

**STUDI KARAKTERISASI TLD-100 PADA
MEDAN RADIASI GAMMA CESIUM-137
DAN BETA STRONTIUM-90**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan Oleh :

Latifah Zunairoh

17106020018

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1773/Un.02/DST/PP.00.9/08/2022

Tugas Akhir dengan judul : Studi Karakterisasi TLD-100 pada Medan Radiasi Gamma Cesium-137 dan Beta Strontium-90

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : LATIFAH ZUNAIROH
Nomor Induk Mahasiswa : 17106020018
Telah diujikan pada : Jumat, 12 Agustus 2022
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Dr. Nita Handayani, S.Si, M.Si
SIGNED

Valid ID: 62f9d0aaef04ce



Pengaji I
Dr. Nunung Nuraeni
SIGNED

Valid ID: 62f9d12cbde66



Pengaji II
Anis Yunianti, S.Si., M.Si., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 62f9b09217f1



Yogyakarta, 12 Agustus 2022
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 62fad1dd82f5b



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 : Latifah Zunairoh
NIM : 17106020018
Judul Skripsi : STUDI KARAKTERISASI TLD-100 PADA MEDAN RADIASI GAMMA CESIUM-137 DAN BETA STRONTIUM-90

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 bidang Fisika.

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 05 Agustus 2022

Pembimbing

Dr. Niia Handayani, M.Si
NIP.198201262008012008

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Latifah Zunairoh

NIM : 17106020018

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "Studi Karakterisasi TLD-100 pada Medan Radiasi Gamma Cesium-137 dan Beta Strontium-90" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 5 Agustus 2022

Penulis



Latifah Zunairoh

17106020018

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Dipindai dengan CamScanner

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillaahirobbil'aalamiin. Terimakasih ya Allah ya Rasyid, yang telah memberikan kecerdasan akal dan pikiran, yang telah memberikan kemudahan serta kelancaran sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan. Engkau yang telah memberi petunjuk dalam setiap keputusasaan. Skripsi saya didedikasikan untuk orang-orang yang sangat saya sayangi :

1. Tugas akhir ini saya persembahkan untuk ummi (Harsiwin), yang telah mengisi dunia saya, memotivasi saya dengan cinta, mendukung dan membimbing saya dengan penuh kesabaran, dan mendorong mental saya hingga saya merasa mampu dan bisa melakukan segala hal dalam segala situasi. Doa ummi yang selalu mengiringi setiap langkah saya, serta setiap tetes keringat dikala membekalkan dan mendidik kami seorang diri telah menguatkan saya.
2. Ibu Nita Handayani yang membimbing saya dengan tulus dan penuh kesabaran, terimakasih atas bimbingan serta ilmu yang telah Ibu berikan kepada saya. Selalu saya harapkan kasih dan sayang Allah SWT dilimpahkan untukmu.
3. Ibu Nunung Nuraeni pembimbing lapangan saya yang membimbing saya dengan penuh kesabaran, saya ucapkan terimakasih atas ilmu dan wawasan yang telah Ibu ajarkan kepada saya, semoga kebaikan selalu menyertaimu.
4. Bapak Ibu dosen fisika UIN Sunan Kalijaga, seluruh bekal ilmu yang telah bapak ibu bagikan semoga menjadi modal untuk menjawab tantangan dimasa depan, saya ucapkan terimakasih, semoga kebaikan juga menyertai bapak dan ibu semua.
5. Tugas akhir ini juga saya persembahkan untuk seluruh keluarga besar fisika UIN Sunan Kalijaga.

6. Kakak saya (Zaahidah Mansyuuroh) dan Saudara kembar saya (Shofiyah Zunaizah), terimakasih karena selalu mengingatkan, menegur saya, dan mendorong saya untuk segera menyelesaikan tugas akhir. Menghibur saya dikala sedih, menjaga saya dengan kasih sayang. mereka adalah teman terbaik dalam hidup saya, dan pantas mendapatkan persembahan tugas akhir saya.
7. Tugas akhir ini juga saya persembahkan untuk abi (Gunawan) yang juga saya percaya doanya mengiringi setiap langkah saya.
8. Teman-teman fisika 2017 khususnya fisika material, tanpa inspirasi, dorongan, dan dukungan dari kalian sulit bagi saya untuk sampa pada titik ini. Skripsi ini saya persembahkan untuk kalian.
9. Saya persembahkan juga kepada semua yang telah mengajarkan saya nilai-nilai kehidupan dan mendukung saya.



MOTTO

“Lakukan! Kalau anda sukses anda berbahagia, kalau anda gagal anda belajar” –

Mario Teguh

“Ubahlah hidupmu hari ini. Jangan bermain-main dengan masa depanmu, lakukan sekarang, jangan menunda.” Simone de Beauvoir

“Pendidikan bukan cuma pergi ke sekolah dan mendapatkan gelar. Tapi, juga soal memperluas pengetahuan dan menyerap ilmu kehidupan”- Shakuntala Devi

“Learn from yesterday, live for today, hope for tomorrow. The important thing is don't stop asking” – Albert Einstein

“Bermimpilah setinggi langit. Karena jika jatuh, kamu akan terjatuh diantara para bintang” - Agnes Monica



KATA PENGANTAR

Alhamdulillaahirobbil'aalamiin, segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan berkah, rahmat, dan hidayahnya serta telah memberikan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Study Karakterisasi TLD-100 pada Medan Radiasi Gamma Cesium-137 dan Beta Strontium-90". Adapun maksud dari penulisan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat kelulusan Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Pada kesempatan ini, penulis ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah suka rela memberikan kesempatan, bantuan, pemikiran, tenaga, serta memberikan dukungan moril maupun materiil sehingga penyusunan tugas akhir ini berjalan lancar. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Anis Yuniati, M.Si., Ph.D selaku Ketua Program Studi Fisika , dosen pembimbing akademik, dan penguji tugas akhir.
2. Ibu Dr. Nita Handayani, M.Si. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi dengan penuh kesabaran, sehingga skripsi ini dapat penulis selesaikan.
3. Ibu Dr. Nunung Nuraeni selaku pembimbing lapangan yang telah mendampingi dan memberikan pengarahan serta memberikan pengalaman dan ilmu-ilmu berharga.
4. Seluruh dosen Fakultas Sains dan Teknologi khususnya program studi Fisika yang telah memberikan kebaikan ilmu serta keramahan selama peneliti menempuh ilmu.
5. Staf dan karyawan UIN Sunan Kalijaga.
6. Keluarga besar Fisika uin Sunan Kalijaga khususnya teman-teman angkatan 2017.

7. Teman-teman fisika material : Churun, leni, ahyu, fina, ikbal, desi, retno, lina, syamsul.
8. Teman saya Churun yang selalu memberikan bantuan, do'a dan motivasi.
9. Ibu dan keluargaku tercinta yang memberikan doa, dorongan, motivasi, serta telah membantu memberikan kesempatan pada peneliti untuk memperoleh pendidikan yang lebih baik.

Penulis menyadari ada kekurangan pada penelitian dan penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, saran dan kritik senantiasa diharapkan guna sebagai langkah perbaikan. Penulis juga berharap semoga tugas akhir ini memberikan wawasan khususnya tentang radiasi gamma dan beta.

Yogyakarta, 05 Agustus 2022

Penulis



Latifah Zunairoh



STUDI KARAKTERISASI TLD-100 PADA MEDAN RADIASI GAMMA CESIUM-137 DAN BETA STRONTIUM-90

Latifah Zunairoh
NIM 17106020018

INTISARI

Telah dilakukan penelitian studi karakterisasi TLD-100 pada medan radiasi gamma Cesium-137 dan beta Strontium-90. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Sampel berupa *chip* TLD sebanyak 490 *chip*, dengan 480 TLD diirradiasi Cesium-137 dan 10 TLD diirradiasi Strontium-90. Bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah TLD LiF: Mg,Ti (TLD-100) dan memiliki *chip* berbentuk persegi dengan panjang sisi 3,2 mm x 3,2 mm dan tebal 0,89 mm. Data penelitian terdiri dari dua jenis, data primer yaitu data yang menggunakan radiasi gamma Cesium-137 dan data sekunder yaitu data yang menggunakan radiasi beta Strontium-90. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan respon relatif dan faktor kalibrasi TLD serta menganalisis *glow curve* hasil ekstraksi WebPlotdigitizer. Hasil analisis terhadap respon relatif menunjukkan linier pada interval 30-40 nC, dan hasil faktor kalibrasi menunjukkan nilai linieritas sebesar 69,4%. Semakin besar nilai *mean* respon bersih TLD maka semakin kecil nilai faktor kalibrasinya. Terdapat 20 kelompok TLD dalam penelitian ini berdasarkan nilai deviasinya, yaitu 9 kelompok dengan deviasi <1%, 5 kelompok dengan deviasi antara 1-2%, dan 6 kelompok dengan deviasi antara 2-3%. Semakin kecil deviasi semakin seragam respon TLD. Analisis *glow curve* TLD dilihat dari posisi *glow peak* dan posisi kaki *curve* pada sumbu x. Persentase perbedaan *glow peak* untuk TLD yang diirradiasi Cs-137 sebesar 57% dan pergeseran 2%. TLD yang diirradiasi Sr-90 memiliki perbedaan sebesar 20% dengan pergeseran 19%. Posisi *peak* menentukan kedalaman perangkap pada setiap *chip* TLD.

KATA KUNCI: TLD-100, Cesium-137, Strontium-90, radiasi gamma, radiasi beta

CHARACTERIZATION STUDY OF TLD-100 IN CESIUM-137 GAMMA RADIATION FIELD AND BETA STRONTIUM-90

Latifah Zunairoh
NIM17106020018

ABSTRACT

Research on the characterization of TLD-100 has been carried out in the Cesium-137 and beta Strontium-90 gamma radiation fields. The research method used is a quantitative method. The sample consisted of 490 TLD chips, with 480 TLDs irradiated with Cesium-137 and 10 TLDs irradiated with Strontium-90. The material used in this research is TLD LiF: Mg,Ti (TLD-100) and has a square chip with a side length of 3.2 mm x 3.2 mm and a thickness of 0.89 mm. The research data consisted of two types, primary data, namely data using Cesium-137 gamma radiation and secondary data, namely data using Strontium-90 beta radiation. This study aims to determine the relative response and calibration factor of the TLD and analyze the glow curve from the extraction of WebPlotdigitizer. The results of the analysis of the relative response showed linearity at intervals of 30-40 nC, and the results of the calibration factor showed a linearity value of 69.4%. The greater the mean value of the TLD net response, the smaller the value of the calibration factor. There were 20 TLD groups in this study based on their deviation values, namely 9 groups with deviation <1%, 5 groups with deviation between 1-2%, and 6 groups with deviation between 2-3%. The smaller the deviation, the more uniform the TLD response. TLD glow curve analysis is seen from the position of the glow peak and the position of the foot of the curve on the x-axis. The percentage difference in glow peak for TLD irradiated with Cs-137 was 57% and a shift of 2%. TLD irradiated Sr-90 has a difference of 20% with a shift of 19%. The peak position determines the trap depth on each TLD chip.

KEYWORDS: TLD-100, Cesium-137, Strontium-90, gamma radiation, beta radiation

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
INTISARI.....	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Batasan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Studi Pustaka.....	9
2.2 Landasan Teori.....	14
2.2.1 Radiasi.....	14
2.2.2 Peluruhan Gamma (γ)	17
2.2.3 Radionuklida Cesium-137.....	20
2.2.4 Peluruhan Beta (β).	21
2.2.5 Radionuklida Strontium-90.....	24
2.2.6 Interaksi Sinar Gamma dengan Materi	25
2.2.7 Besaran dan Satuan Radiasi	30

2.2.8	Dosimeter Luminesensi.....	32
2.2.9	Dosimeter Termoluminesensi	34
2.2.10	Lithium Fluorida	37
2.2.11	Prinsip Kerja TLD.....	39
2.2.12	TLD- <i>Reader</i>	41
2.2.13	Pemanasan (<i>Annealing</i>).....	43
2.2.14	Respon TL Sebagai Fungsi Dosis (Linearitas).....	44
2.2.15	Sensitivitas Bahan	45
2.2.16	Karakteristik TLD	46
2.2.17	<i>Glow Curve</i> TL	46
BAB III METODE PENELITIAN		48
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	48
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	48
3.3	Tahapan Penelitian	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		68
4.1	Hasil Penelitian	68
4.1.1	Hasil Respon Relatif pada Setiap <i>Chip</i> TLD terhadap Medan Radiasi Gamma Cesium 137.....	68
4.1.2	Faktor Kalibrasi.....	70
4.1.3	Karakteristik Respon TLD terhadap medan radiasi Gamma Cesium-137 dan Beta Strontium-90.....	73
4.2	Pembahasan.....	77
4.2.1	Perbedaan Respon Relatif pada setiap <i>Chip</i> TLD terhadap Medan Radiasi Gamma Cesium-137.....	77
4.2.2	Faktor Kalibrasi.....	80
4.2.3	Karakteristik Respon TLD terhadap medan radiasi gamma Cesium-137 dan beta Strontium-90	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		90
5.1	Kesimpulan	90
5.2	Saran.....	91

DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN	96



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jurnal Pustaka.....	13
Tabel 2.2	Besaran radiasi, satuan radiasi, dan konversi antara satuan lama dan SI.....	32
Tabel 3.1	Alat Penelitian.....	48
Tabel 3.2	Bahan Penelitian.....	48
Tabel 4.1	Respon TLD bacaan pertama dan kedua.....	68
Tabel 4.2	Hasil deviasi, <i>mean</i> , dan faktor kalibrasi dari setiap kelompok..	71
Tabel 4.3	Hasil pengelompokan berdasarkan nilai deviasi.....	71
Tabel 4.4	Data Hasil Bacaan TLD-100 [Cs-137].....	73
Tabel 4.5	Data Sekunder Hasil Bacaan [Sr-90].....	74
Tabel 4.6	Perbedaan <i>peak</i> pada setiap <i>glow curve</i> TLD [Cs-137].....	84
Tabel 4.7	Perbedaan kaki <i>glow curve</i> [Cs-137].....	84
Tabel 4.8	Perbedaan <i>peak</i> pada setiap <i>glow curve</i> TL [Sr-90].....	86
Tabel 4.9	Perbedaan kaki <i>glow curve</i> TL [Sr-90].....	86
Tabel 4.10	Persentase perbedaan <i>glow curve</i> TLD hasil ekstrak dengan WebPlotDigitizer.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Spektrum Gelombang Elektronik.....	15
Gambar 2.2	Daya Tembus Beberapa Radiasi Pengion.....	17
Gambar 2.3	Emisi Sinar Gamma Setelah Peluruhan Beta.....	18
Gambar 2.4	Peluruhan Gamma.....	18
Gambar 2.5	Skema Peluruhan Cs-137 dan Co-60.....	19
Gambar 2.6	Spektrum Cs-137.....	21
Gambar 2.7	Peluruhan Beta Negatif.....	22
Gambar 2.8	Spektrum Elektron yang dipancarkan dalam Peluruhan Beta	22
Gambar 2.9	Peluruhan Beta Positif.....	23
Gambar 2.10	Spektrum Positron yang dipancarkan dalam Peluruhan Beta.	23
Gambar 2.11	Peluruhan Sr-90.....	25
Gambar 2.12	Spektrum Sr-90.....	25
Gambar 2.13	Peralatan untuk Mengamati Efek Fotolistrik.....	26
Gambar 2.14	Geometri Hamburan Compton.....	27
Gambar 2.15	Proses Produksi Pasangan.....	29
Gambar 2.16	Pemusnahan Elektron-Positron.....	30
Gambar 2.17	Prinsip Kerja TLD.....	39

Gambar 2.18	TLD- <i>Reader</i>	41
Gambar 2.19	Termogram (kurva pijar) khas LiF: Mg, Ti diukur dengan Pembaca TLD pada Laju Pemanasan Rendah.....	42
Gambar 2.20	Respon TL sebagai Fungsi dari Jumlah Siklus Panas.....	44
Gambar 3.1	Diagram Alir Langkah Penelitian.....	50
Gambar 3.2	Oven PTW-TLDO (kiri), <i>Oven Memmert</i> (kanan)	52
Gambar 3.3	Diagram Alir Langkah <i>Annealing</i> Pertama	53
Gambar 3.4	Diagram Alir Langkah <i>Annealing</i> Kedua.....	53
Gambar 3.5	Kanan <i>Buchler</i> OB-85, kiri posisi penyinaran TLD dimana TLD ditempel pada fantom (lingkar kuning).....	54
Gambar 3.6	TLD- <i>Reader</i> Harshaw.....	56
Gambar 3.7	Diagram Alir Langkah Pembacaan TLD.....	57
Gambar 3.8	Langkah proses ekstraksi <i>glow curve</i> TL dengan WebPlotDigitizer.....	62
Gambar 3.9	Tampilan awal WebPlotDigitizer.....	63
Gambar 3.10	(a) <i>Load Image</i> , (b) <i>Plot type</i> pada WebPlotDigitizer.....	63
Gambar 3.11	<i>Box Align X-Y Axes</i> pada WebPlotDigitizer.....	64
Gambar 3.12	<i>Glow Curve</i> pada halaman WebPlotDigitizer.....	64
Gambar 3.13	Kalibrasi sumbu x dan y pada WebPlotDigitizer.....	65
Gambar 3.14	Tampilan <i>Glow Curve</i> pada halaman WebPlotDigitizer setelah x-y ditentukan.....	65
Gambar 3.15	<i>Acquired Data</i> pada WebPlotDigitizer.....	66

Gambar 3.16	Hasil Plotly satu buah chip TLD.....	67
Gambar 4.1	Respon Relatif TLD-100 yang diirradiasi sumber gamma Cs-137.....	69
Gambar 4.2	Perbedaan respon relatif TLD-100 dengan nilai bersih TLD (R_{nett}) yang diirradiasi Cs-137.....	70
Gambar 4.3	Grafik faktor kalibrasi setelah pengelompokan.....	72
Gambar 4.4	<i>Glow curve</i> hasil pembacaan TLD ke 111 [Cs-137].....	74
Gambar 4.5	<i>Glow curve</i> hasil pembacaan TLD ke 112 [Cs-137].....	75
Gambar 4.6	<i>Glow curve</i> hasil pembacaan TLD ke 1 [Sr-90].....	75
Gambar 4.7	<i>Glow curve</i> hasil pembacaan TLD ke 2 [Sr-90].....	76
Gambar 4.8	Hasil Ekstrak <i>Glow Curve</i> TLD-100 [Cs-137].....	76
Gambar 4.9	Hasil Ekstrak <i>Glow Curve</i> TLD-100 [Sr-90].....	77
Gambar 4.10	Hasil respon TL pada penelitian Jimenez, dkk. (2014).....	79
Gambar 4.11	(a) Penyebaran respon TLD-100 dan TLD-100H terhadap radiasi gamma, (b) respon relatif TLD-100H terhadap TLD-100	79
Gambar 4.12	(a) Kaki <i>curve</i> kiri, (b) kaki <i>curve</i> kanan pada radiasi Cs-137.....	85
Gambar 4.13	(a) Kaki <i>curve</i> kiri, (b) kaki <i>curve</i> kanan pada radiasi Sr-90.....	87
Gambar 4.14	Hasil Penelitian Reshes, dkk (2020).....	89

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Data Hasil Bacaan TLD- <i>Reader</i>	96
LAMPIRAN B	Tabel Data Pengolahan Respon TLD.....	100
LAMPIRAN C	Tabel anggota setiap kelompok TLD.....	112
LAMPIRAN D	Data Digital Hasil Ekstrak <i>Glow Curve</i>	150
LAMPIRAN E	<i>Glow Curve</i> TLD dengan radiasi Cesium-137 dan Strontium-90.....	157
LAMPIRAN F	Data Digital Hasil Ekstrak <i>Glow Curve</i>	160





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi nuklir sangat pesat di berbagai bidang, baik pada bidang penelitian maupun dalam bidang industri pembangkit listrik tenaga nuklir dan bidang industri lainnya. Pemanfaatan teknologi nuklir pun juga semakin meluas. Teknologi nuklir berbasis pada pemanfaatan energi yang dibebaskan dari suatu inti atom (nuklida) dalam bentuk radiasi (Hernawan dkk., 2016). Radiasi dapat diartikan sebagai suatu energi yang dipancarkan dalam bentuk gelombang atau partikel (Hernawan dkk., 2016; Rosyidi dkk., 2016; Vinanda, 2021). Radiasi nuklir merupakan bagian dari radiasi elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik sendiri merupakan radiasi berbentuk gelombang elektromagnetik yang tak kasat mata. Manusia tidak dapat secara langsung melihat, mendengar, atau merasakan keberadaan radiasi elektromagnetik. Dalam Al-Qur'an surat An-Nuur ayat 35, Allah SWT berfirman :

اللَّهُ نُورُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ مَثُلُّ نُورٍ كَمِشْكُوٍّ فِيهَا مِصْبَاحٌ الْمُصْبَاحُ فِي رُجَاجَةٍ
الرُّجَاجَةُ كَانَهَا كَوْكَبٌ دُرَّيٌّ يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبَرَّكَةٍ رَبِيُونَةٌ لَا شَرْقِيَّةٌ وَلَا غَرْبِيَّةٌ يَكَادُ رَيْثَهَا
يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسِسْهُ نَارٌ نُورٌ عَلَى نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورٍ مَنْ يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ
وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ

Artinya : "Allah (pemberi) cahaya (kepada) langit dan bumi. Perumpamaan cahaya-Nya, seperti sebuah lubang yang tidak tembus yang di dalamnya ada pelita besar. Pelita itu di dalam tabung kaca, (dan) tabung kaca itu bagaikan bintang yang berkilauan, yang dinyalakan

dengan minyak dari pohon zaitun yang tumbuh tidak di timur dan tidak pula di barat, yang minyaknya (saja) hampir-hampir menerangi, walaupun tidak disentuh api. Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis), Allah memberi petunjuk kepada cahaya-Nya bagi orang yang Dia kehendaki, dan Allah membuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia. Dan Allah Maha Mengetahui segala sesuatu”.

Cahaya menjadi sumber berjalannya kehidupan di bumi bahkan di seluruh jagad raya. Menurut Murtono (2008) tanpa cahaya tidak akan ada kehidupan, karena cahaya merupakan syarat yang diperlukan dalam proses fotosintesis. Jika tumbuhan mati tanpa cahaya begitupun hewan dan manusia. Cahaya dapat digunakan untuk melihat, belajar, mengembangkan ilmu pengetahuan, mengukur jarak benda angkasa, mengamati benda-benda mikro, dan mengukur kedalaman laut. Manusia dapat melihat kondisi otak, patah tulang, struktur atom benda padat, isi perut manusia, bahkan bayi dalam kandungan, dan masih banyak manfaat dengan adanya cahaya. Cahaya ini merupakan milik Allah yang diberikan kepada alam semesta termasuk di dalamnya manusia.

Pada akhir abad ke-19 Clerk Maxwell menyebutkan bahwa gelombang cahaya adalah gelombang elektromagnetik sehingga tidak memerlukan medium untuk merambat, dan gelombang cahaya disebarluaskan melalui kerangka acuan tertentu. Kemudian anggapan tersebut ditepis oleh teori relativitas khusus Einstein, dimana dari teori Maxwell tersebut cahaya dapat dibangkitkan oleh medan magnet dan medan listrik yang ditunjukkan oleh persamaan Maxwell tentang medan magnet dan medan listrik. Gelombang elektromagnet dapat merambat dengan atau tanpa zat perantara. Pernyataan ini didukung oleh penemuan-penemuan dari Frank Hertz (1857-1894) yang secara eksperimental ditemukannya sinar-X, gelombang

mikro, sinar gamma, dan yang lainnya (Murtono, 2008). Pada abad ke-19 teori kuantum Einstein mengungkapkan bahwa cahaya terdiri dari paket-paket energi kuanta (kuantum) yang disebut dengan foton. Dalam ungkapan tersebut dapat dikatakan bahwa cahaya merupakan salah satu bentuk energi. Sesuai dengan mekanika Newtonian bahwa yang memiliki energi adalah materi. Teori kuantum (dualisme cahaya) menganggap bahwa cahaya mempunyai dua sifat yaitu cahaya sebagai gelombang dan cahaya sebagai partikel (Murtono, 2008).

Radiasi elektromagnetik dibagi menjadi dua jenis, yaitu radiasi non-pengion dan radiasi pengion. Karena kemampuannya untuk mengionisasi bahan, radiasi pengion memiliki metode perlakuan khusus untuk mengendalikannya. Namun, sebelum dapat mengendalikannya, manusia harus bisa mendeteksinya. Sifat ionisasi radiasi pengion akan memiliki banyak manfaat bagi manusia setelah terdeteksi dan dikendalikan. Diantaranya dapat digunakan untuk mendeteksi kanker, kebocoran pipa, perput material, dan pembangkit listrik. Mandavia (2018) mengungkapkan bahwa radiasi pengion dapat digunakan untuk berbagai keperluan sesuai dengan hasil yang diinginkan dalam semua aplikasi, tetapi faktor utama yang perlu diperhatikan terkait dengan jumlah dosis atau paparan radiasi yang digunakan harus sesuai supaya tidak menimbulkan efek negatif. Namun untuk radiasi nuklir selain memiliki manfaat yang banyak juga dapat berdampak buruk pada sel tubuh manusia. Radiasi yang berinteraksi dengan tubuh manusia dapat mengeksitasi atau mengionisasi atom. Jadi radiasi akan kehilangan sebagian energi. Energi radiasi yang diserap oleh jaringan biologis akan muncul sebagai panas, yang merupakan awal dari perubahan kimia dan kemudian

akan menghasilkan efek biologis yang tidak menguntungkan (Hernawan dkk, 2016).

Teknologi deteksi radiasi dewasa ini semakin berkembang serta terdapat berbagai jenis detektor radiasi. Detektor radiasi merupakan tranduser (sensor) yang dapat mengenali adanya radiasi nuklir, baik alfa, beta, maupun gamma. Detektor inilah yang nantinya akan mendekteksi keberadaan radiasi dan mengukur dosisnya. Dosis radiasi adalah jumlah energi radiasi yang diserap atau diterima oleh materi yang dilaluinya. Dosis ini kemudian akan disesuaikan dengan fungsi apa yang akan digunakan. Ada beberapa macam alat yang dapat digunakan untuk mengukur dosis radiasi diantaranya adalah surveymeter, dosimeter personal, dan monitor kontaminasi. Surveymeter berfungsi untuk mendeteksi radiasi, monitor kontaminasi berfungsi untuk mengetahui seberapa besar penyebaran kontaminasi dari radiasi radioaktif, dan dosimeter personal berfungsi untuk mendeteksi serta mengukur dosis radiasi. Salah satu dosimeter yang banyak digunakan untuk mendeteksi radiasi adalah TLD. Dosimeter Termoluminesensi (TLD) termasuk dalam dosimeter personal. Kelebihan dosis radiasi dapat dibatasi dengan menggunakan alat pengukur radiasi ini, dimana pekerja radiasi perlu dimonitor untuk menghindari terjadinya kelebihan dosis radiasi dari standar Nilai Batas Dosis (NBD) yang diperbolehkan. TLD memiliki keunggulan pengoperasian yang sederhana, evaluasi dosis yang cepat, dan ketidakpekaan terhadap faktor lingkungan karena energi yang tersimpan dalam TLD tetap aman jika terkena cahaya dan hanya bereaksi ketika terkena radiasi tinggi. Namun apabila terdapat keraguan dalam pembacaan, tidak dapat dilakukan pembacaan ulang karena

pembacaan hanya dapat dilakukan sekali. Manfaat TLD ini adalah untuk memantau radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi sehingga kedepannya dapat terhindar resiko dosis radiasi yang berlebihan dan mengevaluasi pemberian dosis terapi.

Dalam aplikasi medis, pemilihan dosimeter yang tepat dan memiliki sensitivitas tinggi terhadap paparan radiasi sangat diperlukan. Salah satu dosimeter yang memiliki kelebihan dengan tingkat ketepatan dan ketelitian yang tinggi adalah TLD, karena memiliki nomor atom efektif yang setara dengan nomor atom efektif jaringan tubuh. TLD juga mempunyai kestabilan jangka panjang yang sangat baik (Ridwan, 2003). Namun ada beberapa kelemahan dari TLD diantaranya memiliki ketidakseragaman respon, *fading*, dan variasi sensitivitas yang dapat mempengaruhi hasil bacaan responnya pada saat proses pembacaan (Verdianto, 2012). Kelemahan inilah yang nantinya akan diteliti bagaimana karakteristik bahan TLD terhadap medan radiasi gamma Cesium-137 (Cs-137) dan beta Strontium-90 (Sr-90). Ukuran TLD yang sangat kecil membuat TLD tidak dapat diketahui faktor kalibrasinya seperti surveymeter, maka dari itu harus dilakukan cek keseragaman. Respon yang berdekatan menjadi satu kelompok atau menjadi satu buah detektor. TLD memiliki perbedaan respon pada setiap *batch*. *Batch* merupakan kelompok TLD yang berasal dari satu proses produksi dan riwayat penggunaan yang sama. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian respon relatif setiap TLD agar diperoleh hasil bacaan yang baik. Untuk alasan ini, perlu dilakukan penelitian studi karakteristik TLD-100 terhadap medan radiasi gamma dan beta. Dalam penelitian ini akan dilakukan beberapa pengujian karakteristik meliputi respon relatif TLD terhadap medan radiasi gamma, faktor

kalibrasi, serta karakteristik respon TLD terhadap medan radiasi gamma dan beta. Penelitian ini menggunakan medan radiasi gamma karena lebih banyak digunakan oleh pekerja radiasi dan radiasi gamma memiliki daya tembus yang paling kuat dibandingkan dengan radiasi lainnya (Choirul Anam, dkk., 2017). Radiasi gamma memiliki berkas radiasi yang lebar sehingga jika dilakukan cek keseragaman berkas radiasinya *uniform*. Begitu juga dengan radiasi beta yang memiliki berkas radiasi lebar. Radiasi beta masuk dalam radiasi pengion karena berat partikel, dan biasa digunakan untuk cek respon instan.

Pada tahun 2012, Sofyan dan Kusumawati telah mempublikasikan hasil penelitiannya yang berjudul Perbandingan Tanggapan Termoluminesensi LiF: Mg, Ti dan LiF: Mg, Cu, P terhadap dosis dalam aplikasi medik. Pada penelitian tersebut menggunakan iradiasi gamma Cs-137 sebagai sumber radiasi. Maka penelitian ini akan menggunakan TLD LiF: Mg, Ti (TLD-100) dengan sumber radiasi gamma Cs-137 sebagai data primer, dan menggunakan TLD LiF: Mg, Ti dengan sumber radiasi beta Sr-90 sebagai data sekunder. Penelitian kedua oleh Reshes, dkk. (2020), dengan membandingkan spektrum energi absorpsi optik (OA) dan karakteristik kurva pijar TL dari sampel LiF: Mg, Ti setelah penyinaran sinar beta Sr-90 dan iradiasi proton energi tinggi. Penelitian Reshes, dkk. ini menggunakan iradiasi Sr-90 dan proton energi tinggi. Maka penelitian ini akan mengkaji karakteristik TLD terhadap sumber radiasi gamma Cs-137 dan beta Sr-90. Pada penelitian ini juga akan disajikan analisa dari kurva cahaya TL dan kurva kalibrasi hasil perhitungan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perbedaan respon relatif pada setiap chip TLD terhadap medan radiasi gamma Cs-137?
2. Bagaimana cara menentukan faktor kalibrasi dari setiap kelompok TLD yang memiliki respon hampir berdekatan?
3. Bagaimana karakteristik respon TLD terhadap medan radiasi gamma Cs-137 dan beta Sr-90?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam Penelitian “Studi Karakterisasi TLD-100 pada Medan Radiasi Gamma Cesium-137 dan Beta Strontium-90” adalah sebagai berikut:

1. Menentukan perbedaan respon relatif pada setiap chip TLD terhadap medan radiasi gamma Cs-137.
2. Menentukan faktor kalibrasi dari setiap kelompok TLD yang memiliki respon hampir berdekatan.
3. Mengkaji karakteristik respon TLD terhadap medan radiasi gamma Cs-137 serta beta Sr-90.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah dari penelitian ini ialah:

1. Alat baca untuk TLD adalah TLD *Reader* Harshaw model 3500.
2. Fokus dari penelitian ini adalah respon, sensitivitas, serta analisis kurva termoluminesensi yang dihasilkan.

3. Perangkat lunak yang digunakan untuk membaca dan mengolah respon TLD adalah WinREMS.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dan kajian pustaka yang berguna bagi akademis khususnya di bidang fisika radiasi dalam lingkup perbandingan karakteristik dosimeter termoluminesensi pada medan radiasi gamma Cs-137 dan beta Sr-90.
2. Memberikan informasi dan wawasan kepada pekerja radiasi terkait dengan pembacaan respon dan sensitivitas TLD terhadap gamma Cs-137 dan beta Sr-90.
3. Memberikan informasi terkait dengan dosis dan efek paparan radiasi terutama bagi pekerja bidang medis atau pekerja yang berkaitan dengan pemanfaatan radiasi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh serta pembasan yang telah dilakukan, maka peneliti mengambil kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Respon relatif dari TLD yang diirradiasi dengan Cs-137 diperoleh 20 kelompok dengan deviasi masing-masing untuk kurang dari 1% terdapat 9 kelompok, antara 1-2% terdapat 6 kelompok, dan antara 2-3% terdapat 6 kelompok. Semakin kecil nilai deviasi maka makin seragam responnya.
2. Nilai faktor kalibrasi menunjukkan penurunan dari setiap kelompoknya. Semakin besar nilai respon bersih rata-rata TLD, maka semakin kecil nilai faktor kalibrasinya. Hal ini menunjukkan nilai respon bersih rata-rata TLD berbanding terbalik dengan nilai faktor kalibrasi.
3. *Glow curve* TLD yang diirradiasi dengan sumber gamma Cs-137 maupun beta Sr-137 keduanya memiliki perbedaan puncak serta pergeseran pada kaki kurva. Namun meskipun ada pergeseran dan adanya perbedaan puncak, kurva setiap chip TLD memiliki kesamaan pada jumlah puncaknya dan perbedaan juga tidak terlalu besar. Perbedaan setiap kurva dapat terjadi karena sinyal yang tersimpan pada setiap chip TLD berbeda akibat peluruhan sebelum pembacaan, sehingga saat proses pembacaan TLD menunjukkan respon yang berbeda.

5.2 Saran

Berdasarkan adanya keterbatasan dalam penelitian ini, penulis memberikan saran untuk pengembangan penelitian di masa mendatang, saran tersebut antara lain:

1. Pengembangan penelitian ini dilakukan dengan membandingkan respon TLD dengan OSLD (*Optically Stimulated Luminescence Dosimeter*).
2. Membandingkan hasil karakterisasi TLD dengan hasil simulasi menggunakan Monte Carlo N-Particle (MCNP).

DAFTAR PUSTAKA

- Abul-Hail, R. Ch., and Abdallah, M. K. 2018. Characterization of TL-D200 and TL-D100 for Thermoluminescent Radiation Dosimetry. International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR). Volume-8. Issue-5.
- Akhadi, M. 2005. Mengoptimalkan Penggunaan Dosimeter Perorangan di Medan Radiasi Campuran. Buletin Alara. Vol.7, No. 1&2, Hal. 47-55.
- Anam, C., Azam, M., dan Firdausi, K.S. 2017. *Buku Ajar Mata Kuliah : Fisika Nuklir*. Fisika, FMIPA,UNDIP, Semarang.
- Ardiansyah, H. 2015. Thermoluminescent Radiation Detector Sebagai Bagian dari Thermoluminescent Dosimetry (TLD) untuk Mendeteksi dan Mengukur Dosis Radiasi. Dep. Teknik Nuklir dan Tek. Fisika. Yogyakarta: UGM
- Aziz, M., Hidayanto, E., dan Lestari, D.D. 2015. Penentuan Aktivitas ^{60}Co dan ^{137}Cs pada Sampel UNKNOWN dengan Menggunakan Detektor HPGe. Youngster Physics Journal. Vol. 4, No. 2, Hal 189-196.
- Beiser, A. 2003. Concepts of Modern Physics. Sixth Edition., McGraw-Hill, New York.
- Bhuiyan, S.I. Qronfla, M.M., Abulfaraj, W.H., Kinsara, A.A., Taha, T.M., Molla, N.I., and Emorh, S.M. 2007. *Quality Assurance and Quality Control in TLD Measurement*. Faculty of Engineering, Departement of Nuclar Engineering, King Abdulaziz University, Jeddah.
- Datz, H., Horowitz, YS., Oster, L., Margalit, M. 2020. Characteristics of the High temperature Thermoluminescence in LiF : Mg, Ti (TLD-100) : The Effects of Batch History. Radiation measurements. 45: 710-712.
- Eisberg, R., and Resnick, R. 1985. *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei, and Particles*. Second Edition. John Wiley and Sons, New York.
- Firmansyah, A. F. 2017. Interkomparasi Dosis Ekivalen Perorangan Hp(10) dan Hp(3) Menggunakan TLD/Film Tahun 2017. Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Batan, Yogyakarta.
- Freire. L., Calado, A., Cardoso, J.V., Santos, L. M., Alves, J.G. 2008. Comparison of LiF (TLD-100 and TLD-100H) Detectors for Extremity Monitoring. Radiation Measurements 43: 646-650.
- Gonzales, P.R., and Azorin, J. 2001. Thermoluminescent response of LiF: Mg, Cu, P + PTFE prepared in Mexico to $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ beta particles. Radiation Physics and Chemistry 61 : 425-427.

- Haliq, Ridhwan. 2015. *Karakterisasi Dosimeter dari Batu Agate Sebagai Dosimeter Dosis Tinggi*. (Tesis), Materials and Metallurgical Engineering, Fakultas Teknologi Industri, ITS, Surabaya.
- Hernawan, S., Nugraha S.Si, E.D., Dr. Sutanto, Prof. Hiswara, E. 2016. Pembuatan Dosimeter Termoluinesensi dari Bahan Litium Fluorida dan Pengotor Titanium. Jurnal Forum Nuklir (JFN). Vol. 10, No. 1.
- Hiswara, Eri. 2015. *Buku Pintar Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit*. BATAN Press, Jakarta Selatan
- Iskandar, D. 1993. *Spektrometer Gamma*. Badan Tenaga Atom Nasional, jakarta.
- Kadir, A.B.A., Priharti, W., Samat, S.B., dan Dolah M.T. 2013. OSLD Energy Response Performance and Dose Accuracy at 24-1250 keV: Comparison with TLD-100H and TLD-100. AIP Conference Proceedings 1557, 108.
- Knoll, G. F. 2010. *Radiation Detection and Measurement*. Fourth Edition. John Wiley and Sons, Hoboken.
- Krane, Kenneth. S. 1992. Fisika Modern. John Wiley and Sons, Hoboken.
- Krane, Kenneth S. 2012. Modern Physics. Third Edition. John Wiley and Sons, Hoboken.
- Mandavia, H.C. 2015. Thermoluminescence Dosimetry Study of Feldspar Mineral Used as Base Material of Ceramic Tiles. International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS). ISSN: 2394-3661, Vol. 2, Issue 9.
- Murtono. 2008. Consep Cahaya dalam Al-Qur'an dan Sains. *Kaunia*. Vol. IV, No. 2, 147-158.
- Nazaroh, Pardi, dan Budiantari, C.T. 2018. Studi Respon TLD-700 (LiF: Mg, Ti) Terhadap Gamma (^{137}Cs) dan Beta [^{147}Pm , ^{85}Kr dan ^{90}Sr]. Prosiding Seminar Nasional. PTKMR-Batan, Jakarta.
- Jimenez, S.P., Gutierrez, J.M.L., Garduno, O.A.G., and deBuen, I.A. 2014. *Charakterization of TLD-100 Micro-Cubes for Use in Small Field Dosimetry*. XII Mexican Symposium on Medical Physics. AIP Conference Proceedings. 1621, 168.
- Podgorsak, E. B. 2005. Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students. Austria:IAEA
- Podgorsak, E. B. 2016. *Radiation Physics for Medical Physicists*. Third Edition. Springer International, Switzerland.
- Rahma, R., Widodo, C.S., dan Nazaroh. 2014. Tanggapan Thermoluminescent Dosimeter CaSO₄:Dy Terhadap Medan Radiasi Campuran Beta, Gamma

dan Medan Radiasi Campuran Beta Gamma. PTKMR BATAN. Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya, Malang.

- Reshes, G., Eliyahu, I., Oster, L., Horowitz, Y.S., Biderman, S., Ginsburg, D., Olko, P., Bilski, P., Swakon, J., and Horwacik, T. 2020. Comparison of Optical Absorption and Thermoluminescence in LiF: Mg, Ti (TLD-100) Following Irradiation by High Energy Proton and $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ Beta Rays. *Radiation Measurements* 137.
- Ridwan, M. 2003. Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Sistem Pelayanan Pemantauan Dosis Eksterna Perorangan. Jakarta.
- Rosyidi, H.S., Suseno, J.E., dan Arifin, Z. 2016. Sistem Monitoring Jarak Jauh Radiasi Gamma secara Realtime Berbasis Web Server. *Youngster Physics Journal*. Vol. 5, No. 4, Hal. 365-372.
- Shani, G. 2000. *Radiation Dosimetry: Instrumentation and Methods*. Second Edition. CRC Press, Florida.
- Sofyan, H., dan Kusumawati, D.D. 2012. Perbandingan Tanggapan Dosimeter Termoluminesensi LiF: Mg, Ti dan LiF: Mg, Cu, P terhadap Dosis Dalam Aplikasi Medis. *Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology*. Vol. 13, No.2, Agustus 2012 : 109-118.
- Tipler, P.A., and Llewellyn, R.A. 2012. *Modern Physics*. Sixth Edition, United States of Amerika, New York.
- Tsoulfanidis, N. 1995. *Measurement and detection of radiation*. Second Edition. Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- Tsoulfanidis, N., and Landsberger, S. 2015. *Measurement and detection of radiation*. Fourth Edition. CRC Press, New York.
- Turner, J.E. 2007. *Atoms, Radiation, and Radiation Protection*. Third Edition. USA: Oak Ridge.
- Verdianto, A. 2012. *Peningkatan Akurasi Proses Pembacaan Detektor TL pada TLD Reader Harsaw Model 3500*, (Tugas Akhir), Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok.
- Wulandari, Desi. 2011. *Analisis Cesium-137 dalam Sampel Cair Lingkungan dengan Spektrometri Gamma; Perbandingan Metode Preparasi Pengendapan dan Penguapan*. (Tugas Akhir), Kimia, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok
- Wurdiyanto, G., Sunaryati, S.I., Trijoko, S., 2005. Kajian Waktu Paro ^{90}Sr Menggunakan Alat Ukur Standar Dosimeter Farmer NE 2570/B dan NE2570/A. Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir-BATAN. ISSN 0216-3128.

Wurdiyanto, G., dan Holnisar. 2007. Metode Pengukuran Aktivasi Radionuklida Pemancar Beta ^{14}C , dan ^{90}Sr Berbentuk Luasan dengan Pencacah Proporsional 2π . Prosiding PPI, Batan, Yogyakarta.

