

**PENCIRIAN DOSIMETRI PENDARKILAU KACA
ZINK BOROSILIKAT DIDOP DENGAN
NEODIMIUM TRIOKSIDA**

HANISHA BINTI MOHD SHARIFF

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2024

**PENCIRIAN DOSIMETRI PENDARKILAU KACA
ZINK BOROSILIKAT DIDOP DENGAN
NEODIMIUM TRIOKSIDA**

oleh

HANISHA BINTI MOHD SHARIFF

**Tesis ini diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Sarjana Sains**

Mei 2024

PENGHARGAAN

Alhamdulillah syukur kehadiran Ilahi kerana dengan limpah dan izin-Nya, telah memberi peluang dan kekuatan untuk saya menyempurnakan kajian dan tesis sarjana dengan jayanya.

Ucapan terima kasih tidak terhingga khas saya tujukan buat penyelia yang juga mentor saya, Prof. Madya Dr. Iskandar Shahrim Bin Mustafa yang sentiasa memberi bimbingan, dorongan dan tunjuk ajar pada saya bagi menyempurnakan kajian dan tesis ini. Tunjuk ajar dari beliau memberikan saya panduan dan semangat untuk menumpu perhatian dengan baik sepanjang tempoh pengajian saya. Beliau sentiasa mempunyai jalan penyelesaian bagi setiap kemushkilan dan kekeliruan dalam fahaman saya menjadikan saya berada dalam skop dan landasan sebenar bagi kajian ini.

Sekalung terima kasih saya ucapkan pada Kementerian Pendidikan Malaysia (KPM) yang telah memberi ruang dan peluang untuk saya menyambung pengajian sarjana ini dengan skim Cuti Belajar Bergaji Penuh Dengan Biasiswa atau dikenali juga sebagai Hadiah Latihan Persekutuan (CBBPDP : HLP).

Tidak dilupakan ucapan terima kasih buat para pertugas makmal Pusat Pengajian Sains Fizik (PPSF) USM yang sentiasa memberikan kerjasama dan bantuan semasa saya menjalankan kerja makmal iaitu Encik Hazhar Hassan dari makmal fizik perubatan, Encik Mohd Rizal Bin Mohamad Rodin dari makmal biofizik dan Cik Ee Bee Choo dan Puan Mahfuzah dari makmal NOR (Nano-Optoelectronics Research And Technology Laboratory).

Teristimewa ucapan terima kasih buat anak saya Qyra Nur Qaseh Binti Abdul Rahman yang telah menjadi semangat dan sumber kekuatan untuk saya terus berjuang dalam menjalani kehidupan ini, terima kasih juga kerana sentiasa memahami waktu kerja saya pada usia yang masih muda terutamanya semasa kita menghadapi pendemik wabak convid-19 dan menjalani perintah kawalan pergerakan (PKP) dengan arahan bekerja dari rumah (*work from home*).

Sekalung ucapan terima kasih juga buat rakan-rakan yang sentiasa ada bersama saya sepanjang menjalankan kerja makmal.

JADUAL KANDUNGAN

PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH.....	viii
SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN.....	x
SENARAI LAMPIRAN.....	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xv
BAB 1 PENGENALAN	1
1.1 Pengenalan	1
1.2 Pernyataan Masalah	3
1.3 Objektif Kajian.....	6
1.4 Skop Kajian.....	6
1.5 Kepentingan Kajian.....	7
1.6 Reka Bentuk Tesis.....	7
BAB 2 SOROTAN LITERASI	8

2.1	Pengenalan.....	8
2.2	Dosimeter Radiasi	8
2.3	Dosimeter Pendarkilau Terma (TLD)	9
2.4	TLD Kaca.....	11
2.5	Ciri-ciri TLD	15
BAB 3	METODOLOGI	20
3.1	Pengenalan	20
3.2	Penghasilan SiO ₂	22
3.3	Fabrikasi TLD Kaca.....	24
3.4	Pengumpulan Data, Pengukuran Dan Analisis	31
BAB 4	ANALISIS KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	40
4.1	Pengenalan	40
4.2	Penghasilan Sampel TLD Kaca	40
4.3	Analisis Parameter Fizikal	42
4.3.1	Ketumpatan	42
4.3.2	Isipadu Molar	43
4.3.3	Ketumpatan Kandungan Oksigen.....	45
4.3.4	Nombor Atom Berkesan.....	47

4.4	Analisis Parameter Terma	52
4.5	Analisis Parameter Struktur	54
4.6	Analisis Parameter Radiasi	55
4.6.1	Tindakbalas TL.....	55
4.6.2	Lekungan Berbara	57
4.6.3	Sensitiviti Dan Kepekaan	59
4.6.4	Dos Minimum Yang Boleh Dikesan	67
4.6.5	Kebolegunaan Semula.....	68
4.6.6	Kepudaran Terma	70
BAB 5	KESIMPULAN.....	80
5.1	Kesimpulan	80
5.2	Cadangan Kajian Akan Datang.....	81
RUJUKAN.....		82
LAMPIRAN		
SENARAI PENERBITAN		

SENARAI JADUAL

	Halaman
Jadual 3.1	Variasi komposisi TLD kaca zink borosilikat.....28
Jadual 3.2	Variasi komposisi TLD kaca zink borosilikat dengan bahan dopan..30
Jadual 4.1	Bilangan Atom Oksigen Komposisi (Per Unit Gram)46
Jadual 4.2	Peratusan komposisi dalam setiap sampel49
Jadual 4.3	Perbandingan sensitiviti sampel TLD kaca dan TLD-100H..... 61
Jadual 4.4	Senarai sensitiviti relatif kajian semasa dan hasil kajian terdahulu ...62
Jadual 4.5	Dos minimum yang boleh dikesan.....68
Jadual 4.6	Senarai kepudaran hasil kajian semasa dan beberapa kajian terdahulu73

SENARAI RAJAH

	Halaman
Rajah 3.1	Gambaran keseluruhan proses eksperimen dan analisis kajian21
Rajah 3.2	Proses penghasilan SiO ₂ dari abu sekam padi.....24
Rajah 3.3	Relau yang digunakan untuk peleburan dan penyepuhlindungan.....25
Rajah 3.4	Acuan untuk fabrikasi sampel TLD kaca.....26
Rajah 3.5	Proses fabrikasi sampel TLD kaca melalui elati pelindungan lebur27
Rajah 3.6	Komposisi bahan kimia yang digunakan untuk fabrikasi sampel.....30
Rajah 3.7	HR-250AZ32
Rajah 3.8	STA 600034
Rajah 3.9	TOSHIBA DS-TA-5A dan susunan sampel di atas perspek.....37
Rajah 3.10	Harshaw 3500 dan penyepit vakum38
Rajah 4.1	Sampel TLD kaca asas tanpa bahan dopan yang terhasil41
Rajah 4.2	Sampel TLD kaca dengan bahan dopan neodimium trioksida42
Rajah 4.3	Ketumpatan43
Rajah 4.4	Isipadu Molar45
Rajah 4.5	Ketumpatan Kandungan Oksigen47
Rajah 4.6	Analisis EDX ZBSN050
Rajah 4.7	Analisis EDX ZBSN150
Rajah 4.8	Analisis EDX ZBSN251

Rajah 4.9	Analisis EDX ZBSN3	51
Rajah 4.10	Analisis EDX ZBSN4	52
Rajah 4.11	Nombor atom berkesan (Z_{eff})	52
Rajah 4.12	Suhu peralihan kaca, T_g	54
Rajah 4.13	Analisis XRD	55
Rajah 4.14	Tindakbalas (TL) terhadap dos	56
Rajah 4.15	Lengkungan berbara.....	58
Rajah 4.16	Normalisasi keamatan TL	59
Rajah 4.17	Kebolegunaan semula	70
Rajah 4.18	Kepudaran terma	72

SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

B ₂ O ₃	Boron Oksida
DSC	Mesin kalorimetri/kalorimeter pengimbasan pembezaan
DTA	Mesin Analisis Terma Pembezaan
EDX	Mesin Penyebaran Tenaga Sinar-X
ESD	Dos Permukaan Kemasukan
FTIR	Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier
IPS	Institut Pengajian Siswazah
LINAC	Mesin Pemecut Liner
MDD	Dos Minimum Yang Boleh Dikesan
MOSFET	Transistor Kesan Medan Semikonduktor Oksida Logam
Nd ₂ O ₃	Neodimium Trioksida
OSL	Pendarkilau Rangsangan Optik
RHA	Abu Sekam Padi
SiO ₂	Silika Dioksida
SSD	Jarak Sumber Radiasi ke Permukaan
STA	Penganalisis Terma Serentak

T_c	Suhu Pengkristalan
T_g	Suhu Peralihan Kaca
T_p	Suhu puncak pengkristalan
TGA	Penganalisis Termogravimetrik
TL	Pendarkilau Terma
TLD	Dosimeter Pendarkilau Terma
USM	Universiti Sains Malaysia
XRD	Mesin Serakkan Sinar-X
Z_{eff}	Nombor Atom Berkesan
ZnO	Zink Oksida

SENARAI LAMPIRAN

Lampiran A Gambarajah Proses Penghasilan SiO₂ Dari Abu Sekam Padi

Lampiran B Gambarajah Proses Fabrikasi Sampel TLD Kaca

Lampiran C Graf Dari XRD

Lampiran D Manual Pengiraan Ketumpatan HR-250AZ

PENCIRIAN DOSIMETRI PENDARKILAU KACA ZINK BOROSILIKAT DIDOP DENGAN NEODIMIUM TRIOKSIDA

ABSTRAK

Kajian ini dijalankan untuk mengkaji pencirian pada komposisi kaca zink borosilikat didop dengan neodimium trioksida ($\text{ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{:Nd}_2\text{O}_3$) yang terhasil terhadap kesesuaiannya untuk dijadikan sebagai bahan baru bagi dosimeter pendarkilau terma (TLD). Silika oksida (SiO_2) yang digunakan telah dihasilkan dari abu sekam padi (RHA) dengan ketulenan sebanyak 99.36%. Sampel TLD kaca difabrikasikan dengan stokiometri komposisi $(\text{Nd}_2\text{O}_3)_y [\text{ZnO}_{0.5} [(\text{B}_2\text{O}_3)_{0.4} (\text{SiO}_2)_{0.6}]_{0.5}]_{1-y}$ di mana $0.01 \leq y \leq 0.04$ mol% melalui proses pelindapan lebur pada suhu 1300 °C. Sifat amorfus kaca dianalisis menggunakan mesin Pembelauan Sinar-X (XRD) dengan nilai 2 theta bermula dari 5 °-100 ° dan didapati tiada sebarang pembentukan puncak kristal berlaku yang mengesahkan sifat amorfus kaca pada sampel TLD kaca yang difabrikasikan. Suhu peralihan kaca (T_g) bagi sampel TLD kaca yang terhasil adalah diantara 369.01 °C - 371.74 °C didapati dari analisis terma menggunakan STA. Nombor atom berkesan (Z_{eff}) ditentukan dari dapatan pecahan berat oleh mesin EDX dan nilai Z_{eff} sampel TLD kaca yang terhasil adalah 20.44-21.60. Mesin Sinar-X dan mesin pembaca TLD (Harshaw Model 3500) digunakan untuk menentukan sifat dosimetri yang terdapat pada sampel TLD kaca terhasil. Hasil dari analisis mendapati bahawa sampel TLD kaca mempunyai kelinearan yang baik dengan tindakbalas TL terhadap dos. Selepas penyimpanan selama 30 hari pada suhu bilik dan di dalam bekas legap cahaya, sampel TLD kaca mengalami penyusutan sebanyak 45.22% - 59.37% dari nilai asal. Sampel TLD kaca juga diuji kebolegunaan semula dengan melalui proses penyepuhlindapan, dedahan radiasi dan pembacaan tindakbalas TL sebanyak 6 kali ulangan dan didapati

kesemua bacaan berada dalam lingkungan julat perbezaan yang sangat kecil. Penelitian dari 6 jenis analisis terhadap dedahan radiasi, didapati bahawa sampel TLD kaca dengan komposisi $(\text{Nd}_2\text{O}_3)_{0.03} [\text{ZnO}_{0.5} [(\text{B}_2\text{O}_3)_{0.4} (\text{SiO}_2)_{0.6}]_{0.5}]_{0.97}$ merupakan komposisi terbaik yang sesuai untuk dijadikan sebagai TLD.

THERMOLUMINESCENCE DOSIMETRIC CHARACTERISTICS OF ZINC BOROSILICATE GLASS DOPED WITH NEODYMIUM TRIOXIDE

ABSTRACT

This research is to study dosimetric characteristics of fabricating zinc borosilicate glass doped with neodymium trioxide ($\text{ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{:Nd}_2\text{O}_3$) to check the suitability as a new candidate material for Thermoluminescence Dosimeter (TLD). Oxide silicate (SiO_2) used are produce from rice husk ash (RHA) with 99.36% purity. Glass TLD sample was fabricated according to stoichiometry composition of $(\text{Nd}_2\text{O}_3)_y [\text{ZnO}_{0.5} [(\text{B}_2\text{O}_3)_{0.4} (\text{SiO}_2)_{0.6}]_{0.5}]_{1-y}$ where $0.01 \leq y \leq 0.04$ mol% via melt quenching method at a temperature of 1300 °C. Amorphous characteristics of the sample were determined using X-Ray Diffraction (XRD) with 2 theta start from 5° - 100° and the result showed no sign of sharp crystalline peak which proven the samples fabricated were amorphous. Glass Transition Temperature (T_g) for glass TLD sample produce are between 369.01 °C - 371.74 °C from thermal analysis using STA. Effective atomic numbers (Z_{eff}) were determined using fractional weight value from EDX and the samples Z_{eff} are in the range of 20.44 - 21.60. General X-ray machine and Harshaw TLD Reader were used to determine the dosimetric characteristic of the glass TLD samples. From the analysis, glass TLD samples showed good linearity with TL response and dose. After being kept for 30 days in an opaque case and at room temperature, glass TLD samples facing 45.22%-59.37% fading from their original value. Glass TLD samples also have been a test of their reproducibility ability for 6 cycles of annealing, irradiate and reading process and the reading showed a small range of different. Thoroughness from 6 types of analysis on radiation exposure, it was found that the glass

TLD sample with the composition of $(\text{Nd}_2\text{O}_3)_{0.03} [\text{ZnO}_{0.5} [(\text{B}_2\text{O}_3)_{0.4} (\text{SiO}_2)_{0.6}]_{0.5}]_{0.97}$ is the best composition that is suitable to be used as TLD.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan

Radiasi bukan sesuatu yang asing sejak dahulu. Secara global radiasi terdapat di mana sahaja samaada disedari atau tanpa disedari. Pada masa kini, penggunaan sumber radiasi dalam teknik radioterapi moden dan radiologi diagnostik digunakan secara meluas. Alat pengukuran yang digunakan dikenali sebagai dosimeter radiasi (Zahidi, et al., 2017). Terdapat 2 jenis dosimeter iaitu dosimeter aktif dan dosimeter pasif. Dosimeter aktif adalah dosimeter yang memberikan maklumat atau bacaan radiasi yang diterima dengan segera pada masa tersebut, manakala dosimeter pasif pula memerlukan sedikit masa dan hanya memberikan bacaan selepas itu. Dosimeter aktif yang terdapat dipasaran dan digunakan secara meluas antaranya adalah kebuk pengionan (IC) dan Transistor Kesan Medan Semikonduktor Oksida Logam (MOSFET), manakala dosimeter pasif pula antaranya terdiri daripada dosimeter filem, Dosimeter Pendarkilau Ransangan Optik (OSLD) dan dosimeter pendarkilau terma (TLD).

1.1.1 Dosimeter Pendarkilau Terma (TLD)

Dosimer Pendarkilau (TLD) telah digunakan secara meluas. Antaranya ialah pemantauan radiasi persekitaran, yang juga meliputi dos penyinaran berskala besar dalam industri dan juga dalam bidang perubatan untuk pengukuran dos sebenar yang diterima pesakit semasa rawatan radioterapi (Alqahtani, et al., 2020). Dosimetri merupakan satu kaedah pengukuran dos terserap dan dos setara yang terhasil daripada sinaran mengion (Zahidi, et al., 2017).

Terdapat pelbagai variasi TLD dari segi komposisi, saiz, bentuk dan juga keadaan fizikal. Komposisi TLD dipasaran, lazimnya adalah terdiri daripada variasi

Litium Florida (LiF), Kalsium Florida (CaF_2), Litium Borat ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) dan Kalsium Sulfat (CaSO_4). Manakala dari segi bentuk, TLD boleh didapati dalam bentuk cip, kiub mikro, rod bersegi/berpetak, rod silinder, ceper/cakera dan cip tidak seragam/sekata. TLD juga boleh didapati dalam serbuk. Secara komersial, TLD 100 seringkali menjadi pilihan utama untuk digunakan. Hal ini adalah kerana TLD-100 mempunyai saiz yang kecil dan mudah untuk diuruskan. Selain itu, TLD-100 juga mempunyai nilai sensitiviti dan kepekaan yang baik dalam julat dos yang besar dan juga pada nilai dos yang kecil.

1.1.2 Dosimeter Pendarkilau Terma Kaca

Menurut kajian terdahulu, kaca boleh dijadikan dosimeter dengan menggunakan bahan dan komposisi tertentu (Nurul Fadhlina, 2014; Ke Zhenkun, et al., 2020) yang bersesuaian dengan keperluan kegunaannya. Kelebihan menggunakan kaca sebagai dosimeter adalah kerana ia boleh dihasilkan dalam saiz yang kecil seperti gentian kaca jika dibandingkan dengan TLD cakera mahupun TLD cip fosfor seperti TLD-100. TLD cip secara umumnya mempunyai dimensi meliputi julat milimeter. Hal ini menjadikan TLD ini lebih mudah digunakan secara klinikal terhadap pesakit dan pekerja radiasi berbanding TLD yang bersaiz besar dan lebih tebal. Selain itu, secara teknikal, kebanyakan mesin pembaca TLD biasa (bukan yang dibuat khas) juga mempunyai saiz plancet yang berdimensi dalam julat milimeter sahaja. TLD kaca juga mempunyai kelebihan dari segi kos pembuatan, di mana ianya hanya melibatkan kos yang rendah untuk dihasilkan dan dapat difabrikasikan daripada bahan yang mudah diperolehi (Alqahtani, et al., 2020).

1.1.3 Kaca Borosilikat, Zink dan Neodimium Trioksida sebagai TLD

Kaca Borosilikat memiliki sifat termal atau haba dan rintangan mekanikal yang tinggi, sehubungan itu ia telah digunakan dalam pembuatan perkakasan dan peralatan makmal, dijadikan gentian kaca fiber, dijadikan kaca pengedap, dijadikan sebagai penebat haba, digunakan dalam bidang farmaseutikal, digunakan dalam pelumpuhan sisa nuclear (Ke Zhenkun, et al., 2020) , digunakan untuk mengvitrifikasi sisa radioaktif aras tinggi iaitu menjadikannya berubah kepada bahan berkaca melalui pemanasan dan pelakuran (Peng, et al., 2019).

Kajian lampau dijalankan terhadap zink sebagai salah satu elemen di dalam fabrikasi kaca telah mendapati bahawa zink oksida adalah pilihan yang baik sebagai bahan pengubah suai kaca untuk menstabilkan dan mengukuhkan sesuatu sistem kaca (Gaafar & Marzouk, 2017).

Unsur bumi nadir (RE) telah dikenalpasti akan menambahkan kecekapan sistem kaca apabila dijadikan bahan dopan oleh beberapa kajian lalu (Azlan & Halimah, 2018). Neodimium merupakan unsur bumi nadir dari kumpulan lantanida yang terdiri daripada unsur yang memiliki nombor atom antara 58-71 dalam jadual berkala, dimana Neodimium mempunyai nombor atom 60 dengan simbol Nd. Neodimium oksida digunakan secara meluas dalam amplifiler jalur lebar dan kaca laser (Linganna, et al., 2016). Julat pencaran yang besar dari sinar ultra ungu sehingga sinar infra merah termasuk cahaya nampak merupakan salah satu sifat unik yang dimiliki oleh Neodimium oksida.

1.2 Pernyataan Masalah

Ciri penting yang perlu ada pada TLD yang baik adalah mempunyai nombor atom berkesan (Z_{eff}) yang setara atau hampir sama dengan sel tisu iaitu 7.40,

mempunyai tahap kepekaan yang tinggi dengan pencaran TL yang tinggi pada dos radiasi sangat rendah, mempunyai pencaran TL mudah dengan puncak lengkungan berbara mudah untuk dikenali, mempunyai tindakbalas TL yang sangat stabil sepanjang masa dengan kadar pudar yang boleh diabaikan dan mempunyai tindakbalas linear pada julat dos yang besar (Sudha D. Kamath, 2020; Y.S.M. Alajerami, 2013). Namun TLD sedia ada dipasaran kini dari variasi TLD-100 hingga variasi TLD-900 masih tidak dapat memenuhi kelima-lima ciri tersebut pada hanya 1 jenis TLD. Selain itu, TLD sedia ada juga mempunyai kelemahan yang berpunca daripada sifat dan ciri bahan yang terkandung di dalamnya. Antaranya ialah nilai suhu takat lebur yang rendah dan kepekaan atau sensitiviti yang tinggi pada sinar cahaya ultra ungu. Hal ini juga, menjadikan sesetengah TLD lebih sesuai untuk kegunaan terhadap pengukuran tertentu sahaja.

Hasil rumusan dari kajian lalu mendapati, secara ringkasnya TLD dapat dibahagikan kepada 2 kelompok iaitu TLD yang mempunyai nombor atom berkesan setara sel tisu atau TLD yang mempunyai kepekaan tinggi. TLD yang mempunyai nombor atom berkesan, Z_{eff} yang setara dengan sel tisu mempunyai kepekaan dan sensitiviti yang rendah. Manakala TLD yang mempunyai kepekaan dan sensitiviti yang tinggi pula mempunyai nombor atom berkesan yang tinggi dan tidak setara dengan sel tisu (Hassan, 2017). Oleh yang demikian, kajian ini lebih bertumpu pada penghasilan TLD kaca dengan komposisi baharu yang lebih peka dan mempunyai nilai sensitiviti yang baik.

Komposisi bahan yang membentuk TLD juga memainkan peranan dalam mempengaruhi sifat TLD yang terhasil. Sebahagian daripada TLD mempunyai kelemahan yang disebabkan oleh sifat bahan yang terkandung di dalamnya. Sebagai contoh, TLD-200 (Kalsium Fluorida Dyprosium), TLD-500 (Aluminium oksida), dan

TLD-900 (Kalsium Sulfat Dysprosium) adalah sangat sensitif pada sinar cahaya Ultra Unggu (UV). Kesemua bahan ini haruslah digunakan tanpa kehadiran sinar cahaya ultra ungu dan disimpan dalam bekas legap yang tidak boleh ditembusi oleh cahaya. Manakala bagi TLD-400 (Kalsium Florida Mangan) pula, sensitiviti terhadap sinar cahaya ultra ungu adalah sederhana. Selain itu, bagi TLD-100H (LiF: Mg, Cu, P) yang mempunyai komposisi asas hampir sama dengan TLD-100 namun mempunyai komposisi dan bahan dopan yang berbeza, had suhu maximum yang boleh dikenakan padanya ialah sebanyak 240 °C sahaja yang menyebabkan TLD ini tidak dapat digunakan pada suhu tinggi semasa proses pembacaan dijalankan (Scientific, 2020). Oleh itu, kajian ini menumpukan pada penggunaan Silika Oksida (SiO_2) sebagai bahan utama fabrikasi kerana Silika Oksida mempunyai suhu takat lebur yang tinggi selain dikenali mempunyai daya ketahanan termal dan mekanikal yang baik apabila digabungkan bersama Boron Oksida (B_2O_3) yang membentuk kaca Borosilikat.

Selain itu, setiap variasi TLD mempunyai kelemahan dan kekurangan tersendiri. Sebagai contoh, walaupun TLD-100 digunakan hampir dalam semua keadaan kerana mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap dos radiasi yang rendah, dan juga kerana ia mempunyai nombor atom berkesan ($Z_{\text{eff}} = 8.14$) hampir setara dengan sel tisu ($Z_{\text{eff}} = 7.40$), namun TLD ini mempunyai lengkungan berbara yang sangat kompleks dan memerlukan proses penyepuhlidapan yang sangat rumit. Dalam kebanyakan kes, ia juga perlu menjalani proses pra-penyepuhlidapan selepas radiasi iaitu sebelum pembacaan nilai radiasi dijalankan, bagi menghapuskan puncak suhu rendah yang akan memberikan ralat (*noise*) pada bacaan dos sebenar kerana ianya menyusut pada suhu bilik (J.Azorin, et al., 2002). Oleh yang demikian, kajian ini dijalankan bagi menghasilkan TLD yang lebih mudah untuk diuruskan dan mempunyai nilai susut yang rendah.

1.3 Objektif Kajian

Objektif kajian ini adalah untuk menghasilkan sampel TLD kaca lutsinar dengan komposisi zink borosilikat didop dengan neodimium trioksida ($\text{ZnO-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{: Nd}^{3+}$) yang mempunyai daya ketahanan tinggi terhadap terma dan mekanikal, lebih peka dengan mempunyai sensitiviti yang baik dan MDD yang rendah serta sesuai digunakan bagi julat dos diagnostik.

1.4 Skop Kajian

Kajian ini berfokuskan pada penghasilan TLD berasaskan kaca dengan komposisi $(\text{Nd}_2\text{O}_3)_y [\text{ZnO}_x[(\text{B}_2\text{O}_3)_{0.4} (\text{SiO}_2)_{0.6}]]_{1-x}]_{1-y}$. Proses fabrikasi sampel TLD kaca adalah seratus peratus (100%) menggunakan teknik pelindapan lebur. Sampel yang terhasil menjalani pengukuran parameter radiasi menggunakan sumber sinar-x sepenuhnya dari mesin sinar-x TOSHIBA DS-TA-5A dengan julat dedahan dos diagnostik, pembaca TLD Harshaw 3500 dengan aliran gas nitrogen serta perisian WinREMS. Analisis pengukuran parameter radiasi melibatkan tindakbalas TL yang menunjukkan kelinearan, lengkungan berbara yang menunjukkan suhu puncak keamatan antara 200-300 °C (N. Can, 2021), sensitiviti yang tinggi terhadap nilai dos rendah (diagnostik), MDD yang didefinisikan sebagai nilai minimum yang boleh diambil kira terhadap dapatan bacaan dosimeter yang ketara perbezaannya (pada selang kebolehpercayaan 95%) dengan bacaan latarbelakang dosimeter tersebut (IEC, 2000), kebolegunaan semula terhadap beberapa kitaran yang sama dan kepudaran terma dalam selang masa penyimpanan 30 hari. Kesemua sampel juga akan menjalani pengukuran bagi mengenalpasti sifat termal seperti T_g bagi mengetahui suhu yang sesuai untuk proses penyepuhlindapan, pengujian terhadap struktur untuk memastikan

sampel adalah kaca amorfus lutsinar dan juga penilaian ciri-ciri fizikal bagi menghitung nilai nombor atom berkesan yang setara dengan keperluan dosimeter.

1.5 Kepentingan Kajian

Penghasilan TLD dengan komposisi baru berasaskan kaca ini, akan menyumbang pada penemuan komposisi TLD yang lebih peka (nilai sensitiviti yang lebih baik, nilai dos minimum yang boleh dikesan lebih kecil/rendah) dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap radiasi berbanding sesetengah komposisi lain TLD. Selain itu, dalam laporan kajian terdahulu, TLD kaca juga telah dikenalpasti mempunyai nilai susut/pudar yang minimum dan lebih mudah diuruskan (Bakhsh, 2018). Ini menjadikan TLD kaca dengan komposisi baru yang difabrikasi dapat mengatasi sebahagian kekurangan TLD lain yang berada di pasaran pada masa kini. (J Azorin, et al 2002).

1.6 Reka Bentuk Tesis

Tesis ini mengandungi 5 bab yang merangkumi pengenalan, sorotan literasi, metodologi, analisis keputusan dan perbincangan dan juga kesimpulan. Bab 1 merupakan pengenalan yang menyatakan tentang pernyataan masalah, objektif kajian, skop kajian dan kepentingan kajian. Bab 2 pula merupakan catatan kajian terdahulu yang berkaitan dengan kajian ini dalam sorotan literasi. Bagi bab 3 yang merupakan metodologi menjelaskan secara terperinci setiap langkah dan tatacara kajian ini dijalankan. Sementara itu, bab 4 pula akan menghuraikan hasil dapatan kajian dalam analisis keputusan dan perbincangan. Bab terakhir merupakan bab 5 yang tercatat kesimpulan keseluruhan kajian ini.

BAB 2

SOROTAN LITERASI

2.1 Pengenalan

Bab 2 menjelaskan dan membincangkan tentang dosimeter pendarlikau terma (TLD) dari segi penggunaanya dan penciriannya secara dapatan teori dan juga hasil kajian terdahulu. Secara umumnya bab ini terbahagi kepada 4 bahagian. Bahagian pertama akan menyatakan pengenalan tentang dosimeter radiasi. Bahagian kedua akan menjelaskan lebih terperinci dan mendalam tentang dosimeter pendarkilau terma (TLD). Bahagian ketiga akan memfokuskan tentang TLD kaca dari hasil dapatan kajian terdahulu dan bahagian keempat akan menjelaskan tentang ciri-ciri penting yang perlu ada pada sesuatu TLD.

2.2 Dosimeter Radiasi

Dosimeter radiasi merupakan suatu alat untuk mengukur secara langsung atau tidak langsung jumlah dos terserap atau dos setara apabila berlaku radiasi pengionan (Bakhsh, 2018; Zahidi, et al., 2017). Terdapat beberapa jenis dosimeter radiasi yang sering digunakan sama ada dosimeter radiasi yang dikategorikan sebagai dosimeter aktif atau dosimeter yang dikategorikan sebagai dosimeter pasif.

Dosimeter radiasi aktif adalah merupakan dosimeter radiasi yang memberikan nilai bacaan atau maklumat bacaan radiasi yang diterima secara langsung atau dengan kadar segera semasa penyinaran radiasi berlaku. Dosimeter ini juga kadang kala dilengkapi dengan fungsi tambahan seperti penggera yang akan memberikan amaran apabila nilai radiasi mencecah nilai paras bahaya (radiasi perubatan atau radiasi kawalan makmal). Antara dosimeter aktif yang terdapat di pasaran dan seringkali digunapakai

adalah kebuk pengionan (IC), Transistor Kesan Medan Semikonduktor Oksida Logam (MOSFET), meter ukur dan dosimeter peribadi elektronik (EPD).

Dosimeter radiasi yang dikategorikan sebagai dosimeter pasif pula merupakan dosimeter radiasi yang tidak memberikan bacaan secara langsung (masa sebenar) malah sebaliknya akan menyimpan nilai bacaan radiasi yang terhasil dari penyinaran sumber radiasi dan nilai bacaan tersebut hanya akan diperolehi apabila proses pembacaan dilakukan dengan menggunakan mesin pembacaan khas untuk dosimeter berkenaan. Dosimeter ini biasanya digunakan apabila nilai radiasi tersebut tidak diperlukan secara segera atau nilai radiasi perlu direkodkan untuk tempoh masa tertentu seperti seminggu atau sebulan terutamanya oleh pekerja radiasi atau radiasi persekitaran. Selain itu, dosimeter ini juga tidak perlu dipantau secara berterusan. Antara dosimeter pasif yang seringkali dijadikan pilihan untuk digunakan adalah terdiri daripada dosimeter filem, Dosimeter Pendarkilau Ransangan Optik (OSLD) dan dosimeter pendarkilau terma (TLD).

2.3 Dosimeter Pendarkilau Terma (TLD)

Suatu pepejal yang boleh digunakan untuk mengukur dos radiasi, dikenali sebagai dosimeter pendarkilau terma (TLD). Kemalangan atau kebocoran radiasi dalam loji janakuasa nuklear, dalam bidang industri, penyimpanan dan pelupusan sisa radioaktif dan perubatan di hospital, tidak terkecuali menggunakan TLD bagi tujuan pemantauan dan keselamatan (Sudha D. Kamath, 2020). Setiap penggunaan TLD tersebut memerlukan TLD yang berkecekapan baik dengan mempunyai lengkungan berbara yang mudah dikenalpasti, mempunyai kelinearan yang baik terhadap dos radiasi yang dikenakan, mempunyai nilai keputaran yang rendah, mempunyai sensitiviti dan kepekaan yang baik, mempunyai nombor atom berkesan menyamai nilai sel tisu

manusia dan mampu untuk kekal stabil dalam keadaan persekitarannya (Sudha D. Kamath, 2020). Tambahan lagi, bagi memenuhi kriteria sebagai TLD, sesuatu bahan pejal tersebut haruslah mudah untuk dikendalikan dan tidak memerlukan kos yang tinggi (Sudha D. Kamath, 2021).

TLD merupakan salah satu dosimeter yang digunakan secara meluas dengan kos yang rendah sebagai dosimeter radiasi (Y.S.M. Alajerami, 2013). Ianya seringkali digunapakai dalam tujuan memantau jumlah dos terkesan. Teknik radioterapi moden terutamanya dalam pengimejan radiologi pada masa kini menggunakan TLD bagi menentukan dos sebenar yang diterima oleh pesakit semasa menjalani rawatan (Abdul Aziz, et al., 2017; Rukiah & Norfadilah, n.d.).

Pemilikan tisu yang hampir sama rata bagi TLD dan juga saiznya yang kecil membolehkan ia melaksanakan pengukuran bagi dos terserap dalam radiologi diagnostik mahupun dalam rawatan radioterapi. Tambahan pula ia adalah kaedah dosimetri yang baik kerana tidak memerlukan sebarang sambungan kabel semasa pengukuran dan tanpa-toksik dalam penggunaannya. Jumlah dos yang diterima oleh pesakit bagi tiap dedahan sinaran pengionan boleh ditentukan dengan pengukuran yang diambil pada dos permukaan masuk (ESD) dan dos terserak keluar (Ng, 1998; Ahmad Shariff Hambali, 2009). Dengan cara ini dos boleh diukur dalam kedudukan yang susah dan berbeza tanpa perlu mengubah maklumat diagnostik yang terlibat.

TLD sedia ada di pasaran pada kebiasaannya diperbuat dari bahan kristal, seramik dan fosforus. Walaupun TLD dari variasi ini boleh menghasilkan keluaran cahaya yang tinggi per unit dos terserap, namun ianya mempunyai masalah dengan nilai kepudaran yang tinggi (lebih cepat kehilangan isyarat), ketepuan pada dos yang lebih tinggi, kesukaran dalam proses penyepuhlindapan untuk penggunaan semula dan alahan

kepada kelembapan. Namun begitu, bagi pengukuran radiasi, pengukuran terhadap tahap pendarkilau merupakan teknik yang popular (Sudha D. Kamath, 2020).

Sehingga kini pelbagai penyelidikan telah dijalankan untuk mencari komposisi baharu untuk dijadikan TLD yang lebih sempurna berbanding TLD yang sedia ada di pasaran (D.A Bradley, et al., 2012). Penyelidikan yang dijalankan oleh Sudha D. Kamath adalah untuk mencari alternatif bahan bersifat amorfus, lutsinar dan berkeadaan pepejal seperti kaca yang boleh mengatasi kelemahan diatas tanpa menjejaskan kualiti utama TLD (Sudha D. Kamath, 2020).

Antara komposisi yang mendapat perhatian para penyelidik adalah TLD berasaskan kaca dengan pelbagai variasi kaca dari kaca tulen yang baru difabrikasikan sehingga kaca kitar semula daripada pelbagai sumber.

2.4 TLD Kaca

Kaca terbentuk apabila cairan panas disejukkan dengan pantas tanpa sebarang pembentukan kristal. Ianya merupakan bahan pepejal yang sekata, mempunyai permukaan yang licin, bersifat amorfus (Z.-Q. Hu, 2017) dan lutsinar yang boleh dipastikan dengan analisis XRD. Kaca juga boleh dibentuk dan bersifat kuat serta tahan hakis seperti kaca jenis borosilikat yang seringkali digunakan sebagai bahan pembuatan peralatan makmal. Silika merupakan bahan utama pembentukan kaca, namun begitu terdapat beberapa jenis kaca lain yang juga mempunyai kelebihan dan kelemahan tersendiri (shelby, 2005). Oleh kerana sifat unik yang dimiliki oleh kaca, ianya tidak terkecuali menjadi bahan kajian untuk penghasilan TLD kaca. Menambahkan lagi pada keunikan dan kelebihan yang ada pada kaca ialah tahap kekerasan kaca, isyarat yang stabil dalam jangka masa panjang, ketahanan pada bahan kimia dan mempunyai kelinearan terhadap julat dos yang besar (Sudha D. Kamath, 2020).

Selain kaca jenis silika, kaca jenis borat (Ismail Rammadhan, 2017) juga mendapat perhatian penyelidik untuk mengkaji sifat pendarkilau dan ciri dosimeter yang terdapat pada kaca tersebut. Nombor atom berkesan bagi B_2O_3 ialah 7.35 dan nilai ini sangat hampir dengan nilai sel tisu manusia iaitu 7.42 (Sudha D. Kamath, 2020). Boron Oksida B_2O_3 ialah bahan pembentuk kaca yang boleh membentuk kaca dengan mudah pada suhu lebur yang rendah. Tetapi kaca borat tulen, mempamerkan tindakbalas TL lemah kerana puncak dosimetrinya juga rendah untuk mengekalkan isyarat radiasi pada suhu bilik. Bagi mengatasi masalah ini, bahan pengubahsuaian kaca yang sesuai akan ditambah ke dalam sistem kaca borat seperti flourida atau oksida alkali, unsur bumi nadir dan ion-ion yang lain. LiF ialah flourida alkali yang biasa digunakan dalam pembaca TL sebagai 'sistem dosimetri rutin' untuk dos 10^{-4} - 10^3 Gy (Sudha D. Kamath, 2021). Kaca borat dikata merupakan kaca asas yang baik kerana boleh didopkan dengan pelbagai jenis bahan dopan seperti unsur bumi nadir dan unsur berlogam. Kebanyakan penyelidikan awal dahulu terhadap kaca borat, telah memfokuskan pada campuran beberapa jenis unsur logam (alkali) sebagai unsur pengubahsuaian kaca dan unsur logam lain atau unsur bumi nadir sebagai bahan dopan dan co-dopan untuk menambahbaik kestabilan dan meningkatkan kepekaan sifat pendarkilau sesuatu dosimeter (Y.S.M. Alajerami, 2013).

Kumpulan penyelidik serata dunia telah menjalankan kajian dan penyelidikan tentang unsur berkaca mampu untuk dijadikan TLD dengan komposisi yang dan unsur tertentu (Nurul Fadhlina, 2014). Telah banyak kajian dijalankan bagi menghasilkan TLD model baru dan menambahbaik kepekaan TL dengan unsur dan komposisi yang baru (Ariffin, 2015). Silika oksida pelbagai variasi, pelbagai sumber dan pelbagai bahan dopan dijadikan subjek kajian.

Terdapat beberapa kajian yang menggunakan silika dari kaca komersial untuk menjadi unsur baru TLD dengan mengambil kira keupayaan TL setiap satu. Antara kajian lalu ialah penggunaan silika dari gentian fiber telekomunikasi (D.A Bradley, et al., 2012), kaca gentian optik dengan dopan germanium (N. Mohd Noor, 2020; G. Amouzad Mahdiraji, 2015), silika dari 10 jenis manik bewarna yang dikeluarkan oleh syarikat TOHO Jepun (K. Ley, et al., 2020) dan penggunaan silika kaca fiber tulen (Ariffin, 2015).

Kaca Borosilikat pula yang terkenal dalam pembuatan perkakasan perubatan, seringkali dikaji sebagai satu komposisi kaca yang berpotensi untuk dijadikan TLD dengan pelbagai unsur tambahan samada sebagai bahan dopan dan co-dopan. Antaranya adalah penggunaan kaca borosilikat sebagai variasi TLD yang baru (Alqahtani, et al., 2020; T.S. Wang, et al., 2020). Terdapat juga kajian tentang kaca komposisi borosilikat dengan tambahan sodium (Peng, et al., 2019), litium florida (Szymon Świontek, et al., 2020), aluminium oksida (Anxian Lu, et al., 2018) dan zink litium bersama unsur bumi nadir (A. Saidu, 2018).

Kaca zink borosilikat juga menjadi sebahagian kajian untuk mencari TLD kaca yang baru. Zink Oksida (ZnO) merupakan sejenis oksida yang terkenal dengan sifat ketahanan dan lasak, ia juga tidak larut dalam air menjadikannya bahan kimia kaca yang mempunyai nilai ketahanan dan kelasakkan yang tinggi (Sudha D. Kamath, 2020). Zink Oksida (ZnO) sebagai suatu co-dopan telah menambahkan keamatan TL, sensitiviti juga kepekaan dan kestabilan TLD tersebut (Sudha D. Kamath, 2021). Terdapat kajian tentang komposisi kaca zink borosilikat dengan kuprum oksida sebagai bahan dopan (Bahra Mohammed, et al., 2017) dan Stanik Oksida sebagai bahan co-dopan (Bahra Mohammed, et al., 2018). Terdapat juga kajian dimana zink menyumbangkan 0.6mol% dalam komposisi tersebut dan menghasilkan sistem kaca seramik zink borosilikat

bersama dengan beberapa bahan dopan berbeza (Zohreh Hamnabard, et al., 2012; Mitang Wang, et al., 2019).

Penambahan bahan dopan dari oksida bumi nadir ke dalam sistem kaca telah mengenalpasti bahawa unsur bumi nadir berupaya untuk menambahkan kecekapan pada sistem kaca tersebut apabila dijadikan sebagai bahan tambahan mahupun dopan. Ion dari unsur bumi nadir dalam keadaan trivalen bertindak sebagai pengaktif pendarflour apabila didopkan dalam sistem kaca dan mempertingkatkan pencaran pendarkilau terma kaca tersebut (Sudha D. Kamath, 2020). Ion dari kumpulan bumi nadir lantanida yang dijadikan dopan bertindak sebagai bahan pengaktifan dalam sistem kaca dan meningkatkan keamatan pencaran. Ianya bersaing dengan kecacatan intrinsik dalam rangkaian (dalam sistem kaca) untuk memerangkap elektron (lubang yang terbentuk) semasa penyinaran radiasi dikenakan (Sudha D. Kamath, 2021). Beberapa kajian keatas dopan neodimium mendapati ianya berpotensi untuk digunakan dalam optoelektronik. Kajian telah mendapati pengkutuban elektrik bagi kaca borotelurit bertambah dengan bertambahnya kepekatan neodimium sebagai dopan (Azlan, et al., 2019). Penambahan neodimium oksida ke dalam sistem kaca zink borotelutrit juga telah mengurangkan jurang jalur cahaya, menambah pengkutuban elektronik, mengurangkan ciri-ciri pelogaman dan merupakan bahan dopan yang baik untuk meningkatkan kecekapan (Y.Azlina, et al., 2020). Suatu kajian lain pula mendapati pendopan zarah nano neodimium dalam kaca borotelurit menghasilkan sistem kaca yang sangat berpotensi dalam bidang laser dan amplifier fiber (Azlan & Halimah, 2018).

Telah diketahui umum juga, bahawa ion bumi nadir menghasilkan pendarkilau yang berkeamatan tinggi dalam julat ultraunggu, cahaya nampak dan inframerah (Y.Azlina, et al., 2020). Kajian terhadap keberkesanan penggunaan neodimium oksida dalam menghasilkan kaca yang bersifat pendarkilau dan berupaya dijadikan TLD kaca

telah dilaksanakan oleh beberapa penyelidikan terdahulu. Antaranya penggunaan neodimium bersama natrium strontium borat (Supreet Pal Singh, 2020) dan silika gentian optik komersial (M.A. Saeed, 2014).

2.5 Ciri-ciri TLD

Ciri-ciri TLD yang baik adalah amat penting bagi menentukan setiap sampel kajian yang terhasil dapat berfungsi seperti TLD atau berupaya untuk dijadikan TLD. Secara umum kepekaan (kejituan/ketepatan), sambutan terhadap sinaran dan tenaga sinaran, sifat kepudaran, kebolehulangan lengkungan berbara (Ramli, 1988) merupakan aspek penting yang perlu ada pada sesuatu TLD.

Tindakbalas TL terhadap dos penyinaran yang dikenakan merupakan salah satu ciri terpenting yang perlu ada pada sesuatu TLD (Bahra Mohammed, et al., 2018). TLD yang baik akan menunjukkan tindakbalas linear terhadap dos yang dikenakan terhadapnya. Lebih besar julat kelinearan, menunjukkan lebih tinggi potensi untuk TLD tersebut digunakan dalam perlbagai jenis pengukuran radiasi (Sudha D. Kamath, 2020). Bagi TLD baru pula, kelinearan tersebut menunjukkan bahawa komposisinya sesuai dan berupaya dijadikan TLD. Nilai kolerasi, R^2 yang tinggi membuktikan kelinearan yang baik terhadap tindakbalas dos dalam julat dos tersebut sekaligus menunjukkan bahawa perangkap elektron terserak secara sekata dalam sampel atau TLD tersebut (E. Salama, 2017; Soliman HA, 2018; Ashok Kumar, 2021).

Sensitiviti juga merupakan ciri penting bagi sesuatu TLD kerana sensitiviti menentukan kepekaanya. Ianya bergantung pada beberapa faktor dan salah satu darinya adalah nilai dos radiasi yang dikenakan ke atas TLD terlibat (Bakhsh, 2018; Azadeh Refaei, 2014). Sensitiviti atau kepekaan TLD didifinisikan sebagai tindakbalas pendarkilau terma bersepadu per unit jisim bahan TLD tersebut per unit dos radiasi yang

terserap dalam pengiraan $\text{Cg}^{-1}\text{Gy}^{-1}$ (A. Saidu, 2018). Selain dihitung dengan menggunakan rumus keamatan TL per jisim per dos, sensitiviti juga boleh ditentukan dari kecerunan graf keamatan TL terhadap beberapa nilai dos penyinaran radiasi yang dikenakan kerana ia juga kadangkala disebut sebagai nisbah keamatan TL per dos yang dikenakan. Bagi membandingkan sensitiviti antara suatu komposisi TLD baru dengan komposisi yang lain atau dengan TLD sedia ada dipasaran, seringkali TLD-100 dijadikan sebagai rujukan relatif (Bakhsh, 2018).

TLD juga mempunyai nilai dos minimum yang dapat dikesan, MDD. Bagi mendapatkan nilai MDD, beberapa nilai lain perlu diberi perhatian terlebih dahulu. Antaranya ialah bacaan latar belakang TLD tanpa sebarang penyinaran radiasi berlaku, B , sisihan piawai bacaan latar belakang tersebut, σ_B dan juga faktor kalibrasi, F . Faktor kalibrasi merupakan nisbah dos penyinaran terhadap tindakbalas TL dalam unit cas (C, Coulomb) (Furetta, 2003). Sama seperti sensitiviti dan kepekaan, MDD juga dipengaruhi oleh dos penyinaran yang diterima.

Kebolehgunaan semula juga merupakan salah satu ciri penting yang perlu ada pada sesuatu TLD. Bagi komposisi TLD baru, hal ini sangat dititik beratkan agar dapat dikenalpasti jika komposisi bahan TLD baru tersebut berupaya untuk digunakan semula (N. Can, 2021). Bagi mengenalpasti kebolehgunaan semula, TLD perlu menjalani kitaran penyepuhlindungan-penyinaran dos radiasi-pembacaan tindakbalas TL berulang kali. Bacaan tindakbalas TL yang diperolehi seharusnya stabil dan konsisten untuk disahkan kebolehgunaan semulanya. Apabila terdapat hanya sedikit sahaja perbezaan dengan purata bacaan tindakbalas TL, ianya menunjukkan bahawa TLD tersebut mempunyai ciri kebolehgunaan semula yang baik (E. Salama, 2017; N. Can, 2021). Selain kestabilan pada bacaan tindakbalas TL, TLD tersebut juga perlu berkeadaan baik tanpa sebarang kerosakan fizikal mahupun perubahan pada warna atau keupayaan

lutsinarnya dan masih sama seperti keadaan asal sebelum sebarang penyinaran dos radiasi dijalankan keatasnya (Richard A. Clark, 2013).

Kestabilan pada isyarat TL adalah penting untuk mengesahkan prestasi sesuatu TLD (Y.S.M. Alajerami, 2018). Setiap TLD mengalami kepudaran terma. Hal ini kerana kepudaran berlaku apabila berlakunya penggabungan semula elektron yang berada dalam perangkap elektron yang cetek (Sudha D. Kamath, 2020). Kepudaran isyarat TL pada suhu bilik bagi TLD yang disimpan selepas proses penyinaran radiasi adalah bergantung pada kedalaman perangkap elektron dan suhu penyimpanan. Ia juga akan terkesan dengan haba yang dibekalkan ketika proses penyepuhllindapan semasa proses pembacaan isyarat dijalankan (S. Hashim, 2009). Kepudaran atau pengurangan pada nilai tindakbalas TL dengan pertambahan masa penyimpanan selepas penyinaran radiasi berlaku adalah bergantung pada beberapa faktor terutamanya suhu penyimpanan dan jenis atau sumber radiasi yang dikenakan keatasnya (M.U. Khandaker, 2016). TLD yang baik akan mempunyai tahap kepudaran terma yang rendah dimana ianya dapat disimpan dengan tempoh waktu yang lama, tanpa atau dengan hanya sedikit kehilangan isyarat TL yang terkandung di dalamnya. Pada kebiasaannya, sampel TLD baru akan disimpan selama 7 sehingga 30 hari iaitu sebulan pada suhu bilik di dalam bekas legap bagi mengelakkan berlakunya kepudaran oleh suhu tinggi mahupun cahaya. TLD kemudiannya dipantau tahap kepudarannya hari demi hari. Selain dari kepudaran terma, TLD juga boleh diuji dengan kepudaran optik, di mana pada kebiasaannya, cahaya matahari atau sumber UV yang konsisten digunakan (Bakhsh, 2018).

Proses penyepuhllindapan sebelum dan selepas dedahan radiasi, adalah penting bagi sesuatu TLD untuk mengosongkan isyarat penyinaran yang terdahulu mahupun isyarat palsu yang terperangkap. Kadangkala bacaan isyarat pada TLD masih bersisa dan akan dihapuskan hanya dengan proses penyepuhllindapan terutamanya bagi

perangkap elektron yang lebih dalam (mengosongkan semula perangkap elektron) dan proses penyepuhlidapan ini akan dijalankan selepas proses pembacaan telah berakhir sebelum dedahan baru dikenakan atau sebelum TLD tersebut digunakan semula (Sudha D. Kamath, 2020). Selepas proses penyepuhlidapan tamat, bacaan TLD boleh diambil bagi memastikan tiada baki isyarat yang tertinggal dan sekaligus mendapatkan bacaan latar belakang TLD tersebut. Penyepuhlidapan pra pula adalah perlu, bagi menghilangkan sebarang isyarat palsu yang mempunyai sifat kepudaran pada suhu bilik dan dijalankan selepas dedahan terhadap radiasi dikenakan. Proses penyepuhlidapan tidak akan memberikan sebarang kesan mahupun kerosakan pada TLD. Proses penyepuhlidapan yang baik akan memenuhi kriteria seperti menghapuskan sepenuhnya isyarat dari penyinaran radiasi terdahulu, mencapai kepekaan yang lebih tinggi, membolehkan penggunaan semula TLD dengan bacaan yang sentiasa stabil dan mengurangkan nilai sisihan piawai pada bacaan isyarat radiasi (Y.S.M. Alajerami, 2013). Bagi TLD-100, proses penyepuhlidapannya bermula dengan suhu 400 °C selama 1 jam dan diikuti dengan 100 °C selama 2 jam atau pada suhu 80 °C selama 24 jam. Namun begitu, bagi TLD yang berlainan, proses penyepuhlidapannya adalah berbeza dan bergantung pada komposisi yang membentuknya. Bagi TLD kaca, suhu peralihan kaca adalah penting, bagi menentukan suhu maksimum yang boleh digunakan untuk proses penyepuhlidapan. Suhu peralihan kaca, T_g merupakan suhu di mana kaca mulai melembut dan akan berubah menjadi cecair apabila mencapai suhu leburnya. Nilai T_g diperlukan bagi menentukan suhu maksimum yang boleh digunakan semasa proses penyepuhlidapan mahupun semasa proses pembacaan isyarat TL agar TLD berkenaan tidak berubah strukturnya dan kekal sama sepanjang masa.

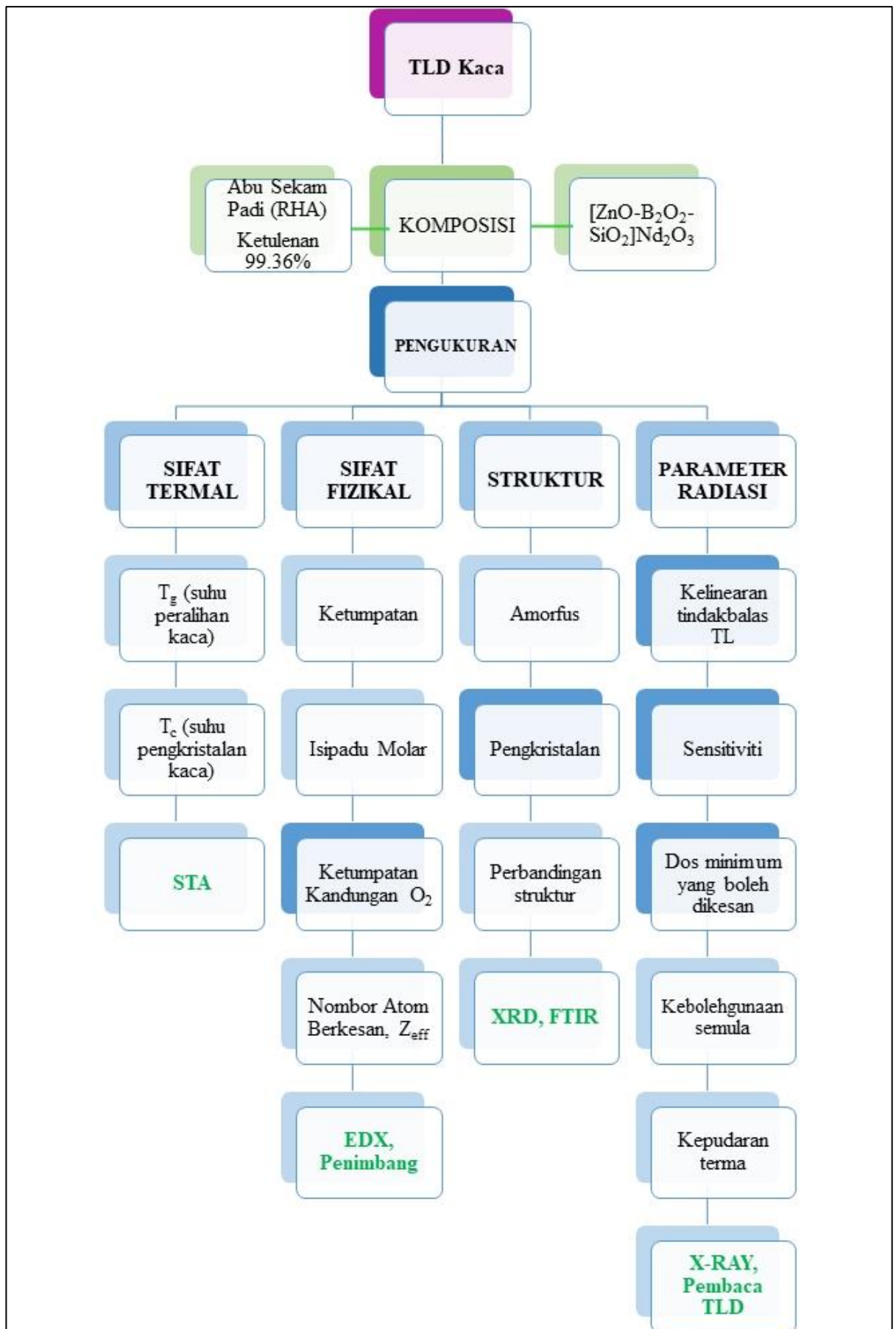
Nombor atom berkesan, Z_{eff} TLD diperlukan bagi menentukan kesesuaian TLD yang terhasil untuk diguna sebagai dosimeter bagi sel atau bahagian anggota badan yang mempunyai nilai yang setara atau hampir setara. Namun begitu, bagi TLD kaca, nilai Z_{eff} adalah sedikit tinggi berbanding nilai bagi tisu iaitu 7.4, maka dengan itu ianya lebih sesuai untuk digunakan sebagai TLD pada tulang dengan nilai Z_{eff} sebanyak 13.29 (S. Hashim, 2013). Bagi menghitung nilai Z_{eff} , adalah terlebih dahulu TLD menjalani analisis mesin Sinar-X Sebaran Tenaga (EDX) bagi mendapatkan nilai nisbah pecahan berat setiap elemen yang terkandung di dalam TLD tersebut.

BAB 3

METODOLOGI

3.1 Pengenalan

Bab 3 menjelaskan secara terperinci setiap proses eksperimen yang dijalankan dan metodologi pengumpulan data serta analisis kajian yang terlibat. Kajian ini secara umumnya terbahagi kepada 3 bahagian utama bermula dari penyediaan SiO_2 dari abu sekam padi pada bahagian pertama, diikuti dengan fabrikasi sampel TLD kaca Zink Borosilikat asas dan sampel TLD kaca Zink Borosilikat dopan dari 9 komposisi pada bahagian kedua. Setelah selesai proses fabrikasi sampel, bahagian ketiga menjelaskan secara terperinci proses pengumpulan, pengiraan dan diakhiri dengan analisis pengukuran pencirian sampel TLD kaca yang dihasilkan. Gambaran umum keseluruhan proses metodologi eksperimen dan kajian ini boleh dirujuk pada Gambarajah 3.1.



Rajah 3.1 Gambaran keseluruhan proses eksperimen dan analisis kajian

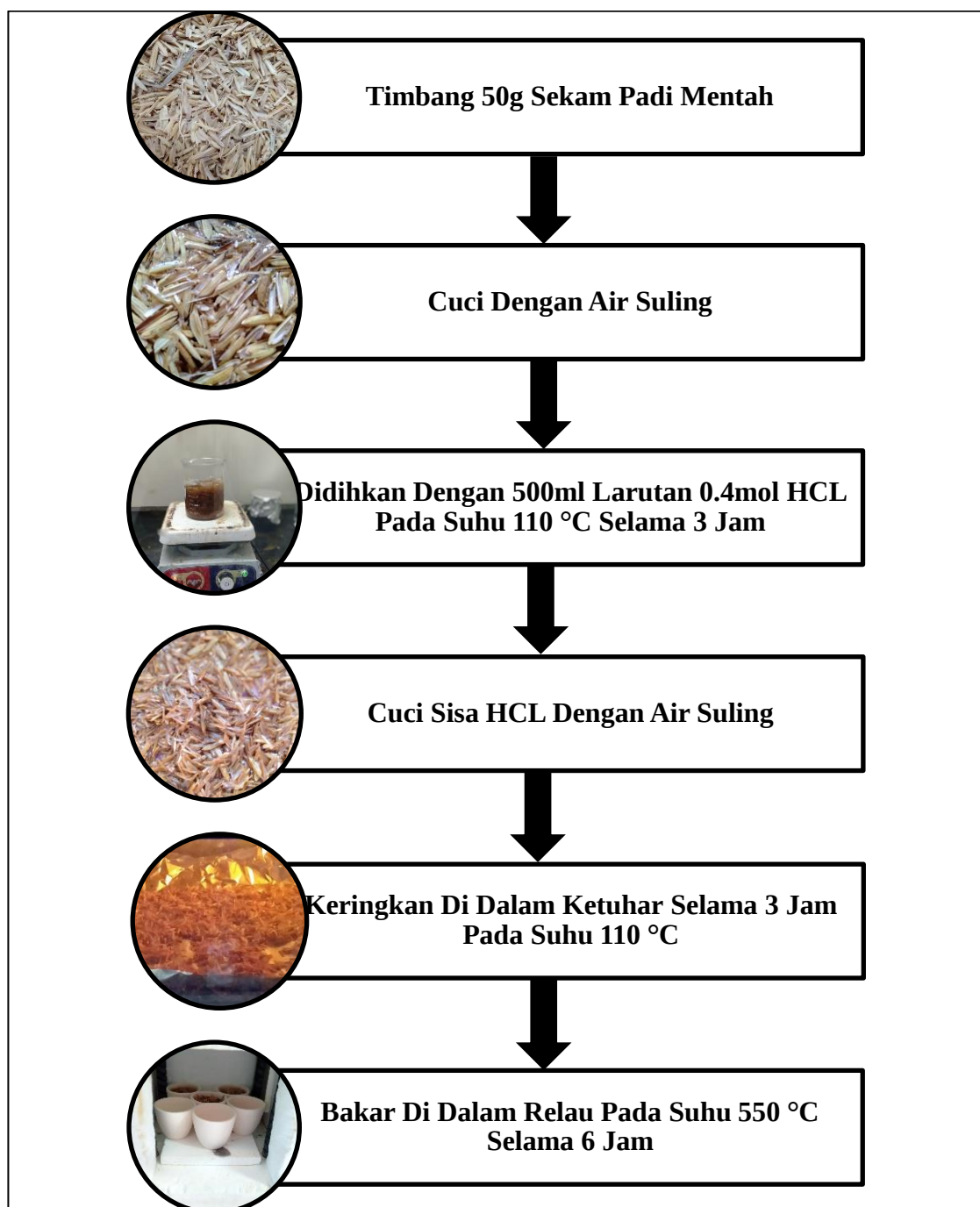
3.2 Penghasilan SiO_2

Silika Oksida diperolehi dari abu sekam padi (RHA) sepertimana hasil dapatan kajian terdahulu oleh Ain Nabila, 2014. Sekam padi mentah ditimbang menggunakan penimbang digital berketepatan 2 tempat perpuluhan (TXB622L). Sebanyak 50g sekam padi tersebut dicuci bersih dari kotoran dengan menggunakan air suling. Sekam padi yang telah bersih kemudiannya dididihkan dalam 500ml larutan 0.4mol asid hidroklorik (0.4mol HCl) selama 30 minit pada suhu 110 °C dan dididihkan selama 3 jam bagi menghilangkan kekotoran dan bendasing yang tidak diperlukan. Proses didihan ini dijalankan di dalam kebuk wasap. Setelah tamat proses didihan, ia dibiarkan sejuk selama 10 minit dan dicuci dengan air suling bagi menghilangkan sisa-sisa asid hidroklorik. Proses meluluhkan atau larut lesap ini, diperlukan bagi meningkatkan ketulenan SiO_2 , tanpa proses ini, ketulenan SiO_2 hanyalah sebanyak 92% sahaja (Ain Nabila, 2014).

Seterusnya, sekam padi tersebut dikeringkan di dalam ketuhar pada suhu 110 °C selama 3 jam sebelum menjalani proses pembakaran di dalam relau Nabertherm P330. Sekam padi yang telah kering dimasukkan ke dalam mangkuk pijar alumina bersaiz 10ml dan dibakar pada suhu 550 °C selama 6 jam untuk menghasilkan abu bewarna putih. Abu putih dari sekam padi yang terhasil mengandungi 99.36% silika dioksida (SiO_2) (Ain Nabila, 2014). Hasil dari kajian yang sama, mendapati bahawa peratusan ketulenan SiO_2 berkurangan apabila suhu dan masa yang digunakan lebih rendah atau lebih tinggi dari 550 °C dan 6 jam. Keseluruhan proses penghasilan SiO_2 dari abu sekam padi diringkaskan di dalam carta alir pada gambarajah 3.2.

Terdapat beberapa langkah keselamatan telah diambil semasa penghasilan RHA. Sekam padi mentah dicuci sepenuhnya menggunakan hanya air suling tanpa campuran air pili bagi mengelakkan ia dicemari oleh bahan yang terdapat dalam air pili.

Semasa proses didihan berlaku, air suling akan ditambah dari semasa ke semasa bagi mengelakkan kebakaran berlaku. Apabila proses pengeringan di dalam oven dan proses pembakaran di dalam relau dijalankan, kedua-dua perkakasan dan juga mangkuk pijar dipastikan bersih dari sebarang sisa bendasing oleh pengujian terdahulu bagi mengelakkan sebarang pencemaran pada abu sekam padi yang akan terhasil.



Rajah 3.2 Proses penghasilan SiO_2 dari abu sekam padi

3.3 Fabrikasi TLD Kaca

Fabrikasi Sampel TLD Kaca dalam kajian ini adalah menggunakan teknik pelindapan lebur. Bahan asas yang digunakan adalah dalam bentuk serbuk iaitu zink oksida (ZnO) keluaran Alfa Aesar, boron oksida/borat (B_2O_3) juga dari Alfa Aesar, silika dioksida (SiO_2) dari RHA dan neodimium trioksida (Nd_2O_3) dari Nacalai Tesque Inc. Komposisi kaca yang diperlukan seperti dalam jadual 3.1 dan jadual 3.2 ditimbang menggunakan penimbang digital (TXB622L) berketepatan 3 tempat perpuluhan beralaskan kertas minyak bagi mengelakkan bahan tersebut terlekat mahupun bertindakbalas dengan permukaan penimbang. Proses diulang untuk semua komposisi bahan yang diperlukan, dan setiap peralatan yang digunakan seperti spatula dan permukaan penimbang dicuci dengan larutan Ethanol berketulenan 99.7% keluaran QRec bagi memastikan radas adalah bersih dari sebarang bahan yang ditimbang sebelumnya, agar tidak berlaku tindakbalas kimia yang tidak diperlukan. Kertas alas juga ditukar setiap kali menimbang bahan yang berlainan untuk tujuan langkah keselamatan yang sama. Kesemua bahan komposisi yang telah siap ditimbang, kemudiannya dimasukkan ke dalam lesung dan alu akik untuk diaduk sehingga sekata. Campuran yang telah sekata dipindahkan ke dalam mangkuk pijar alumina bersaiz 10ml dan dibakar pada suhu $1300\text{ }^\circ\text{C}$ selama 2 jam di dalam relau Nabertherm P330 untuk proses peleburan bahan sebatian. Suhu $1300\text{ }^\circ\text{C}$ digunakan sebagai suhu peleburan kerana unsur yang terdapat dalam komposisi TLD kaca mempunyai takat lebur yang tinggi. Pemilihan suhu ini juga adalah berdasarkan teori hasil kajian terdahulu dan mendapati dari julat $1200\text{ }^\circ\text{C}$