Capture Therapy Principles and Application*, Chapter 1 1-16. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sauerwein, Wolfgang A.G, Pierre M. Bet, dan Andrea Wittig. 2012. *Neutron Capture Therapy. Drugs for BNCT : BSH and BPA, Neutron Capture Therapy Principles and Application*, 117-161. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Schirmers, Fritz Gordon. 2006. *Improvement of Photon Buildup Factors for Radiological Assessment*. (Thesis), Department of Nuclear Engineering. Faculty of North Carolina State University.
- Silakhudin. 2010. Penentuan Kriteria Desain Komponen Utama Siklotron 13 MeV. Iptek Nuklir: Bunga Rampai Presentasi Ilmiah Jabatan Peneliti.
- Suhaemi, Tjipta. 1982. *Perisai Radiasi*. Yogyakarta: Pusat Penelitian Bahan Murni dan Instrumentasi Badan Tenaga Atom Nasional.
- Syed.N, Ahmad. 2007. *Physics and Engineering of Radiation Detection (1st edition)*. Amsterdam: Elsevier.
- Thurner, James.E. 2007. *Atoms, Radiation, and Radiation Protection (3rd edition)*. Jerman: WILEY.
- Wahyuningsih, Dwi. 2014. *Optimation Of Collimator Design For In Vivo Testing Of Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) On Radial Piercing Beam Port Kartini Nuclear Reactor Using Monte Carlo N Particle 5 (MCNP5) Simulation*. (Thesis), Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Gajah Mada.
- Widyaningsih, Dewi dan Heri Sutanto. 2013. Penentuan Dosis Radiasi Eksternal Pada Pekerja Radiasi Di Ruang Penyinaran Unit Radioterapi Rumah Sakit DR.KARIADI SEMARANG. *Jurnal Berkala Fisika*, Vol.16 No.2 April 2013:57-62.

- Wiryosimin, Suwarno. 1985. *Mengenal Asas Proteksi Radiasi*. Bandung:ITB.
- Wiyuniati, Slamet dan Indragini. Usulan Nilai Pembatas Dosis Bagi Pekerja Radiasi dan Peserta Pelatihan di Pusdiklat BATAN. *Widyanuklida*, Vol. 15 No.1 November 2015: 46-51.
- World Health Organization. 2012. *World Health Statistics 2012*. Geneva: World Health Organization.
- Zulkafli, Dian dan Hilman.A.R. 2014. *Tinjauan Sifat Fisik Dan Mekanik Pada Beton Geopolimer Tanpa Pasir Dengan Penambahan Variasi Superplasticizer*. (Skripsi), Prodi Teknik Konstruksi Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran I Konstanta

Tabel A. Konstanta

Kuantitas	Simbol	Nilai
Satuan massa atom	sma	$1,66054 \times 10^{-24}$ g 931,494 MeV
Bilangan Avogadro	N_A	$0,6022137 \times 10^{24}$ (g-mol) $^{-1}$
Konstanta Boltzmann	k	$1,38066 \times 10^{-23}$ J/K
Panjang gelombang compton	λ_c	$8,61707 \times 10^{-5}$ J/K $2,42631 \times 10^{-10}$ cm
Massa diam elektron	m_e	$9,10939 \times 10^{-31}$ kg $5,485799 \times 10^{-4}$ sma 0,510999 MeV
Muatan elektron	e	$1,602192 \times 10^{-19}$ coulomb
Massa diam neutron	M_n	$1,674929 \times 10^{-27}$ kg 1,008665 sma 939,56563 MeV
Konstanta planck	h	$6,626075 \times 10^{-34}$ J.s $4,13572 \times 10^{-15}$ eV.s
Massa diam proton	M_p	$1,67262 \times 10^{-27}$ kg 1,007276 sma
Kecepatan cahaya	c	$2,997925 \times 10^8$ m/s

Sumber: Lamarsh dan Barata, 2001:737

Lampiran II Konversi satuan radiasi

1 Ci	=	$3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
1 Rad	=	0,01 J/kg
	=	1 R
	=	0,01 Gy
1 Gy	=	100 Rad
	=	1 J/kg
1 Sv	=	100 rem

Lampiran III Kode untuk input di MCNPX

c cell card

```

1   9 -0.9843 (9 -181 2 -4 ):(-171 -1 4 12 );(-171 -12 122 139 ) &
    imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
2   9 -0.9843 (-139 38 -12 35 6 );(35 -54 6 -139 ) &
    imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
6   14  -8.45 -4 5 -2 12 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
11  14  -8.45 (-12 54 45 -38 6 );(6 -38 54 -34 ) imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
12  14  -8.45 (9 -2 3 -5 ):(-2 8 -5 10 );(45 -5 12 -10 ) &
    imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
15  18  -2.7 -10 49 -45 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
18  18  -2.7 (10 -8 -3 43 );(10 -8 -100 ) imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
19  28  -2.52 -45 -53 34 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $CaF2
20  27  -2.653 -50 -45 31 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $Fe
21  0     46 -48 -6 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
23  0     3 -101 -44 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
24  3   -1.85 100 -3 -43 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $Berilium
25  6   -9.8 -44 3 101 -9 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
27  2 -0.0012 35 -46 -56 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
29  6   -9.8 48 -34 -6 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $Bi
30  0     -49 -45 50 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
31  0     -45 53 -31 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
32  0     -6 -55 56 35 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
90  6   -9.8 55 -46 56 -6 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
91  2 -0.0012 -35 67 -68 69 -71 70 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $udara
135 0     181 -1 -4 9 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
136 0     171 -7 -1 121 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1

```

137 0 121 -122 -171 139 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
 138 0 139 -39 35 -121 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
 c -----mulai endah-----
 c -----pintu-----
 140 30 -7.86 72 -73 68 -74 70 -77 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 \$stainless
 141 32 -3.35 72 -73 -75 74 78 -77 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 \$concret baryte
 142 30 -7.86 72 -73 75 -76 70 -77 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 \$stainless
 143 30 -7.86 -72 88 68 -76 70 -79 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 \$stainless
 144 30 -7.86 73 -81 68 -76 70 -79 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 \$stainless
 145 30 -7.86 70 -78 74 -75 72 -73 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 \$stainless
 c 146 30 -7.86 77 -79 68 -76 72 -73 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 \$stainless
 146 30 -7.86 77 -79 68 -76 72 -73 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 \$stainless
 c -----parafin-----
 147 31 -0.93 ((82 -83 84 -85 70 -71)#1 #2 #6 #11 #12 #15 #18 #19 #20 &
 #21 #27 #29 #30 #31 #32 #90 #136 #137 #138 #140 #141 #144 #91 #22 &
 #143 #145 #146) imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
 c -----tembok beton barit-----
 c 148 32 -3.35 (85 -86 81 -89 70 -71):(76 -86 90 -81 70 -71): & \$beton
 c (79 -71 -81 88 85 -76):(68 -85 -89 83 70 -71):(&
 c (-68 87 88 -89 70 -71)#2 #138 #6 #15 #12 #25 #23 #1 #11 #137 #27 &
 c #29 #90 #18 #24 #135 #136 #19 #20 #31 #32 #30 #21 #91 #147 #140 &
 c #144 #22 #143) imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
 148 32 -3.35 (85 -86 81 -89 70 -71):(76 -86 90 -81 70 -71): & \$beton
 (79 -71 -81 88 85 -76):(68 -85 -89 83 70 -71):(&
 (-85 87 88 -89 70 -71)#2 #138 #6 #15 #12 #25 #23 #1 #11 #137 #27 &
 #29 #90 #18 #24 #135 #136 #19 #20 #31 #32 #30 #21 #91 #147 #140 &
 #144 #22 #143 #141) imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1
 22 0 (68 ((86 (98 :99 :-319)):-88 :89 :(-90 & \$void ruang udara
 (76 (102 :98 :-321))):-70 :(71 79)):-88 :-87 :89 :-70 :71) &
 (-310 :88 :334 :-300 :-70 :98)(7 :(1 (9 :44)):((-121 39 8):-35))&

(87 :-317 :-321 :89 :-70 :98) imp:n=0 imp:p=0 imp:h=0

c -----sel manusia samping pintu-----

```

149 33 -1 319 -91 86 -99 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
150 33 -1 91 -92 86 -99 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
152 33 -1 92 -93 86 -99 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
154 33 -1 93 -94 86 -99 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
155 33 -1 94 -95 86 -99 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
156 33 -1 95 -96 86 -99 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
157 33 -1 96 -97 86 -99 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
158 33 -1 97 -89 86 -99 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue

```

c -----sel manusia depan pintu-----

```

151 33 -1 -90 316 76 -102 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
153 33 -1 -316 315 76 -102 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
159 33 -1 -315 314 76 -102 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
160 33 -1 -314 313 76 -102 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
161 33 -1 -313 312 76 -102 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
162 33 -1 -312 318 76 -102 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
163 33 -1 -318 320 76 -102 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
164 33 -1 -320 321 76 -102 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
c 165 33 -1 -321 333 76 -102 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue

```

c -----sel manusia depan kolimator-----

```

c 300 33 -1 87 -300 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
301 33 -1 300 -301 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
302 33 -1 301 -302 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
303 33 -1 302 -303 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
304 33 -1 303 -304 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
305 33 -1 304 -305 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
306 33 -1 305 -306 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
307 33 -1 306 -307 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
308 33 -1 307 -308 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue

```

```

309 33 -1 308 -309 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
310 33 -1 309 -311 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
311 33 -1 311 -326 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
312 33 -1 326 -327 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
313 33 -1 327 -328 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
314 33 -1 328 -68 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
315 33 -1 68 -330 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
316 33 -1 330 -331 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
317 33 -1 331 -332 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
318 33 -1 332 -334 310 -88 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue

c -----sel manusia samping kolimator-----
200 33 -1 318 -312 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
201 33 -1 312 -313 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
202 33 -1 313 -314 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
203 33 -1 314 -315 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
204 33 -1 315 -316 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
205 33 -1 316 -319 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
206 33 -1 319 -91 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
207 33 -1 91 -92 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
208 33 -1 92 -93 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
209 33 -1 93 -94 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
210 33 -1 94 -95 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
211 33 -1 95 -96 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
212 33 -1 96 -97 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
213 33 -1 97 -89 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
214 33 -1 320 -318 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
215 33 -1 321 -320 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue
c 216 33 -1 333 -321 -87 317 70 -98 imp:n=1 imp:p=1 imp:h=1 $soft tissue

```

c surface moderator

1 px 252.1
181 px 252
2 px 242
3 px 205
100 px 204.5
4 cx 57
5 cx 28
6 cx 3.5
7 cx 67.01
171 cx 67
8 cx 25
9 cx 15
101 cx 5
10 px 166
12 px 153
121 px 143
122 px 143.1
31 px 146
34 px 145.791
35 px 138.3
38 kx 125 0.6 0
39 kx 105.9 0.9 0
139 kx 106 0.9 0
43 cx 9.5
44 px 260
45 kx 135 0.65 0
46 px 145.29
48 px 145.291
49 px 154
50 px 153.995

53 px 145.999

54 px 144

55 px 138.301

56 cx 3

c ----ruang udara---

67 px -261.7

68 pz 200

69 pz -200

70 py -150

71 py 150

c ---pintu----

72 px -473.2

73 px -80

74 pz 202

75 pz 387

76 pz 389

77 py 52

78 py -148

79 py 54

80 px -302

81 px -78

c -----tembok borated polyethilene-----

82 px -353.2

83 px 183.3

84 pz -291.5

85 pz 291.5

c -----tembok beton barit----

86 pz 413.5

87 pz -413.5

88 px -475.2

89 px 243.3

90 px -104.7

c -----sel manusia samping pintu-----

91 px -57.7

92 px -14.7

93 px 28.3

94 px 71.3

95 px 114.3

96 px 157.3

97 px 200.3

c -----

98 py 20

99 pz 421.708

102 pz 397.208

c -----sel manusia depan kolimator-----

300 pz -388

301 pz -345

302 pz -302

303 pz -259

304 pz -216

305 pz -173

306 pz -130

307 pz -87

308 pz -44

309 pz -1

310 px -483.408

311 pz 42

c -----sel manusia samping kolimator-----

312 px -315.7

313 px -272.7

314 px -229.7
 315 px -186.7
 316 px -143.7
 317 pz -421.708
 318 px -358.7
 319 px -100.7
 320 px -401.70
 321 px -444.7

c -----sel manusia tambahan depan pintu-----

322 px -315.70
 323 px -358.70
 324 px -401.70
 325 px -444.70

c -----sel manusia tambahan depan kolimator-----

326 pz 85
 327 pz 128
 328 pz 171
 329 pz 214
 330 pz 257
 331 pz 300
 332 pz 343

c -----baru samping koli-----

333 px -487.7
 334 pz 386

c material card

mode n p h

phys:p

m2	7014	0.78084	8016	0.2094	18000	0.00976	\$udara
----	------	---------	------	--------	-------	---------	---------

m3	4009	1	\$Be
----	------	---	------

m6	83209	1	\$Bi						
m9	1001	0.5262	6000	0.2969	8016	0.1007	3006	0.0724	&
	3007	0.0038 \$Lithiated polyethylene							
m14	82000	-0.333	9019	-0.667 \$PbF2					
m18	13027	1	\$Al						
m27	3007	-0.267585	9019	-0.732415 \$LiF					
m28	5010	-0.78261	6012	-0.21739 \$ Boron carbide					
m30	6000	0.003405	&						
	7014	0.004866	14000	0.009708	15031	0.000528	&		
	16000	0.000255	24000	0.188773	25055	0.086851	&		
	26000	0.65916	28000	0.046454	\$stainless steels				
m31	1001	-0.148605	6000	-0.851395 \$parafin					
m32	1001	-0.003585	&						
	8016	-0.311622	12000	-0.001195	13027	-0.004183	&		
	14000	-0.010457	16000	-0.107858	20000	-0.050194	&		
	26000	-0.047505	56000	-0.4634 \$beton barit					
m33	1001	-0.104472	&						
	6000	-0.23219	7014	-0.02488	8016	-0.630238	&		
	11023	-0.00113	12000	-0.00013	15031	-0.00133	&		
	16000	-0.00199	17000	-0.00134	19000	-0.00199	&		
	20000	-0.00023	26000	-5e-005	30000	-3e-005	\$soft tissue		

sdef POS 206 0 0 PAR=H ERG=30 RAD=d1 VEC=-1 0 0 AXS=-1 0 0 DIR=1

si1 0 4

sp1 -21 1

fm14 6.25E+15

f14:n 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 &

200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 &

301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318

e14 0.5 1 2.5 20

de14 3.6E-7 6.3E-7 1.1E-6 2E-6 3.6E-6 6.3E-6 1.1E-5 2E-5 3.6E-5 6.3E-5

1.1e-4 2E-4 3.6E-4 6.3e-4 1.1e-3 2e-3 3.6e-3 6.3e-3 0.011 0.02
 0.036 0.063 0.082 0.086 0.09 0.094 0.098 0.105 0.115 0.125
 0.135 0.145 0.155 0.165 0.175 0.185 0.195 0.21 0.23 0.25
 0.27 0.29 0.31 0.33 0.35 0.37 0.39 0.42 0.46 0.5
 0.54 0.58 0.62 0.66 0.7 0.74 0.78 0.82 0.86 0.9
 0.94 0.98 1.05 1.15 1.25 1.35 1.45 1.55 1.65 1.75
 1.85 1.95 2.1 2.3 2.5 2.7 2.9 3.1 3.3 3.5
 3.7 3.9 4.2 4.6 5.0 5.4 5.8 6.2 6.6 7.0
 7.4 7.8 8.2 8.6 9.0 9.4 9.8 10.5 11.5 12.5
 13.5 14.5 16 18 20

df14 9.11E-10 6.91E-10 5.24E-10 3.91E-10 2.95E-10 2.30E-10 1.85E-10 1.61E-10
 1.60e-10 1.89E-10 2.61E-10 4.19E-10 7.15E-10 1.22E-09 2.11E-09 3.78E-09
 6.71e-09 1.16E-08 1.96E-08 3.38E-08 5.60E-08 8.68E-08 1.05E-07 1.09E-07
 1.12e-07 1.16E-07 1.19E-07 1.25E-07 1.32E-07 1.40E-07 1.46E-07 1.53E-07
 1.59e-07 1.65E-07 1.71E-07 1.77E-07 1.82E-07 1.91E-07 2.00E-07 2.09E-07
 2.18e-07 2.29E-07 2.36E-07 2.45E-07 2.54E-07 2.63E-07 2.74E-07 2.99E-07
 2.95e-07 2.97E-07 6.16E-07 6.37E-07 6.59E-07 6.80E-07 7.02E-07 7.20E-07
 7.42e-07 7.60E-07 7.78E-07 8.03E-07 8.39E-07 9.00E-07 1.18E-06 1.18E-06
 1.23e-06 1.27E-06 1.29E-06 1.32E-06 1.38E-06 1.40E-06 1.46E-06 1.46E-06
 1.52e-06 1.54E-06 1.61E-06 2.58E-06 2.70E-06 2.77E-06 3.02E-06 3.09E-06
 3.17e-06 3.12E-06 3.19E-06 3.19E-06 3.37E-06 3.29E-06 3.43E-06 3.54E-06
 3.65e-06 3.74E-06 3.90E-06 3.94E-06 3.90E-06 4.00E-06 4.08E-06 4.20E-06
 4.29e-06 4.33E-06 4.59E-06 4.59E-06 4.71E-06 4.76E-06 4.87E-06 5.00E-06
 5.07e-06

fm24 6.25E+15

f24:p 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 &
 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 &
 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318

de24 0.001 0.0015 0.002 0.003 0.004 0.005 0.006 0.008
 0.01 0.015 0.02 0.03 0.04 0.05 0.06 0.08

0.1 0.15 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.8

1 1.25 1.5 2 3 4 5 6

8 10 15 20

df24 2.03E-06 1.02E-06 6.05E-07 2.91E-07 1.69E-07 1.09E-07 7.52E-08 4.18E-08

2.61e-08 1.09E-08 5.90E-09 2.53E-09 1.52E-09 1.17E-09 1.07E-09 1.18E-09

1.45e-09 2.38E-09 3.39E-09 5.47E-09 7.52E-09 9.43E-09 1.13E-08 1.47E-08

1.77e-08 2.12E-08 2.43E-08 2.98E-08 3.92E-08 4.72E-08 5.47E-08 6.16E-08

7.52e-08 8.89E-08 1.22E-07 1.56E-07

nps 500000000

Lampiran IV Material

1.Borated polyethylene

247 Polyethylene, Borated					
Formula =	B4C in C2H4	Molecular weight (g/mole) =	-		
Density (g/cm3) =	1.000000	Total atom density (atoms/b-cm) =	1.193E-01		
The above density is estimated to be accurate to 3 significant digits. Uncertainties are not addressed.					
The following data were calculated from the input weight fractions.					
Element	Neutron ZA	Photon ZA	Weight Fraction	Atom Fraction	Atom Density
H	1001	1000	0.125355	0.627759	0.074896
B	-	5000	0.100000	0.046690	0.005570
C	6000	6000	0.774645	0.325552	0.038841
Total			1.000000	1.000000	0.119307

Sumber : McConn dkk, 2011:238

2.Beton barit

76 Concrete, Barite (Type BA)					
Formula =	-	Molecular weight (g/mole) =	-		
Density (g/cm3) =	3.350000	Total atom density (atoms/b-cm) =	6.547E-02		
The above density is estimated to be accurate to 3 significant digits. Uncertainties are not addressed.					
The following data were calculated from the input weight fractions.					
Element	Neutron ZA	Photon ZA	Weight Fraction	Atom Fraction	Atom Density
H	1001	1000	0.003585	0.109602	0.007175
O	8016	8000	0.311622	0.600189	0.039293
Mg	12000	12000	0.001195	0.001515	0.000099
Al	13027	13000	0.004183	0.004777	0.000313
Si	14000	14000	0.010457	0.011473	0.000751
S	16000	16000	0.107858	0.103654	0.006786
Ca	20000	20000	0.050194	0.038593	0.002527
Fe	26000	26000	0.047505	0.026213	0.001716
Ba	-	56000	0.463400	0.103983	0.006808
Total			0.999999	1.000000	0.065468

Sumber : McConn dkk, 2011:82

3.Parafin

358 Wax, Paraffin									
Formula =	C25H52		Molecular weight (g/mole) =	352.68038					
Density (g/cm3) =	0.930000		Total atom density (atoms/b-cm) =	1.223E-01					
The above density is estimated to be accurate to 2 significant digits. Uncertainties are not addressed.									
The following data were calculated from the input weight fractions.									
Element	Neutron ZA	Photon ZA	Weight Fraction	Atom Fraction	Atom Density				
H	1001	1000	0.148605	0.675311	0.082572				
C	6000	6000	0.851395	0.324689	0.039701				
Total			1.000000	1.000000	0.122273				
MCNP Form	Weight Fractions		Atom Fractions		Atom Densities				
Neutrons	1001	-0.148605	1001	0.675311	1001 0.082572				
	6000	-0.851395	6000	0.324689	6000 0.039701				
Photons	1000	-0.148605	1000	0.675311	1000 0.082572				
	6000	-0.851395	6000	0.324689	6000 0.039701				
CEPXS Form:	material	H	0.148605						
		C	0.851395						
	matname	Wax, Paraffin							
	density	0.930000							

Sumber : McConn dkk, 2011:342

4. Stainless Steel 202

296 Steel, Stainless 202

Formula = - Molecular weight (g/mole) = -
 Density (g/cm3) = 7.860000 Total atom density (atoms/b-cm) = 8.680E-02

The above density is estimated to be accurate to 3 significant digits. Uncertainties are not addressed.
 The following data were calculated from the input weight fractions.

Element	Neutron ZA	Photon ZA	Weight Fraction	Atom Fraction	Atom Density
C	6000	6000	0.000750	0.003405	0.000296
N	7014	7000	0.001250	0.004866	0.000422
Si	14000	14000	0.005000	0.009708	0.000843
P	15031	15000	0.000300	0.000528	0.000046
S	16000	16000	0.000150	0.000255	0.000022
Cr	24000	24000	0.180000	0.188773	0.016386
Mn	25055	25000	0.087500	0.086851	0.007539
Fe	26000	26000	0.675050	0.659160	0.057217
Ni	28000	28000	0.050000	0.046454	0.004032
Total			1.000000	1.000000	0.086803

MCNP Form	Weight Fractions		Atom Fractions		Atom Densities	
Neutrons	6000	-0.000750	6000	0.003405	6000	0.000296
	7014	-0.001250	7014	0.004866	7014	0.000422
	14000	-0.005000	14000	0.009708	14000	0.000843
	15031	-0.000300	15031	0.000528	15031	0.000046
	16000	-0.000150	16000	0.000255	16000	0.000022
	24000	-0.180000	24000	0.188773	24000	0.016386
	25055	-0.087500	25055	0.086851	25055	0.007539
	26000	-0.675050	26000	0.659160	26000	0.057217

Photons	28000	-0.050000	28000	0.046454	28000	0.004032
	6000	-0.000750	6000	0.003405	6000	0.000296
	7000	-0.001250	7000	0.004866	7000	0.000422
	14000	-0.005000	14000	0.009708	14000	0.000843
	15000	-0.000300	15000	0.000528	15000	0.000046
	16000	-0.000150	16000	0.000255	16000	0.000022
	24000	-0.180000	24000	0.188773	24000	0.016386
	25000	-0.087500	25000	0.086851	25000	0.007539
	26000	-0.675050	26000	0.659160	26000	0.057217
	28000	-0.050000	28000	0.046454	28000	0.004032

CEPXS Form:	material	C	0.000750
		N	0.001250
		Si	0.005000
		P	0.000300
		S	0.000150
		Cr	0.180000
		Mn	0.087500
		Fe	0.675050
		Ni	0.050000

matname Steel, Stainless 202
 density 7.860000

5. Stainless Steel 347

303 Steel, Stainless 347

Formula = - Molecular weight (g/mole) = -
 Density (g/cm3) = 8.000000 Total atom density (atoms/b-cm) = 8.770E-02
 The above density is estimated to be accurate to 3 significant digits. Uncertainties are not addressed.
 The following data were calculated from the input weight fractions.

Element	Neutron ZA	Photon ZA	Weight Fraction	Atom Fraction	Atom Density
C	6000	6000	0.000800	0.003659	0.000321
Si	14000	14000	0.010000	0.019559	0.001715
P	15031	15000	0.000450	0.000798	0.000070
S	16000	16000	0.000300	0.000514	0.000045
Cr	24000	24000	0.170000	0.179602	0.015751
Mn	25055	25000	0.020000	0.019998	0.001754
Fe	26000	26000	0.680450	0.669338	0.058702
Ni	28000	28000	0.110000	0.102952	0.009029
Nb	41093	41000	0.004000	0.002365	0.000207
Ta	73181	73000	0.004000	0.001214	0.000106
Total			1.000000	1.000000	0.087702

MCNP Form	Weight Fractions		Atom Fractions		Atom Densities	
Neutrons	6000	-0.000800	6000	0.003659	6000	0.000321
	14000	-0.010000	14000	0.019559	14000	0.001715
	15031	-0.000450	15031	0.000798	15031	0.000070
	16000	-0.000300	16000	0.000514	16000	0.000045
	24000	-0.170000	24000	0.179602	24000	0.015751
	25055	-0.020000	25055	0.019998	25055	0.001754
	26000	-0.680450	26000	0.669338	26000	0.058702
	28000	-0.110000	28000	0.102952	28000	0.009029
	41093	-0.004000	41093	0.002365	41093	0.000207

Photons	6000	-0.000800	6000	0.003659	6000	0.000321
	14000	-0.010000	14000	0.019559	14000	0.001715
	15000	-0.000450	15000	0.000798	15000	0.000070
	16000	-0.000300	16000	0.000514	16000	0.000045
	24000	-0.170000	24000	0.179602	24000	0.015751
	25000	-0.020000	25000	0.019998	25000	0.001754
	26000	-0.680450	26000	0.669338	26000	0.058702
	28000	-0.110000	28000	0.102952	28000	0.009029
	41000	-0.004000	41000	0.002365	41000	0.000207
	73000	-0.004000	73000	0.001214	73000	0.000106

CEPXS Form:	material	C	0.000800
		Si	0.010000
		P	0.000450
		S	0.000300
		Cr	0.170000
		Mn	0.020000
		Fe	0.680450
		Ni	0.110000
		Nb	0.004000
		Ta	0.004000

Sumber : McConn dkk, 2011:285-286

6. Soft tissue

<u>Element</u>	<u>Neutron ZA</u>	<u>Photon ZA</u>	<u>Weight Fraction</u>	<u>Atom Fraction</u>	<u>Atom Density</u>
H	1001	1000	0.104472	0.630454	0.062419
C	6000	6000	0.232190	0.117588	0.011642
N	7014	7000	0.024880	0.010804	0.001070
O	8016	8000	0.630238	0.239601	0.023722
Na	11023	11000	0.001130	0.000299	0.000030
Mg	12000	12000	0.000130	0.000033	0.000003
P	15031	15000	0.001330	0.000261	0.000026
S	16000	16000	0.001990	0.000377	0.000037
Cl	17000	17000	0.001340	0.000230	0.000023
K	19000	19000	0.001990	0.000310	0.000031
Ca	20000	20000	0.000230	0.000035	0.000003
Fe	26000	26000	0.000050	0.000005	0.000001
Zn	30000	30000	0.000030	0.000003	0.000000
Total			1.000000	1.000000	0.099006

Sumber : McConn dkk, 2011:307-308

Lampiran V Koefisien atenuasi material (μ)

1. Concrete, Barite (Type BA)

Tabel B.1 Koefisien atenuasi massa (μ/ρ) dan koefisien serapan massa energi (μ_{en}/ρ) untuk beton barit

Energy (MeV)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_{en}/ρ (cm ² /g)
1.00000E-03	6.349E+03	6.332E+03
1.03063E-03	5.916E+03	5.900E+03
1.06220E-03	5.507E+03	5.492E+03
1.06220E-03	6.009E+03	5.992E+03
1.09882E-03	5.563E+03	5.548E+03
1.13670E-03	5.150E+03	5.135E+03
1.13670E-03	5.350E+03	5.335E+03
1.21224E-03	4.632E+03	4.619E+03
1.29280E-03	4.001E+03	3.990E+03
1.29280E-03	4.126E+03	4.114E+03
1.29889E-03	4.082E+03	4.070E+03
1.30500E-03	4.038E+03	4.026E+03
1.30500E-03	4.044E+03	4.032E+03
1.50000E-03	2.917E+03	2.908E+03
1.55960E-03	2.659E+03	2.650E+03
1.55960E-03	2.674E+03	2.665E+03
1.69350E-03	2.195E+03	2.187E+03
1.83890E-03	1.798E+03	1.791E+03
1.83890E-03	1.828E+03	1.820E+03
2.00000E-03	1.491E+03	1.483E+03
2.47200E-03	8.795E+02	8.738E+02
2.47200E-03	1.079E+03	1.059E+03
3.00000E-03	6.692E+02	6.568E+02
4.00000E-03	3.190E+02	3.126E+02
4.03810E-03	3.113E+02	3.050E+02
4.03810E-03	3.567E+02	3.437E+02
5.00000E-03	2.048E+02	1.973E+02
5.24700E-03	1.805E+02	1.738E+02
5.24700E-03	3.641E+02	3.408E+02
5.43204E-03	3.352E+02	3.141E+02
5.62360E-03	3.069E+02	2.880E+02
5.62360E-03	3.925E+02	3.645E+02
5.80333E-03	3.633E+02	3.379E+02
5.98880E-03	3.353E+02	3.123E+02
5.98880E-03	3.778E+02	3.510E+02
6.00000E-03	3.760E+02	3.493E+02
7.11200E-03	2.437E+02	2.281E+02
7.11200E-03	2.605E+02	2.398E+02
8.00000E-03	1.925E+02	1.782E+02
1.00000E-02	1.067E+02	9.960E+01
1.50000E-02	3.601E+01	3.363E+01
2.00000E-02	1.655E+01	1.527E+01

Tabel B.1 (Lanjutan)

Energy (MeV)	μ/ρ (cm²/g)	μ_{en}/ρ (cm²/g)
3.00000E-02	5.551E+00	4.912E+00
3.74406E-02	3.091E+00	2.624E+00
3.74406E-02	1.407E+01	4.746E+00
4.00000E-02	1.185E+01	4.439E+00
5.00000E-02	6.671E+00	3.206E+00
6.00000E-02	4.143E+00	2.266E+00
8.00000E-02	1.968E+00	1.211E+00
1.00000E-01	1.122E+00	7.138E-01
1.50000E-01	4.423E-01	2.659E-01
2.00000E-01	2.568E-01	1.369E-01
3.00000E-01	1.460E-01	6.408E-02
4.00000E-01	1.104E-01	4.471E-02
5.00000E-01	9.309E-02	3.718E-02
6.00000E-01	8.245E-02	3.340E-02
8.00000E-01	6.936E-02	2.954E-02
1.00000E+00	6.112E-02	2.736E-02
1.25000E+00	5.404E-02	2.542E-02
1.50000E+00	4.915E-02	2.402E-02
2.00000E+00	4.296E-02	2.226E-02
3.00000E+00	3.676E-02	2.079E-02
4.00000E+00	3.388E-02	2.043E-02
5.00000E+00	3.240E-02	2.049E-02
6.00000E+00	3.162E-02	2.074E-02
8.00000E+00	3.116E-02	2.142E-02
1.00000E+01	3.138E-02	2.213E-02
1.50000E+01	3.282E-02	2.356E-02
2.00000E+01	3.439E-02	2.438E-02

Sumber : <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab3.html>

2. Borated Polyethylene

Tabel B.2 Koefisien atenuasi massa Borated Polyethylene

Energi (MeV)	$\mu(cm^2g^{-1})$
1.00E-03	1.72E+03
2.00E-03	2.35E+02
3.00E-03	6.98E+01
4.00E-03	2.92E+01
5.00E-03	1.48E+01
6.00E-03	8.47E+00
8.00E-03	3.68E+00
1.00E-02	1.94E+00
2.00E-02	4.05E-01
3.00E-02	2.54E-01
4.00E-02	2.13E-01
5.00E-02	1.95E-01
6.00E-02	1.84E-01

8.00E-02	1.70E-01
1.00E-01	1.60E-01
2.00E-01	1.31E-01
3.00E-01	1.13E-01
4.00E-01	1.02E-01
5.00E-01	9.27E-02
6.00E-01	8.58E-02
8.00E-01	7.53E-02
1.00E+00	6.77E-02
2.00E+00	4.72E-02
3.00E+00	3.77E-02
4.00E+00	3.22E-02
5.00E+00	2.85E-02
6.00E+00	2.58E-02
7.00E+00	2.39E-02
8.00E+00	2.23E-02
9.00E+00	2.11E-02
1.00E+01	2.01E-02
1.20E+01	1.86E-02
1.40E+01	1.76E-02
1.60E+01	1.68E-02
1.80E+01	1.61E-02
2.00E+01	1.57E-02
2.20E+01	1.53E-02
2.40E+01	1.50E-02
2.60E+01	1.47E-02
2.80E+01	1.45E-02
3.00E+01	1.43E-02
4.00E+01	1.38E-02
5.00E+01	1.36E-02
6.00E+01	1.35E-02
8.00E+01	1.35E-02
1.00E+02	1.36E-02
1.50E+02	1.39E-02
2.00E+02	1.41E-02
3.00E+02	1.46E-02

Sumber : Elmahroug dkk, 2013:39

3. Parafin (kerapatan $\rho=0,89 \text{ gr/cm}^3$)

Tabel B.3 Koefisien atenuasi linear paraffin

Energi (MeV)	$\mu (\text{cm}^{-1})$
1	0,0646
3	0,0360
6	0,0246

Sumber : Wiryosimin, 1985:229

4. Stainless steels 347 (kerapatan $\rho=7,8$ gr/cm³)

Tabel B.4 Koefisien atenuasi linear Stainless steels 347

Energi (MeV)	μ (cm ⁻¹)
1	0,462
3	0,279
6	0,236

Sumber : Wiryosimin, 1985:229

Lampiran VI Tampang lintang mikroskopis total (σ)

Tabel C.1 Tampang lintang mikroskopis berdasarkan energi (dalam satuan barn)

Energi (eV)	$^{64}_{28}Ni$	$^{62}_{28}Ni$	$^{61}_{28}Ni$	$^{60}_{28}Ni$	$^{58}_{28}Ni$	$^{54}_{24}Cr$	$^{53}_{24}Cr$	$^{52}_{24}Cr$	$^{50}_{24}Cr$
1,50E+04	143,617	18,4483	5,847272	63,63129	125,4713	1,340826	12,50015	2,113833	5,9798
2,00E+04	8,7007	13,09798	8,87288	16,76283	25,0693	0,226998	15,24603	1,950318	2,948927
3,00E+04	26,36023	8,433746	2,879782	29,65053	11,12212	3,595722	22,2114	1,266236	3,39908
4,00E+04	49,3783	4,822758	5,094587	7,787956	7,491379	2,624643	3,264146	0,626557	21,5169
6,00E+04	14,46305	5,384914	2,624846	4,395674	0,91963	2,082479	0,347913	2,90518	4,533431
8,00E+04	9,561803	3,053052	8,307761	3,836661	8,270962	1,628952	7,626293	0,347465	2,15449
1,50E+05	1,390822	7,778401	6,869847	1,961858	3,190586	2,64425	5,864548	8,675295	0,710462
3,00E+05	8,552402	4,016065	5,461316	2,156059	5,435372	3,505287	5,750701	0,725524	4,039816
5,00E+05	4,090201	10,04704	4,577294	4,526505	4,086402	2,483809	4,915796	2,924969	0,890747
2,00E+06	3,078314	3,078313	3,078314	3,078313	3,078308	3,93392	3,90839	2,63746	3,78511
5,00E+06	3,819	3,818998	3,819004	3,819005	3,818999	3,77651	3,73763	3,61684	3,62021
8,00E+06	3,589568	3,589569	3,589567	3,589568	3,589565	3,3832	3,32485	3,259777	3,1673

Tabel C.1 (Lanjutan)

Energi (eV)	$^{14}_7N$	$^{55}_{25}Mn$	$^{31}_{15}P$	$^6C_{alam}$	$^{11}_5B$	$^{10}_5B$	1_1H	$^{16}_8O$	$^{24}_{12}Mg$	$^{25}_{12}Mg$	$^{26}_{12}Mg$	$^{27}_{13}Al$
1,50E+04	7,19275	2,59146	2,865416	4,682111	4,939599	6,98533	18,62204	3,809865	3,685761	3,717588	2,686401	0,996411
2,00E+04	6,869492	6,646089	2,841725	4,665311	4,89862	6,355896	18,0962	3,799617	3,671886	60,12953	2,652916	0,777388
3,00E+04	6,47605	1,854167	2,811238	4,631912	4,830546	5,575194	17,19588	3,77967	3,662895	2,896142	2,60E+00	1,031196
4,00E+04	6,14236	7,051914	2,785149	4,598913	4,76E+00	5,23806	16,29608	3,759724	3,708435	2,076489	2,548293	6,680676
6,00E+04	5,479929	18,44329	2,75E+00	4,534214	4,64E+00	4,926779	14,86773	3,721029	4,564294	1,397323	2,50E+00	1,892109
8,00E+04	4,86E+00	2,064884	2,704409	4,47E+00	4,52E+00	4,834391	13,7062	3,683734	39,2075	12,37346	2,45E+00	4,916826
1,50E+05	3,731128	3,36296	2,53545	4,340295	4,096925	4,807186	10,92385	3,576246	4,399826	2,737295	2,493978	12,55925
3,00E+05	2,908676	3,81828	2,583986	3,855123	3,54591	4,799141	7,952296	3,536925	9,564571	4,202767	11,57022	4,386002
5,00E+05	2,364508	3,55827	2,64208	3,403323	3,230203	4,363066	6,125602	4,389126	7,179921	3,967172	4,063672	3,710371
2,00E+06	1,5578	3,46909	3,051236	1,670422	1,894203	2,056786	2,903682	1,6154	2,133636	2,879449	2,964415	3,530118
5,00E+06	1,15091	3,701342	2,57724	1,192605	1,657014	1,549534	1,622353	0,968612	1,914046	2,112526	2,165366	2,434137
8,00E+06	1,44364	3,353512	2,105037	1,867374	1,537507	1,53399	1,129597	0,892401	1,627111	1,89639	1,9324	1,81408

Tabel C.1 (Lanjutan)

Energi (eV)	$^{28}_{14}Si$	$^{29}_{14}Si$	$^{30}_{14}Si$	$^{32}_{16}S$	$^{33}_{16}S$	$^{34}_{16}S$	$^{36}_{16}S$	$^{40}_{20}Ca$	$^{42}_{20}Ca$	$^{43}_{20}Ca$	$^{44}_{20}Ca$
1,50E+04	1,807257	2,577605	2,4072	0,811659	2,224552	1,696031	2,185586	2,090493	0,475324	6,071355	0,578799
2,00E+04	1,748032	2,505555	2,389515	0,760114	2,064739	1,653333	2,185492	1,729561	0,327391	14,57706	0,893504
3,00E+04	1,600217	2,465844	2,35E+00	1,289997	2,030459	1,60E+00	2,19E+00	1,543365	0,049349	17,855	0,548273
4,00E+04	1,370035	2,52466	2,303055	0,507206	1,847595	1,553622	2,185291	1,343722	5,089935	6,328999	0,100352
6,00E+04	2,932795	2,352549	2,212307	0,189844	2,240563	1,506749	2,18521	0,912051	0,26211	5,322	2,566395
8,00E+04	1,408965	2,29E+00	2,11E+00	0,141224	2,99484	1,473259	2,19E+00	0,530244	0,186217	4,731	0,387888
1,50E+05	0,076255	2,142531	0,963798	4,076554	2,103862	1,35655	2,185068	0,400086	4,41872	4,02E+00	7,722455
3,00E+05	4,447765	1,345004	2,863036	1,933387	2,482317	6,006003	2,18E+00	1,29229	3,062	3,054	0,300337
5,00E+05	2,948604	2,733052	2,318	2,011313	2,443134	2,332942	2,18494	0,736337	2,836	2,811	2,791
2,00E+06	2,714788	3,134	2,855	3,05899	2,895926	2,855131	2,84721	2,03273	3,408	3,441	3,477
5,00E+06	2,520286	2,232	2,192	2,73849	2,786882	2,882022	3,077519	3,44854	3,246	3,296	3,348
8,00E+06	2,030574	1,85	1,898	2,187825	2,281473	2,360614	2,519398	2,85682	2,749	2,795	2,84

Tabel C.1 (Lanjutan)

Energi (eV)	$^{28}_{14}Si$	$^{29}_{14}Si$	$^{30}_{14}Si$	$^{32}_{16}S$	$^{33}_{16}S$	$^{34}_{16}S$	$^{36}_{16}S$	$^{40}_{20}Ca$	$^{42}_{20}Ca$	$^{43}_{20}Ca$	$^{44}_{20}Ca$	$^{46}_{20}Ca$
1,50E+04	1,807257	2,577605	2,4072	0,811659	2,224552	1,696031	2,185586	2,090493	0,475324	6,071355	0,578799	12,00349
2,00E+04	1,748032	2,505555	2,389515	0,760114	2,064739	1,653333	2,185492	1,729561	0,327391	14,57706	0,893504	9,977427
3,00E+04	1,600217	2,465844	2,35E+00	1,289997	2,030459	1,60E+00	2,19E+00	1,543365	0,049349	17,855	0,548273	8,194168
4,00E+04	1,370035	2,52466	2,303055	0,507206	1,847595	1,553622	2,185291	1,343722	5,089935	6,328999	0,100352	7,13909
6,00E+04	2,932795	2,352549	2,212307	0,189844	2,240563	1,506749	2,18521	0,912051	0,26211	5,322	2,566395	5,898039
8,00E+04	1,408965	2,29E+00	2,11E+00	0,141224	2,99484	1,473259	2,19E+00	0,530244	0,186217	4,731	0,387888	5,169021
1,50E+05	0,076255	2,142531	0,963798	4,076554	2,103862	1,35655	2,185068	0,400086	4,41872	4,02E+00	7,722455	4,0995
3,00E+05	4,447765	1,345004	2,863036	1,933387	2,482317	6,006003	2,18E+00	1,29229	3,062	3,054	0,300337	3,077017
5,00E+05	2,948604	2,733052	2,318	2,011313	2,443134	2,332942	2,18494	0,736337	2,836	2,811	2,791	2,768006
2,00E+06	2,714788	3,134	2,855	3,05899	2,895926	2,855131	2,84721	2,03273	3,408	3,441	3,477	3,56
5,00E+06	2,520286	2,232	2,192	2,73849	2,786882	2,882022	3,077519	3,44854	3,246	3,296	3,348	3,456
8,00E+06	2,030574	1,85	1,898	2,187825	2,281473	2,360614	2,519398	2,85682	2,749	2,795	2,84	2,924

Tabel C.1 (Lanjutan)

Energi (eV)	$^{46}_{20}Ca$	$^{48}_{20}Ca$	$^{54}_{26}Fe$	$^{56}_{26}Fe$	$^{57}_{26}Fe$	$^{58}_{26}Fe$	$^{130}_{56}Ba$	$^{132}_{56}Ba$	$^{134}_{56}Ba$	$^{135}_{56}Ba$	$^{136}_{56}Ba$	$^{137}_{56}Ba$	$^{138}_{56}Ba$
1,50E+04	12,00349	2,335635	11,699	3,041265	1,479966	5,597592	7,191659	5,486885	5,642542	6,786033	2,979163	5,013694	3,439231
2,00E+04	9,977427	2,20016	6,729059	1,68579	1,259311	3,451064	6,612417	5,272602	5,387785	6,56351	4,982519	4,901412	3,327724
3,00E+04	8,194168	2,019528	3,118957	21,92863	36,65071	0,811171	5,95066	5,045557	5,113536	6,273736	4,548265	4,962057	1,154063
4,00E+04	7,13909	1,916963	1,110068	5,842485	6,819135	7,792916	5,554044	4,90953	4,949426	5,6766	4,893097	5,063237	0,582192
6,00E+04	5,898039	1,810129	3,169323	3,72917	23,94224	5,678976	5,085227	4,751375	4,75819	5,092768	4,72922	5,429129	2,365672
8,00E+04	5,169021	1,75E+00	2,935769	1,472882	15,95145	1,553609	4,8037	4,656186	4,643357	4,898466	4,630181	4,87348	22,16368
1,50E+05	4,0995	1,38843	4,326187	4,439306	9,106692	5,837063	4,680432	4,676464	4,674483	4,671329	4,669654	4,669654	4,666208
3,00E+05	3,077017	2,61815	0,048928	7,099003	4,763529	5,049129	5,168013	5,164071	5,162002	5,158883	5,157193	5,156904	5,153705
5,00E+05	2,768006	2,77	1,870096	1,624107	3,977526	4,037523	5,833672	5,830425	5,828774	5,826198	5,824817	5,824619	5,821996
2,00E+06	3,56	3,659	2,655316	2,407264	3,408781	3,385661	7,190777	7,193004	7,193898	7,196012	7,196986	7,196873	7,199064
5,00E+06	3,456	3,568	3,70504	3,4493	3,597804	3,617375	4,518257	4,518201	4,518204	5,079288	5,079545	5,079395	5,080139
8,00E+06	2,924	2,997	3,391996	3,4031	3,337836	3,378753	4,464165	4,463705	4,463523	4,46323	4,463079	4,463048	4,462766

Sumber: JANIS (JENDL -4.0)

Lampiran VII Buildup factor

1. *Buildup factor* untuk beton barit

Tabel D.1 Nilai *buildup factor* untuk beton barit

R(mfp)	Energy (MeV)														
	15	10	8	6	5	4	3	2	1.5	1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3
0.5	1.13	1.18	1.21	1.25	1.32	1.31	1.34	1.39	1.42	1.49	1.53	1.6	1.66	1.73	1.86
1	1.24	1.34	1.4	1.48	1.57	1.62	1.7	1.83	1.93	2.11	2.22	2.41	2.55	2.74	3.06
2	1.42	1.61	1.74	1.92	2.05	2.22	2.44	2.8	3.08	3.59	3.94	4.48	4.89	5.46	6.32
3	1.61	1.88	2.07	2.35	2.54	2.81	3.19	3.82	4.36	5.35	6.03	7.1	7.89	9	10.6
4	1.8	2.16	2.4	2.77	3.04	3.41	3.96	4.92	5.77	7.35	8.48	10.3	11.60	13.4	16
5	1.99	2.43	2.73	3.2	3.55	4.03	4.76	6.07	7.28	9.61	11.3	14	16.00	18.7	22.5
6	2.18	2.71	3.07	3.64	4.06	4.66	5.58	7.28	8.9	12.10	14.5	18.2	21.10	25	30.3
7	2.38	2.99	3.41	4.08	4.58	5.29	6.42	8.55	10.6	14.80	18	23.1	27.00	32.3	39.5
8	2.58	3.28	3.76	4.52	5.1	5.94	7.27	9.86	12.4	17.80	21.9	28.6	33.70	40.7	50.1
10	3	3.85	4.45	5.42	6.16	7.24	9.02	12.6	16.3	24.30	30.7	41.3	49.60	60.9	76.2
15	4.08	5.33	6.21	7.7	8.86	10.6	13.6	20	27.1	44.00	58.5	84	105.00	134	174
20	5.23	6.86	8	10	11.6	14.1	18.4	28.1	39.3	67.90	94.1	142	183.00	243	326
25	6.45	8.45	9.83	12.4	14.4	17.6	23.3	36.7	52.6	95.50	137	216	286.00	392	543
30	7.71	10.1	11.7	14.7	17.3	21.2	28.4	45.7	67	126.00	186	305	414.00	583	834
35	8.97	11.7	13.7	16.8	20.2	24.8	33.6	55	82.1	160.00	242	408	567.00	820	1210
40	10.2	13.4	16	18.6	23.9	28.5	38.8	64.6	98	197.00	303	527	747.00	1100	1670

Tabel D.1 (Lanjutan)

R(mfp)	Energy (MeV)									
	0.2	0.15	0.1	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.015
0.5	2.11	2.32	2.39	2.19	1.68	1.48	1.31	1.15	1.05	1.02
1	3.65	4.04	3.89	3.27	2.25	1.83	1.47	1.22	1.07	1.03
2	7.69	8.29	7.06	5.30	3.25	2.4	1.72	1.31	1.09	1.04
3	12.9	13.5	10.4	7.26	4.02	2.78	1.9	1.38	1.11	1.05
4	19.3	19.6	14.1	9.21	4.74	3.12	2.04	1.43	1.13	1.05
5	27	26.7	17.9	11.20	5.43	3.43	2.17	1.47	1.14	1.06
6	36	34.8	22.1	13.20	6.08	3.73	2.28	1.51	1.15	1.06
7	46.6	44	26.6	15.30	6.72	4.01	2.39	1.55	1.16	1.07
8	58.8	54.5	31.5	17.40	7.35	4.27	2.48	1.58	1.17	1.07
10	88.5	79.1	42.1	21.90	8.59	4.77	2.66	1.63	1.18	1.08
15	199	165	74.7	34.10	11.6	5.89	3.02	1.74	1.21	1.09
20	372	292	116	47.60	14.5	6.88	3.31	1.82	1.22	1.09
25	620	463	165	62.40	17.4	7.8	3.57	1.89	1.24	1.1
30	958	686	222	78.30	20	8.64	3.79	1.95	1.25	1.11
35	1400	963	286	95.10	22.3	9.36	3.96	1.99	1.27	1.11
40	1940	1300	358	113.00	23.9	9.93	4.08	2.02	1.27	1.11

Sumber : <http://www.nucleonica.net/Application/Help/Helpfiles/Appendix4.htm>

2. Buildup factor untuk stainless steels

Tabel D.2 Nilai buildup factor untuk stainless steels

10 MeV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.41	1.43	1.44	1.43	1.40	1.38	1.33	1.29	1.23	1.14
2	1.80	1.79	1.78	1.76	1.73	1.71	1.63	1.57	1.48	1.32
3	2.18	2.15	2.12	2.12	2.09	2.08	2.01	1.95	1.87	1.66
4	2.57	2.52	2.49	2.51	2.49	2.55	2.55	2.54	2.54	2.33
5	2.98	2.92	2.88	2.96	2.98	3.17	3.33	3.48	3.75	3.73
6	3.41	3.34	3.31	3.49	3.56	4.00	4.51	5.02	5.99	6.72
7	3.86	3.78	3.78	4.12	4.29	5.16	6.35	7.61	10.23	13.21
8	4.34	4.26	4.29	4.87	5.20	6.78	9.25	12.05	18.36	27.48
9	4.85	4.76	4.86	5.76	6.35	9.10	13.92	19.78	34.20	59.21
10	5.38	5.30	5.48	6.85	7.82	12.47	21.55	33.43	65.46	130.35
8 MeV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.42	1.44	1.44	1.43	1.41	1.39	1.33	1.29	1.23	1.14
2	1.83	1.82	1.81	1.79	1.76	1.73	1.65	1.58	1.49	1.32
3	2.24	2.21	2.18	2.17	2.14	2.13	2.06	1.99	1.90	1.68
4	2.66	2.61	2.57	2.59	2.57	2.63	2.63	2.62	2.62	2.39
5	3.10	3.03	2.99	3.07	3.09	3.29	3.46	3.61	3.91	3.87
6	3.56	3.48	3.44	3.63	3.71	4.18	4.72	5.25	6.29	7.04
7	4.03	3.95	3.93	4.29	4.47	5.40	6.66	7.99	10.79	13.92
8	4.53	4.44	4.46	5.07	5.42	7.10	9.73	12.68	19.44	29.08
9	5.06	4.96	5.05	5.99	6.60	9.53	14.63	20.81	36.27	62.80
10	5.60	5.50	5.68	7.10	8.10	13.02	22.59	35.10	69.44	138.43
6 MeV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.44	1.46	1.47	1.46	1.43	1.41	1.35	1.30	1.23	1.13
2	1.91	1.90	1.88	1.86	1.82	1.79	1.70	1.62	1.51	1.34
3	2.38	2.34	2.30	2.29	2.25	2.24	2.15	2.08	1.97	1.72
4	2.85	2.80	2.75	2.77	2.75	2.81	2.80	2.78	2.77	2.50
5	3.35	3.27	3.22	3.32	3.33	3.56	3.75	3.91	4.22	4.14
6	3.86	3.77	3.73	3.95	4.04	4.58	5.19	5.79	6.91	7.64
7	4.39	4.29	4.28	4.69	4.90	5.97	7.43	8.94	12.04	15.29
8	4.93	4.83	4.86	5.56	5.97	7.91	10.95	14.34	21.92	32.21
9	5.50	5.39	5.50	6.58	7.29	10.66	16.58	23.73	41.24	69.97
10	6.08	5.97	6.18	7.79	8.95	14.60	25.68	40.22	79.40	154.99

Tabel D.2 (Lanjutan)

5 MeV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.47	1.49	1.49	1.48	1.45	1.42	1.36	1.31	1.24	1.13
2	1.98	1.97	1.94	1.92	1.88	1.83	1.73	1.65	1.54	1.35
3	2.49	2.45	2.40	2.39	2.35	2.33	2.23	2.14	2.03	1.76
4	3.01	2.95	2.89	2.91	2.89	2.96	2.94	2.91	2.89	2.58
5	3.54	3.46	3.41	3.51	3.54	3.79	3.99	4.16	4.46	4.33
6	4.10	4.00	3.96	4.21	4.32	4.91	5.60	6.24	7.42	8.09
7	4.67	4.56	4.56	5.02	5.27	6.46	8.10	9.76	13.07	16.33
8	5.25	5.14	5.20	5.97	6.45	8.63	12.04	15.84	24.03	34.62
9	5.86	5.74	5.88	7.09	7.91	11.69	18.36	26.43	45.57	75.63
10	6.47	6.36	6.61	8.41	9.73	16.06	28.61	45.10	88.28	168.27
4 MeV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.50	1.52	1.52	1.51	1.48	1.45	1.37	1.32	1.24	1.14
2	2.06	2.05	2.02	1.99	1.94	1.89	1.78	1.68	1.56	1.36
3	2.62	2.58	2.53	2.51	2.47	2.44	2.33	2.23	2.09	1.79
4	3.20	3.14	3.08	3.10	3.08	3.14	3.12	3.08	3.04	2.68
5	3.79	3.71	3.66	3.78	3.81	4.09	4.31	4.49	4.78	4.56
6	4.41	4.31	4.28	4.56	4.70	5.37	6.16	6.87	8.09	8.64
7	5.03	4.93	4.94	5.48	5.78	7.16	9.05	10.94	14.49	17.65
8	5.68	5.56	5.65	6.55	7.13	9.66	13.65	18.03	27.01	37.75
9	6.34	6.22	6.41	7.81	8.81	13.21	21.07	30.49	51.79	83.07
10	7.01	6.90	7.22	9.31	10.90	18.30	33.13	52.60	101.33	186.04
3 MeV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.54	1.56	1.56	1.55	1.51	1.47	1.39	1.33	1.25	1.14
2	2.17	2.16	2.12	2.08	2.03	1.96	1.83	1.73	1.59	1.37
3	2.81	2.77	2.71	2.68	2.62	2.58	2.45	2.33	2.17	1.84
4	3.46	3.39	3.33	3.35	3.33	3.40	3.36	3.31	3.22	2.80
5	4.13	4.05	3.99	4.14	4.19	4.50	4.76	4.95	5.20	4.85
6	4.82	4.72	4.71	5.06	5.24	6.04	6.97	7.77	9.02	9.34
7	5.53	5.42	5.47	6.13	6.54	8.20	10.48	12.69	16.49	19.35
8	6.26	6.14	6.29	7.40	8.17	11.26	16.15	21.40	31.34	41.89
9	7.00	6.89	7.17	8.90	10.20	15.64	25.40	36.93	61.13	93.16
10	7.76	7.66	8.12	10.69	12.76	21.96	40.62	64.89	121.37	210.57
2 MeV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.60	1.62	1.62	1.59	1.55	1.50	1.41	1.34	1.25	1.14
2	2.31	2.30	2.25	2.20	2.14	2.05	1.89	1.77	1.62	1.39
3	3.05	3.00	2.93	2.89	2.83	2.76	2.60	2.46	2.26	1.88
4	3.80	3.74	3.67	3.70	3.68	3.74	3.68	3.60	3.45	2.92
5	4.59	4.50	4.47	4.66	4.74	5.11	5.41	5.59	5.76	5.18
6	5.40	5.31	5.34	5.81	6.08	7.08	8.22	9.12	10.32	10.21
7	6.24	6.14	6.28	7.18	7.78	9.92	12.84	15.48	19.48	21.57
8	7.11	7.01	7.30	8.82	9.95	14.06	20.52	27.06	38.08	47.50
9	8.00	7.91	8.41	10.79	12.73	20.11	33.36	48.31	76.21	107.24
10	8.91	8.84	9.60	13.17	16.28	29.03	55.01	87.53	154.94	245.82

Tabel D.2 (Lanjutan)

1.5 MeV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.63	1.66	1.65	1.62	1.57	1.51	1.41	1.34	1.25	1.14
2	2.40	2.38	2.33	2.27	2.19	2.09	1.92	1.79	1.63	1.39
3	3.19	3.15	3.07	3.02	2.95	2.87	2.68	2.52	2.31	1.90
4	4.02	3.95	3.89	3.92	3.90	3.96	3.89	3.78	3.59	2.98
5	4.88	4.80	4.79	5.02	5.12	5.54	5.86	6.02	6.12	5.37
6	5.78	5.69	5.77	6.35	6.69	7.86	9.14	10.09	11.21	10.74
7	6.72	6.63	6.86	7.97	8.74	11.30	14.67	17.58	21.61	22.97
8	7.69	7.61	8.05	9.95	11.40	16.42	24.08	31.53	43.10	51.19
9	8.69	8.63	9.35	12.38	14.88	24.11	40.19	57.68	87.87	116.82
10	9.72	9.69	10.77	15.34	19.44	35.67	67.93	106.97	181.76	270.44
1 MeV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.68	1.71	1.69	1.66	1.60	1.53	1.42	1.34	1.25	1.14
2	2.51	2.50	2.44	2.35	2.27	2.15	1.97	1.83	1.65	1.40
3	3.39	3.34	3.27	3.20	3.12	3.02	2.81	2.63	2.38	1.93
4	4.33	4.26	4.20	4.25	4.23	4.28	4.20	4.06	3.80	3.08
5	5.33	5.25	5.26	5.56	5.71	6.19	6.54	6.68	6.66	5.66
6	6.40	6.31	6.47	7.21	7.69	9.10	10.59	11.60	12.55	11.52
7	7.53	7.45	7.82	9.30	10.37	13.56	17.66	20.93	24.86	25.08
8	8.73	8.67	9.35	11.93	13.99	20.46	30.08	38.83	50.84	56.72
9	9.99	9.96	11.06	15.24	18.88	31.15	52.05	73.36	106.11	131.19
10	11.31	11.32	12.98	19.42	25.50	47.78	91.07	140.32	224.40	307.55
800 keV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.71	1.73	1.72	1.67	1.62	1.54	1.43	1.35	1.26	1.14
2	2.57	2.55	2.49	2.40	2.31	2.18	1.99	1.84	1.66	1.40
3	3.49	3.44	3.36	3.29	3.20	3.09	2.88	2.69	2.42	1.95
4	4.48	4.41	4.36	4.41	4.39	4.46	4.36	4.20	3.91	3.14
5	5.55	5.47	5.50	5.84	6.01	6.54	6.90	7.03	6.96	5.83
6	6.71	6.62	6.81	7.66	8.22	9.76	11.37	12.40	13.28	11.98
7	7.95	7.86	8.31	10.01	11.24	14.81	19.27	22.72	26.64	26.28
8	9.27	9.21	10.02	13.01	15.41	22.73	33.38	42.78	55.09	59.85
9	10.67	10.65	11.97	16.87	21.14	35.23	58.70	81.97	116.19	139.28
10	12.15	12.19	14.18	21.80	29.03	54.99	104.33	158.93	248.15	328.38
600 keV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.74	1.76	1.75	1.70	1.63	1.55	1.44	1.36	1.26	1.14
2	2.62	2.61	2.54	2.44	2.35	2.22	2.02	1.87	1.68	1.41
3	3.57	3.53	3.45	3.37	3.29	3.17	2.95	2.75	2.47	1.98
4	4.60	4.54	4.49	4.56	4.55	4.62	4.52	4.36	4.04	3.22
5	5.73	5.65	5.71	6.09	6.30	6.87	7.27	7.39	7.27	6.02
6	6.94	6.87	7.12	8.09	8.72	10.41	12.14	13.21	14.05	12.48
7	8.26	8.20	8.75	10.68	12.10	16.04	20.89	24.55	28.48	27.58
8	9.69	9.65	10.64	14.06	16.82	25.01	36.73	46.81	59.49	63.20
9	11.21	11.23	12.81	18.47	23.43	39.39	65.53	90.81	126.61	147.88
10	12.85	12.93	15.31	24.21	32.70	62.49	118.14	178.20	272.70	350.36

Tabel D.2 (Lanjutan)

500 keV										
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.78	1.79	1.77	1.71	1.65	1.57	1.45	1.37	1.28	1.15
2	2.64	2.63	2.57	2.46	2.38	2.24	2.04	1.89	1.70	1.43
3	3.56	3.53	3.47	3.40	3.33	3.20	2.99	2.79	2.50	2.00
4	4.57	4.53	4.53	4.60	4.62	4.66	4.59	4.43	4.09	3.25
5	5.67	5.63	5.76	6.15	6.40	6.94	7.40	7.54	7.37	6.09
6	6.87	6.85	7.20	8.19	8.89	10.54	12.39	13.54	14.26	12.63
7	8.18	8.19	8.88	10.85	12.39	16.27	21.40	25.25	28.94	27.92
8	9.59	9.65	10.83	14.34	17.31	25.45	37.75	48.33	60.52	64.03
9	11.11	11.25	13.09	18.92	24.26	40.22	67.61	94.13	128.97	149.92
10	12.75	12.98	15.71	24.92	34.07	64.04	122.36	185.42	278.15	355.41
400 keV										
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.75	1.78	1.76	1.71	1.64	1.56	1.44	1.36	1.27	1.14
2	2.64	2.62	2.55	2.46	2.37	2.24	2.04	1.89	1.70	1.42
3	3.58	3.53	3.46	3.39	3.31	3.21	2.99	2.80	2.51	2.01
4	4.61	4.54	4.51	4.60	4.60	4.70	4.62	4.46	4.14	3.29
5	5.73	5.65	5.73	6.16	6.39	7.02	7.48	7.62	7.51	6.20
6	6.96	6.87	7.16	8.21	8.89	10.71	12.58	13.72	14.60	12.94
7	8.30	8.23	8.84	10.91	12.42	16.61	21.81	25.66	29.74	28.71
8	9.75	9.71	10.79	14.45	17.40	26.11	38.63	49.26	62.43	66.03
9	11.33	11.34	13.07	19.13	24.46	41.47	69.46	96.19	133.48	154.95
10	13.03	13.12	15.72	25.28	34.45	66.39	126.21	190.00	288.79	368.09
300 keV										
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.75	1.77	1.75	1.69	1.64	1.56	1.45	1.37	1.28	1.15
2	2.57	2.56	2.50	2.41	2.33	2.21	2.03	1.89	1.71	1.43
3	3.44	3.40	3.34	3.29	3.23	3.14	2.95	2.77	2.50	2.01
4	4.37	4.31	4.31	4.41	4.44	4.54	4.50	4.38	4.09	3.28
5	5.38	5.32	5.44	5.85	6.10	6.71	7.22	7.41	7.34	6.15
6	6.49	6.44	6.75	7.74	8.42	10.13	12.03	13.23	14.16	12.76
7	7.70	7.66	8.28	10.20	11.66	15.57	20.69	24.58	28.66	28.19
8	9.01	9.01	10.06	13.43	16.24	24.28	36.41	46.91	59.79	64.58
9	10.43	10.48	12.14	17.67	22.69	38.32	65.12	91.15	127.19	151.02
10	11.97	12.10	14.55	23.25	31.83	61.01	117.82	179.33	273.96	357.64
200 keV										
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.65	1.68	1.66	1.62	1.57	1.51	1.42	1.35	1.26	1.15
2	2.35	2.34	2.29	2.23	2.16	2.07	1.93	1.81	1.65	1.41
3	3.05	3.01	2.97	2.94	2.89	2.85	2.71	2.57	2.36	1.94
4	3.80	3.74	3.73	3.83	3.85	3.98	3.99	3.92	3.74	3.10
5	4.59	4.52	4.60	4.95	5.14	5.69	6.17	6.39	6.51	5.67
6	5.45	5.38	5.60	6.38	6.88	8.32	9.95	11.06	12.21	11.53
7	6.37	6.31	6.75	8.21	9.28	12.41	16.61	19.98	24.16	25.05
8	7.37	7.33	8.07	10.58	12.59	18.84	28.49	37.24	49.48	56.65
9	8.45	8.44	9.60	13.64	17.19	29.04	49.81	70.90	103.62	131.03
10	9.62	9.65	11.36	17.63	23.61	45.27	88.35	136.99	220.16	307.34

Tabel D.2 (Lanjutan)

150 keV										
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.55	1.57	1.56	1.53	1.50	1.46	1.38	1.33	1.25	1.15
2	2.08	2.07	2.05	2.01	1.97	1.91	1.81	1.72	1.59	1.38
3	2.60	2.57	2.55	2.55	2.52	2.51	2.43	2.34	2.19	1.85
4	3.14	3.10	3.11	3.19	3.21	3.34	3.40	3.40	3.32	2.85
5	3.70	3.65	3.73	3.97	4.11	4.54	4.99	5.28	5.52	5.04
6	4.30	4.25	4.42	4.94	5.29	6.32	7.65	8.71	9.95	9.95
7	4.94	4.90	5.20	6.16	6.86	9.00	12.18	15.07	19.03	21.14
8	5.62	5.59	6.09	7.69	8.97	13.10	20.01	27.04	37.83	46.93
9	6.35	6.34	7.09	9.64	11.84	19.42	33.68	49.78	77.17	106.93
10	7.13	7.16	8.24	12.12	15.77	29.24	57.75	93.35	160.18	247.44
100 keV										
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.42	1.43	1.43	1.41	1.39	1.37	1.32	1.28	1.23	1.15
2	1.75	1.74	1.73	1.72	1.69	1.66	1.60	1.54	1.46	1.31
3	2.05	2.04	2.04	2.04	2.03	2.03	1.98	1.93	1.85	1.64
4	2.36	2.34	2.35	2.41	2.43	2.51	2.56	2.57	2.55	2.31
5	2.67	2.65	2.69	2.84	2.92	3.17	3.46	3.67	3.88	3.74
6	2.99	2.97	3.06	3.35	3.54	4.13	4.93	5.61	6.49	6.88
7	3.32	3.30	3.47	3.97	4.35	5.52	7.36	9.12	11.71	13.92
8	3.67	3.66	3.92	4.72	5.40	7.58	11.45	15.58	22.29	29.85
9	4.03	4.04	4.42	5.66	6.78	10.66	18.44	27.62	44.05	66.33
10	4.42	4.44	4.98	6.81	8.62	15.34	30.49	50.29	89.22	150.49
80 keV										
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.41	1.41	1.41	1.39	1.38	1.36	1.32	1.29	1.24	1.16
2	1.64	1.63	1.63	1.62	1.60	1.58	1.53	1.48	1.41	1.29
3	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	1.83	1.81	1.77	1.70	1.54
4	2.05	2.04	2.06	2.09	2.11	2.17	2.21	2.23	2.21	2.04
5	2.25	2.25	2.29	2.38	2.44	2.61	2.83	3.00	3.17	3.10
6	2.46	2.46	2.53	2.71	2.85	3.24	3.82	4.34	5.01	5.41
7	2.67	2.68	2.79	3.10	3.36	4.13	5.42	6.72	8.64	10.52
8	2.89	2.90	3.07	3.57	4.01	5.42	8.08	11.05	15.92	21.99
9	3.11	3.14	3.38	4.13	4.86	7.33	12.55	19.02	30.72	48.00
10	3.34	3.38	3.71	4.82	5.96	10.15	20.14	33.84	61.11	107.53
60 keV										
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.44	1.45	1.45	1.43	1.42	1.40	1.36	1.33	1.28	1.21
2	1.59	1.60	1.59	1.58	1.57	1.54	1.50	1.46	1.40	1.30
3	1.73	1.73	1.73	1.72	1.72	1.70	1.68	1.64	1.59	1.46
4	1.85	1.86	1.87	1.88	1.89	1.91	1.93	1.94	1.91	1.79
5	1.98	1.98	2.01	2.05	2.09	2.19	2.32	2.42	2.52	2.48
6	2.10	2.11	2.15	2.25	2.34	2.57	2.93	3.25	3.67	3.96
7	2.22	2.23	2.30	2.48	2.65	3.10	3.90	4.72	5.93	7.21
8	2.34	2.35	2.46	2.75	3.03	3.87	5.51	7.37	10.41	14.47
9	2.46	2.48	2.62	3.07	3.52	5.00	8.19	12.21	19.47	30.84
10	2.58	2.61	2.80	3.45	4.16	6.66	12.73	21.17	37.96	68.09

Tabel D.2 (Lanjutan)

50 keV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.49	1.49	1.49	1.47	1.46	1.43	1.40	1.37	1.32	1.25
2	1.60	1.61	1.60	1.58	1.57	1.54	1.50	1.46	1.41	1.32
3	1.70	1.71	1.71	1.69	1.69	1.67	1.64	1.60	1.55	1.44
4	1.79	1.80	1.81	1.81	1.81	1.82	1.83	1.82	1.79	1.69
5	1.88	1.89	1.91	1.94	1.96	2.03	2.11	2.18	2.24	2.20
6	1.97	1.98	2.01	2.08	2.14	2.31	2.56	2.80	3.10	3.31
7	2.06	2.07	2.12	2.25	2.37	2.70	3.28	3.88	4.77	5.73
8	2.14	2.15	2.23	2.44	2.64	3.26	4.46	5.84	8.08	11.13
9	2.22	2.24	2.34	2.67	2.99	4.07	6.43	9.40	14.75	23.28
10	2.30	2.33	2.47	2.93	3.44	5.27	9.75	15.98	28.34	50.90
40 keV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.54	1.54	1.53	1.51	1.50	1.47	1.43	1.40	1.36	1.30
2	1.62	1.62	1.61	1.59	1.58	1.55	1.51	1.47	1.42	1.34
3	1.69	1.69	1.68	1.67	1.66	1.63	1.60	1.57	1.52	1.43
4	1.75	1.75	1.75	1.75	1.74	1.74	1.73	1.71	1.68	1.59
5	1.81	1.81	1.82	1.83	1.85	1.88	1.93	1.96	1.99	1.94
6	1.87	1.87	1.89	1.93	1.97	2.07	2.23	2.38	2.57	2.69
7	1.92	1.93	1.95	2.04	2.11	2.33	2.72	3.12	3.71	4.34
8	1.97	1.98	2.03	2.16	2.30	2.71	3.53	4.45	5.96	7.99
9	2.03	2.03	2.10	2.31	2.53	3.26	4.87	6.89	10.51	16.22
10	2.08	2.09	2.17	2.48	2.82	4.07	7.14	11.39	19.79	34.90
30 keV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.57	1.57	1.56	1.54	1.53	1.50	1.46	1.43	1.39	1.33
2	1.62	1.62	1.61	1.59	1.58	1.55	1.51	1.47	1.43	1.38
3	1.66	1.66	1.65	1.64	1.62	1.60	1.56	1.53	1.49	1.44
4	1.70	1.70	1.69	1.68	1.68	1.66	1.64	1.62	1.59	1.55
5	1.73	1.73	1.73	1.73	1.74	1.75	1.76	1.77	1.78	1.76
6	1.77	1.77	1.77	1.79	1.81	1.86	1.95	2.03	2.13	2.21
7	1.80	1.80	1.81	1.85	1.89	2.02	2.25	2.48	2.82	3.20
8	1.83	1.83	1.85	1.92	2.00	2.25	2.74	3.30	4.20	5.40
9	1.85	1.86	1.89	2.01	2.14	2.58	3.57	4.80	6.98	10.35
10	1.88	1.89	1.93	2.11	2.31	3.07	4.96	7.59	12.66	21.61
20 keV		Angle of Incidence (radians)								
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.60	1.60	1.59	1.57	1.56	1.53	1.50	1.47	1.42	1.33
2	1.63	1.63	1.62	1.60	1.59	1.56	1.54	1.52	1.50	1.46
3	1.65	1.65	1.64	1.62	1.61	1.59	1.57	1.56	1.56	1.61
4	1.67	1.66	1.66	1.64	1.64	1.62	1.61	1.61	1.64	1.81
5	1.68	1.68	1.68	1.67	1.67	1.66	1.67	1.69	1.76	2.13
6	1.70	1.70	1.69	1.70	1.70	1.72	1.76	1.82	1.96	2.66
7	1.71	1.71	1.71	1.73	1.74	1.80	1.92	2.05	2.33	3.61
8	1.72	1.72	1.73	1.76	1.80	1.92	2.17	2.47	3.06	5.43
9	1.73	1.73	1.75	1.80	1.86	2.08	2.59	3.24	4.52	9.07
10	1.74	1.75	1.77	1.85	1.95	2.33	3.30	4.68	7.48	16.65

Tabel D.2 (Lanjutan)

15 keV			Angle of Incidence (radians)							
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.64	1.64	1.63	1.61	1.59	1.56	1.51	1.47	1.41	1.31
2	1.66	1.66	1.65	1.64	1.63	1.62	1.60	1.59	1.56	1.47
3	1.67	1.67	1.67	1.66	1.66	1.66	1.67	1.70	1.73	1.73
4	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.69	1.74	1.81	1.96	2.18
5	1.69	1.69	1.69	1.69	1.70	1.72	1.81	1.95	2.28	2.99
6	1.70	1.70	1.70	1.71	1.72	1.77	1.91	2.15	2.78	4.51
7	1.71	1.71	1.71	1.73	1.75	1.82	2.04	2.44	3.57	7.44
8	1.72	1.72	1.72	1.75	1.78	1.90	2.24	2.88	4.91	13.20
9	1.72	1.72	1.73	1.77	1.82	2.01	2.56	3.61	7.24	24.71
10	1.73	1.73	1.75	1.80	1.88	2.17	3.07	4.86	11.41	48.11
10 keV			Angle of Incidence (radians)							
mfp	0.00	0.17	0.45	0.73	0.86	1.05	1.21	1.30	1.40	1.49
1	1.61	1.61	1.60	1.57	1.55	1.50	1.45	1.40	1.34	1.25
2	1.72	1.72	1.72	1.72	1.71	1.69	1.65	1.61	1.54	1.40
3	1.80	1.80	1.82	1.85	1.87	1.90	1.93	1.92	1.87	1.70
4	1.87	1.87	1.90	1.98	2.04	2.18	2.34	2.44	2.49	2.33
5	1.93	1.94	1.99	2.13	2.25	2.55	2.98	3.33	3.69	3.70
6	1.99	2.00	2.08	2.32	2.53	3.10	4.03	4.92	6.05	6.74
7	2.06	2.07	2.19	2.55	2.90	3.93	5.83	7.85	10.81	13.62
8	2.13	2.15	2.31	2.86	3.42	5.23	8.94	13.36	20.60	29.36
9	2.21	2.23	2.46	3.27	4.16	7.30	14.49	23.89	40.97	65.66
10	2.29	2.33	2.65	3.84	5.25	10.69	24.52	44.30	83.79	150.07

Sumber : Schirmers, 2006: 284-290

Lampiran VIII Kerma

Tabel E.1 Perbandingan koefisien kerma baru (DS02) dan lama (DS86) untuk foton pada soft tissue dengan model referensi manusia ICRP 1975

Photon energy (MeV)	Kerma coefficient (Gy cm ²)		Photon energy (MeV)	Kerma coefficient (Gy cm ²)	
	DS02	DS86		DS02	DS86
1.00E-3 ^a	5.63E-10	5.66E-10	2.00E-1	9.43E-13	9.45E-13
1.50E-3	2.83E-10	2.84E-10	3.00E-1	1.52E-12	1.53E-12
2.00E-3	1.68E-10	1.68E-10	4.00E-1	2.09E-12	2.09E-12
3.00E-3	8.07E-11	7.98E-11	5.00E-1	2.62E-12	2.63E-12
4.00E-3	4.70E-11	4.63E-11	6.00E-1	3.13E-12	3.14E-12
5.00E-3	3.02E-11	2.98E-11	8.00E-1	4.08E-12	4.09E-12
6.00E-3	2.09E-11	2.05E-11	1.00E+0	4.93E-12	4.95E-12
8.00E-3	1.16E-11	1.14E-11	1.25E+0	5.89E-12	
1.00E-2	7.24E-12	7.09E-12	1.50E+0	6.76E-12	6.81E-12
1.50E-2	3.04E-12	2.98E-12	2.00E+0	8.29E-12	8.33E-12
2.00E-2	1.64E-12	1.60E-12	3.00E+0	1.09E-11	1.10E-11
3.00E-2	7.02E-13	6.87E-13	4.00E+0	1.31E-11	1.33E-11
4.00E-2	4.23E-13	4.15E-13	5.00E+0	1.52E-11	1.54E-11
5.00E-2	3.25E-13	3.21E-13	6.00E+0	1.71E-11	1.75E-11
6.00E-2	2.98E-13	2.95E-13	8.00E+0	2.09E-11	2.15E-11
8.00E-2	3.27E-13	3.26E-13	1.00E+1	2.47E-11	2.55E-11
1.00E-1	4.03E-13	4.03E-13	1.50E+1	3.39E-11	3.58E-11
1.50E-1	6.61E-13	6.60E-13	2.00E+1	4.33E-11	4.65E-11

^aRead as 1.00×10^{-3} MeV or 0.001 MeV, etc.

Sumber : Kerr dkk

Tabel E.2 Perbandingan koefisien kerma baru (DS02) dan lama (DS86) untuk neutron pada soft tissue dengan model referensi manusia ICRP 1975

Neutron energy (MeV)	Kerma coefficient (Gy cm^2)		Neutron energy (MeV)	Kerma coefficient (Gy cm^2)	
	DS02	DS86		DS02	DS86
1.00E-11 ^a	9.49E-12 ^b		1.95E-1	1.01E-11	1.02E-11
1.00E-10	3.00E-12 ^b		2.10E-1	1.06E-11	1.06E-11
1.00E-9	9.49E-13 ^b		2.30E-1	1.11E-11	1.12E-11
1.00E-8	3.00E-13 ^b		2.50E-1	1.16E-11	1.16E-11
2.53E-8	1.89E-13	1.89E-13	2.70E-1	1.21E-11	1.22E-11
3.60E-8	1.60E-13	1.60E-13	2.90E-1	1.27E-11	1.27E-11
6.30E-8	1.21E-13	1.21E-13	3.10E-1	1.31E-11	1.32E-11
1.10E-7	9.15E-14	9.15E-14	3.30E-1	1.36E-11	1.36E-11
2.00E-7	6.80E-14	6.80E-14	3.50E-1	1.41E-11	1.41E-11
3.60E-7	5.06E-14	5.06E-14	3.70E-1	1.46E-11	1.46E-11
6.30E-7	3.84E-14	3.84E-14	3.90E-1	1.52E-11	1.53E-11
1.10E-6	2.91E-14	2.90E-14	4.20E-1	1.66E-11	1.65E-11
2.00E-6	2.17E-14	2.18E-14	4.60E-1	1.64E-11	1.68E-11
3.60E-6	1.64E-14	1.64E-14	5.00E-1	1.65E-11	1.66E-11
6.30E-6	1.28E-14	1.28E-14	5.40E-1	1.71E-11	1.71E-11
1.10E-5	1.03E-14	1.03E-14	5.80E-1	1.77E-11	1.77E-11
2.00E-5	8.92E-15	8.95E-15	6.20E-1	1.83E-11	1.83E-11
3.60E-5	8.87E-15	8.91E-15	6.60E-1	1.89E-11	1.90E-11
6.30E-5	1.05E-14	1.05E-14	7.00E-1	1.95E-11	1.95E-11
1.10E-4	1.45E-14	1.45E-14	7.40E-1	2.00E-11	2.00E-11
2.00E-4	2.33E-14	2.33E-14	7.80E-1	2.06E-11	2.06E-11
3.60E-4	3.97E-14	3.99E-14	8.20E-1	2.11E-11	2.11E-11
6.30E-4	6.78E-14	6.78E-14	8.60E-1	2.16E-11	2.17E-11
1.10E-3	1.17E-13	1.17E-13	9.00E-1	2.23E-11	2.23E-11
2.00E-3	2.10E-13	2.10E-13	9.40E-1	2.33E-11	2.33E-11
3.60E-3	3.73E-13	3.74E-13	9.80E-1	2.50E-11	2.49E-11
6.30E-3	6.42E-13	6.43E-13	1.05E+0	2.52E-11	2.54E-11
1.10E-2	1.09E-12	1.09E-12	1.15E+0	2.52E-11	2.53E-11
2.00E-2	1.88E-12	1.89E-12	1.25E+0	2.63E-11	2.63E-11
3.60E-2	3.11E-12	3.12E-12	1.35E+0	2.71E-11	2.72E-11
6.30E-2	4.82E-12	4.85E-12	1.45E+0	2.76E-11	2.78E-11
8.20E-2	5.86E-12	5.86E-12	1.55E+0	2.83E-11	2.85E-11
8.60E-2	6.05E-12	6.06E-12	1.65E+0	2.94E-11	2.96E-11
9.00E-2	6.24E-12	6.25E-12	1.75E+0	2.99E-11	3.00E-11
9.40E-2	6.44E-12	6.44E-12	1.85E+0	3.12E-11	3.12E-11
9.80E-2	6.62E-12	6.62E-12	1.95E+0	3.13E-11	3.15E-11
1.05E-1	6.92E-12	6.93E-12	2.10E+0	3.24E-11	3.25E-11
1.15E-1	7.35E-12	7.36E-12	2.30E+0	3.29E-11	3.30E-11
1.25E-1	7.76E-12	7.77E-12	2.50E+0	3.44E-11	3.43E-11
1.35E-1	8.13E-12	8.15E-12	2.70E+0	3.59E-11	3.59E-11
1.45E-1	8.50E-12	8.53E-12	2.90E+0	3.75E-11	3.75E-11
1.55E-1	8.86E-12	8.88E-12	3.10E+0	3.85E-11	3.86E-11
1.65E-1	9.19E-12	9.21E-12	3.30E+0	4.19E-11	4.20E-11
1.75E-1	9.51E-12	9.55E-12	3.50E+0	4.29E-11	4.30E-11
1.85E-1	9.83E-12	9.85E-11	3.70E+0	4.40E-11	4.39E-11

Sumber : Kerr dkk

Lampiran IX Konversi dosis serap ke dosis ekuivalen

Tabel F.1 Konversi dosis serap ke dosis ekuivalen untuk foton

Energi (MeV)	Kerma (Gy.cm ²)	Waktu (s)	Fungsi laju dosis ekuivalen (Sv/jam)
0,001	5,63E-10	3600	2,03E-06
0,0015	2,83E-10	3600	1,02E-06
0,002	1,68E-10	3600	6,05E-07
0,003	8,07E-11	3600	2,91E-07
0,004	4,70E-11	3600	1,69E-07
0,005	3,02E-11	3600	1,09E-07
0,006	2,09E-11	3600	7,52E-08
0,008	1,16E-11	3600	4,18E-08
0,01	7,24E-12	3600	2,61E-08
0,015	3,04E-12	3600	1,09E-08
0,02	1,64E-12	3600	5,90E-09
0,03	7,02E-13	3600	2,53E-09
0,04	4,23E-13	3600	1,52E-09
0,05	3,25E-13	3600	1,17E-09
0,06	2,98E-13	3600	1,07E-09
0,08	3,27E-13	3600	1,18E-09
0,1	4,03E-13	3600	1,45E-09
0,15	6,61E-13	3600	2,38E-09
0,2	9,43E-13	3600	3,39E-09
0,3	1,52E-12	3600	5,47E-09
0,4	2,09E-12	3600	7,52E-09
0,5	2,62E-12	3600	9,43E-09
0,6	3,13E-12	3600	1,13E-08
0,8	4,08E-12	3600	1,47E-08
1	4,93E-12	3600	1,77E-08
1,25	5,89E-12	3600	2,12E-08
1,5	6,76E-12	3600	2,43E-08
2	8,29E-12	3600	2,98E-08
3	1,09E-11	3600	3,92E-08
4	1,31E-11	3600	4,72E-08
5	1,52E-11	3600	5,47E-08
6	1,71E-11	3600	6,16E-08
8	2,09E-11	3600	7,52E-08
10	2,47E-11	3600	8,89E-08
15	3,39E-11	3600	1,22E-07
20	4,33E-11	3600	1,56E-07

Tabel F.2 Konversi dosis serap ke dosis ekuivalen untuk neutron

Energi Neutron	Energi (MeV)	Kerma (Gy.cm ²)	Q	Dosis (Sv)	Waktu (s)	Fungsi laju dosis ekuivalen (Sv/jam)
E<500 KeV	3,60E-07	5,06E-14	5	2,53E-13	3600	9,11E-10
	6,30E-07	3,84E-14	5	1,92E-13	3600	6,91E-10
	1,10E-06	2,91E-14	5	1,46E-13	3600	5,24E-10
	2,00E-06	2,17E-14	5	1,09E-13	3600	3,91E-10
	3,60E-06	1,64E-14	5	8,20E-14	3600	2,95E-10
	6,30E-06	1,28E-14	5	6,40E-14	3600	2,30E-10
	1,10E-05	1,03E-14	5	5,15E-14	3600	1,85E-10
	2,00E-05	8,92E-15	5	4,46E-14	3600	1,61E-10
	3,60E-05	8,87E-15	5	4,44E-14	3600	1,60E-10
	6,30E-05	1,05E-14	5	5,25E-14	3600	1,89E-10
	1,10E-04	1,45E-14	5	7,25E-14	3600	2,61E-10
	2,00E-04	2,33E-14	5	1,17E-13	3600	4,19E-10
	3,60E-04	3,97E-14	5	1,99E-13	3600	7,15E-10
	6,30E-04	6,78E-14	5	3,39E-13	3600	1,22E-09
	1,10E-03	1,17E-13	5	5,85E-13	3600	2,11E-09
	2,00E-03	2,10E-13	5	1,05E-12	3600	3,78E-09
	3,60E-03	3,73E-13	5	1,87E-12	3600	6,71E-09
	6,30E-03	6,42E-13	5	3,21E-12	3600	1,16E-08
	0,011	1,09E-12	5	5,45E-12	3600	1,96E-08
	0,02	1,88E-12	5	9,40E-12	3600	3,38E-08
	0,036	3,11E-12	5	1,56E-11	3600	5,60E-08
	0,063	4,82E-12	5	2,41E-11	3600	8,68E-08
	0,082	5,86E-12	5	2,93E-11	3600	1,05E-07
	0,086	6,05E-12	5	3,03E-11	3600	1,09E-07
	0,09	6,24E-12	5	3,12E-11	3600	1,12E-07
	0,094	6,44E-12	5	3,22E-11	3600	1,16E-07
	0,098	6,62E-12	5	3,31E-11	3600	1,19E-07
	0,105	6,92E-12	5	3,46E-11	3600	1,25E-07
	0,115	7,35E-12	5	3,68E-11	3600	1,32E-07
	0,125	7,76E-12	5	3,88E-11	3600	1,40E-07
	0,135	8,13E-12	5	4,07E-11	3600	1,46E-07
	0,145	8,50E-12	5	4,25E-11	3600	1,53E-07
	0,155	8,86E-12	5	4,43E-11	3600	1,59E-07
	0,165	9,19E-12	5	4,60E-11	3600	1,65E-07
	0,175	9,51E-12	5	4,76E-11	3600	1,71E-07
	0,185	9,83E-12	5	4,92E-11	3600	1,77E-07
	0,195	1,01E-11	5	5,05E-11	3600	1,82E-07
	0,21	1,06E-11	5	5,30E-11	3600	1,91E-07
	0,23	1,11E-11	5	5,55E-11	3600	2,00E-07

	0,25	1,16E-11	5	5,80E-11	3600	2,09E-07
	0,27	1,21E-11	5	6,05E-11	3600	2,18E-07
	0,29	1,27E-11	5	6,35E-11	3600	2,29E-07
	0,31	1,31E-11	5	6,55E-11	3600	2,36E-07
	0,33	1,36E-11	5	6,80E-11	3600	2,45E-07
	0,35	1,41E-11	5	7,05E-11	3600	2,54E-07
	0,37	1,46E-11	5	7,30E-11	3600	2,63E-07
	0,39	1,52E-11	5	7,60E-11	3600	2,74E-07
	0,42	1,66E-11	5	8,30E-11	3600	2,99E-07
	0,46	1,64E-11	5	8,20E-11	3600	2,95E-07
	0,5	1,65E-11	5	8,25E-11	3600	2,97E-07
0,5<E<1 MeV	0,54	1,71E-11	10	1,71E-10	3600	6,16E-07
	0,58	1,77E-11	10	1,77E-10	3600	6,37E-07
	0,62	1,83E-11	10	1,83E-10	3600	6,59E-07
	0,66	1,89E-11	10	1,89E-10	3600	6,80E-07
	0,7	1,95E-11	10	1,95E-10	3600	7,02E-07
	0,74	2,00E-11	10	2,00E-10	3600	7,20E-07
	0,78	2,06E-11	10	2,06E-10	3600	7,42E-07
	0,82	2,11E-11	10	2,11E-10	3600	7,60E-07
	0,86	2,16E-11	10	2,16E-10	3600	7,78E-07
	0,9	2,23E-11	10	2,23E-10	3600	8,03E-07
	0,94	2,33E-11	10	2,33E-10	3600	8,39E-07
	0,98	2,50E-11	10	2,50E-10	3600	9,00E-07
1<E<2,5 MeV	1,05	2,52E-11	13	3,28E-10	3600	1,18E-06
	1,15	2,52E-11	13	3,28E-10	3600	1,18E-06
	1,25	2,63E-11	13	3,42E-10	3600	1,23E-06
	1,35	2,71E-11	13	3,52E-10	3600	1,27E-06
	1,45	2,76E-11	13	3,59E-10	3600	1,29E-06
	1,55	2,83E-11	13	3,68E-10	3600	1,32E-06
	1,65	2,94E-11	13	3,82E-10	3600	1,38E-06
	1,75	2,99E-11	13	3,89E-10	3600	1,40E-06
	1,85	3,12E-11	13	4,06E-10	3600	1,46E-06
	1,95	3,13E-11	13	4,07E-10	3600	1,46E-06
	2,1	3,24E-11	13	4,21E-10	3600	1,52E-06
	2,3	3,29E-11	13	4,28E-10	3600	1,54E-06
	2,5	3,44E-11	13	4,47E-10	3600	1,61E-06
2,5<E<20 MeV	2,7	3,59E-11	20	7,18E-10	3600	2,58E-06
	2,9	3,75E-11	20	7,50E-10	3600	2,70E-06
	3,1	3,85E-11	20	7,70E-10	3600	2,77E-06
	3,3	4,19E-11	20	8,38E-10	3600	3,02E-06
	3,5	4,29E-11	20	8,58E-10	3600	3,09E-06
	3,7	4,40E-11	20	8,80E-10	3600	3,17E-06

3,9	4,33E-11	20	8,66E-10	3600	3,12E-06
4,2	4,43E-11	20	8,86E-10	3600	3,19E-06
4,6	4,43E-11	20	8,86E-10	3600	3,19E-06
5	4,68E-11	20	9,36E-10	3600	3,37E-06
5,4	4,57E-11	20	9,14E-10	3600	3,29E-06
5,8	4,77E-11	20	9,54E-10	3600	3,43E-06
6,2	4,92E-11	20	9,84E-10	3600	3,54E-06
6,6	5,07E-11	20	1,01E-09	3600	3,65E-06
7	5,19E-11	20	1,04E-09	3600	3,74E-06
7,4	5,42E-11	20	1,08E-09	3600	3,90E-06
7,8	5,47E-11	20	1,09E-09	3600	3,94E-06
8,2	5,41E-11	20	1,08E-09	3600	3,90E-06
8,6	5,56E-11	20	1,11E-09	3600	4,00E-06
9	5,66E-11	20	1,13E-09	3600	4,08E-06
9,4	5,83E-11	20	1,17E-09	3600	4,20E-06
9,8	5,96E-11	20	1,19E-09	3600	4,29E-06
10,5	6,01E-11	20	1,20E-09	3600	4,33E-06
11,5	6,38E-11	20	1,28E-09	3600	4,59E-06
12,5	6,38E-11	20	1,28E-09	3600	4,59E-06
13,5	6,54E-11	20	1,31E-09	3600	4,71E-06
14,5	6,61E-11	20	1,32E-09	3600	4,76E-06
16	6,77E-11	20	1,35E-09	3600	4,87E-06
18	6,95E-11	20	1,39E-09	3600	5,00E-06
20	7,04E-11	20	1,41E-09	3600	5,07E-06

Lampiran X Tampilan input output

1. Windows

```

C:\ Command Prompt - mcnpx i=dosis_2.i o=dosis3.o
Microsoft Windows [Version 6.2.9200]
(c) 2012 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\ndah manitz>D:
D:>cd desainskripsi
D:\desainskripsi>cd desainoktober
D:\desainskripsi\desainoktober>mcnpx i=dosis_2.i o=dosis3.o
mcnpx    ver=2.6.0 ld=Wed Apr 09 08:00:00 MST 2008   10/08/16 12:44:22
*****
*          MCNPX
*
* Copyright 2007. Los Alamos National Security, LLC.
* All rights reserved.
*
* This material was produced under U.S. Government contract
* DE-AC52-06NA25396 for Los Alamos National Laboratory,
* which is operated by Los Alamos National Security, LLC
* for the U.S. Department of Energy. The Government is
* granted for itself and others acting on its behalf a
* paid-up, nonexclusive, irrevocable worldwide license in

```

Gambar A.1 Tampilan input di cmd

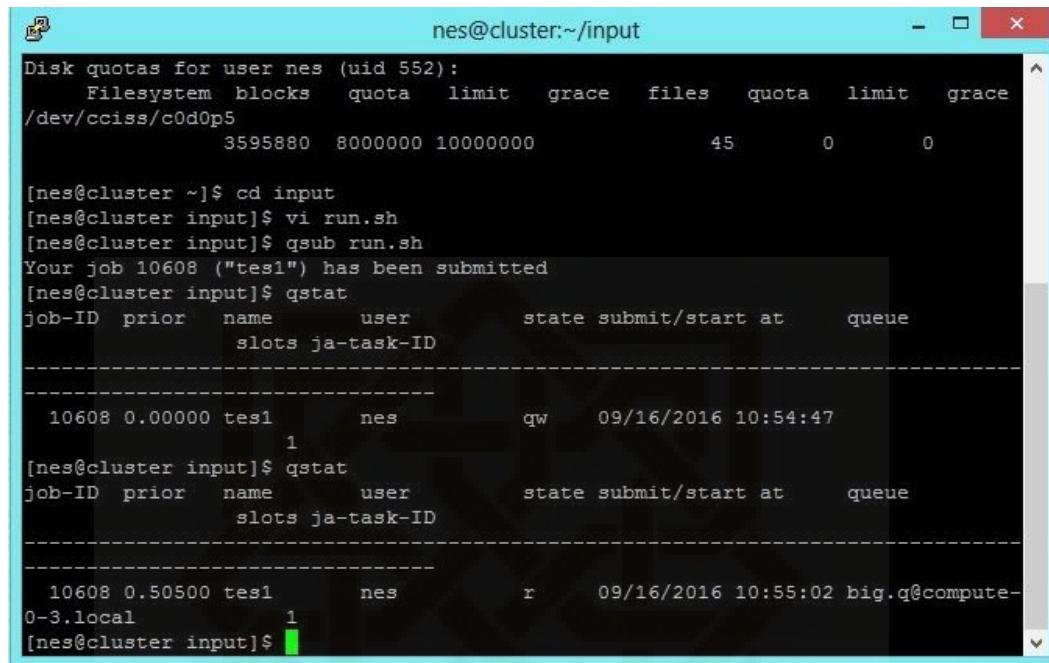
```

C:\ Command Prompt
      ctm = 30.01     nrn = 3082225443
dump 4 on file runtpg  nps = 2168212  coll = 785146028
      ctm = 45.02     nrn = 4680667248
dump 5 on file runtpg  nps = 2902124  coll = 1050916145
      ctm = 60.03     nrn = 6265814117
dump 6 on file runtpg  nps = 3637262  coll = 1317036544
      ctm = 75.03     nrn = 7853216939
dump 7 on file runtpg  nps = 4378730  coll = 1585285361
      ctm = 90.04     nrn = 9453435785
run terminated when 5000000 particle histories were done.
warning. tally 14 tfc bin did not pass 3 of 10 statistical checks.
warning. tally 24 tfc bin did not pass 3 of 10 statistical checks.
warning. 2 of 2 tallies did not pass all 10 statistical checks.
warning. 2 of 2 tallies had bins with large relative errors.
dump 8 on file runtpg  nps = 5000000  coll = 1810038157
      ctm = 102.58    nrn = 10793608707
mcrun is done
D:\desainskripsi\desainoktober>

```

Gambar A.2 Tampilan output di cmd

2. Linux



```

nes@cluster:~/input
Disk quotas for user nes (uid 552):
    Filesystem blocks   quota   limit   grace   files   quota   limit   grace
/dev/cciss/c0d0p5          3595880  8000000 10000000          45       0       0

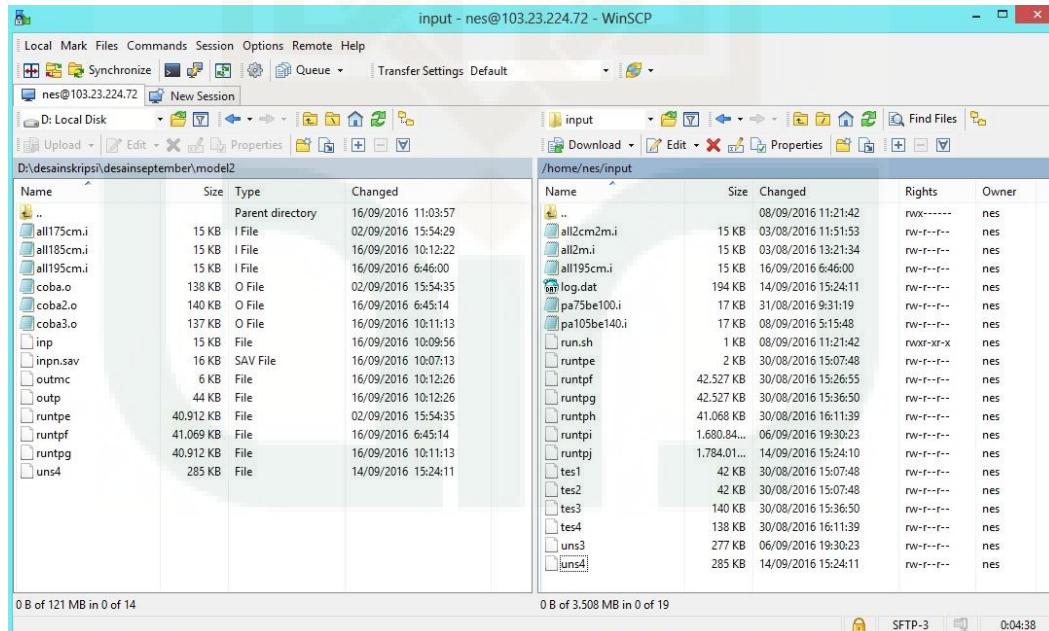
[nes@cluster ~]$ cd input
[nes@cluster input]$ vi run.sh
[nes@cluster input]$ qsub run.sh
Your job 10608 ("tes1") has been submitted
[nes@cluster input]$ qstat
job-ID  prior  name      user      state submit/start at   queue
           slots ja-task-ID

-----
10608 0.00000 tes1      nes      qw      09/16/2016 10:54:47
           1
[nes@cluster input]$ qstat
job-ID  prior  name      user      state submit/start at   queue
           slots ja-task-ID

-----
10608 0.50500 tes1      nes      r      09/16/2016 10:55:02 big.q@compute-
0-3.local      1
[nes@cluster input]$

```

Gambar A.3 Tampilan input di PuTTY



Gambar A.4 Tampilan output di WinSCP

Lampiran XI Laju dosis ekuivalen hasil simulasi

1. Desain I

Tabel G.1 Laju dosis ekuivalen desain pertama

Ketebalan Dinding (cm)		152	202
Ketebalan Pintu (cm)		87	189
Nps (juta)		500	500
Posisi	No Sel	\dot{H}_γ (Sv/jam)	\dot{H}_n (Sv/jam)
Samping Pintu	149	0	0
	150	0	0
	152	0	0
	154	0	0
	155	0	0
	156	0	0
	157	0	0
	158	0	0
	151	0	0
	153	0	5,81e-5
Depan Pintu	159	0	0
	160	0	0
	161	-	0
	162	-	0
	163	-	0
	164	-	0
	300	0	0
	301	0	0
	302	0	0
	303	0	0
Depan Kolimator	304	0	0
	305	0	0
	306	0	0
	307	0	0
	308	4,93e-7	9,16e-6
	309	0	0
	310	0	0
	311	-	1,47e-7
	312	-	1,24e-7
	313	-	0
	314	-	0
	315	-	0
	316	-	0
	317	-	0

Tabel G.1 (Lanjutan)

Ketebalan Dinding (cm)	152		202	
Ketebalan Pintu (cm)	87		189	
Nps (juta)	500		500	
Posisi	No Sel	\dot{H}_γ (Sv/jam)	\dot{H}_n (Sv/jam)	\dot{H}_γ (Sv/jam)
Samping kolimator	200	0	0	0
	201	0	0	0
	202	0	0	0
	203	0	0	0
	204	0	0	0
	205	0	0	0
	206	0	5,31e-5	0
	207	0	0	0
	208	0	0	0
	209	0	0	0
	210	0	0	0
	211	0	0	0
	212	0	0	0
	213	0	0	0
	214	0	0	0
	215	0	0	0

2. Desain 2

Tabel G.2 Laju dosis ekuivalen desain kedua

Ketebalan Dinding (cm)	175		177,5		180	
Ketebalan Pintu (cm)	160		169		169	
Nps (juta)	500		500		500	
Posisi	No Sel	\dot{H}_γ (Sv/jam)	\dot{H}_n (Sv/jam)	\dot{H}_γ (Sv/jam)	\dot{H}_n (Sv/jam)	\dot{H}_γ (Sv/jam)
Samping Pintu	149	0	0	0	0	0
	150	0	0	0	0	0
	152	0	0	0	0	0
	154	0	0	0	0	0
	155	0	0	0	0	0
	156	0	0	0	0	0
	157	0	0	0	0	0
	158	0	0	0	0	0

Tabel G.2 (Lanjutan)

Ketebalan Dinding (cm)		175	177,5		180	
Ketebalan Pintu (cm)		160	169		169	
Nps (juta)		500	500		500	
Posisi	No Sel	\dot{H}_γ (Sv/jam)	\dot{H}_n (Sv/jam)	\dot{H}_γ (Sv/jam)	\dot{H}_n (Sv/jam)	\dot{H}_γ (Sv/jam)
Depan Pintu	151	0	0	0	0	0
	153	0	0	0	0	0
	159	0	0	0	0	0
	160	0	0	0	0	0
	161	0	0	0	0	0
	162	0	0	0	0	0
	163	0	0	0	0	0
	164	0	0	0	0	0
Depan Kolimator	300	0	0	0	0	0
	301	0	0	0	0	0
	302	0	0	0	0	0
	303	0	0	0	0	0
	304	0	0	0	0	0
	305	0	0	0	0	0
	306	0	0	0	0	0
	307	0	0	0	0	0
	308	0	0	0	0	0
	309	0	0	0	0	0
	310	0	0	0	0	0
	311	0	0	0	0	0
	312	0	0	0	0	0
	313	0	0	0	0	0
	314	0	0	0	0	0
	315	0	0	0	0	0
	316	0	0	0	0	0
	317	0	0	0	0	0
Samping kolimator	200	0	0	0	0	0
	201	0	1,57e-5	0	1,57e-5	0
	202	0	0	0	0	0
	203	0	0	0	0	0
	204	0	0	0	0	0
	205	0	0	0	0	0
	206	0	0	0	0	0
	207	0	0	0	0	0
	208	0	0	0	0	0
	209	0	0	0	0	0
	210	0	0	0	0	0
	211	0	0	0	0	0
	212	0	0	0	0	0
	213	0	0	0	0	0
	214	0	0	0	0	0
	215	-	-	-	-	0

3. Desain 3

Tabel G.3 Laju dosis ekuivalen desain ketiga

Ketebalan Dinding (cm)		175	210		213,5	
Ketebalan Pintu (cm)		164	189		189	
Nps (juta)		1000	500		500	
Posisi	No Sel	\dot{H}_γ (Sv/jam)	\dot{H}_n (Sv/jam)	\dot{H}_γ (Sv/jam)	\dot{H}_n (Sv/jam)	\dot{H}_γ (Sv/jam)
Samping Pintu	149	0	0	0	0	0
	150	0	0	0	0	0
	152	0	0	0	0	0
	154	0	0	0	0	0
	155	0	0	0	0	0
	156	0	0	0	0	0
	157	0	0	0	0	0
	158	0	0	0	0	0
	151	0	0	0	0	0
	153	0	0	0	0	0
Depan Pintu	159	0	0	0	0	0
	160	0	0	0	0	0
	161	0	0	0	0	0
	162	0	0	0	0	0
	163	0	0	0	0	0
	164	-	-	0	0	0
	300	0	0	0	0	0
	301	0	0	0	0	0
	302	0	0	0	0	0
	303	0	0	0	0	0
Depan Kolimator	304	0	0	0	0	0
	305	0	0	0	0	0
	306	0	0	0	0	0
	307	0	0	0	0	0
	308	0	0	0	0	0
	309	0	0	0	0	0
	310	0	0	0	0	0
	311	0	0	0	0	0
	312	0	5,28e-5	0	0	0
	313	0	0	0	8,17e-5	0
	314	0	0	0	0	0
	315	0	0	0	0	0
	316	0	0	0	0	0
	317	-	-	0	0	0
	318	-	-	-	-	0

Tabel G.3 (Lanjutan)

Ketebalan Dinding (cm)		175	210		213,5		
Ketebalan Pintu (cm)		164	189		189		
Nps (juta)		1000	500		500		
Posisi	No Sel	\dot{H}_γ (Sv/jam)	\dot{H}_n (Sv/jam)	\dot{H}_γ (Sv/jam)	\dot{H}_n (Sv/jam)	\dot{H}_γ (Sv/jam)	\dot{H}_n (Sv/jam)
Samping kolimator	200	0	0	0	0	0	0
	201	0	0	0	0	0	0
	202	0	0	0	0	0	0
	203	0	0	0	0	0	0
	204	0	0	0	0	0	0
	205	0	0	0	0	0	0
	206	0	0	0	0	0	0
	207	0	0	0	0	0	0
	208	0	0	0	0	0	0
	209	0	0	0	0	0	0
	210	0	0	0	0	0	0
	211	0	0	0	0	0	0
	212	0	0	0	0	0	0
	213	0	0	0	0	0	0
	214	0	0	0	0	0	0
	215	-	-	0	0	0	0
	216	-	-	-	-	0	0

Lampiran XII Hasil perhitungan teoritik untuk laju dosis ekuivalen gamma

Fluks keluaran (δ jarak dari lubang kolimator dan R jarak ke tembok):

$$\phi_1 = \phi_0 \frac{\delta^2}{R^2}$$

Laju dosis ekuivalen gamma:

$$\dot{H}_\gamma = K_\gamma \times B_\gamma \times \phi_1 \times e^{-\mu x}$$

1. Desain 1

Tabel H.1 Laju dosis ekuivalen gamma desain pertama

Energi (MeV)	\dot{H}_γ (Sv/jam)	
	152 cm	202 cm
0,08	5,81E-270	0
0,3	4,78E-17	1,02E-21
0,4	3,20E-12	1,77E-15
0,5	7,34E-10	1,42E-12
0,6	2,50E-09	9,24E-12
0,8	1,22E-08	8,62E-11
1	7,31E-08	7,46E-10
2	1,96E-07	4,70E-09
4	2,88E-06	9,43E-08
8	5,62E-07	1,55E-08
Total	3,73E-6	1,15E-7

2. Desain 2

Tabel H.2 Laju dosis ekuivalen gamma desain kedua

Energi (MeV)	\dot{H}_γ (Sv/jam)		
	175 cm	177,5 cm	180 cm
0,08	0	0	0
0,3	2,77E-19	1,62E-19	9,47E-20
0,4	9,23E-14	6,34E-14	4,36E-14
0,5	3,88E-11	2,84E-11	2,08E-11
0,6	1,80E-10	1,36E-10	1,03E-10
0,8	1,19E-09	9,29E-10	7,26E-10
1	8,45E-09	6,72E-09	5,34E-09
2	3,33E-08	2,76E-08	2,29E-08
4	5,56E-07	4,69E-07	3,95E-07
8	9,76E-08	8,16E-08	6,82E-08
Total	6,97E-7	5,86E-7	4,92E-7

3. Desain 3

Tabel H.3 Laju dosis ekuivalen gamma desain ketiga

Energi (MeV)	\dot{H}_γ (Sv/jam)		
	175 cm	210 cm	213,5 cm
0,08	1,49E-217	5,36E-260	3,05E-264
0,3	1,76E-137	2,18E-164	4,44E-167
0,4	8,25E-176	1,69E-210	5,72E-214
0,5	9,83E-216	1,49E-258	7,78E-263
0,6	3,18E-257	2,81E-308	0
0,8	3,96E-206	6,26E-247	5,21E-251
1	0	0	0
2	0	0	0
4	0	0	0
8	0	0	0
Total	1,76E-137	2,18E-164	4,44E-167

4. Pintu stainless steels

Tabel H.4 Laju dosis gamma untuk pintu stainless steels

Energi (MeV)	Laju dosis gamma (Sv/jam)				
	89 cm	160 cm	164 cm	169 cm	189 cm
8,00E-02	9,58E-155	6,19E-280	5,48E-287	8,37E-296	0,00E+00
3,00E-01	7,52E-10	1,77E-16	7,47E-17	2,55E-17	3,46E-19
4,00E-01	7,89E-07	1,87E-11	1,03E-11	4,85E-12	2,41E-13
5,00E-01	3,44E-05	4,81E-09	2,92E-09	1,56E-09	1,28E-10
6,00E-01	5,03E-05	1,77E-08	1,13E-08	6,46E-09	6,88E-10
8,00E-01	9,98E-05	8,84E-08	5,95E-08	3,63E-08	5,01E-09
1,00E+00	1,36E-05	2,02E-08	1,40E-08	8,85E-09	1,41E-09
2,00E+00	1,76E-05	8,83E-08	6,55E-08	4,51E-08	1,01E-08
4,00E+00	3,59E-04	2,80E-06	2,13E-06	1,51E-06	3,85E-07
8,00E+00	2,26E-04	1,38E-06	1,04E-06	7,24E-07	1,72E-07
Total	8,02E-04	4,40E-06	3,32E-06	2,33E-06	5,74E-07

Lampiran XIII Presentase unsur di alam

Tabel I. Persentase beberapa unsur di alam

Unsur	Z	A	Persentase di alam
C alam	6	12	0,99
	6	13	0,01
P	15	31	
Mn	25	55	
Nb	41	93	
Ta	73	181	
N	7	14	
H	1	1	
O	8	16	
Al	13	27	
	14	28	0,922
Si	14	29	0,047
	14	30	0,031
	16	32	0,95
S	16	33	0,008
	16	34	0,042
	16	36	0,0002
	24	50	0,043
Cr	24	52	0,838
	24	53	0,095
	24	54	0,024
	26	54	0,058
Fe	26	56	0,918
	26	57	0,021
	26	58	0,003
	28	58	0,681
	28	60	0,262
Ni	28	61	0,011
	28	62	0,036
	28	64	0,009
B	5	10	0,199
	5	11	0,801
	12	24	0,79
Mg	12	25	0,1
	12	26	0,11

Tabel I. (Lanjutan)

Unsur	Z	A	Persentase di alam
Ca	20	40	0,97
	20	42	0,006
	20	43	0,001
	20	44	0,02
	20	46	0,00004
	20	48	0,002
	56	130	0,717
Ba	56	132	0,112
	56	134	0,079
	56	135	0,066
	56	136	0,024
	56	137	0,001
	56	138	0,001
	5	10	0,199
B	5	11	0,801

SUMBER: [HTTP://WWW.CHEMICOOL.COM/ELEMENTS.HTML](http://WWW.CHEMICOOL.COM/ELEMENTS.HTML)

Lampiran XIV Hasil perhitungan teoritik untuk laju dosis ekuivalen neutron

Fraksi mol atau atom (dengan y fraksi massa dan A nomor massa):

$$\chi_i = \frac{\frac{y_i}{A_i}}{\frac{y_1}{A_1} + \frac{y_2}{A_2} + \dots + \frac{y_n}{A_n}}$$

Tabel J.1 Hasil kali perhitungan fraksi atom dengan tampang lintang mikroskopis untuk beton barit

Unsur	$\chi\sigma$ (barn)											
	${}_1^1H$	${}_8^{16}O$	${}_{12}^{24}Mg$	${}_{12}^{25}Mg$	${}_{12}^{26}Mg$	${}_{13}^{27}Al$	${}_{14}^{28}Si$	${}_{14}^{29}Si$	${}_{14}^{30}Si$	${}_{16}^{32}S$	${}_{16}^{33}S$	${}_{16}^{34}S$
Fraksi atom	0,109602	0,600189	0,001197	0,000152	0,000167	0,004777	0,010578	0,000539	0,000356	0,098471	0,000829	0,004353
	2,041013	2,286639	0,004411	0,000563	0,000448	0,00476	0,019117	0,00139	0,000856	0,079925	0,001845	0,007384
	1,98338	2,280488	0,004395	0,00911	0,000442	0,003714	0,018491	0,001351	0,00085	0,074849	0,001712	0,007198
	1,884703	2,268516	0,004384	0,000439	0,000433	0,004926	0,016927	0,00133	0,000837	0,127028	0,001684	0,00696
	1,786083	2,256545	0,004438	0,000315	0,000425	0,031914	0,014492	0,001361	0,000819	0,049945	0,001532	0,006764
	1,629533	2,233321	0,005463	0,000212	0,000416	0,009039	0,031023	0,001269	0,000787	0,018694	0,001858	0,00656
	1,502227	2,210937	0,046925	0,001875	0,000408	0,023488	0,014904	0,001236	0,000751	0,013907	0,002483	0,006414
	1,197276	2,146424	0,005266	0,000415	0,000416	0,059996	0,000807	0,001155	0,000343	0,401424	0,001745	0,005906
	0,871588	2,122823	0,011447	0,000637	0,001928	0,020952	0,047049	0,000725	0,001018	0,190383	0,002058	0,026147
	0,671378	2,634305	0,008593	0,000601	0,000677	0,017724	0,031191	0,001474	0,000824	0,198057	0,002026	0,010156
	0,318249	0,969545	0,002554	0,000436	0,000494	0,016863	0,028717	0,00169	0,001015	0,301223	0,002401	0,01243
	0,177813	0,58135	0,002291	0,00032	0,000361	0,011628	0,02666	0,001204	0,00078	0,269663	0,002311	0,012547
	0,123806	0,535609	0,001947	0,000287	0,000322	0,008666	0,02148	0,000998	0,000675	0,215438	0,001892	0,010277

Tabel J.1 (Lanjutan)

Unsur	$\chi\sigma$ (barn)										
	$^{36}_{16}S$	$^{40}_{20}Ca$	$^{42}_{20}Ca$	$^{43}_{20}Ca$	$^{44}_{20}Ca$	$^{46}_{20}Ca$	$^{48}_{20}Ca$	$^{54}_{26}Fe$	$^{56}_{26}Fe$	$^{57}_{26}Fe$	$^{58}_{26}Fe$
Fraksi atom	2,07E-05	0,037435	0,000232	3,86E-05	0,000772	1,54E-06	7,72E-05	1,52E-03	2,41E-02	5,50E-04	7,86E-05
4,53094E-05	0,078258	0,00011	0,000234	0,000447	1,85298E-05	0,00018	0,0177866	0,073183572	0,000814677	4,40E-04	
4,53074E-05	0,064746	7,58E-05	0,000563	0,00069	1,54022E-05	0,00017	0,0102305	0,040566058	0,000693213	2,71E-04	
4,53051E-05	0,057776	1,14E-05	0,000689	0,000423	1,26493E-05	0,000156	0,0047419	0,527680246	0,020175116	6,38E-05	
4,53033E-05	0,050303	0,001179	0,000244	7,75E-05	1,10206E-05	0,000148	0,0016877	0,140590813	0,003753729	6,13E-04	
4,53016E-05	0,034143	6,07E-05	0,000205	0,001981	9,1048E-06	0,00014	0,0048185	0,089736994	0,013179485	4,47E-04	
4,53007E-05	0,01985	4,31E-05	0,000183	0,000299	7,97942E-06	0,000135	0,0044634	0,03544274	0,008780795	1,22E-04	
4,52986E-05	0,014977	0,001023	0,000155	0,005961	6,3284E-06	0,000107	0,0065773	0,106825373	0,005012961	4,59E-04	
4,5297E-05	0,048377	0,000709	0,000118	0,000232	4,74999E-06	0,000202	7,439E-05	0,170827072	0,00262218	3,97E-04	
4,5296E-05	0,027565	0,000657	0,000108	0,002154	4,27297E-06	0,000214	0,0028432	0,039081748	0,002189509	3,18E-04	
5,90255E-05	0,076096	0,000789	0,000133	0,002684	5,49557E-06	0,000282	0,004037	0,057927269	0,001876432	2,66E-04	
6,38E-05	0,129097	0,000752	0,000127	0,002584	5,33503E-06	0,000275	0,005633	0,083002334	0,001980483	2,84E-04	
5,22296E-05	0,106946	0,000637	0,000108	0,002192	4,51378E-06	0,000231	0,005157	0,081890599	0,001837379	2,66E-04	

Tabel J.1 (Lanjutan)

Unsur	$\chi\sigma$ (barn)						
	$^{130}_{56}Ba$	$^{132}_{56}Ba$	$^{134}_{56}Ba$	$^{135}_{56}Ba$	$^{136}_{56}Ba$	$^{137}_{56}Ba$	$^{138}_{56}Ba$
Fraksi atom	7,46E-02	1,16E-02	8,21E-03	6,86E-03	2,50E-03	1,04E-04	1,04E-04
5,36E-01	0,063901	0,046352	0,0465717	0,007434769	0,000521	3,58E-04	
4,93E-01	0,061405	0,044259	0,0450446	0,012434325	0,00051	3,46E-04	
4,44E-01	0,058761	0,042006	0,0430559	0,011350605	0,000516	1,20E-04	
4,14E-01	0,057177	0,040658	0,0389578	0,012211164	0,000526	6,05E-05	
3,79E-01	0,055335	0,039087	0,0349511	0,011802194	0,000565	2,46E-04	
3,58E-01	0,054226	0,038144	0,0336176	0,011555033	0,000507	2,30E-03	
3,49E-01	0,054463	0,038399	0,0320588	0,011653542	0,000486	4,85E-04	
3,85E-01	0,060141	0,042404	0,0354048	0,012870239	0,000536	5,36E-04	
4,35E-01	0,067902	0,047881	0,0399845	0,014536355	0,000606	6,05E-04	
5,36E-01	0,08377	0,059095	0,0493854	0,017960726	0,000748	7,49E-04	
3,37E-01	0,052619	0,037116	0,0348585	0,012676462	0,000528	5,28E-04	
3,33E-01	0,051985	0,036666	0,0306306	0,011138015	0,000464	4,64E-04	

Tabel J.2 Hasil kali perhitungan fraksi atom dengan tampang lintang mikroskopis untuk
borated polyethylene

Unsur	$\chi\sigma$ (barn)			
	1_1H	$^{10}_5B$	$^{11}_5B$	$^6_6C_{alam}$
Fraksi atom	0,627759	0,009291	0,037399	0,325552
	11,69015	0,064903	0,184735	1,524271
	11,36005	0,059055	0,183202	1,518801
	10,79487	0,051801	0,180656	1,507928
	10,23001	0,048668	0,178123	1,497185
	9,333351	0,045776	0,173473	1,476122
	8,60419	0,044918	0,169048	1,455431
	6,857545	0,044665	0,15322	1,412992
	4,992125	0,04459	0,132612	1,255043
	3,845402	0,040539	0,120805	1,107959
	1,822813	0,01911	0,070841	0,543809
	1,018447	0,014397	0,06197	0,388255
	0,709115	0,014253	0,057501	0,607927

Tabel J.3 Hasil kali perhitungan fraksi atom dengan tampang lintang mikroskopis untuk paraffin

Unsur	$\chi\sigma$ (barn)	
	1_1H	$^6_6C_{alam}$
Fraksi atom	0,675311	0,324689
	12,57567	1,52023
	12,22056	1,514775
	11,61257	1,503931
	11,00492	1,493216
	10,04034	1,472209
	9,255948	1,451573
	7,376996	1,409246
	5,370273	1,251716
	4,136686	1,105022
	1,960888	0,542368
	1,095593	0,387226
	0,762829	0,606316

Tabel J.4 Hasil kali perhitungan fraksi atom dengan tampang lintang mikroskopis untuk *stainless steels 202*

Unsur	$\chi\sigma$ (barn)											
	${}_6C_{alam}$	${}^{64}_{28}Ni$	${}^{62}_{28}Ni$	${}^{61}_{28}Ni$	${}^{60}_{28}Ni$	${}^{58}_{28}Ni$	${}^{54}_{24}Cr$	${}^{53}_{24}Cr$	${}^{52}_{24}Cr$	${}^{50}_{24}Cr$	${}^{14}_7N$	${}^{55}_{25}Mn$
Fraksi atom	0,003405	0,000418	0,001672	0,000511	0,012171	0,031635	0,004531	0,017933	0,158192	0,008117	0,004866	0,086851
	0,015943	0,060045	0,030852	0,002988	0,774453	3,969306	0,006075	0,224171	0,334391	0,048539	0,035	0,225071
	0,015885	0,003638	0,021904	0,004534	0,20402	0,793072	0,001028	0,273414	0,308524	0,023937	0,033427	0,577219
	0,015772	0,011021	0,014104	0,001472	0,360875	0,35185	0,016291	0,398327	0,200308	0,027591	0,031512	0,161036
	0,015659	0,020645	0,008065	0,002603	0,094787	0,236991	0,011891	0,058537	0,099116	0,174658	0,029889	0,612466
	0,015439	0,006047	0,009005	0,001341	0,0535	0,029093	0,009435	0,006239	0,459576	0,036799	0,026665	1,601818
	0,015223	0,003998	0,005106	0,004245	0,046696	0,261653	0,00738	0,136766	0,054966	0,017489	0,023664	0,179337
	0,014779	0,000581	0,013008	0,00351	0,023878	0,100935	0,01198	0,105172	1,37236	0,005767	0,018156	0,292076
	0,013127	0,003576	0,006716	0,002791	0,026241	0,171949	0,015881	0,10313	0,114772	0,032792	0,014154	0,331621
	0,011588	0,00171	0,016802	0,002339	0,055092	0,129274	0,011253	0,088157	0,462706	0,00723	0,011506	0,309039
	0,005688	0,001287	0,005148	0,001573	0,037466	0,097383	0,017823	0,070091	0,417224	0,030725	0,00758	0,301294
	0,004061	0,001597	0,006387	0,001951	0,046481	0,120815	0,01711	0,067029	0,572154	0,029386	0,0056	0,321465
	0,006358	0,001501	0,006003	0,001834	0,043688	0,113556	0,015328	0,059626	0,51567	0,02571	0,007025	0,291256

Tabel J.4 (Lanjutan)

Unsur	$\chi\sigma$ (barn)											
	$^{31}_{15}P$	$^{54}_{26}Fe$	$^{56}_{26}Fe$	$^{57}_{26}Fe$	$^{58}_{26}Fe$	$^{28}_{14}Si$	$^{29}_{14}Si$	$^{30}_{14}Si$	$^{32}_{16}S$	$^{33}_{16}S$	$^{34}_{16}S$	$^{36}_{16}S$
Fraksi atom	0,000528	0,038231	0,605109	0,013842	0,001977	0,00895078	0,00045628	0,00030095	0,000242	2,04E-06	1,07E-05	5,10E-08
	0,001513	0,447268	1,840296	0,020486	0,011069	0,01617636	0,00117611	0,000724447	0,000197	4,54E-06	1,82E-05	1,11E-07
	0,0015	0,257261	1,020086	0,017432	0,006824	0,01564625	0,001143235	0,000719125	0,000184	4,21E-06	1,77E-05	1,11E-07
	0,001484	0,119242	13,26921	0,507332	0,001604	0,01432319	0,001125115	0,000707984	0,000313	4,14E-06	1,71E-05	1,11E-07
	0,001471	0,042439	3,53534	0,094393	0,01541	0,012262882	0,001151952	0,000693104	0,000123	3,77E-06	1,66E-05	1,11E-07
	0,00145	0,121167	2,256554	0,331417	0,01123	0,026250803	0,001073421	0,000665794	4,6E-05	4,57E-06	1,61E-05	1,11E-07
	0,001428	0,112238	0,891254	0,220806	0,003072	0,012611336	0,001045842	0,000635137	3,42E-05	6,11E-06	1,58E-05	1,11E-07
	0,001339	0,165396	2,686263	0,126058	0,011543	0,000682542	0,000977594	0,000290055	0,000988	4,29E-06	1,45E-05	1,11E-07
	0,001364	0,001871	4,29567	0,065938	0,009985	0,039810966	0,000613698	0,000861631	0,000468	5,06E-06	6,43E-05	1,11E-07
	0,001395	0,071496	0,982762	0,055058	0,007984	0,026392306	0,001247037	0,000697602	0,000487	4,98E-06	2,5E-05	1,11E-07
	0,001611	0,101516	1,456657	0,047186	0,006695	0,02429947	0,001429982	0,000859212	0,000741	5,91E-06	3,06E-05	1,45E-07
	0,001361	0,141648	2,087202	0,049802	0,007153	0,022558526	0,001018417	0,000659682	0,000663	5,69E-06	3,09E-05	1,57E-07
	0,001111	0,12968	2,059246	0,046204	0,006681	0,018175221	0,000844118	0,000571203	0,00053	4,65E-06	2,53E-05	1,28E-07

Tampang lintang makroskopis satuan cm^{-1} (dengan N_T densitas atom):

$$\Sigma_{\text{material}} = N_T (\chi_1 \sigma_1 + \chi_2 \sigma_2 + \dots)$$

Fluks keluaran kolimator :

$$\phi_i = \phi_0 \frac{\delta^2}{R^2}$$

Dosis ekuivalen neutron:

$$\dot{H}_n = K_n \times B \times \phi_i \times e^{-\Sigma_x}$$

Tabel K.1 Laju dosis ekuivalen neutron untuk desain pertama

Energi (MeV)	B.beton	Σ_{beton}	$\Sigma_{\text{borated}}^{\text{polyethylene}}$	Laju dosis ekuivalen neutron (Sv/jam)	
				152 cm	202 cm
1,50E-02	1,048704445	0,348378104	1,606262502	1,16E-23	3,15E-31
2,00E-02	1,109190306	0,337893166	1,56534846	1,58E-23	7,29E-31
3,00E-02	1,3633647	0,362010233	1,495455754	1,48E-24	2,04E-32
4,00E-02	1,739156388	0,321913518	1,426110759	3,61E-22	3,69E-29
6,00E-02	4,24863266	0,30142768	1,315726706	3,76E-20	1,07E-26
8,00E-02	8,189367305	0,287637461	1,22563892	1,68E-19	9,55E-26
1,50E-01	16,14319293	0,291264089	1,010282691	1,44E-18	6,82E-25
3,00E-01	14,72760298	0,265648636	0,76642747	1,54E-16	2,63E-22
5,00E-01	10,06641475	0,278812894	0,61018423	1,77E-17	1,56E-23
2,00E+00	7,274581007	0,166791163	0,293069121	1,35E-09	3,23E-13
5,00E+00	5,392852558	0,116924165	0,176930131	1,23E-05	3,55E-08
8,00E+00	4,324881964	0,103763082	0,165683309	1,93E-05	1,08E-07
Total				3,16249E-05	1,43449E-07

Tabel K.2 Laju dosis ekuivalen neutron untuk desain kedua

Energi (MeV)	Σ_{beton}	B.beton	Laju dosis ekuivalen neutron (Sv/jam)		
			175 cm	177,5 cm	180 cm
1,50E-02	0,348378104	1,048704445	4,75E-26	1,9871E-26	8,32E-27
2,00E-02	0,337893166	1,109190306	7,78E-26	3,3419E-26	1,44E-26
3,00E-02	0,362010233	1,3633647	3,47E-27	1,4028E-27	5,67E-28
4,00E-02	0,321913518	1,739156388	2E-24	8,933E-25	3,99E-25
6,00E-02	0,30142768	4,24863266	2,79E-22	1,3116E-22	6,17E-23
8,00E-02	0,287637461	8,189367305	1,47E-21	7,1688E-22	3,49E-22
1,50E-01	0,291264089	16,14319293	7,47E-21	3,6068E-21	1,74E-21
3,00E-01	0,265648636	14,72760298	9,32E-19	4,795E-19	2,47E-19
5,00E-01	0,278812894	10,06641475	5,63E-20	2,8051E-20	1,4E-20
2,00E+00	0,166791163	7,274581007	3,76E-11	2,4782E-11	1,63E-11
5,00E+00	0,116924165	5,392852558	9,41E-07	7,0285E-07	5,25E-07
8,00E+00	0,103763082	4,324881964	2,01E-06	1,5521E-06	1,2E-06
Total			2,95E-06	2,255E-06	1,72E-06

Tabel K.3 Laju dosis ekuivalen neutron untuk desain ketiga

Energi (MeV)	B. beton	Σ beton	Σ parafin	Laju dosis ekuivalen neutron (Sv/jam)		
				175 cm	210 cm	213,5 cm
1,50E-02	1,048704445	0,348378104	1,7197	1,02E-70	6,04E-85	2,28E-86
2,00E-02	1,109190306	0,337893166	1,675711	2,07E-69	2,91E-83	1,2E-84
3,00E-02	1,3633647	0,362010233	1,600213	1,62E-67	4,37E-81	1,92E-82
4,00E-02	1,739156388	0,321913518	1,524773	1,32E-63	2,46E-76	1,31E-77
6,00E-02	4,24863266	0,30142768	1,404531	3,27E-58	5,58E-70	3,72E-71
8,00E-02	8,189367305	0,287637461	1,306317	9,71E-55	9,53E-66	7,55E-67
1,50E-01	16,14319293	0,291264089	1,071922	2,79E-46	8,57E-56	9,59E-57
3,00E-01	14,72760298	0,265648636	0,807883	2,03E-36	5,46E-44	9,55E-45
5,00E-01	10,06641475	0,278812894	0,639488	1,01E-31	2,6E-38	5,71E-39
2,00E+00	7,274581007	0,166791163	0,305397	1,15E-15	4,19E-19	1,9E-19
5,00E+00	5,392852558	0,116924165	0,180904	7,76E-09	4,96E-11	2,99E-11
8,00E+00	4,324881964	0,103763082	0,167036	1,75E-08	1,79E-10	1,13E-10
Total				2,52E-08	2,29E-10	1,43E-10

Tabel K.4 Laju dosis ekuivalen neutron untuk pintu *stainless steel*

Energi (MeV)	B.ss	B.beton	Σ .beton	Σ .ss	Laju dosis ekuivalen neutron (Sv/jam)				
					89 cm	160 cm	164 cm	169 cm	189 cm
1,50E-02	1,668704445	1,048704445	0,348378104	0,700108123	1,99E-13	3,61E-24	8,96E-25	1,57E-25	3,09E-29
2,00E-02	1,649190306	1,109190306	0,337893166	0,310867337	5,96E-13	2,27E-23	5,88E-24	1,09E-24	2,58E-28
3,00E-02	1,650494114	1,3633647	0,362010233	1,345879158	3,71E-15	2,55E-26	6,00E-27	9,81E-28	1,54E-31
4,00E-02	1,696385463	1,739156388	0,321913518	0,43995546	2,23E-12	2,64E-22	7,29E-23	1,46E-23	4,43E-27
6,00E-02	1,768105443	4,24863266	0,30142768	0,434419418	5,24E-11	2,66E-20	7,97E-21	1,77E-21	7,25E-25
8,00E-02	1,94008571	8,189367305	0,287637461	0,173571183	2,49E-10	3,37E-19	1,07E-19	2,53E-20	1,19E-23
1,50E-01	2,83398757	16,14319293	0,291264089	0,430159731	9,18E-10	9,59E-19	2,99E-19	6,97E-20	2,12E-23
3,00E-01	4,150864958	14,72760298	0,265648636	0,455995225	1,51E-08	9,71E-17	3,36E-17	8,89E-18	2,80E-21
5,00E-01	4,15250105	10,06641475	0,278812894	0,195668584	8,45E-09	2,14E-17	7,00E-18	1,74E-18	4,42E-22
2,00E+00	5,396372409	7,274581007	0,166791163	0,22865833	2,69E-04	1,93E-09	9,92E-10	4,31E-10	4,74E-13
5,00E+00	5,587056718	7,753482997	0,116924165	0,304332854	9,73E-03	2,06E-05	2,31E-06	6,69E-06	6,95E-07
8,00E+00	5,187789683	8,702671647	0,103763082	0,290834574	7,74E-03	4,71E-05	6,00E-06	1,85E-06	2,32E-06
Total					0,017738434	6,77686E-05	8,31348E-06	2,52E-05	3,02009E-06

Lampiran XV Harga material

Tabel L. Harga material

Harga per meter kubik			
Beton Barit	Borated Polyethylene	Paraffin	Stainless Steels
Rp. 11.002.145.894,-	Rp. 909.402,3617	Rp. 684.478.620,-	Rp.42.094.310.866,-

Sumber : <http://www.eplastics.com/Plastic/borated-hdpe-sheet> ,
www.sigmaaldrich.com , www.alibaba.com , Hadi.S, 2014

Lampiran XVI Estimasi biaya pembuatan perisai

Tabel M. Estimasi biaya pembuatan perisai

Material	Volume desain 1 (m ³)	Volume desain 2 (m ³)	Volume desain 3 (m ³)
Beton barit	116,979	101,092	77,369
Borated polyethylene	0,643	-	-
Paraffin	-	-	37,572
Stainless steels	0,748	0,714	0,692
Total biaya (USD)	101.525.724	87.955.471	69.767.328