

ABSTRAK

Rifka Nurbayti

NIM: 191720005

Desain Lensa Kacamata Perisai Radiasi Gamma Berbasis Tellurium Dioxide Menggunakan *Software* PHITS

Pemanfaatan berbagai sumber radiasi tentu harus dilakukan secara cermat dan memenuhi kriteria keselamatan kerja. Desain kacamata perisai radiasi gamma menjadi salah satu upaya dalam meminimalisir risiko efek skistik maupun deterministik pada lensa mata pekerja radiasi. Dalam penelitian ini telah dikaji sistem material $\text{TeO}_2\text{-TiO}_2\text{-ZnO}$; $\text{WO}_3\text{-MoO}_3\text{-TeO}_2$, dan $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-TeO}_2$ dengan variasi ketebalan $2,5 \times 10^{-2}$; $7,5 \times 10^{-2}$; $8,5 \times 10^{-2}$; 2×10^{-1} ; 3×10^{-1} ; 4×10^{-1} ; 5×10^{-1} cm diujikan untuk sumber ^{137}Cs dan ^{60}Co dengan aktivitas radionuklida 50 mCi serta pengaturan jarak 50;65;80;100 cm dari lensa kacamata perisai radiasi. Penelitian ini merupakan penelitian dengan metode simulasi numerik menggunakan *software* PHITS berbasis Monte Carlo. Pemodelan dilakukan dengan mendesain geometri lensa kacamata dan phantom mata

bertujuan untuk mengetahui redaman photon saat melintasi material lensa kaca mata. Output program berupa nilai fluks partikel digunakan untuk menentukan nilai attenuasi radiasi gamma, selanjutnya dari hasil tersebut dihitung HVL dan MFP. Kemudian output program berupa nilai dosis serap peneliti gunakan untuk mengevaluasi nilai dosis yang diterima oleh phantom mata sehingga memperoleh informasi tentang efektivitas kaca mata perisai radiasi gamma dalam melindungi lensa mata manusia. Dari seluruh hasil simulasi didapatkan sistem material TeO_2 - TiO_2 - ZnO berketebalan 2×10^{-1} cm dan 3×10^{-1} cm sebagai material paling efektif dalam mereduksi dosis radiasi dibandingkan dengan kandidat sistem material lainnya.

Kata Kunci: Kacamata Proteksi, Radiasi Gamma, Lensa Mata, NBD, Kaca *Tellurite*.

ABSTRACT

Rifka Nurbayti

NIM: 191720005

Design of Google for Gamma Radiation Protection with Tellurite glass systems using PHITS

The utilization of various radiation sources must be carried out carefully and in compliance with safety criteria for workplace safety. The design of google for gamma radiation protection is an efforts to minimize the risk of scholastic and deterministic effect on the eye lenses of radiation workers. In this research, an investigation to material system $\text{TeO}_2\text{-TiO}_2\text{-ZnO}$; $\text{WO}_3\text{-MoO}_3\text{-TeO}_2$, and $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-TeO}_2$ with thickness variation of $2,5 \times 10^{-2}$; $7,5 \times 10^{-2}$; $8,5 \times 10^{-2}$; 2×10^{-1} ; 3×10^{-1} ; 4×10^{-1} ; 5×10^{-1} cm was tasted sources for ^{137}Cs and ^{60}Co with activity radionuclide of 50 mCi. The distance an investigation of 50;65;80;100 cm from the google radiation protection. This research is an numerical simulation study conducted using Monte Carlo-based PHITS software. The modeling was done by designing the geometry of google and eye phantom with the aim of determining the attenuation of photon as they pass through the

google matter. The program's output consists of particle flux values, which are used to determine the gamma radiation attenuation, followed by the calculation of Half-Value Layer (HVL) and Mean Free Path (MFP) from these results. Subsequently, the program's output, which includes absorbed dose values, is used by the researcher to evaluate the dose received by the eye phantom, thereby obtaining information about the effectiveness of google for gamma radiation in protecting the human eye lens. The results of this research, the material system $\text{TeO}_2\text{-TiO}_2\text{-ZnO}$ with a thickness of 2×10^{-1} cm and 3×10^{-1} cm was produced as the most effective material in reducing radiation dose.

Keywords: *Google Protection, Gamma Radiation, Eye Lens, Dose Limit Value, Tellurite Glass.*

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Bersama dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dan diajukan pada Program Studi Fisika Fakultas Sains Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten ini sepenuhnya asli merupakan hasil karya tulis ilmiah saya pribadi.

Adapun tulisan maupun pendapat orang lain yang terdapat dalam skripsi ini telah saya sebut kutipannya secara jelas dengan etika keilmuan yang berlaku di bidang penulisan karya ilmiah.

Bila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau seluruh isi skripsi ini merupakan hasil perbuatan plagiarism atau mencontek karya tulis orang lain, saya bersedia untuk menerima sanksi berupa pencabutan gelar kesarjanaan yang saya terima ataupun sanksi akademik lain yang sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Serang, 22 September 2023



Rifka Nurbayti
191720005

Nomor : - Kepada Yth.
Lampiran : Satu (1) eks Dekan Fakultas Sains UIN
Perihal : Pengajuan Munaqasah SMH Banten
a.n Rifka Nurbayti di-
NIM:191720005 Serang

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

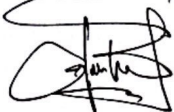
Dipermaklumkan dengan hormat, bahwa setelah membaca dan menganalisa serta mengadakan koreksi seperlunya, kami berpendapat bahwa skripsi saudara Rifka Nurbayti dengan NIM: 191720005 yang berjudul "Desain Lensa Kacamata Perisai Radiasi Gamma Berbasis Tellurium Dioxide Menggunakan *Software* PHITS" telah dapat diajukan sebagai salah satu syarat untuk melengkapi ujian munaqasah pada Fakultas Sains Program Studi Fisika.

Demikian atas segala perhatian Bapak kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Serang, 22 September 2023

Pembimbing I,



Subur Pramono, M.Si
NIP. 199006262020121002

Tangerang Selatan, 22 September 2023

Pembimbing II,



TT ELEKTRONIK

BRIN

Muhammad Yusuf, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP.198711182022021002

**DESAIN LENS KACAMATA PERISAI RADIASI
GAMMA BERBASIS TELLURIUM DIOXIDE
MENGUNAKAN *SOFTWARE* PHITS**

Oleh:

Rifka Nurbayti

NIM: 191720005

Menyetujui,

Pembimbing I,



Subur Pramono, M.Si
NIP. 199006262020121002

Pembimbing II,



Muhammad Yusuf, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP.198711182022021002

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains



Dr. Asep Saefurohman, M.Si
NIP. 1978082723003121003

Ketua Program Studi Fisika



Elsi Ariani, M.Si
NIP. 198901232018012001

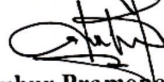
PENGESAHAN

Skripsi a.n. Rifka Nurbayti, NIM 191720005 yang berjudul “Desain Lensa Kacamata Proteksi Radiasi Gamma berbasis Tellurium Dioxide Menggunakan Software PHITS” telah diujikan dalam Ujian Tugas Akhir Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten pada tanggal 3 Oktober 2023.

Skripsi tersebut telah disahkan dan diterima sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada Fakultas Sains Universitas Islam Negeri Sultan Maulana Hasanuddin Banten.

Serang, 3 Oktober 2023

Pembimbing I,



Subur Pramono, M.Si

NIP. 199006262020121002

Penguji I



Beta Nur Pratiwi, M. Si

NIP.199301022023212036

Pembimbing II,

 TT ELEKTRONIK

Muhammad Yusuf, S. T., M. Sc., Ph.D

NIP.198711182022021002

Penguji II

Fina Fitratan Amaliyah, M.Sc

NIDN. 2010029003

Ketua Penguji

Dr. H. Shobri, M.M

NIP. 197507152000031005



RIWAYAT HIDUP



Rifka Nurbayti, lahir di Tegal, Jawa Tengah pada 7 November 2001 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis dilahirkan dari pasangan Bapak Samsudin dan Ibu Linda Riyanti.

Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis antara lain penulis selesaikan di SD Negeri Unyur Kota Serang, SMP Negeri 5 Kota Serang, SMA Negeri 4 Kota Serang Jurusan MIPA dan melanjutkan pendidikannya di UIN Sultan Maulana Hasanuddin Banten Prodi Fisika.

Selama kuliah peneliti pernah mengikuti organisasi Dewan Eksekutif Mahasiswa (DEMA) tingkat Fakultas, Himpunan Mahasiswa Program Studi (HMPS) Fisika. Saat ini penulis aktif dalam organisasi Bastra ID.

PERSEMBAHAN

“Untuk aku, mamah, papah, adik, kakak, keluarga besar, teman dekat dan orang-orang yang bersahabat dengan radiasi”

MOTTO

“Trust your true self”

“Nothing in life is to be feared, it is only to be understood. Now is the time to understand more, so that we may fear less”

-Marie Curie-

“Pintu gerbang menuju kebijaksanaan yang besar adalah mengenali dengan jelas tentang kebodohan diri sendiri”

-Benjamin Franklin-

“Belajarlah dari cakil, meskipun giginya tidak rata, dia tidak pernah memakai behel untuk merapkannya”

-Aan Gusbaster-

“Yang fana adalah waktu, kita abadi memungut detik demi detik, merangkainya seperti bunga, sampai pada suatu hari kita lupa untuk apa”

-Sapardi Djoko Damono-

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas karunia kehidupan, kesehatan dan segala karunia lainnya sehingga penulis berhasil menyelesaikan skripsi ini. Besar harapan penulis skripsi ini tidak hanya menjadi syarat kelulusan saja, namun dapat bermanfaat khususnya di bidang keamanan radiasi.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam proses penulisan skripsi ini, diantaranya:

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan dan doa tiada henti.
2. Bapak Prof. Dr.Wawan Wahyuddin, M.Pd selaku Rektor UIN SMH Banten.
3. Bapak Dr. Asep Saefurohman, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains
4. Ibu Elsi Ariani, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika
5. Bapak Subur Pramono, M.Si dan Bapak Muhammad Yusuf, S.T. M.Sc., Ph.D selaku pembimbing skripsi yang

senantiasa memberikan arahan, masukan, serta semangat selama penyusunan skripsi ini. Tidak ada kesan yang luar biasa selain rasa syukur kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk berinteraksi dengan mereka. Semoga mereka dan keluarga senantiasa berada dalam rahmat dan lindungan Allah *subhanaahu wa ta'ala*.

6. Mas Mokhammad Naufal Alatas, S.T selaku tutor belajar PHITS yang telah berbaik hati membagikan ilmunya kepada penulis dengan penuh sabar.
7. Bapak Dr. Hendra Adhi Pratama, M.Si selaku koordinator kelompok Riset Teknologi Pengelolaan Limbah Radioaktif
8. Ibu Fina Fitratun Amaliyah, S.Si., M.Sc selaku dosen sekaligus sahabat penulis yang senantiasa berbagi semangat dan mendorong penulis untuk terus belajar.
9. Bapak dan Ibu Dosen di lingkungan Fakultas Sains yang telah berbagi ilmu dan mendidik penulis selama menempuh pendidikan.

10. Pak Yaya, Bu Pungki, Pak Romli, seluruh staf dan karyawan PRTDBBNLR yang telah mempersilahkan penulis untuk bertanya dan berdiskusi.
11. Adik dan kang mas yang senantiasa melontarkan lelucon garing, pengobat penulis saat *rungkad*.
12. Pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan disini.

Penulis hanya bisa membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dengan ucapan terimakasih dan berdoa kepada Allah agar semua kebaikan dibalas dengan kebaikan yang melimpah (*Aamiin Yaa Rabbal'Alamiin*).

Penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan guna perbaikan selanjutnya.

Serang, 22 September 2023



Rifka Nurbayti
NIM.191720005

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	v
PENGESAHAN	viii
RIWAYAT HIDUP	ix
PERSEMBAHAN	x
MOTTO	xi
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxxiii
DAFTAR SINGKATAN	xxxiv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah.....	7
C. Rumusan Masalah	8
D. Tujuan Penelitian.....	9
E. Manfaat Penelitian.....	10

BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	11
A. Kajian Teori.....	11
1. Kacamata Perisai Radiasi.....	11
2. Dosis Serap, Dosis Ekuivalen dan Dosis Efektif	12
3. Nilai Batas Dosis (NBD) untuk Mata	14
4. Koefisien Attenuasi.....	18
5. Eksponensial Absorpsi	19
6. Nomor Atom Efektif	26
7. <i>Half Value Layer</i> (HVL), <i>Tent Value Layer</i> (TVL), dan <i>Mean Free Path</i> (MFP).....	27
8. Mekanisme Interaksi Radiasi Gamma dengan Materi.....	29
9. Proteksi Radiasi dalam Pengelolaan Limbah Radioaktif Sumber Bekas	44
10. Monte Carlo	47
11. <i>Particle and Heavy Ion Transport Code System</i> (PHITS).....	48
12. <i>Tally</i>	50
B. Hasil Penelitian Yang Relevan.....	51
C. Kerangka Berpikir	54
D. Hipotesa.....	56
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	57
A. Waktu dan Tempat Penelitian	57
B. Peralatan Penelitian	57
C. Jenis Metode Penelitian.....	58

D. Teknik Pengumpulan Data	58
E. Teknik Analisis Data	62
F. Prosedur Kerja	64
1. Pembuatan File Input	64
2. Running PHITS	74
3. Output PHITS	75
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	76
A. Fluks Radiasi	76
B. Koefisien Attenuasi Linier	88
C. Koefisien Attenuasi Massa	95
D. Efek Energi Terhadap Attenuasi	100
E. Half Value Layer (HVL)	111
F. <i>Mean Free Path</i> (MFP)	117
G. Variasi Parameter Terhadap Dosis Serap Material Kacamata dan Dosis Efektif yang Diterima oleh Phantom Mata.....	123
1. Komposisi Material, Densitas dan Ketebalan	125
2. Radioaktivitas	169
3. Jarak	187
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	208
A. Kesimpulan.....	208
B. Saran	209
DAFTAR PUSTAKA	211

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Komposisi material lensa kaca mata perisai radiasi gamma dan densitas yang digunakan	60
Tabel 3. 2	Komposisi elemen penyusun lensa mata dan mata ..	61
Tabel 3. 3	File input yang digunakan dalam simulasi PHITS ...	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengukuran atenuasi sinar gamma dalam kondisi geometri yang baik	20
Gambar 2.2	Atenuasi sinar gamma dalam kondisi geometri yang baik. Garis padat adalah kurva atenuasi untuk sinar gamma 0,662 MeV (<i>monoenergetic</i>). Garis putus-putus adalah kurva atenuasi untuk sinar heterochromatic.	21
Gambar 2.3	Kurva yang menggambarkan variasi sistematis dari koefisien atenuasi dengan nomor atom dan dengan energi kuantum.....	26
Gambar 2.4	Hamburan compton: Tumbukan elastis antara foton dan elektron.....	32
Gambar 2.5	Diagram hamburan compton untuk mengilustrasikan penampang hamburan diferensial. σ adalah area dengan jari-jari satuan yang pusatnya adalah elektron hamburan.....	36
Gambar 2.6	Koefisien hamburan diferensial menunjukkan kemungkinan distribusi sudut dari foton yang tersebar oleh Compton.....	37
Gambar 2.7	Total compton cross section untuk elektron bebas...	39
Gambar 2.8	Representasi skematik dari produksi pasangan. Pasangan positron-elektron umumnya diproyeksikan ke arah depan (relatif terhadap	

	arah foton). Tingkat proyeksi ke depan meningkat seiring dengan meningkatnya energi foton.....	41
Gambar 2.9	Proses identifikasi teknis radionuklida sumber bekas.....	46
Gambar 2.10	Bagan kerangka berpikir.....	55
Gambar 3.1	Desain geometri.....	62
Gambar 3.3	Running PHITS	74
Gambar 4. 1	Flux partikel untuk sumber ^{137}Cs dengan ketebalan lensa 1×10^{-2} cm.....	77
Gambar 4. 2	Flux partikel untuk sumber ^{137}Cs dengan ketebalan lensa $2,5 \times 10^{-2}$ cm.....	77
Gambar 4. 3	Flux partikel untuk sumber ^{137}Cs dengan ketebalan lensa $7,5 \times 10^{-2}$ cm.....	78
Gambar 4. 4	Flux partikel untuk sumber ^{137}Cs dengan ketebalan lensa $8,5 \times 10^{-2}$ cm.....	78
Gambar 4. 5	Flux partikel untuk sumber ^{137}Cs dengan ketebalan lensa 2×10^{-1} cm.....	79
Gambar 4. 6	Flux partikel untuk sumber ^{137}Cs dengan ketebalan lensa 3×10^{-1} cm.....	79
Gambar 4. 7	Flux partikel untuk sumber ^{137}Cs dengan ketebalan lensa 4×10^{-1} cm.....	80
Gambar 4. 8	Flux partikel untuk sumber ^{137}Cs dengan ketebalan lensa 5×10^{-1} cm.....	80

Gambar 4. 9	Flux partikel untuk sumber ^{60}Co dengan ketebalan lensa 1×10^{-2} cm.....	82
Gambar 4. 10	Flux partikel untuk sumber ^{60}Co dengan ketebalan lensa $2,5 \times 10^{-2}$ cm.....	82
Gambar 4. 11	Flux partikel untuk sumber ^{60}Co dengan ketebalan lensa $7,5 \times 10^{-2}$ cm.....	83
Gambar 4. 12	Flux partikel untuk sumber ^{60}Co dengan ketebalan lensa $8,5 \times 10^{-2}$ cm.....	83
Gambar 4. 13	Flux partikel untuk sumber ^{60}Co dengan ketebalan lensa 2×10^{-1} cm.....	84
Gambar 4. 14	Flux partikel untuk sumber ^{60}Co dengan ketebalan lensa 3×10^{-1} cm.....	84
Gambar 4. 15	Flux partikel untuk sumber ^{60}Co dengan ketebalan lensa 4×10^{-1} cm.....	85
Gambar 4. 16	Flux partikel untuk sumber ^{60}Co dengan ketebalan lensa 5×10^{-1} cm.....	85
Gambar 4. 17	Fungsi attenuasi linier dari material kaca mata berdasarkan variasi ketebalan untuk sumber ^{137}Cs	89
Gambar 4. 18	Fungsi attenuasi linier berdasarkan variasi ketebalan untuk sumber ^{137}Cs (Al-Saadi & Saadon, 2014).....	90
Gambar 4. 19	Fungsi attenuasi linier dari material kaca mata berdasarkan variasi ketebalan untuk sumber ^{60}Co	92

Gambar 4. 20	Fungsi attenuasi linier berdasarkan variasi ketebalan untuk sumber ^{60}Co (Al-Saadi & Saadon, 2014).....	93
Gambar 4. 21	Hubungan koefisien attenuasi massa dengan ketebalan untuk sumber ^{137}Cs	96
Gambar 4. 22	Hubungan koefisien attenuasi massa dengan ketebalan untuk sumber ^{60}Co	98
Gambar 4. 23	Pengaruh energi terhadap nilai attenuasi pada ketebalan material 1×10^{-2} cm.	101
Gambar 4. 24	Pengaruh energi terhadap nilai attenuasi pada ketebalan material $2,5 \times 10^{-2}$ cm.....	102
Gambar 4. 25	Pengaruh energi terhadap nilai attenuasi pada ketebalan material $7,5 \times 10^{-2}$ cm.....	103
Gambar 4. 26	Pengaruh energi terhadap nilai attenuasi pada ketebalan material $8,5 \times 10^{-2}$ cm.....	104
Gambar 4. 27	Pengaruh energi terhadap nilai attenuasi pada ketebalan material 2×10^{-1} cm.	105
Gambar 4. 28	Pengaruh energi terhadap nilai attenuasi pada ketebalan material 3×10^{-1} cm.	107
Gambar 4. 29	Pengaruh energi terhadap nilai attenuasi pada ketebalan material 4×10^{-1} cm.	108
Gambar 4. 30	Pengaruh energi terhadap nilai attenuasi pada ketebalan material 5×10^{-1} cm.....	109

Gambar 4. 31	Attenuasi linier radiasi gamma berdasarkan pengaruh energi untuk komposit polymer diperkuat dengan Niobiom (Nb) (Akman et al., 2022).....	111
Gambar 4. 32	Nilai HVL untuk sumber ^{137}Cs	112
Gambar 4. 33	Nilai HVL untuk sumber ^{60}Co	114
Gambar 4. 34	HVL terhadap energi photon pada material kaca yang diujikan untuk	117
Gambar 4. 35	Nilai MFP untuk sumber ^{137}Cs	118
Gambar 4. 36	Nilai MFP untuk sumber ^{60}Co	120
Gambar 4. 37	Nilai MFP dari sistem material yang diteliti berdasarkan pengaruhnya dengan nilai energy.....	123
Gambar 4. 38	Pengaruh ketebalan terhadap dosis serap material untuk sumber ^{137}Cs pada jarak 50 cm.....	126
Gambar 4. 39	Pengaruh ketebalan terhadap dosis serap material untuk sumber ^{137}Cs pada jarak 65 cm.....	129
Gambar 4. 40	Pengaruh ketebalan terhadap dosis serap material untuk sumber ^{137}Cs pada jarak 80 cm.....	131
Gambar 4. 41	Pengaruh ketebalan terhadap dosis serap material untuk sumber ^{137}Cs pada jarak 100 cm.....	134
Gambar 4. 42	Pengaruh ketebalan terhadap dosis serap material untuk sumber ^{60}Co pada jarak 50 cm.	137
Gambar 4. 43	Pengaruh ketebalan terhadap dosis serap material untuk sumber ^{60}Co pada jarak 65 cm.	139

Gambar 4. 44	Pengaruh ketebalan terhadap dosis serap material untuk sumber ^{60}Co pada jarak 80 cm.	141
Gambar 4. 45	Pengaruh ketebalan terhadap dosis serap material untuk sumber ^{60}Co pada jarak 100 cm.	144
Gambar 4. 46	Pengaruh ketebalan lensa kacamata terhadap dosis efektif pada jarak 50 cm untuk sumber ^{137}Cs	147
Gambar 4. 47	Pengaruh ketebalan lensa kacamata terhadap dosis efektif pada jarak 65 cm untuk sumber ^{137}Cs	149
Gambar 4. 48	Pengaruh ketebalan lensa kacamata terhadap dosis efektif pada jarak 80 cm untuk sumber ^{137}Cs	151
Gambar 4. 49	Pengaruh ketebalan lensa kacamata terhadap dosis efektif pada jarak 100 cm untuk sumber ^{137}Cs	155
Gambar 4. 50	Pengaruh ketebalan lensa kacamata terhadap dosis efektif pada jarak 50 cm untuk sumber ^{60}Co	158
Gambar 4. 51	Pengaruh ketebalan lensa kacamata terhadap dosis efektif pada jarak 65 cm untuk sumber ^{60}Co	161
Gambar 4. 52	Pengaruh ketebalan lensa kacamata terhadap dosis efektif pada jarak 80 cm untuk sumber ^{60}Co	164

- Gambar 4. 53 Pengaruh ketebalan lensa kacamata terhadap dosis efektif pada jarak 100 cm untuk sumber ^{60}Co 166
- Gambar 4. 54 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 1×10^{-2} cm pada jarak 50 cm. 170
- Gambar 4. 55 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 1×10^{-2} cm pada jarak 65 cm. 171
- Gambar 4. 56 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 1×10^{-2} cm pada jarak 80 cm. 171
- Gambar 4. 57 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 1×10^{-2} cm pada jarak 100 cm. 172
- Gambar 4. 58 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata $2,5 \times 10^{-2}$ cm pada jarak 50 cm. 172
- Gambar 4. 59 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi

- untuk ketebalan kacamata $2,5 \times 10^{-2}$ cm pada jarak
65 cm. 173
- Gambar 4. 60 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi
untuk ketebalan kacamata $2,5 \times 10^{-2}$ cm pada jarak
80 cm. 173
- Gambar 4. 61 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi
untuk ketebalan kacamata $2,5 \times 10^{-2}$ cm pada jarak
100 cm. 174
- Gambar 4. 62 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi
untuk ketebalan kacamata $7,5 \times 10^{-2}$ cm pada
jarak 50 cm. 174
- Gambar 4. 63 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi
untuk ketebalan kacamata $7,5 \times 10^{-2}$ cm pada
jarak 65 cm. 175
- Gambar 4. 64 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi
untuk ketebalan kacamata $7,5 \times 10^{-2}$ cm pada
jarak 80 cm. 175
- Gambar 4. 65 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi

- untuk ketebalan kacamata $7,5 \times 10^{-2}$ cm pada jarak 100 cm. 176
- Gambar 4. 66 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata $8,5 \times 10^{-2}$ cm pada jarak 50 cm. 176
- Gambar 4. 67 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata $8,5 \times 10^{-2}$ cm pada jarak 65 cm. 177
- Gambar 4. 68 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata $8,5 \times 10^{-2}$ cm pada jarak 80 cm. 177
- Gambar 4. 69 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata $8,5 \times 10^{-2}$ cm pada jarak 100 cm. 178
- Gambar 4. 70 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 2×10^{-1} cm pada jarak 50 cm. 178
- Gambar 4. 71 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi

	untuk ketebalan kacamata 2×10^{-1} cm pada jarak 65 cm.	179
Gambar 4. 72	Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 2×10^{-1} cm pada jarak 80 cm.	179
Gambar 4. 73	Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 2×10^{-1} cm pada jarak 100 cm.	180
Gambar 4. 74	Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 3×10^{-1} cm pada jarak 50 cm.	180
Gambar 4. 75	Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 3×10^{-1} cm pada jarak 65 cm.	181
Gambar 4. 76	Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 3×10^{-1} cm pada jarak 80 cm.	181
Gambar 4. 77	Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi	

- untuk ketebalan kacamata 3×10^{-1} cm pada jarak
100 cm. 182
- Gambar 4. 78 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi
untuk ketebalan kacamata 4×10^{-1} cm pada jarak
50 cm. 182
- Gambar 4. 79 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi
untuk ketebalan kacamata 4×10^{-1} cm pada jarak
65 cm. 183
- Gambar 4. 80 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi
untuk ketebalan kacamata 4×10^{-1} cm pada jarak
80 cm. 183
- Gambar 4. 81 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi
untuk ketebalan kacamata 4×10^{-1} cm pada jarak
100 cm. 184
- Gambar 4. 82 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi
untuk ketebalan kacamata 5×10^{-1} cm pada jarak
50 cm. 184
- Gambar 4. 83 Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh
phantom mata dengan energi sumber radiasi

	untuk ketebalan kacamata 5×10^{-1} cm pada jarak 65 cm.	185
Gambar 4. 84	Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 5×10^{-1} cm pada jarak 80 cm.	185
Gambar 4. 85	Hubungan nilai dosis efektif yang diterima oleh phantom mata dengan energi sumber radiasi untuk ketebalan kacamata 5×10^{-1} cm pada jarak 100 cm.	186
Gambar 4. 86	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata 1×10^{-2} cm untuk sumber ^{137}Cs	188
Gambar 4. 87	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata $2,5 \times 10^{-2}$ cm untuk sumber ^{137}Cs	188
Gambar 4. 88	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata $7,5 \times 10^{-2}$ cm cm untuk sumber ^{137}Cs	189
Gambar 4. 89	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata $8,5 \times 10^{-2}$ cm cm untuk sumber ^{137}Cs	189

Gambar 4. 90	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata 2×10^{-1} cm untuk sumber ^{137}Cs	191
Gambar 4. 91	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata 3×10^{-1} cm untuk sumber ^{137}Cs	193
Gambar 4. 92	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata 4×10^{-1} cm untuk sumber ^{137}Cs	194
Gambar 4. 93	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata 5×10^{-1} cm untuk sumber ^{137}Cs	196
Gambar 4. 94	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata 1×10^{-2} cm untuk sumber ^{60}Co	198
Gambar 4. 95	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata $2,5 \times 10^{-2}$ cm untuk sumber ^{60}Co	199
Gambar 4. 96	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata $7,5 \times 10^{-2}$ cm untuk sumber ^{60}Co	199
Gambar 4. 97	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata $8,5 \times 10^{-2}$ cm untuk sumber ^{60}Co	200

Gambar 4. 98	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata 2×10^{-1} cm untuk sumber ^{60}Co	201
Gambar 4. 99	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata 3×10^{-1} cm untuk sumber ^{60}Co	202
Gambar 4. 100	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata 4×10^{-1} cm untuk sumber ^{60}Co	202
Gambar 4. 101	Hubungan nilai dosis efektif dengan jarak dengan ketebalan kacamata 5×10^{-1} cm untuk sumber ^{60}Co	203
Gambar 4. 102	Fluks radiasi dengan sumber ^{137}Cs berjarak 100 cm dari lensa kacamata.....	205
Gambar 4. 103	Propagasi dosis radiasi untuk sumber ^{137}Cs berada pada jarak 100 cm dari kacamata perisai. ...	206
Gambar 4. 104	Tingkat dosis efektif versus jarak untuk sumber ^{192}Ir dengan aktivitas 1Bq.....	207

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Nilai Attenuasi, HVL, dan MFP	228
LAMPIRAN 2 Dosis.....	234

DAFTAR SINGKATAN

HVL	= <i>Half Value Layer</i>
MFP	= <i>Mean Free Path</i>
NBD	= Nilai Batas Dosis
PHITS	= <i>Particle and Heavy Ion Transport Code System</i>
TVL	= Tent Value Layer
ZRTTD	= Zat Radioaktif Terbungkus Tak Digunakan Lagi