



UNIVERSITAS INDONESIA

PENGARUH TEMPERATUR DEPOSISI TERHADAP  
PERTUMBUHAN FILM TIPIS Zn EXCIMER (Zn\*) PADA  
SUBSTRAT ALUMINA (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

SKRIPSI

DEANDRA NILUH SASADHARA

0806455660

FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JANUARI 2012





UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH TEMPERATUR DEPOSISI TERHADAP  
PERTUMBUHAN FILM TIPIS Zn EXCIMER (Zn\*) PADA  
SUBSTRAT ALUMINA (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

DEANDRA NILUH SASADHARA

0806455660

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

APRIL 2012

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya penulis sendiri  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah penulis nyatakan dengan benar.

Nama : Deandra Niluh Sasadhara

NPM : 0806455660

Tanda Tangan : 

Tanggal : 12 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Deandra Niluh Sasadhara

NPM : 0806455660

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Skripsi :

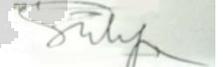
### **PENGARUH TEMPERATUR DEPOSISI TERHADAP PERTUMBUHAN FILM TIPIS Zn EXCIMER (Zn\*) PADA SUBSTRAT ALUMINA (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

#### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc (.....  .....) )

Penguji 1 : Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono , M.Phil.Eng (.....  .....) )

Penguji 2 : Dr. Ir. Sutopo (.....  .....) )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 Juli 2012

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat-Nya lah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai pencapaian terbesar dalam melewati tahun-tahun ajaran sebagai mahasiswa program sarjana reguler di Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulisan tugas akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana teknik. Dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir ini penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof.Dr.Ir.Anne Zulfia Syahrial,M.Sc., selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan penulis banyak ilmu nasihat, doa, dan semangat yang begitu berarti dalam penyusunan tugas akhir ini. Terima kasih, telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mendapatkan pengalaman kuliah di Jepang selama satu tahun sehingga penulis dapat banyak belajar hal-hal baru.
2. Prof. Kozo Obara yang telah memberikan penulis kesempatan untuk belajar dan melakukan penelitian di Laboratorium Nanoteknologi Fakultas Teknik Universitas Kagoshima. Terima kasih telah memberikan bantuan dana untuk penulis sehingga penulis dapat mengikuti kegiatan perkuliahan di Universitas Kagoshima, Jepang. 小原先生、大変お世話になっております。長い間、本当にありがとうございます。
3. Prof. Dr. -Ing. Ir. Bambang Suharno selaku Ketua Departemen Metalurgi dan Material (DMM) FTUI yang telah memberikan penulis inspirasi untuk mencoba pengalaman dan hal baru untuk kuliah di luar negeri dan mendukung penulis selama berada di DMM FTUI.
4. Dr. Ir. Akhmad Herman Yuwono, M.Phil.Eng, Dr. Nofrijon Sofyan, Ph.D, dan Dr.Ir.Sutopo yang memberikan saran, kritik, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis pada saat sidang seminar sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan baik.
5. Kepada seluruh staf pengajar di DMM FTUI, staf Pengajar Fakultas Teknik, Fakultas Sains, dan Fakultas Pendidikan Universitas Kagoshima, staf pengajar bahasa Jepang Universitas Kagoshima yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama penulis belajar dan menyusun tugas akhir.

6. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan, semangat, doa, dan motivasi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah dan penyusunan tugas akhir ini.
7. Mahasiswa master dan doktor yang telah melakukan kerjasama dan membimbing penulis dalam penelitian di Laboratorium Nanoteknologi Universitas Kagoshima.
8. Persatuan Pelajar Indonesia Kagoshima (PPIK) yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
9. Seluruh teman di departemen FTUI, khususnya angkatan 2008, yang memberikan banyak dukungan, seluruh teman di Universitas Kagoshima dan laboratorium nanoteknologi yang telah bekerja sama selama penelitian ini, seluruh teman dan penghuni Asrama Mahasiswa Asing Universitas Kagoshima yang telah memberikan hari-hari yang berwarna selama penulis kuliah dan melakukan penelitian selama satu tahun di Jepang.

Akhir kata, penulis berharap skripsi ini membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang teknik material dalam bidang lapisan film tipis (*thin film*) dan dapat menjadi referensi untuk perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia.

Depok, 12 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, penulis yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Deandra Niluh Sasadhara  
NPM : 0806455660  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah penulis yang berjudul:

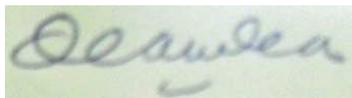
**PENGARUH TEMPERATUR DEPOSISI TERHADAP  
PERTUMBUHAN FILM TIPIS Zn EXCIMER (Zn\*) PADA  
SUBSTRAT ALUMINA (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir penulis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini penulis buat dengan sebenar-benarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 12 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Deandra Niluh Sasadhara)

## ABSTRAK

Nama : Deandra Niluh Sasadhara  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul :

### **PENGARUH TEMPERATUR DEPOSISI TERHADAP PERTUMBUHAN FILM TIPIS Zn EXCIMER (Zn\*) PADA SUBSTRAT ALUMINA (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

Dalam penelitian ini telah dilakukan pembuatan film tipis dengan substrat Alumina dan lapisan film tipis Zn dengan metode *Physical Vapour Deposition* (PVD) dan eksitasi elektron atom Zn. Sampel Alumina dievaporasi dalam metode PVD dan dideposisi dengan lapisan film tipis Zn. Sebelumnya Zn diatomasi yaitu dengan melakukan eksitasi elektronik sehingga diharapkan dapat menghasilkan kualitas Zn yang lebih baik yang disebut dengan Zn *excimer*. Karakterisasi sampel dilakukan dengan menggunakan alat *X-ray Diffraction* (XRD) untuk menganalisa mikrokristal dengan grafik  $2\theta$  dan intensitas. Kemudian, untuk morfologi kristalnya dilakukan karakterisasi dengan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwaperbedaan mikrokristal pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 60°C, 80°C, dan 100°C antara lain pada temperatur 60°C morfologi kristalnya proporsional dan terlihat pada pinggiran kristal lapisan film tipis. Pada temperatur 80°C, morflogi kristalnya ada yang besar dan kecil. Kemudian pada 100°C kristalnya terdistribusi jarang-jarang karena sebagian besar atom film tipisnya sudah terevaporasi.

Kata kunci:

Film tipis, Zn *excimer*, *Physical Vapour Deposition*, Eksitasi elektron, Substrat alumina.

## ABSTRACT

Name : Deandra Niluh Sasadhara  
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering  
Title :

### **THE EFFECT OF DEPOSITION TEMPERATURE DEPENDENCE ON THIN FILM GROWTH OF Zn EXCIMER (Zn\*) ON ALUMINA (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) SUBSTRATE**

In this research, thin film Zn with Alumina substrate is made by *Physical Vapour Deposition* (PVD) method and the process electron excitation of Zn atom. Alumina sample has been evaporated by PVD method and is deposited with Zn thin film. Before that, Zn is atomized by applying electronic excitation in order to get a good quality of Zn, called Zn excimer. The characterization of the samples are being done by X-Ray Diffraction (XRD) equipment to analyze microcrystal with the  $2\theta$  graph and intensity. Then, for the morphology of its crystal, the characterization is being done by using Scanning Electron Microscopy (SEM). The result of this research shows that the difference of microcrystal on the Zn thin film with the temperature of 60°C, 80°C, and 100°C. For example on the temperature of 60°C, the morphology of its crystal is proportional and can be told by seeing the edge of the crystal of Zn thin film. On the temperature of 80°C, the morphology of its crystal is divided by two types which is the big one and a small one. Then, on the temperature of 100°C, the distribution of its crystal is not smooth because most of the atoms of the thin film had already evaporated.

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xv
DAFTAR RUMUS.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Permasalahan.....	2
1.3. Hipotesis.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB 2 DASAR TEORI.....</b>	<b>6</b>
2.1. Teknologi Film Tipis ( <i>Thin Film</i> ).....	6
2.1.1. Proses PVD ( <i>Physical Vapor Deposition</i> )....	7
2.1.1.1 Deposisi <i>Sputter (Sputtering)</i> .....	8
2.1.2. Pertumbuhan Film Tipis ( <i>Thin Film Growth</i> )	12
2.1.3. Kristalografi dan Morfologi Film Tipis.....	18
2.1.4. Epitaksi.....	19
2.1.5. Kontrol Temperatur.....	21
2.1.6. Karakteristik Kristal Film Tipis Zn.....	22
2.1.6.1. HCP ( <i>Hexagonal Closed Packing</i> ).....	22
2.1.6.2. BCC ( <i>Body-Centered Cubic</i> ).....	24
2.1.7. Karakteristik Material Substrat	
Alumina ( $Al_2O_3$ ).....	24
2.1.8. Proses Rekombinasi Ion dalam	
Pembentukan Zn Excimer ( $Zn^*$ ).....	25

<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>30</b>
3.1.	Diagram Alir Eksperimen.....	30
3.2.	Alat dan Bahan.....	31
3.3.	Prosedur Penelitian.....	31
3.3.1.	<i>Electron-Assisted PVD</i> .....	32
3.3.1.1.	Mekanisme Peletakkan Substrat (Sampel)	34
3.3.1.2	Iradiasi Elektron.....	35
3.3.2.	Proses Rekombinasi Ion.....	37
3.3.2.1.	Teori Fase Permukaan dan Pembentukan <i>Excimer</i> .....	39
3.4.	Parameter yang Divariasikan.....	42
3.5.	Karakterisasi Sampel .....	42
3.5.1.	Pengujian Difraksi Sinar-X (XRD).....	42
3.5.2.	Pengamatan Mikroskopis Film Tipis dengan alat SEM ( <i>Scanning Electron Spectroscopy</i> ).....	48
<b>BAB 4</b>	<b>PEMBAHASAN.....</b>	<b>50</b>
4.1.	Karakteristik Sampel Film Tipis Zn dengan Substrat Alumina ( $Al_2O_3$ ).....	50
4.2.	Karakterisasi Material Film Tipis Zn dengan Substrat Alumina ( $Al_2O_3$ ).....	52
4.2.1.	Analisis Hasil Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	52
4.2.2.	Analisa Hasil Pengambilan Foto Mikro dengan SEM..	63
4.2.2.1.	Mikrokristal Film Tipis Zn pada Substrat Bertemperatur 60°C.....	64
4.2.2.2.	Mikrokristal Film Tipis Zn pada Substrat Bertemperatur 80°C.....	66
4.2.2.3.	Mikrokristal Film Tipis Zn pada Substrat Bertemperatur 100°C.....	67
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN.....</b>	<b>69</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>70</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1.</b> Material yang memiliki struktur kristal HCP.....	23
<b>Tabel 3.1.</b> Spesifikasi alat PVD.....	33
<b>Tabel 3.2.</b> Material yang memiliki struktur kristal HCP.....	45
<b>Tabel 3.3.</b> Sistem kristal dalam material.....	47
<b>Tabel 4.1.</b> <i>Lattice parameter</i> untuk difraksi XRD pada film tipis Zn bertemperatur substrat 60°C sesuai dengan data $2\theta$ yang diperoleh dari penelitian.....	53
<b>Tabel 4.2.</b> Tabel asumsi <i>lattice parameter</i> yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 60°C.....	53
<b>Tabel 4.3.</b> Tabel perbandingan <i>lattice parameter</i> yang didapatkan dari penelitian asumsi yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 60°C.....	54
<b>Tabel 4.4.</b> <i>Lattice parameter</i> untuk difraksi XRD pada film tipis Zn bertemperatur substrat 80°C.....	55
<b>Tabel 4.5.</b> Tabel asumsi <i>lattice parameter</i> menurut literatur yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 80°C.....	56
<b>Tabel 4.6.</b> Tabel perbandingan <i>lattice parameter</i> literatur dan asumsi yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 80°C.....	57
<b>Tabel 4.7.</b> <i>Lattice parameter</i> untuk difraksi XRD pada film tipis Zn bertemperatur substrat 100°C.....	58
<b>Tabel 4.8.</b> Tabel asumsi <i>lattice parameter</i> yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 100°C.....	59
<b>Tabel 4.9.</b> Tabel perbandingan <i>lattice parameter</i> iteratur dan asumsi yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 100°C.....	59

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1.</b> Proses PVD Teknik ( <i>Ib</i> and <i>Ic</i> ) deposisi <i>sputter</i> dalam lingkungan plasma dan ( <i>Id</i> ) deposisi <i>sputter</i> dalam vakum.....	8
<b>Gambar 2.2.</b> Mekanisme proses deposisi dalam metode PVD.....	9
<b>Gambar 2.3.</b> Proses kondensasi.....	10
<b>Gambar 2.4.</b> Atom-atom yang menempel dalam proses difusi.....	11
<b>Gambar 2.5.</b> Pembentukan <i>island</i> .....	12
<b>Gambar 2.6.</b> Proses pertumbuhan film tipis.....	12
<b>Gambar 2.7.</b> Model rantai atom.....	13
<b>Gambar 2.8.</b> Proses pertumbuhan <i>nuclei</i> .....	14
<b>Gambar 2.9.</b> Bentuk permukaan substrat yang tidak rata.....	15
<b>Gambar 2.10.</b> Tipe pertumbuhan <i>layer by layer</i> .....	15
<b>Gambar 2.11.</b> Tipe pertumbuhan <i>island</i> Volmer-Weber.....	16
<b>Gambar 2.12.</b> Tipe pertumbuhan campuran.....	16
<b>Gambar 2.13.</b> Perbandingan ketiga jenis proses pertumbuhan film..	16
<b>Gambar 2.14.</b> <i>Ostwald Ripening</i> .....	17
<b>Gambar 2.15.</b> <i>Sintering</i> .....	18
<b>Gambar 2.16.</b> <i>Cluster Migration</i> .....	18
<b>Gambar 2.17.</b> Model Pertumbuhan Film Tipis.....	19
<b>Gambar 2.18.</b> Epitaksi pada film tipis.....	21
<b>Gambar 2.19.</b> Pengaruh temperatur substrat pada pertumbuhan film.	22
<b>Gambar 2.20.</b> Unit sel HCP, (a) <i>atomic-site unit cell</i> , (b) <i>hard-sphere unit cell</i> , dan (c) <i>isolated unit cell</i> ....	23
<b>Gambar 2.21.</b> a) <i>atomic-site unit cell</i> , (b) <i>hard-sphere unit cell</i> , dan (c) <i>isolated unit cell</i> .....	24
<b>Gambar 2.23.</b> Eksitasi Excimer.....	26
<b>Gambar 2.24.</b> HUMO/LOMO gap.....	26
<b>Gambar 2.25.</b> Proses rekombinasi ion Zn <sup>+</sup> dan Zn <sup>-</sup> menjadi Zn <i>excimer</i> netral.....	27
<b>Gambar 2.26.</b> (a) eksitasi Zn <sup>+</sup> pada fase gas, (b) Eksitasi Zn <sup>-</sup> pada fase permukaan.....	28

<b>Gambar 3. 1.</b>	Diagram alir eksperimen.....	30
<b>Gambar 3. 2.</b>	Alat <i>Electron-assisted</i> PVD dan letak sampel ....	32
<b>Gambar 3.3.</b>	Sampel Alumina dengan yang diberikan temperatur deposisi 60°C .....	33
<b>Gambar 3.4.</b>	Sampel Alumina dengan yang diberikan temperatur deposisi 80°C.....	34
<b>Gambar 3.5.</b>	Sampel Alumina dengan yang diberikan temperatur deposisi 100°C.....`	34
<b>Gambar 3.6.</b>	Peletakkan substrat di <i>substrat holder</i> .....	35
<b>Gambar 3.7.</b>	Proses iradiasi electron.....	36
<b>Gambar 3.8.</b>	Mesin PVD.....	37
<b>Gambar 3.9.</b>	Bidang reaksi dengan fase permukaan dan poin kritis	38
<b>Gambar 3.10.</b>	Model pembentukan <i>excimer</i> berdasarkan rekombinasi ion.	40
<b>Gambar 3.11.</b>	Tiga fase dalam pemebentukan <i>excimer</i> .....	41
<b>Gambar 3.12.</b>	(a) eksitasi Zn <sup>+</sup> pada fase gas, (b) Eksitasi Zn <sup>-</sup> pada fase permukaan.....	41
<b>Gambar 3.13.</b>	Contoh grafik XRD yang menunjukkan orientasi kristalografi Zn.....	43
<b>Gambar 3.14.</b>	unit sel HCP, (a) <i>atomic-site unit cell</i> , (b) <i>hard-sphere unit cell</i> , dan (c) <i>isolated unit cell</i> ...	45
<b>Gambar 3.15.</b>	Kisi Kristal.....	46
<b>Gambar 3.16.</b>	(a) Jarak kisi antara material kristalin solid yang ideal. (b) unit sel yang menunjukkan kisi konstan ( <i>lattice constant</i> )	47
<b>Gambar 3.17.</b>	Grafik pengaruh energi elektron dalam proses deposisi	48
<b>Gambar 3.18.</b>	Alat SEM.....	49
<b>Gambar 4.1.</b>	Sampel dengan temperatur deposisi 60°C.....	50
<b>Gambar 4.2.</b>	Sampel dengan temperatur deposisi 80°C.....	51
<b>Gambar 4.3.</b>	Sampel dengan temperatur deposisi 100°C.....	51
<b>Gambar 4.4.</b>	Pola difraksi XRD untuk sampel bertemperatur substrat 60°C .....	52
<b>Gambar 4.5.</b>	Pola difraksi XRD untuk sampel bertemperatur substrat 80°C .....	55
<b>Gambar 4.6.</b>	Pola difraksi XRD untuk sampel bertemperatur substrat 100°C .....	58
<b>Gambar 4.7.</b>	Gabungan pola difraksi XRD untuk sampel	

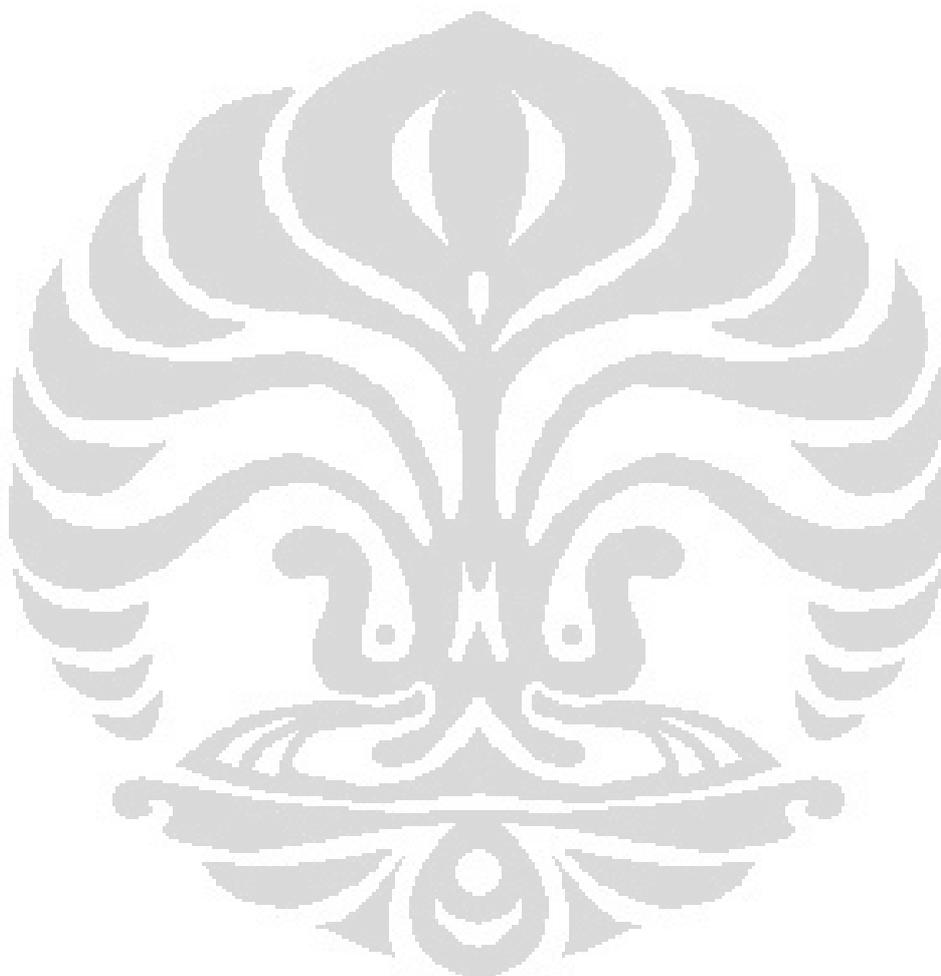
bertemperatur substrat 60°C, 80°C, dan 100°C.....	60
<b>Gambar 4.8.</b> Perbandingan grafik pola difraksi dengan sampel bertemperatur substrat 80°C dan 100°C.....	62
<b>Gambar 4.9.</b> Jarak $a$ dalam atom berstruktur kristal heksagonal ( <i>closed packed</i> ).....	62
<b>Gambar 4.10.</b> Foto mikro film tipis Zn a) 60°C, b) 80°C, dan c) 100°C..	63
<b>Gambar 4.11.</b> Foto mikro film tipis Zn a) 25 eV, b) 75 eV, dan c) 125 eV.....	64
<b>Gambar 4.12.</b> Foto mikro film tipis Zn bagian pinggir batas antara substrat dan film tipis pada substrat bertemperatur 60°C ...	65
<b>Gambar 4.13.</b> Foto mikro film tipis Zn bagian tengah film tipis pada substrat bertemperatur 60°C .....	65
<b>Gambar 4.14.</b> Foto mikro film tipis Zn bagian pinggir film tipis dan substrat pada bertemperatur 80°C .....	66
<b>Gambar 4.15.</b> Foto mikro film tipis Zn bagian tengah film tipis dan substrat pada bertemperatur 80°C .....	66
<b>Gambar 4.16.</b> Foto mikro salah satu mikrostruktur film tipis Zn pada substrat bertemperatur 80°C .....	67
<b>Gambar 4.17.</b> Foto bagian tengah film tipis Zn pada substrat bertemperatur 100°C.....	67
<b>Gambar 4.18.</b> Foto bagian tengah film tipis Zn pada substrat bertemperatur 100°C dengan perbesaran yang lebih besar.....	68

## DAFTAR SINGKATAN

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alumina/ Aluminium Oksida
BCC	<i>Body-Centered Cubic</i>
eV	<i>electron Volt</i>
EXCIMER	<i>Excited Dimer</i>
HCP	<i>Hexagonal Closed Packing</i>
nm	nanometer
PVD	<i>Physical Vapour Deposition</i>
Pa	<i>Pascal</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
XPS	X-ray Photoelectron Spectroscopy
Zn	Zinc
μm	Mikrometer

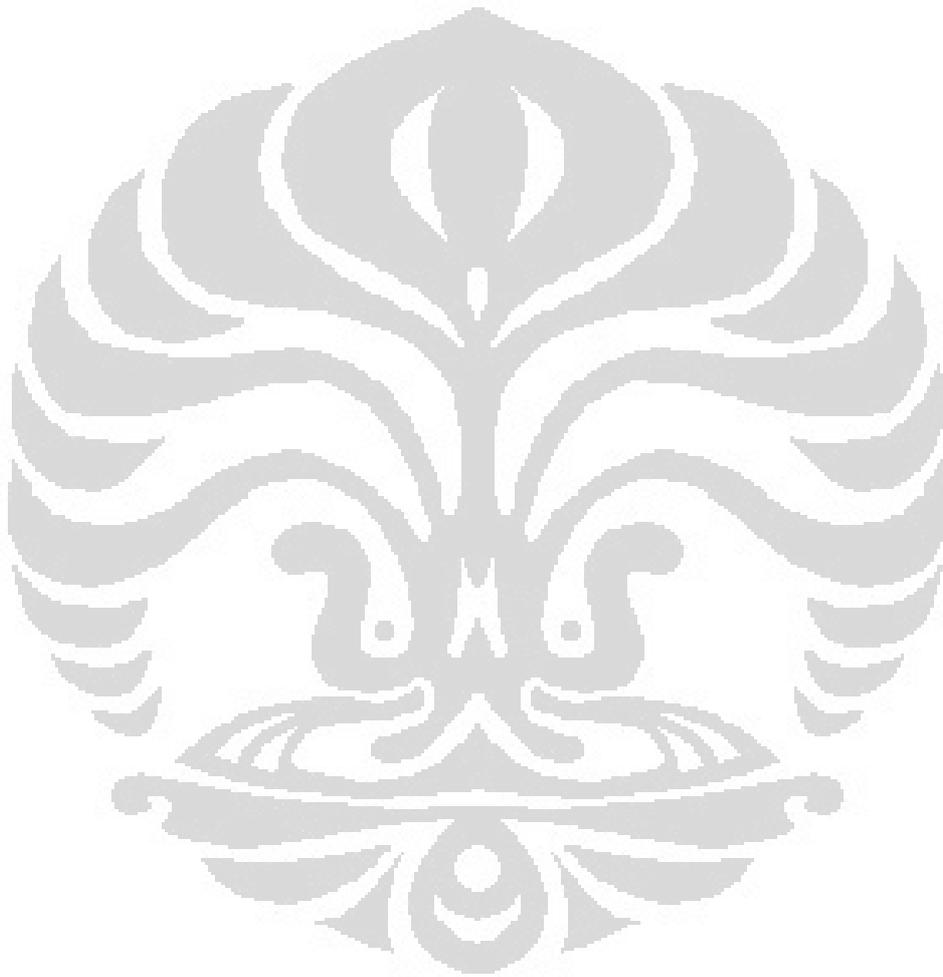
## DAFTAR RUMUS

	Halaman
(6.1) Rumus Hukum Braggs.....	44
(6.2) Rumus <i>Interplanar Spacing</i> .....	44
(6.3) Rumus Struktur Kristal HCP.....	45



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Grafik Pola Difraksi Sinar-X Pada Substrat..... .	72
Lampiran 2 Pola XRD Zn Excimer..... ..	74



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Di dalam perkembangan teknologi di bidang ilmu material, para ahli senantiasa melakukan perkembangan dan pembaharuan seiring dengan perkembangan zaman. Salah satu perkembangan teknologi di dalam ilmu material adalah di bidang material mutakhir. Material mutakhir erat kaitannya dengan teknologi nano dan perangkat-perangkat canggih yang memiliki fungsi luar biasa, salah satunya adalah teknologi lapisan film tipis atau biasa disebut dengan *thin film*.

Lapisan film tipis dideposisikan ke permukaan substrat material (*bulk*) untuk mendapatkan sifat yang biasanya tidak dapat diperoleh jika materialnya hanya berupa substrat (tanpa lapisan film tipis).<sup>[1]</sup> Teknologi lapisan film tipis memiliki keterkaitan yang erat dengan fase evaporasi. Teknologi evaporasi ini memiliki tiga kelebihan yang sangat penting. Antara lain: dapat diaplikasikan untuk seluruh material, dapat digunakan luas dalam berbagai temperatur substrat, dan memiliki proses yang mudah dalam mengaplikasikan lapisan film tersebut ke permukaan substrat selama proses deposisi. Temperatur adalah variabel utama dalam mengubah sifat dari material film tipis itu sendiri.<sup>[1]</sup>

Produksi film tipis merupakan pasaran yang kuat dalam dunia material mutakhir. Sangat banyak kegunaan atau aplikasi yang dapat dimanfaatkan dari penggunaan film tipis. Akan tetapi, untuk diterapkan di Indonesia tampaknya masih ada rintangan berupa harga material yang mahal dan teknologi yang tinggi, dalam hal ini alat/mesin produksi. Walaupun saat ini di Indonesia sudah ada perusahaan untuk perakitan, tetap saja industri film tipis di Indonesia juga memerlukan material dengan harga yang murah.

Di dalam penelitian ini, dari banyak material yang digunakan untuk membuat film tipis, digunakanlah material *Zinc* atau yang biasa kita kenal dengan sebutan seng. Dalam manufaktur suatu material, pasti harga selalu dipertimbangkan. Untuk itu, alangkah baiknya jika kita membuat material dengan sifat yang baik tapi harganya terjangkau. Untuk menghemat penggunaan material

untuk pembuatan film tipis yang biasa menggunakan dua elemen, kali ini kami mencoba membuat pembaharuan dalam pembuatan film tipis yang menggunakan satu elemen yaitu Zn.

Dalam penelitian ini, material yang dipertimbangkan adalah Zn karena ringan dan memiliki kemampuan yang baik dalam menghantarkan elektron. Zn merupakan material yang murah dan mudah dijangkau. Penerapan rekayasa pengubahan konfigurasi Zn dalam skala atomik dengan mengubah konfigurasi elektron Zn, dengan alasan karena Zn mudah dieksitasi. Untuk prosesnya, Zn tidak memerlukan temperatur tinggi sehingga ini dapat menekan biaya produksi. Karena penelitian ini baru beberapa tahun ini dikembangkan, maka belum diaplikasikan secara luas. Akan tetapi, diharapkan dapat dipakai untuk aplikasi *hydrogen storage* yaitu tempat penyimpanan sumber hidrogen.

## 1.2. Perumusan Masalah

Penelitian ini adalah kelanjutan dari penelitian-penelitian yang sebelumnya dilakukan oleh Professor Kozo Obara dari laboratorium nano teknologi di Departemen Elektronik Universitas Kagoshima, Jepang. Model komposit Zn-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah model komposit *single layer* yang terdiri dari *sapphire* atau yang kita sebut dengan safir atau alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan lapisan film tipis Zn yang terkeksitasi atau disebut juga dengan Zn *excimer* (Zn\*). Zn yang digunakan dalam pembuatan model komposit ini adalah Zn *excimer* atau disebut juga Zn yang sudah tereksitasi. Pembuatan lapisan thin film tipis Zn dilakukan dengan proses rekombinasi ion atau *ion-recombination process* di atas permukaan substrat safir. Temperatur deposisi yang dikenakan pada substrat adalah 60°C, 80°C, dan 100°C. Dalam temperatur yang berbeda tersebut akan dilihat bagaimana pengaruh temperatur terhadap pertumbuhan film tipis pada substrat alumina.

## 1.3. Hipotesis

Di dalam perkembangan material mutakhir, salah satunya dalam proses pembuatan film tipis, para peneliti di dalam laboratorium nano teknologi Obara di Universitas Kagoshima beberapa tahun ini sudah meneliti mengenai apakah dalam satu elemen saja dapat menghasilkan film tipis yang bagus. Penelitian ini

menggunakan elemen Zn yang direkayasa secara atomik dengan mengubah konfigurasi elektron menjadi *Zn excimer*.

Penelitian sebelumnya membahas mengenai dalam keadaan atau variabel seperti apakah *Zn excimer* dapat muncul atau terbentuk. Diasumsikan bahwa *Zn excimer* terbentuk paling baik pada temperatur rendah yaitu di bawah 200°C. Hasil tersebut memenuhi tujuan awal penelitian bahwa penggunaan film tipis dengan satu elemen yaitu Zn cukup memungkinkan dan terbukti dapat meningkatkan sifat mekanik, dalam hal ini sifat mampu bentuk, karena struktur kristal *Zn excimer* (diasumsikan berbentuk kubik) memiliki ikatan atom yang lebih kuat dan jarak kisi yang lebih pendek daripada struktur kristal Zn normal (HCP). Tujuan pembuatan film tipis dalam temperatur rendah yang menghemat biaya produksi juga sudah terpenuhi. Penelitian kali ini merupakan lanjutan dari penelitian selanjutnya membahas hubungan antara proses pertumbuhan film dengan perubahan temperatur deposisi. Penelitian ini membahas pengaruh kenaikan suhu terhadap proses eksitasi sehingga pada akhirnya akan mempengaruhi karakteristik akhir (mikrostruktur) dari lapisan film tipis tersebut.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini antara lain:

- (a) Membuat modifikasi pada film tipis dengan merekayasa material dalam level atomik dengan mengganti konfigurasi elektron, dalam hal ini material yang dipilih untuk pembuatan film tipis adalah Zn.
- (b) Membuat komposisi Zn-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai model komposit.
- (c) Melihat dan mengamati pertumbuhan (morfologi) film tipis *Zn excimer* pada substrat safir kemudian menghubungkan struktur kristal film tipis tersebut dan pengaruhnya terhadap sifat material .
- (d) Menganalisis perbedaan mikrokristal yang terjadi pada substrat yang telah dikenakan temperatur deposisi 60°C, 80°C, dan 100°C.

#### **1.5. Batasan Masalah**

Proses pembuatan film tipis *Zn excimer* menggunakan proses PVD (*Physical Vapour Deposition*) dengan substrat Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Waktu deposisi

yang digunakan adalah 1000 detik yang akhirnya menghasilkan film tipis dengan ketipisan 0.03-0.05  $\mu\text{m}$  dan energi deposisi 230 eV. Kemudian menggunakan tekanan  $1 \times 10^{-5}$  torr dan dalam temperatur deposisi 30°C, 60°C, 80°C, dan 100°C. Setelah itu, film tipis Zn excimer dikarakterisasi dengan XRD *Spectroscopy* (*X-Ray Diffraction*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

## 1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, hipotesis, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **BAB II : DASAR TEORI**

Menjelaskan pengertian film tipis, proses pembentukan film tipis Zn *excimer* yang menggunakan proses deposisi dengan metode PVD dan proses ion rekombinasi, karakteristik kristal Zn, morfologi pertumbuhan film tipis, dan hubungan antara variasi temperatur deposisi yang diberikan pada substrat alumina dengan mekanisme morfologi (struktur mikrokristal) film tipis tersebut.

### **BAB III : METODE PENELITIAN**

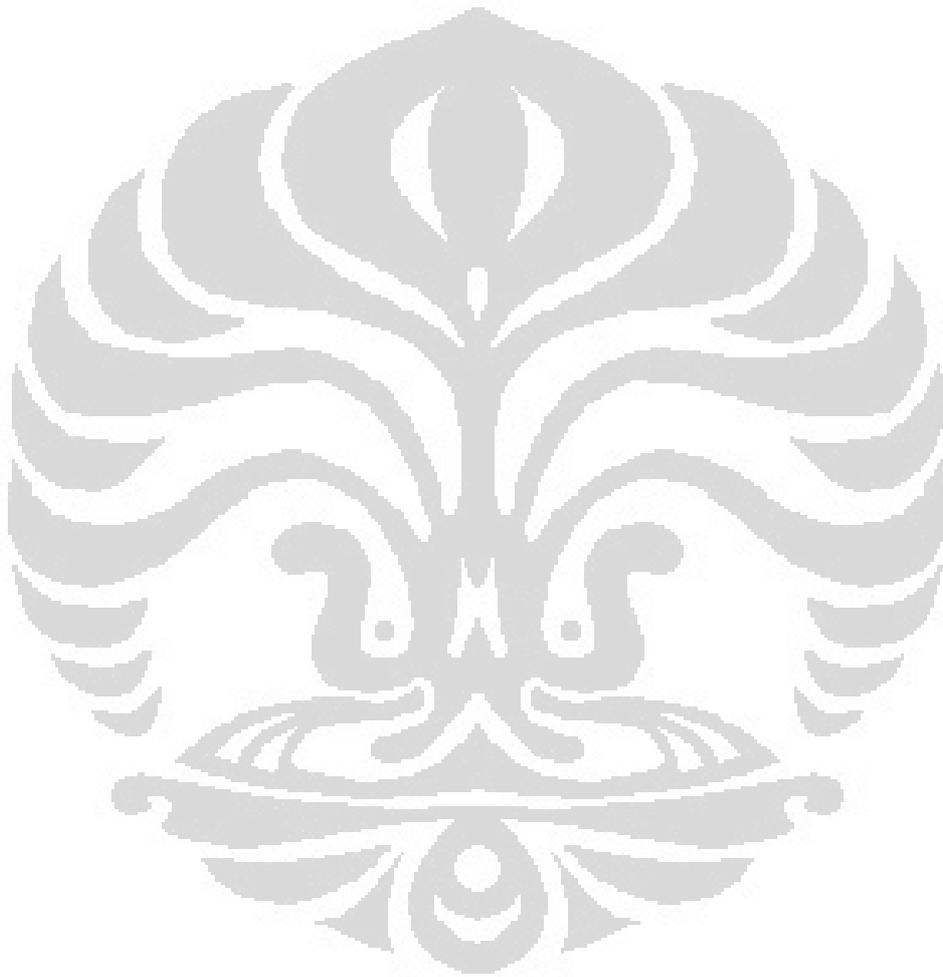
Menjelaskan tentang diagram alir penelitian, peralatan penelitian, bahan penelitian, prosedur penelitian, parameter yang divariasikan, dan contoh data penelitian, dan cara pengambilan data.

### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menjelaskan tentang hasil yang didapat selama penelitian dan menganalisisnya, terdiri dari hasil spektroskopi *X-Ray Diffraction* untuk menghitung *interplanar spacing* dengan Hukum Braggs dengan melihat grafik puncak XRD dengan program *origin* dan mencocokkan puncak-puncak grafik yang dihasilkan terhadap karakteristik kristal Zn yaitu HCP. Kemudian menganalisa foto mikro dengan menggunakan SEM untuk melihat morfologi pertumbuhan film tipis dalam variasi temperatur.

**BAB V : KESIMPULAN**

Menjelaskan mengenai kesimpulan yang didapat selama penelitian .



## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Teknologi Film Tipis (*Thin Film*)

Lapisan film tipis adalah material, biasanya dalam ukuran nano, yang dideposisikan ke material lain untuk mendapatkan sifat yang lebih baik daripada sifat saat material tersebut berdiri sendiri. Material yang permukaannya dideposisikan dengan film tipis ini disebut substrat. Sedangkan lapisan film tipis yang akan dikenakan ke permukaan substrat disebut juga dengan target. Lapisan film tipis tersebut dapat terdiri dari satu lapisan (*single layer*) atau lebih (*multilayer*).

Fungsi tambahan suatu film tipis dapat didapatkan dengan mendeposisikan banyak lapisan dari material yang berbeda dengan material substratnya.<sup>[1]</sup> Teknologi lapisan film tipis berhubungan dengan *surface engineering* atau teknologi permukaan yang melibatkan perubahan sifat yang berhubungan dengan permukaan material.<sup>[2]</sup> Teknologi permukaan dapat melibatkan proses modifikasi permukaan yaitu proses pelapisan dengan pengaplikasian material di atas permukaan. Substratnya (*underlying material*) tertutup dan tidak dapat terdeteksi di permukaan.<sup>[2]</sup> Modifikasi permukaan adalah proses yang mengubah sifat suatu material tapi material substratnya masih ada. Jadi, tidak mengubah substrat tapi hanya melapisi material tersebut.

Proses deposisi film tipis secara atomik yaitu termasuk proses pelapisan material atom per atom.<sup>[2]</sup> Film tipis yang dihasilkan dapat berupa *single crystal* sampai amorf, dari yang lapisannya tipis sampai tebal, dll. Pada umumnya, dalam konteks “film tipis” adalah material yang diaplikasikan dengan lapisan yang memiliki ketipisan dalam beberapa mikron atau kurang dari 1 mikron dan kemungkinan setipis lapisan atom-atomnya.<sup>[2]</sup> Terkadang, sifat lapisan film tipis ini dipengaruhi dari material di bawahnya yaitu substrat dan dapat memberikan berbagai macam ketebalan. Untuk lapisan yang lebih tebal, biasa disebut *coating*.

Di dalam transport material film tipis, perlu dipastikan bahwa proses deposisi material film tipis tersebut ke substratnya dapat berjalan dengan baik.

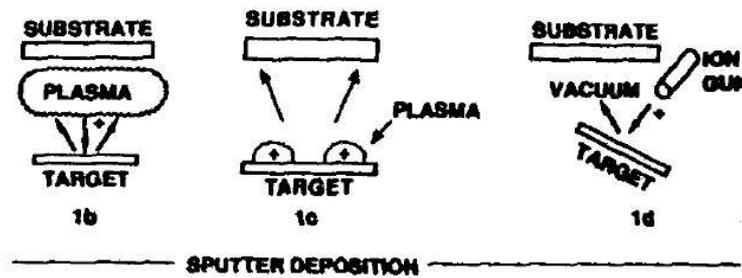
Kebanyakan, untuk proses dalam ruang vakum, prosesnya menggunakan metode PVD. Hal yang benar-benar diperhatikan dalam proses deposisi yaitu bagaimana film tipis tersebut benar-benar menempel pada permukaan material substrat. Hal yang mempengaruhi proses ini antara lain kondisi substrat, ikatan kimia antara substrat dan lapisan film tipis tersebut, dan parameter kristalografi dalam kasus epitaksi.<sup>[1]</sup>

Semua proses teknologi film tipis melalui beberapa tahap. Sumber dari pembentukan lapisan film tipis tersebut dapat berupa *solid* (padatan), *liquid* (cairan), *vapor* (uap), atau gas. Material *solid* perlu dievaporasi untuk mentransportnya ke substrat. Hal ini bisa dilakukan dengan pemanasan atau juga dengan tembakan elektron, foton, atau ion positif (*sputtering*). Metode ini disebut dengan metode PVD (*Physical Vapor Deposition*).<sup>[1]</sup> Proses tersebut meliputi preparasi substrat, transport, dan deposisi.<sup>[1]</sup>

### 2.1.1 Proses PVD (*Physical Vapor Deposition*)

Proses Physical Vapor Deposition (PVD) lebih dikenal juga dengan “proses film tipis” adalah proses deposisi atomik di mana material dievaporasi dari sumber padat atau cair dalam bentuk atom atau molekul, kemudian ditransportasikan dalam bentuk uap melalui lingkungan ruang vakum dalam gas bertekanan rendah (plasma) ke substrat.<sup>[2]</sup> Secara khas, proses PVD digunakan untuk mendeposisikan film tipis dengan cakupan ketipisan dalam beberapa nanometer sampai beribu nanometer. Akan tetapi, proses ini dapat juga digunakan untuk bentuk *coating* multilayer.

Proses PVD biasanya dapat digunakan untuk mendeposisikan film atau elemen dan juga paduan. Dalam proses deposisi yang reaktif, komposisi material dapat dibentuk melalui reaksi deposisi material dengan gas yang disesuaikan dengan lingkungan, contohnya Hidrogen, Argon, dan Nitrogen.<sup>[2]</sup> Dalam penelitian digunakan gas-gas tersebut untuk proses deposisinya. Dari berbagai jenis proses deposisi, penelitian ini termasuk menggunakan proses deposisi jenis *sputter* seperti yang digambarkan pada Gambar 2.1.



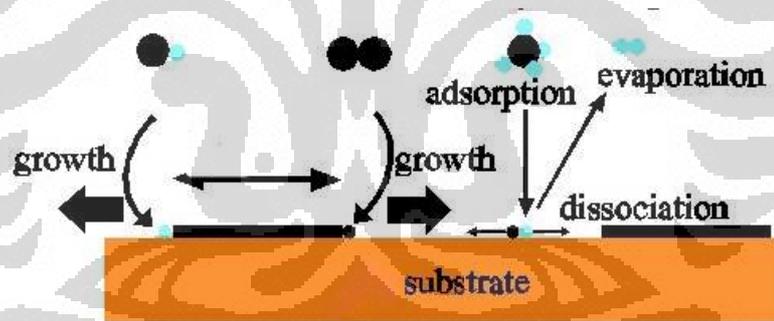
**Gambar 2.1.** Proses PVD Teknik (1b and 1c) deposisi *sputter* dalam lingkungan plasma dan (1d) deposisi *sputter* dalam vakum.<sup>[2]</sup>

#### 2.1.1.1. Deposisi *Sputter* (*Sputtering*)

*Sputtering* adalah deposisi partikel yang terevaporasi dari permukaan (target).<sup>[2]</sup> *Sputtering* biasanya proses yang terjadi di mana permukaan atom-atom pada material secara fisika terlepas dari permukaan *solid* oleh transfer momentum dari partikel yang terbombardir dalam skala atomik (plasma). *Sputtering* dapat dilakukan dengan bombardisasi ion dari permukaan *solid* (target *sputtering*) dalam ruang vakum menggunakan *ion gun* atau plasma bertekanan rendah. Di lain pihak, material yang digunakan untuk *sputtering*, partikel-partikelnya tidak mengalami tabrakan dengan fase gas yang ada di antara target dan substrat. *Sputtering* dapat juga dilakukan dalam tekanan plasma yang lebih tinggi (5–30 mTorr) di mana partikel yang telah mengalami proses *sputtering* sudah tertermalisasi atau dikenakan panas oleh energi tabrakan dalam fase gas sebelum partikel-partikel tersebut mencapai substrat.<sup>[2]</sup> Adanya plasma dalam proses tersebut mengaktifkan gas yang reaktif (aktivasi plasma) dan membuat reaksinya reaktif secara kimiawi. Deposisi dalam metode PVD ini melalui 6 langkah (mekanisme) antara lain<sup>[1]</sup>:

1. Atom-atom dan molekul-molekul yang sampai pada permukaan substrat yang dideposisi terlebih dahulu diserap di permukaan.
2. Kemudian atom-atom dan molekul-molekul yang diserap di permukaan tadi, terdifusi beberapa jarak sebelum akhirnya bergabung membentuk film tipis.

3. Penggabungan beberapa atom dan molekul akhirnya bereaksi dengan permukaan material substrat akhirnya terikat membentuk film tipis.
4. Terjadi agregasi yang pertama kali (*initial aggregation*) dari film tipis tersebut yang disebut dengan nukleasi.
5. Setelah film tipis tumbuh semakin tebal, terbentuklah struktur atau morfologi yang melibatkan sifat kekasaran (*roughness*) dan kristalografi. Kristalografi dari sebuah film tipis dapat bervariasi dari amorf ke polikristalin atau ke *single* kristal. Pada akhirnya, akan didapatkan epitaksi (*epitaxy*) yaitu dengan mereplikasi (membentuk berulang-ulang) susunan kristalin dari substrat *single* kristal.<sup>[1]</sup>
6. Akhirnya, interaksi difusi yang sebenarnya terjadi di antara film tipis dan substratnya. Deposisi ini terjadi di bawah permukaan substrat di mana akan terjadi secara kontinu. Biasanya, setelah deposisi, dikenakan perlakuan panas terhadap film tipis tersebut supaya dapat terjadi pertumbuhan Kristal (*crystal growth*).<sup>[1]</sup>

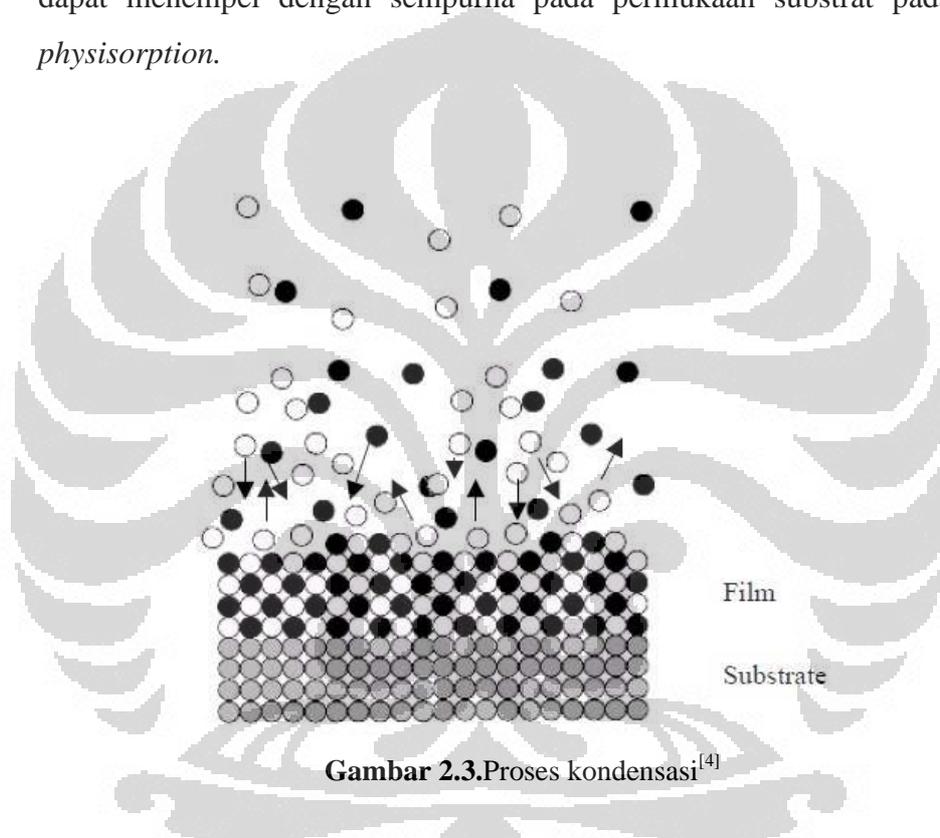


**Gambar 2.2.** Mekanisme proses deposisi dalam metode PVD.<sup>[3]</sup>

Untuk lebih jelasnya, proses deposisi tersebut, mekanismenya akan dijelaskan lebih lanjut di bawah ini dengan dilengkapi Gambar.2.2.

**(a) Adsorpsi:** Setelah molekul sampai pada permukaan material dari fase gas, ada beberapa jarak antara molekul dan permukaan. Nantinya, akan terjadi interaksi antara molekul di permukaan.<sup>[1]</sup> Proses adsorpsi ini terbagi menjadi dua yaitu *physisorption* dan *chemisorption*.<sup>[1],[4]</sup> *Physisorption* adalah keadaan adsorpsi di mana ikatan molekul film tipis dan permukaan substratnya lemah atau dapat

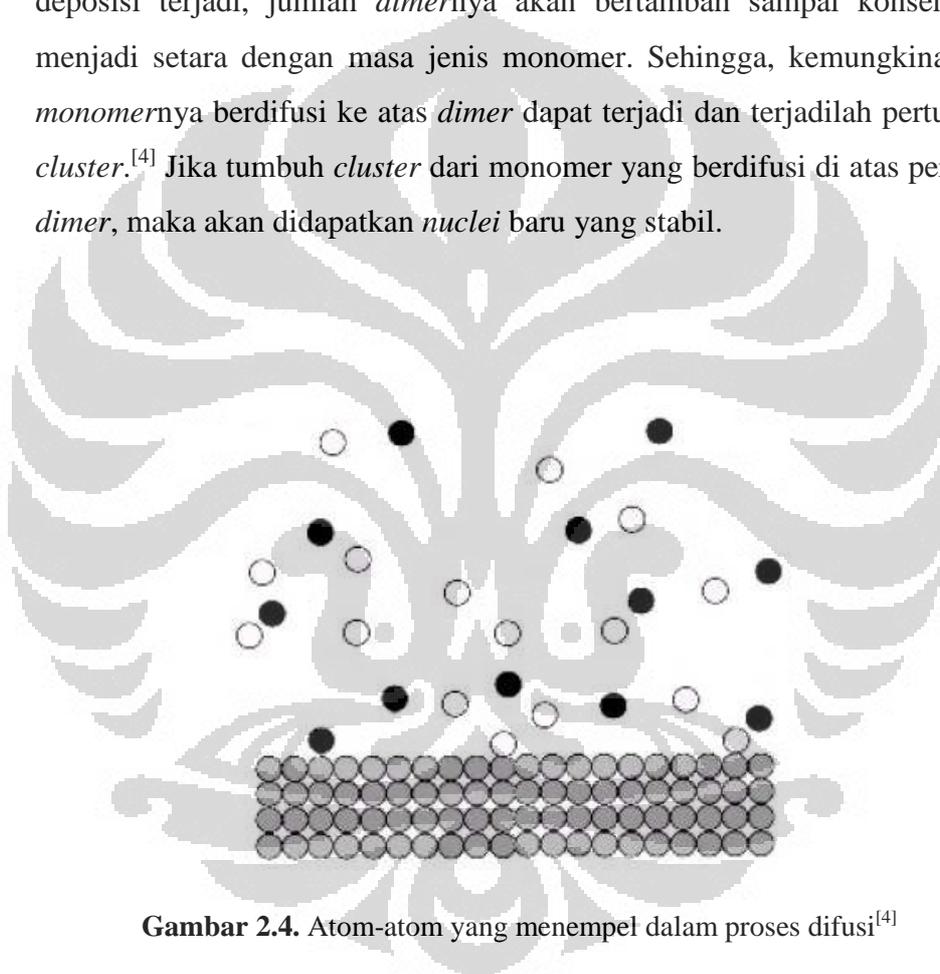
dikatakan tidak terjadi reaksi kimia.<sup>[1],[4]</sup> Sedangkan *chemisorption* memiliki ikatan kimia yang kuat dan dibentuk antara atom-atom atau molekul-molekul film tipis dan permukaan substrat. Di antara proses adsorpsi dan difusi permukaan, ada proses yang disebut kondensasi.<sup>[4]</sup> Proses kondensasi membantu proses adsorpsi yaitu dengan menjaga agar permukaan substrat memiliki waktu yang cukup untuk terjadinya reaksi kimia yang diharapkan pada proses *chemisorption* dan agar atom atau molekul film tipis tersebut dapat menempel dengan sempurna pada permukaan substrat pada proses *physisorption*.



- (b) **Difusi Permukaan:** Difusi merupakan hal yang paling penting dalam pembentukan struktur film tipis karena difusi membuat molekul-molekul material yang ada di permukaan bergabung. Kemudian pada akhirnya, molekul-molekul tersebut akan menemukan situs yang aktif di permukaan atau disebut juga dengan situs epitaksi (*epitaxial sites*). Proses epitaksi akan dijelaskan lebih lanjut dalam bahasan “Pertumbuhan Film Tipis”. Proses difusi permukaan membutuhkan pemisahan ikatan kimia antara molekul-molekul yang teradsorpsi dan permukaan. Sehingga, nantinya saat ikatannya terpisah

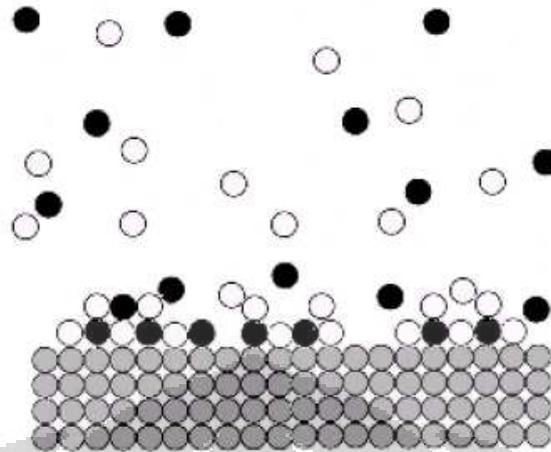
akan dapat membentuk ikatan baru di situs lain yang masih dalam satu permukaan.<sup>[1]</sup>

(c) **Nukleasi dan Pertumbuhan Film Tipis:** Dalam proses deposisi, atom-atom (monomer) sampai ke permukaan dari bentuk awal fase gas dengan rasio tertentu.<sup>[4]</sup> Untuk lebih sederhana, diasumsikan temperatur permukaannya cukup rendah sehingga hanya *monomer-monomer* (satu atom) saja yang dapat berdifusi di permukaan sedangkan *dimernya* (dua atom) tidak bergerak. Saat deposisi terjadi, jumlah *dimernya* akan bertambah sampai konsentrasinya menjadi setara dengan masa jenis monomer. Sehingga, kemungkinan untuk *monomernya* berdifusi ke atas *dimer* dapat terjadi dan terjadilah pertumbuhan *cluster*.<sup>[4]</sup> Jika tumbuh *cluster* dari monomer yang berdifusi di atas permukaan *dimer*, maka akan didapatkan *nuclei* baru yang stabil.



**Gambar 2.4.** Atom-atom yang menempel dalam proses difusi<sup>[4]</sup>

Kemudian, proses difusi yang berlanjut akan meningkat ke pertumbuhan *island*.<sup>[4]</sup> Dalam bentuk *island*, masa jenis material akan lebih stabil sehingga akan memberi peluang kepada atom-atom lain untuk berdifusi. Setelah membentuk banyak *island*, kemungkinan beberapa akan terpisah dan dapat membentuk *island* baru karena atom-atomnya akan menempel dengan sendirinya ke *island* yang belum terbentuk sempurna. Terus-menerus sampai terbentuknya lapisan baru yaitu lapisan film tipis di permukaan substrat.



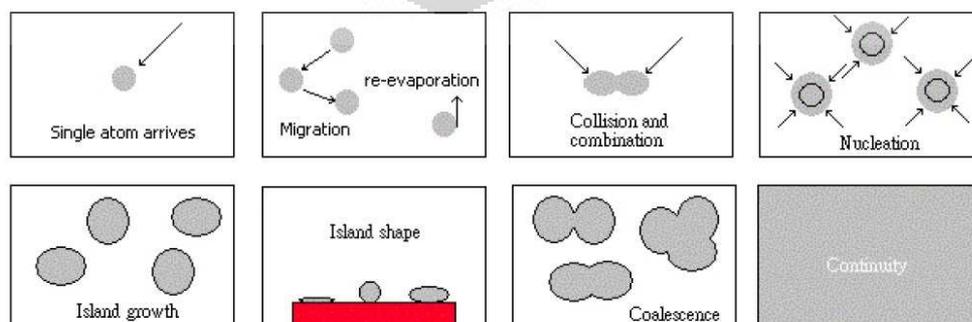
**Gambar 2.5.** Pembentukan *island*<sup>[4]</sup>

Dua atom yang berdifusi membentuk *dimer*.<sup>[4]</sup> Terjadinya *dimer* ini membuat masa jenis *island* stabil. Variasi temperatur juga mempengaruhi proses difusi ini. Nukleasi ini adalah proses yang paling berhubungan dengan proses pertumbuhan film tipis. Proses pertumbuhannya mencakup 3 jenis dan akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian “Pertumbuhan Film tipis”.

### 2.1.2 Pertumbuhan Film Tipis (*Thin Film Growth*)

Seperti yang dijelaskan di atas, pertumbuhan film tipis berlangsung pada saat material film tipis tersebut dideposisikan ke permukaan substrat. Untuk lebih jelasnya, dirangkum dalam Gambar 2.6.

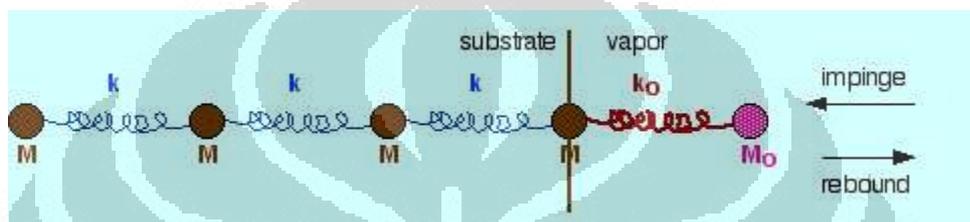
## Thin Film Growth Process



**Gambar 2.6.** Proses pertumbuhan film tipis<sup>[4]</sup>

Menurut gambar di atas, urutan dari awal sampai akhir yaitu mulai dari kiri atas lalu ke kanan. Kemudian, kiri bawah lalu ke kanan. Prosesnya adalah seperti berikut:

1) **Single atom arrives**: saat di mana atom-atom dari film tipis sampai di permukaan substrat. Pada proses ini, atom melepaskan energi panas agar dapat menempel pada substrat. Proses menempelnya atom pada substrat secara sederhana dijelaskan pada gambar di Gambar 2.7.



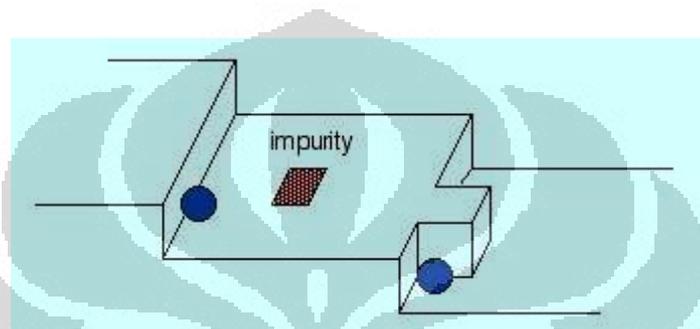
Gambar 2.7. Model rantai atom<sup>[5]</sup>

Diasumsikan atom yang ditembakkan ke substrat memiliki rantai yang berhubungan satu dengan lainnya. Pada saat permukaan atom menyentuh permukaan substrat, akan terjadi tabrakan dan menyebabkan atom film tipis memantul. Jika pantulannya cukup kuat, maka atom akan terlepas dari permukaan (tidak jadi menempel). Sedangkan jika pantulannya tidak cukup kuat, atom akan terperangkap dan akan melepaskan energi berupa panas ke kisi kristal substrat tersebut. Sehingga, terjadilah pelapisan film tipis. Proses ini berlangsung sangat cepat rata-rata memiliki kecepatan  $10^{-14}$  detik.<sup>[5]</sup>

2) **Re-evaporation and migration**: setelah atom film tipis menempel pada permukaan substrat, proses deposisinya tidak sampai di situ saja. Atom yang tidak memiliki cukup energi akan ter-evaporasi kembali.<sup>[5]</sup> Karena film tipis bukan material yang stabil, beberapa atomnya ada yang ter-evaporasi kembali dan ada juga yang tidak. Lalu, atom-atom yang menempel pada permukaan substrat akan bermigrasi dan mengatur diri. Dalam proses ini juga terjadi ikat-mengikat atom di permukaan yang sebelumnya sudah dijelaskan yaitu *physisorption* (ikatan Van der Waals) dan *chemisorption* (ikatan kimia).

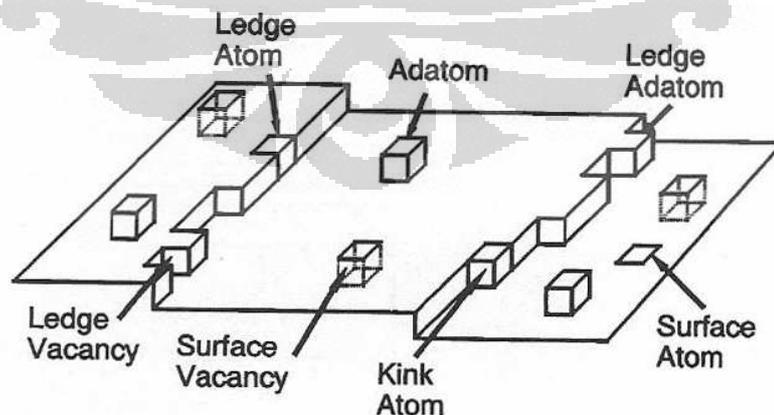
3) **Collision and Combination:** Selanjutnya pada proses deposisi, terjadi tumbukan antara atom-atom film tipis dan berakhir pada kombinasi. Untuk kombinasi 2 atom disebut *dimer*.<sup>[5]</sup>

4) **Nucleation:** kemudian terjadi nukleasi. Atom-atom yang bertumbukan kemudian bergabung tadi membentuk *cluster* atau kumpulan banyak atom yang disebut *nuclei*. Bagaimanakah proses pertumbuhan *nuclei* akan dijelaskan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Proses pertumbuhan *nuclei*.<sup>[5]</sup>

Hal yang perlu diketahui pertama kali adalah permukaan substrat tidak rata. Untuk itu, energi penghalang di setiap sudut permukaan itu berbeda-beda. Situs untuk tumbuhnya *nuclei* adalah tempat yang memiliki energi penghalang yang lebih tinggi dari lainnya sehingga memiliki banyak waktu untuk menyusun diri di permukaan substrat.<sup>[5]</sup>

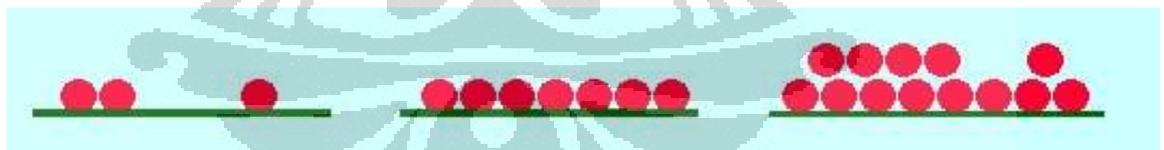


Gambar 2.9. Bentuk permukaan substrat yang tidak rata.<sup>[6]</sup>

Di permukaan substrat yang tidak rata, terdapat *ledge vacancy* atau ruang kosong yang memiliki energi penghalang yang tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Atom-atom yang berdifusi, beberapa mengisi kekosongan ini dan disebut dengan *ledge atom*. Untuk ruang kosong di permukaan yang datar disebut *surface vacancy* dan atom yang mengisinya disebut juga dengan *adatom*. Kemudian untuk atom yang mengisi ruang di sela-sela permukaan yang tidak rata disebut *kink atom*.<sup>[6]</sup> Bagian sudut atau *kink* dan bagian ruang kosong di pinggir (*ledge vacancy*) daripada energi permukaan yang rata memiliki energi penghalang yang lebih besar, sehingga *nuclei* memiliki waktu yang cukup untuk tumbuh. Jadi pertumbuhan *nuclei* paling banyak cenderung dimulai dari *kink* dan bagian pinggir (*ledge*).<sup>[5]</sup>

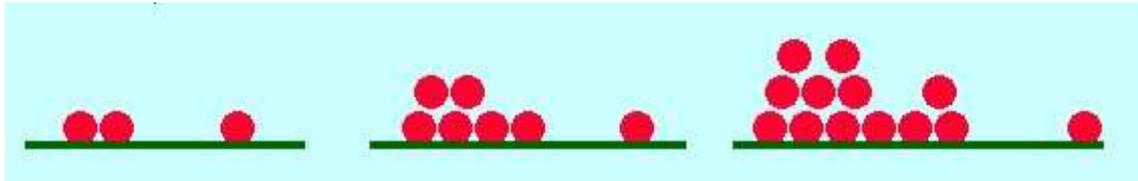
(5) **Island Growth:** Disebut juga pertumbuhan *island* 3D. Proses selanjutnya adalah pertumbuhan *island*. *Nuclei-nuclei* yang terbentuk pada proses sebelumnya, semakin banyak membuat ikatan dan membuat hamparan area *nuclei* yang luas yang disebut *island*. Pertumbuhan *island* terbagi menjadi tiga jenis<sup>[5]</sup>:

(a) Layer by Later Growth (Frank-van der Merwe): tipe ini memiliki kualitas jenis material kristalin yang paling baik. Atom-atom film tipisnya terikat sangat kuat dengan substrat dibandingkan dengan atom-atom satu sama lain. Kemudian, proses difusinya berlangsung sangat cepat.



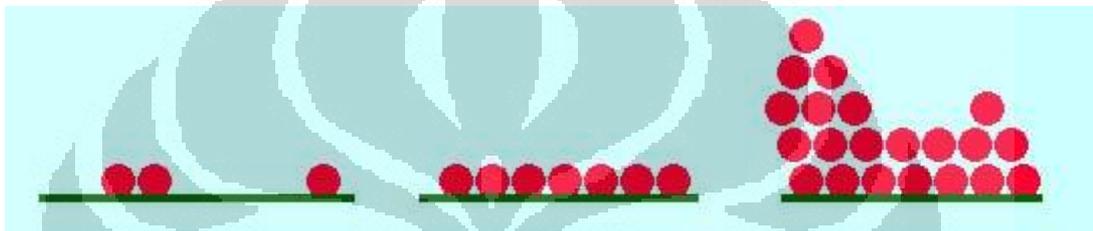
Gambar 2.10. Tipe pertumbuhan *layer by layer*.<sup>[5]</sup>

(b) Island Growth (Volmer-Weber): atom-atom film tipisnya terikat sangat kuat satu dengan lainnya daripada ikatannya dengan substrat. Kemudian, proses difusinya berlangsung sangat cepat.<sup>[5]</sup>



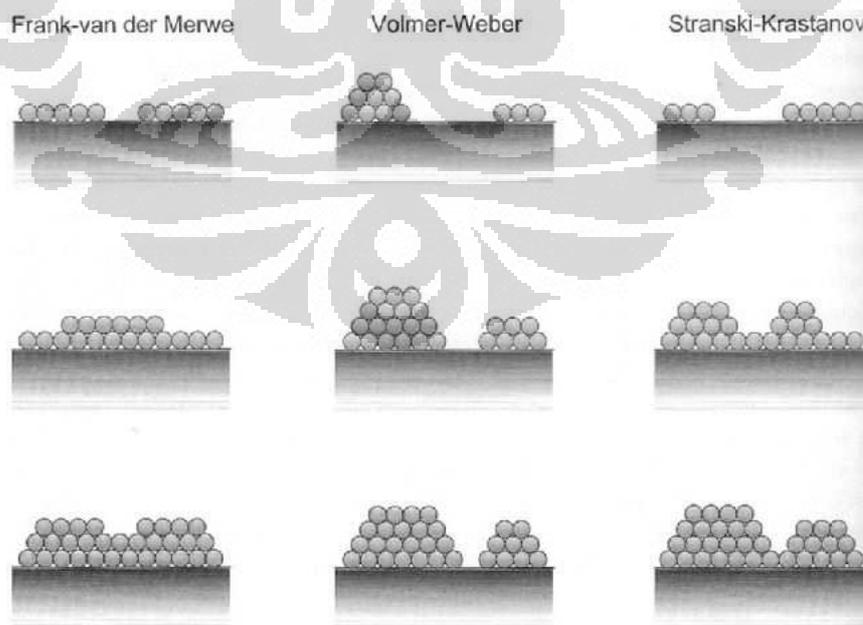
**Gambar 2.11.** Tipe pertumbuhan *island* Volmer-Weber.<sup>[5]</sup>

(c) *Mixed Growth (Stranski-Karstano)*: Diawali dengan model lapisan per lapisan (*layer by layer*) kemudian membentuk *island* 3D. Proses ini merupakan gabungan dari proses *island* dan *layer*.



**Gambar 2.12.** Tipe pertumbuhan campuran<sup>[5]</sup>

Untuk melihat perbandingan yang lebih jelas dari ketiga jenis proses pertumbuhan film di atas, dapat ditunjukkan dengan gambar di bawah ini.



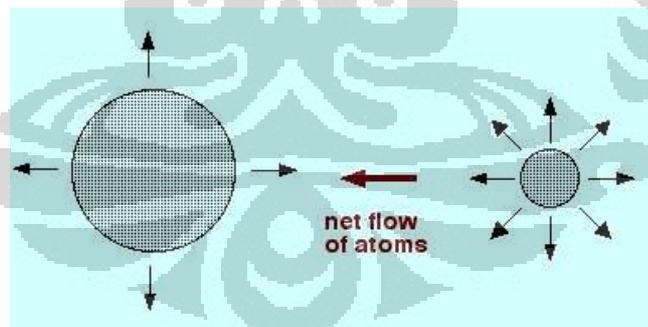
**Gambar 2.13.** Perbandingan ketiga jenis proses pertumbuhan film.<sup>[6]</sup>

Untuk model yang pertama yaitu Frank-van der Merwe atau *layer by layer growth*, *adatom* (atom yang berada pada permukaan yang rata) mengisi bagian pinggiran teras sampai ke teras yang paling rendah (bentuknya berteras-teras sehingga ada bagian yang lebih tinggi dan rendah). Pertumbuhannya terjadi secara kontinu.<sup>[6]</sup> Untuk model Volmer-Weber atau *Island growth*, *adatom* bernukleasi pada titik tertentu kemudian terus mengisi ruang kosong untuk membentuk titik-titik besar.<sup>[6]</sup> Untuk model yang terakhir yaitu Stranski-Krastanov atau model campuran, pada awalnya, lapisan yang rata yang disebut juga dengan *wetting layer* mulai terbentuk dan diikuti dengan tabrakan atom-atom.<sup>[6]</sup>

6) **Island Shape:** Pembentukan *island*.<sup>[5]</sup> Jika film tipisnya sudah mulai melapisi substrat akan terlihat bentuk *island*nya dengan mengikuti salah satu proses dari ketiga tipe pertumbuhan yang sudah dijelaskan di atas.

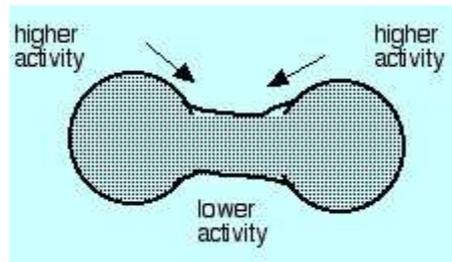
7) **Coalescence:** Untuk tahap selanjutnya adalah koalisi atau peleburan banyak atom menjadi bentuk *island*. Biasanya terbentuk dari 2 atom yang melebur kemudian membuat *island* yang luas. Mekanismenya dibagi menjadi 3.<sup>[5]</sup>

1. **Ostwald Ripening:** atom-atom yang tergabung dalam *island kecil* meninggalkan *island*nya tersebut tapi tidak untuk atom-atom yang berada pada *island* yang lebih besar. Aktivitas atomnya sangat besar dan berkemungkinan untuk lepas dari *island*.<sup>[5]</sup>



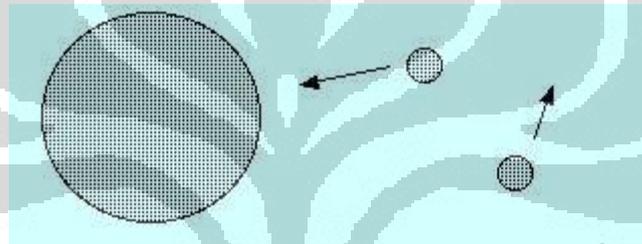
Gambar 2.14. Ostwald Ripening.<sup>[5]</sup>

2. **Sintering:** saat terjadi penurunan energi permukaan, atom-atom yang bersebelahan yang biasanya terdiri dari dua atom (*dimer*) melebur bersamaan dan bergabung. Proses ini disebut *sintering*.<sup>[5]</sup>



Gambar 2.15. Sintering.<sup>[5]</sup>

3. *Cluster Migration*: *cluster-cluster* kecil bergerak secara acak dan kemudian diserap (terjadi absorpsi) oleh *cluster* yang lebih besar.<sup>[5]</sup> Membentuk kumpulan *island* yang lebih luas.



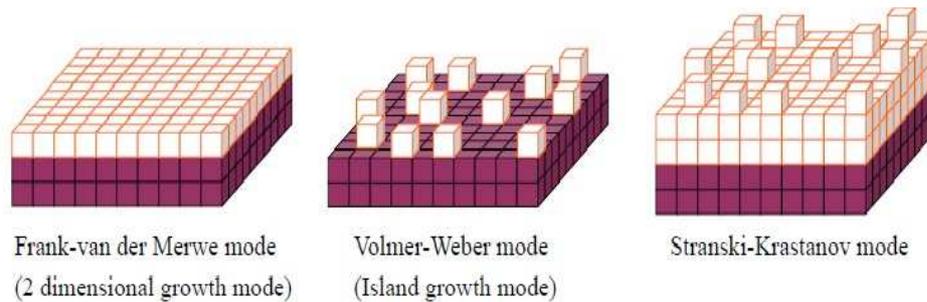
Gambar 2.16. Cluster Migration.<sup>[5]</sup>

8) *Continuity*: pada tahap akhir ini akhirnya *cluster-cluster* tadi bergabung membentuk *island* yang luas secara kontinu. Kemudian membentuk lapisan film tipis di seluruh permukaan substrat.

### 2.1.3 Kristalografi dan Morfologi Film Tipis

Untuk material amorf, struktur kristalnya tidak tersusun dengan rapi (*no ordered*). Sedangkan untuk material polikristalin, struktur kristalnya tersusun oleh butir yang acak, ada juga yang terstruktur secara rapi, tersusun sangat rapi, dan epitaksi.<sup>[4]</sup> Untuk struktur kristal material single kristal susunannya disebut *homoepitaxy* atau *heteroepitaxy*.

Jenis model pertumbuhan yang telah dijelaskan sebelumnya pun mempengaruhi susunan kristal lapisan film tipis.



**Gambar 2.17.** Model Pertumbuhan Film Tipis.<sup>[4]</sup>

Gambar pertama (paling kiri) merupakan model *layer by layer*. Model pertumbuhannya terjadi karena atom-atom yang berada di permukaan substrat lebih terikat secara kuat dengan substrat daripada dengan atom-atom satu dengan lainnya.<sup>[5]</sup> Untuk kasus yang berlawanan, di mana atom-atom yang ditembakkan terikat lebih kuat antara satu dengan yang lainnya daripada dengan substratnya merupakan model 3D *Island*. Kemudian yang terakhir adalah gabungan antara keduanya. Pada model yang terakhir, yang pertama kali terbentuk adalah lapisan (*layer*) lalu baru terbentuk *island*.

Morfologi film tipis ditandai dengan "*Lattice Mismatch*".<sup>[4]</sup> Tegangan dari kisi kristal yang tidak sepadan dihasilkan pada saat terbentuknya lapisan film tipis itu sendiri. Hal ini berpengaruh pada energi bebas permukaan yang merupakan salah satu parameter yang diperhatikan dalam mode pertumbuhan film tipis. Bagaimanapun juga, energi bebas permukaan untuk substrat dan material film tipis juga mempengaruhi mode pertumbuhannya.<sup>[4]</sup>

#### 2.1.4 Epitaksi

Epitaksi berarti bahwa susunan kristalografi dari sebuah film tipis sangat dipengaruhi oleh substrat sehingga menghasilkan beberapa kesesuaian antara dua *interface* di antara material film tipis tersebut dan substratnya.<sup>[1]</sup> Epitaksi ini biasanya terjadi pada film tipis jenis polikristalin. Nantinya akan mempengaruhi proses pertumbuhan film dan kristalografinya dan lebih jauh lagi, akan ikut mempengaruhi morfologi permukaan (topografi) yang sangat dipengaruhi oleh ketidaksesuaian (*mismatch*) antara kisi film tipis dan substrat.<sup>[1]</sup>

Epitaksi (*epitaxy*) dikenal sebagai fenomena pertumbuhan film tipis di mana ada hubungan antara struktur dari film tersebut dan substrat.<sup>[4]</sup> Dalam kasus tertentu, biasanya epitaksi terjadi pada pertumbuhan film tipis pada permukaan substrat single kristal dengan satu *layer*. Jika film single kristal dan substrat single kristal merupakan material yang sama disebut homoepitaksi. Sedangkan jika materialnya berbeda disebut heteroepitaksi. Hal yang mempengaruhi epitaksi sebuah film tipis adalah kesesuaian struktur misalnya kesesuaian pada kisi kristal atau *lattice-matching*, struktur kristal, dan *lattice constant*. Kemudian kesesuaian kimiawi misalnya ikatan kimia dan difusi kimia.<sup>[4]</sup> Kemudian faktor terakhir yang mempengaruhi epitaksi adalah temperatur.

Konteks epitaksi diaplikasikan pada pertumbuhan film dengan substrat material kristalin yang tersusun rapi yang memiliki susunan atom dari film yang mendapatkan pengaruh struktur kristalografi dari substrat tersebut.<sup>[7]</sup> Pertumbuhan epitaksi merupakan teknik yang paling penting dalam memproduksi film tipis untuk alat-alat elektronik dan optik. Pertumbuhan kristal epitaksi bergantung pada model pertumbuhan film tipis dan berbagai parameter seperti kesesuaian antara substrat dan lapisan.<sup>[7]</sup> Pertumbuhannya lebih dititik beratkan pada nukleasi.

Ada hubungan langsung antara mode pertumbuhan dan morfologi film tipis itu sendiri. Di mana memberikan sifat struktural seperti kerataan permukaan dan kekasaran lapisan.<sup>[7]</sup> Hal tersebut ditentukan oleh transport kinetik dan proses difusi. Proses atomisasi yang berbeda dapat terjadi pada permukaan substrat selama pertumbuhan film: deposisi, difusi pada teras, nukleasi pada *island*, nukleasi pada lapisan ke-2 *island* (jika lebih dari satu lapisan), difusi ke teras yang lebih rendah, penggabungan *island*, nukleasi pada lapisan ke-2 (jika ada lebih dari 1 lapisan, difusi sepanjang pinggiran permukaan substrat, pelepasan dari *island*, dan difusi *dimer*.<sup>[7]</sup> Seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.

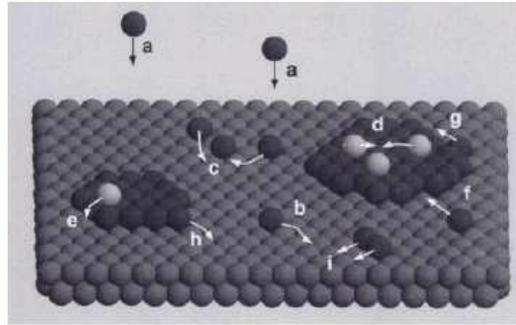


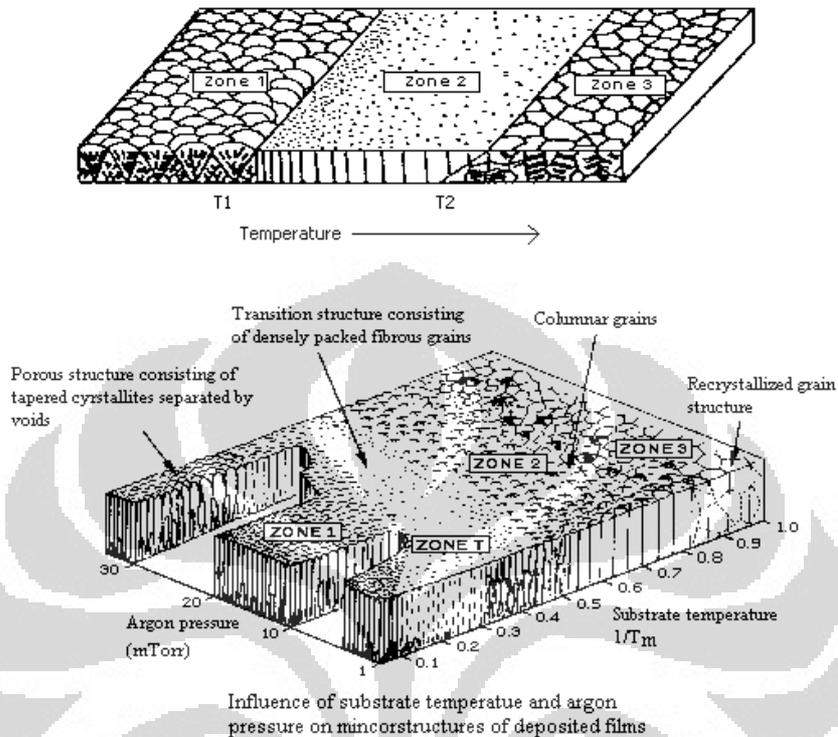
Figure 1: Atomistic processes during the growth: a) deposition, b) diffusion on terraces, c) nucleation on islands, d) nucleation on second-layer island, e) diffusion to a lower terrace, f) attachment to an island, g) diffusion along a step edge, h) detachment from an island, i) diffusion of dimmer.

**Gambar 2.18.** Epitaksi pada film tipis.<sup>[7]</sup>

### 2.1.5 Kontrol Temperatur

Temperatur substrat yang diberikan pada saat proses deposisi adalah salah satu parameter yang mempengaruhi pertumbuhan film tipis yaitu apakah epitaksi yang baik dapat dicapai atau tidak.<sup>[4]</sup> Temperatur substrat juga bergantung pada rasio deposisi, energi partikel, dan kontaminasi permukaan. Alasan mengapa perlu menggunakan temperatur yang lebih tinggi adalah untuk mengurangi kontaminasi permukaan, untuk meningkatkan pergerakan atom di atas permukaan, dan untuk meningkatkan kemampuan difusi sehingga dapat dicapai rekristalisasi yang diinginkan. Pengaruh temperatur pada pertumbuhan film, dapat dilihat sesuai dengan gambar di bawah ini.

## Influence of Substrate Temperature on Thin Film Growth



**Gambar 2.19.** Pengaruh temperatur substrat pada pertumbuhan film.<sup>[4]</sup>

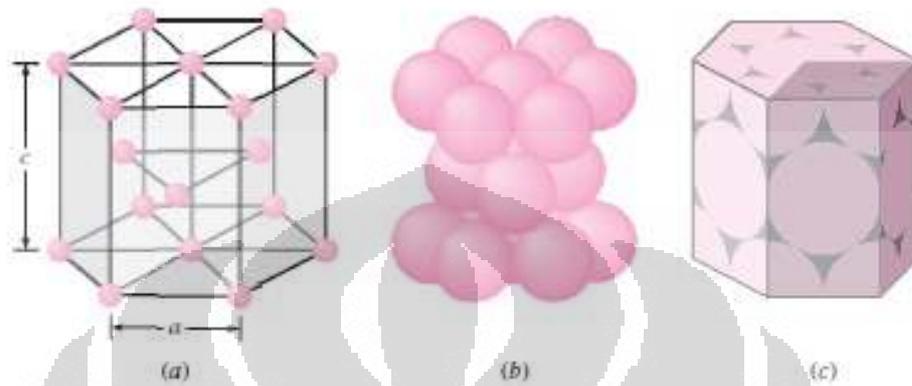
Sesungguhnya, dengan substrat temperatur yang lebih tinggi akan memperbagus pertumbuhan butir kristal lapisan film tipis. Temperatur deposisi yang dikenakan pada substrat sangat penting dalam proses deposisi karena memiliki pengaruh pada struktur dan komposisi film tipis dan *interface*.<sup>[1]</sup>

### 2.1.6. Karakteristik Kristal Film Tipis Zn

#### 2.1.6.1. HCP (*Hexagonal Closed Packing*)

Dalam pembuatan film tipis dalam penelitian ini, material yang digunakan adalah Zn dengan substrat material kristalin yaitu Alumina. Menurut teori, kristal Zn normal adalah HCP (*Hexagonal Closed Packing*) dengan unit sel seperti gambar di bawah ini. Struktur fisik material solid diatur oleh susunan atom, ion, atau molekul dan gaya tarik antara partikel solid. Inilah yang menyebabkan material memiliki karakteristik tertentu. Jika atom atau ion dari material solid

tersusun dalam pola yang berulang-ulang dalam ruang tiga dimensi disebut memiliki struktur kristal dan disebut juga dengan kristalin solid.<sup>[8]</sup> Contoh material kristalin adalah logam, paduan, dan beberapa material keramik.



Gambar 2.20. unit sel HCP, (a) *atomic-site unit cell*, (b) *hard-sphere unit cell*, dan (c) *isolated unit cell*.<sup>[9]</sup>

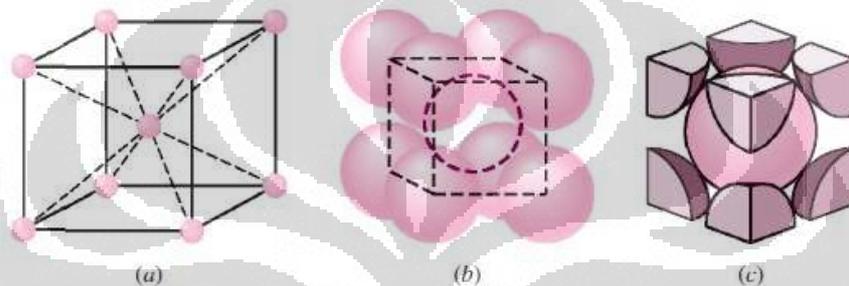
Metal	Lattice constants (nm)		Atomic radius $R$ (nm)	$c/a$ ratio	% deviation from ideality
	$a$	$c$			
Cadmium	0.2973	0.5618	0.149	1.890	+15.7
Zinc	0.2665	0.4947	0.133	1.856	+13.6
Ideal HCP				1.633	0
Magnesium	0.3209	0.5209	0.160	1.623	-0.66
Cobalt	0.2507	0.4069	0.125	1.623	-0.66
Zirconium	0.3231	0.5148	0.160	1.593	-2.45
Titanium	0.2950	0.4683	0.147	1.587	-2.81
Beryllium	0.2286	0.3584	0.113	1.568	-3.98

Tabel 2.1. Material yang memiliki struktur kristal HCP.<sup>[9]</sup>

Menurut tabel Tabel 2.1, Zn memiliki *lattice constant* yaitu panjang kisi ( $a$ ) sebesar 0.2665 nm dan tinggi kristal ( $c$ ) yaitu 0.4947 nm. *Lattice constant* merupakan vektor (panjang aksial) yaitu ditunjukkan dengan huruf  $a$ ,  $b$ , dan  $c$ . *Lattice kristal* ada pada kisi dan kisi-kisi tersebut membentuk unit sel. Dalam mebuat unit sel dan akhirnya membentuk kristal, terdapat jarak antar kisi yang menentukan ikatan atom dalam suatu material. Jarak antar kisi inilah yang akhirnya akan direkayasa secara atomik dengan perubahan elektron valensi Zn pada penelitian ini.

### 2.1.6.2. BCC (*Body-Centered Cubic*)

Pada penelitian ini, dilakukan rekayasa material dalam skala atomik dengan mengubah konfigurasi elektron material yang digunakan untuk film tipis yaitu Zn. Dari Zn normal yang memiliki struktur kristal HCP menjadi Zn tereksitasi yang diasumsikan memiliki struktur kristal BCC. Untuk menganalisa morfologi pertumbuhan kristal tersebut, kita perlu mengetahui struktur kristal BCC yang akan dijelaskan sebagai berikut.



**Gambar 2.21.** a) *atomic-site unit cell*, (b) *hard-sphere unit cell*, dan (c) *isolated unit cell*.<sup>[9]</sup>

Dalam perhitungan *lattice constant* Zn yang tereksitasi tetap digunakan *lattice constant* Zn normal yaitu dengan  $a = 0.2665$  nm. *Closed-packed planes* yang ada pada BCC tidak terikat secara kuat. Dalam *plane* BCC, *plane* dengan densitas atomik terbesar adalah  $\{110\}$ .<sup>[9]</sup> Bidang slip terjadi sepanjang arah *close-packed* yaitu di bidang terpadat dan arah terpadat. Material BCC memiliki 48 *slip system* yang bukan *closed-packed* sehingga diperlukan energi yang lebih besar untuk menimbulkan slip sistem tersebut. Karena dislokasi hanya bergerak pada *slip system*, material yang memiliki banyak *slip system* akan mudah dideformasi. Sedangkan kristal HCP hanya memiliki satu *slip system* sehingga jika dibandingkan dengan BCC, dislokasi pada HCP akan sulit bergerak dan menyebabkan sulit untuk dideformasi.<sup>[9]</sup>

### 2.1.7. Karakteristik Material Substrat Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Kristal solid termasuk alumina terdiri dari atom, ion, dan molekul yang tersusun dalam pola yang berulang-ulang dan diinterpretasikan secara tiga

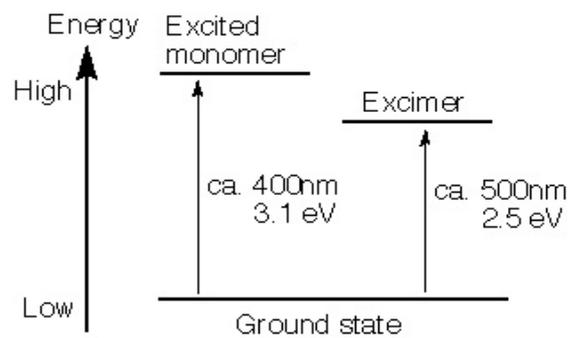
dimensi.<sup>[9]</sup> Sebuah material di dalamnya terdapat kristal di mana mana atom terletak secara periodik dan terletak dalam skala atomik yang besar dan memiliki jarak. Klasifikasi kristal di dalam material antara lain:

- (a) Material kristalin yaitu dengan ciri-ciri atom (ion dan molekulnya) memiliki pola yang berulang-ulang dalam 3 dimensi yang disebut kisi atau *lattice*.<sup>[9]</sup> Contoh kristal yang memiliki susunan yang panjang dalam jenis ini adalah kristal NaCl.
- (b) Amorf (nonkristalin) yaitu memiliki susunan yang pendek dan tidak periodik.<sup>[9]</sup> Contohnya adalah air dan gelas.
- (c) Fractals yaitu struktur kristal yang memiliki bentuk memanjang, simetris tapi tidak berulang.<sup>[9]</sup>
- (d) Kristal Liquid yaitu salah satu kristal yang memiliki susunan memanjang tapi tidak simetris satu dengan lainnya.<sup>[9]</sup>

Di dalam jenis-jenis kristal yang disebutkan di atas terdapat jarak antar kisi yang disebut juga dengan *space lattice*. *Space lattice* adalah posisi dari atom-atom dalam kristal yang dapat diketahui dengan menyamakan atom pada poin interseksi atau persimpangan dengan koordinat 3 dimensi.<sup>[9]</sup> Susunan semacam ini disebut spasi atau kisi kristal. Substrat yang telah digunakan dalam penelitian ini adalah safir atau alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yaitu dengan jenis material kristalin. Pada saat pembuatan film tipis, biasanya substratnya adalah material kristalin solid seperti *glass*. Substrat tersebut netral sehingga pada saat dideposisi oleh material film tipis atom-atomnya dapat berorientasi membentuk lapisan.

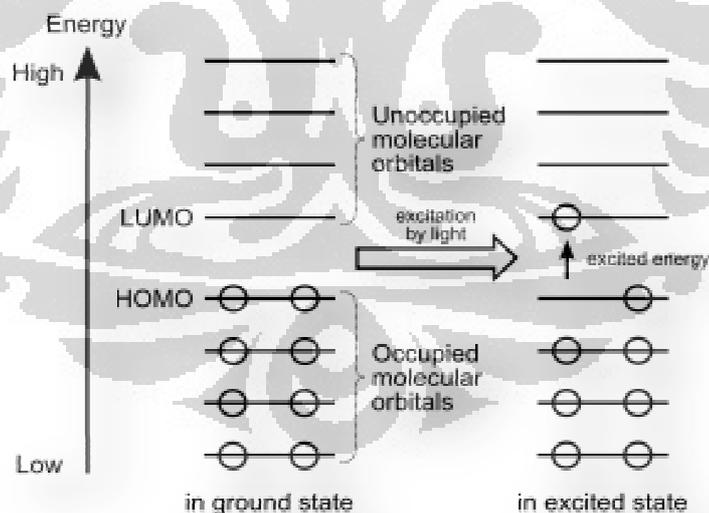
#### 2.1.8. Proses Rekombinasi Ion dalam Pembentukan Zn Excimer ( $\text{Zn}^*$ )

Kata *excimer* berarti *excited dimer* yaitu molekul diatomik yang tereksitasi. *Excimer* merupakan molekul diatomik yaitu yang terdiri dari dua atom atau molekul.<sup>[10]</sup>



**Gambar 2.23.** Eksitasi Excimer.<sup>[10]</sup>

Di dalam sistem orbital molekular, molekul yang ada pada daerah dasar memiliki elektron. Elektron ini ada pada level energi terendah. Menurut asas Pauli, maksimal ada dua elektron yang menempati satu orbital dan memiliki spin yang berlawanan.<sup>[10]</sup> Orbital molekular yang paling tinggi terisi disebut HOMO dan yang paling rendah disebut LUMO. Di antara HOMO dan LUMO terdapat *energy gap* yang disebut dengan HOMO/LUMO gap.<sup>[10]</sup>



**Gambar 2.24.** HOMO/LUMO gap.<sup>[10]</sup>

Sistem HOMO/LUMO gap di atas melatarbelakangi eksitasi Zn menjadi Zn *excimer* yang ditunjukkan oleh loncatan elektron ke level yang lebih tinggi. Dalam proses rekayasa material, kita dapat menggunakan elektron terluar.

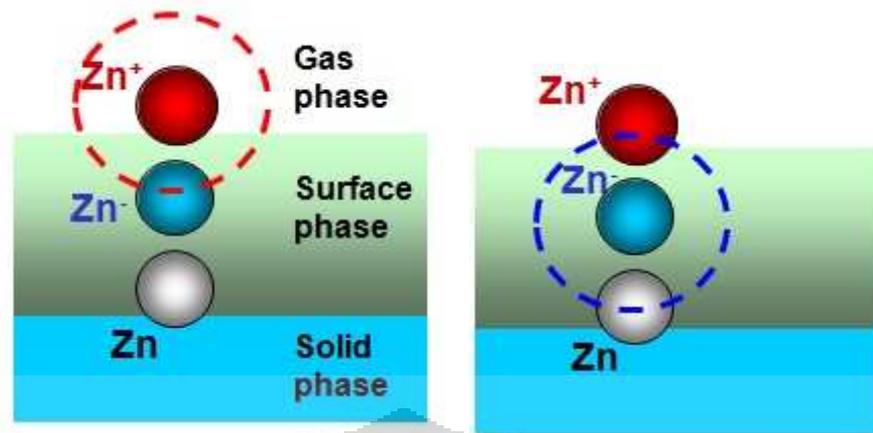
Dengan menata ulang konfigurasi elektron, kita dapat mengubah properties dari suatu material karena susunan atomnya telah berubah. Dalam proses ini, yang diharapkan adalah eksitasi dari *un-electronic state* ke level yang lebih tinggi.

Seperti yang kita tahu, menurut konfigurasi elektron, elektron terluar Zn adalah 3p 3s 3d. Energi tertentu diberikan kepada elektron terluar Zn untuk meningkatkan sifat mekanis (dalam hal ini umur pakai).<sup>[11]</sup> Pada penelitian sebelumnya (tahun 2011) yaitu yang dilakukan oleh K. Obara, M. Hamasaki, M. Obara, dkk investigasi dilakukan dengan parameter proses energi elektrik yang diberikan kepada elektron terluar Zn yaitu 10 eV untuk (3d), 90 eV untuk (3p), dan 140 eV untuk (3s).<sup>[12]</sup> Zn excimer dibentuk dari proses ion-rekombinasi yang mana ion-ion  $Zn^-$  sudah terikat di permukaan substrat (fase padat) dan ion-ion  $Zn^+$  terikat di fasa gas. Walaupun demikian, tidak ada ikatan antara atom Zn dalam fasa solid karena jarak yang jauh antara  $Zn^+$  dan atom Zn.<sup>[12]</sup>



**Gambar 2.25.** Proses rekombinasi ion  $Zn^+$  dan  $Zn^-$  menjadi Zn excimer netral.<sup>[12]</sup>

Ion-ion  $Zn^+$  dan ion-ion  $Zn^-$  bertabrakan satu dengan lainnya. Tabrakan ion-ion inilah yang menyebabkan terjadinya proses perubahan kristal Zn.<sup>[13]</sup> Perubahan kristal di dalam suatu material menyebabkan adanya perubahan sifat material itu sendiri. Karena tabrakan antara ion-ion  $Zn^+$  dan  $Zn^-$  memiliki polarisasi yang besar, akan membuat luas permukaan yang bertabrakan juga besar. Sehingga terjadilah transfer energi yang memiliki efisiensi tinggi dari energi kinetik ke sistem elektron yang paling dalam (terekstisasi).<sup>[12]</sup>



**Gambar 2.26.** (a) eksitasi  $Zn^+$  pada fase gas, (b) Eksitasi  $Zn^-$  pada fase permukaan. <sup>[12]</sup>

Hasil yang akhirnya dapat dicapai adalah rekayasa dalam pengubahan elektron valensi dari dua elektron terluar yaitu  $4s^23d^{10}(Ar)$  menjadi  $4s^23d^9(Ar)$ .<sup>[14]</sup> Inilah yang disebut dengan Zn excimer. Menurut penelitian di tahun 2011, film Zn excimer ternyata memiliki umur pakai yang lebih lama daripada film tipis Zn biasa, yaitu sepanjang 44 minggu.<sup>[14]</sup> Disimpulkan bahwa Zn excimer muncul pada fase terkondensasi yaitu pada fase permukaan dan termasuk sebagai keadaan makroskopik di dalam bentuk film tipis.

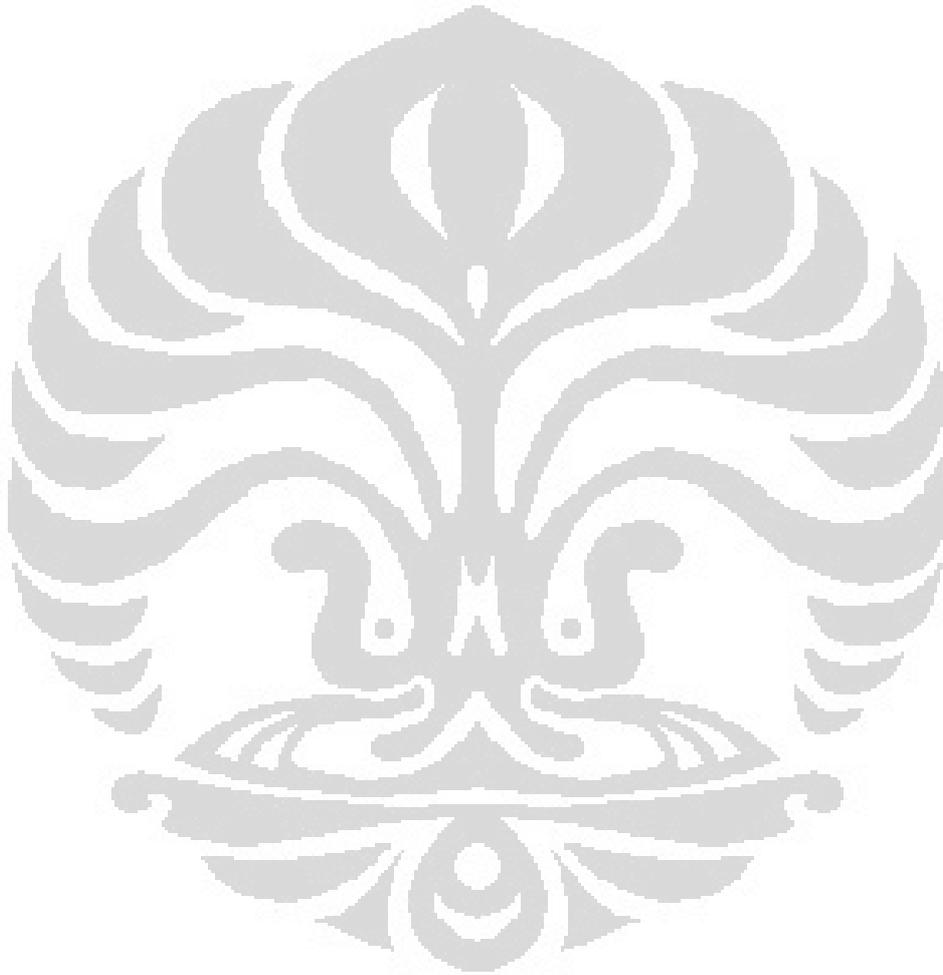
Penelitian lain, yaitu yang dilakukan oleh M. Kuwayama dkk, hampir sama dengan penelitian yang telah dijelaskan di atas. Akan tetapi, penelitian tersebut memiliki parameter yang berbeda yaitu energi deposisi dengan rentangan antara 25 eV sampai 220 eV. Dalam penelitian kali ini, energi deposisi yang diberikan adalah 230 eV.

M. Hamasaki, dkk pada tahun 2011 telah meneliti mengenai proses rekombinasi ion permukaan di antara dua ion dengan fase yang berbeda yaitu fase gas dan fase permukaan.<sup>[14]</sup> Didapatkan hasil bahwa umur pakai ion negatif biasanya lebih pendek daripada ion positif. Rekombinasi ion memiliki permukaan tabrakan yang sangat besar saat kedua permukaannya bertabrakan. Fenomena ini disebut tabrakan langsung yang memiliki efisiensi transfer energi yang tinggi dari total energi pada seluruh sistem.

Dalam membuat sistem yang mudah diterapkan dengan kontrol energi yang mudah dan memiliki kemungkinan tabrakan ion yang tinggi dan efisien, para peneliti di Universitas Kagoshima telah memilih proses rekombinasi ion ini

sebagai mekanisme pembentukan material. Keuntungan mengaplikasikan proses rekombinasi ion di permukaan antara lain<sup>[11]</sup>:

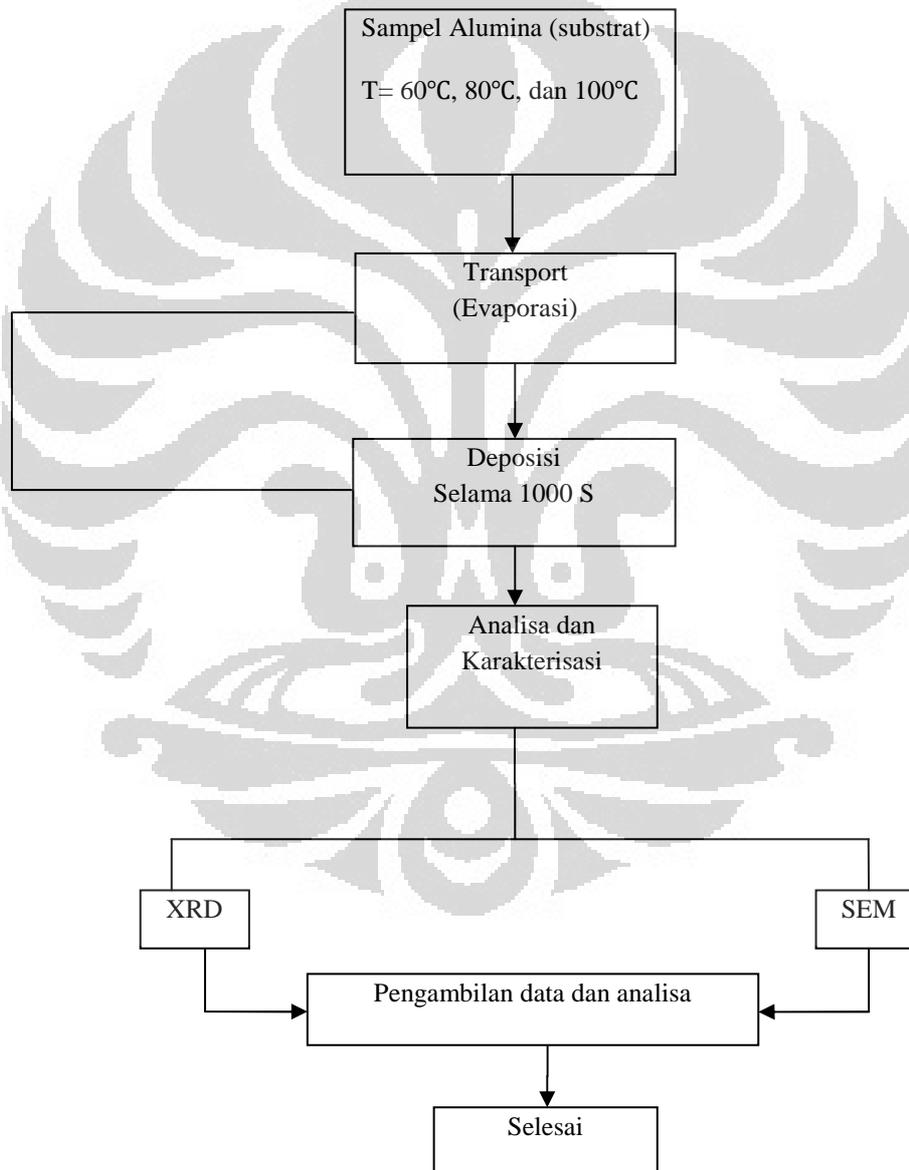
- (a) Salah satu ion yang terpolarisasi sudah dipastikan dapat terperangkap di substrat.
- (b) Proses tabrakannya terjadi secara berkelanjutan.
- (c) Input energinya dikontrol dengan energi kinetik dari ion-ion yang bergerak pada fasa gas.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Eksperimen

Dalam penelitian ini dilakukan serangkaian eksperimen yang dituliskan dalam bentuk diagram alir seperti di bawah ini. Secara umum, terdapat bagian utama yang dilakukan, proses PVD meliputi transport dan evaporasi dan karakterisasi material menggunakan XRD dan SEM.



**Gambar 3. 2.** Diagram alir eksperimen.

### 3.2 Alat dan Bahan

#### Alat

Mesin *Electron-assisted PVD* terdiri atas:

(alumina).

*Effusion cell* dan *heater*.

Tembakan elektron (*electron gun*).

*Digital multimeter*.

Lubang pembuangan (*exhaust vent*).

*Chamber*.

Bias.

*Transmission electron current*.

Elektroda.

*View port*.

*Substrate Holder*.

1) *X-Ray Diffraction Spectroscopy*.

2) *Scanning Electron Microscopy*.

#### Bahan

Sampel  $\text{Al}_2\text{O}_3$

Au (*metal*).

Zn (seng).

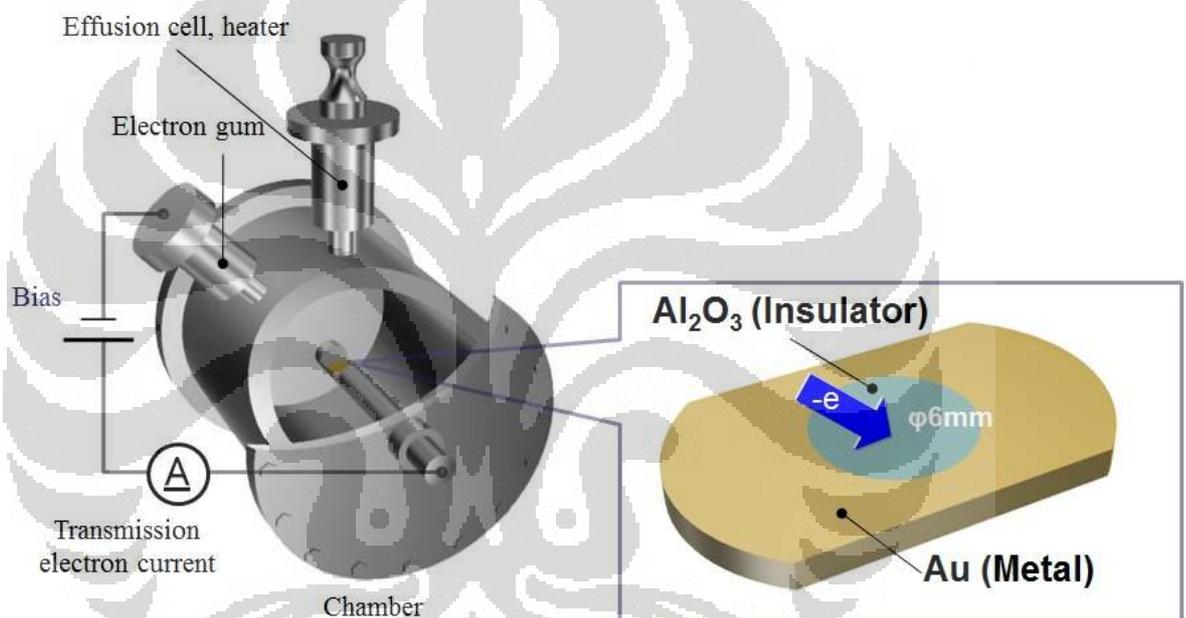
Penelitian ini dibagi atas beberapa tahapan yang terlihat pada diagram alir eksperimen di Gambar 3.1 yaitu : (i).Proses PVD yang meliputi evaporasi dan deposisi, (ii).Eksitasi elektronik, (iii).Karakterisasi XRD,dan (iv). Karakterisasi SEM.

### 3.3. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini, dilakukan proses PVD (yang meliputi transport atau evaporasi dan deposisi) bersamaan dengan proses eksitasi elektronik. Proses tersebut menggunakan 3 sampel identik yaitu Alumina yang nantinya akan divariasikan temperatur deposisinya yaitu  $60^\circ\text{C}$ ,  $80^\circ\text{C}$ , dan  $100^\circ\text{C}$ . Sampel ini merupakan sampel hasil sintesis dari mahasiswa master laboratorium nanoteknologi Universitas Kagoshima. Penggunaan sampel ini didasarkan atas penelitian Zn *Excimer* yang telah dilakukan selama lebih dari 5 tahun. Sehingga, untuk alasan keefektifan sampel beserta data-data hasil pengujian, nantinya akan dilakukan perbandingan hasil dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

### 3.3.1. *Electron-Assisted PVD*

Seperti yang telah dijelaskan pada tabel gwdi halaman pertama BAB III ini, proses pertama yang dilakukan adalah PVD yaitu dengan memberikan sampel alumina (substrat) temperatur deposisi yang berbeda yaitu 60°C, 80°C, dan 100°C. PVD yang dilakukan dalam penelitian bukan proses PVD biasa tapi juga diikuti dengan proses rekombinasi ion. Proses rekombinasi ion adalah inovasi baru yang coba diterapkan dalam penelitian ini yang diharapkan dapat digunakan untuk aplikasi perangkat nano.<sup>[16]</sup>



**Gambar 3. 2.**Alat *Electron-assisted PVD* dan letak sampel.<sup>[16]</sup>

Pada dasarnya, alat PVD yang digunakan untuk penelitian beberapa tahun ini di Universitas Kagoshima memiliki aparatus dengan detail yang dijelaskan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi alat PVD.<sup>[13], [16]</sup>

<i>Back pressure</i>	$10^{-5}$ pa
<b>Bias</b>	0 ~ 240 V
<i>Transmission electron current</i>	0.1 $\mu$ A
<i>Cell temperature</i>	600 °C
<i>Zinc quantity</i>	0.1g $\pm$ 10 % (99.999%)
<i>Diffusion time</i>	1000 sec

Dalam pembuatan sampel, hal yang pertama kali dilakukan adalah pembuatan substrat safir/alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) di dalam *chamber* dalam kondisi vakum dengan proses PVD yang dengan proses utama antara lain evaporasi dan deposisi. Awalnya sampel berdiameter 6 mm adalah safir yang dilapisi emas (Au) supaya dapat menghantarkan elektron lebih baik sebelum dilapisi dengan film tipis Zn. Sampelnya ditandai bagian tengah untuk tempat deposisi Zn. Untuk lebih jelasnya bentuk lingkaran tengah untuk deposisi Zn dijelaskan pada foto berikut. Parameter yang dikerjakan dalam penelitian adalah perbedaan temperatur deposisi yang dikenakan pada substrat.



**Gambar 3.3.** Sampel Alumina dengan yang diberikan temperatur deposisi 60°C.

Untuk deposisi alumina dengan temperatur 60°C dan 80°C, Zn terdeposisi dengan baik, dapat dilihat dengan hasil deposisi Zn yang rata pada bagian tengah. Untuk hasil deposisi dalam temperatur 80°C pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4.** Sampel Alumina dengan yang diberikan temperatur deposisi 80°C.

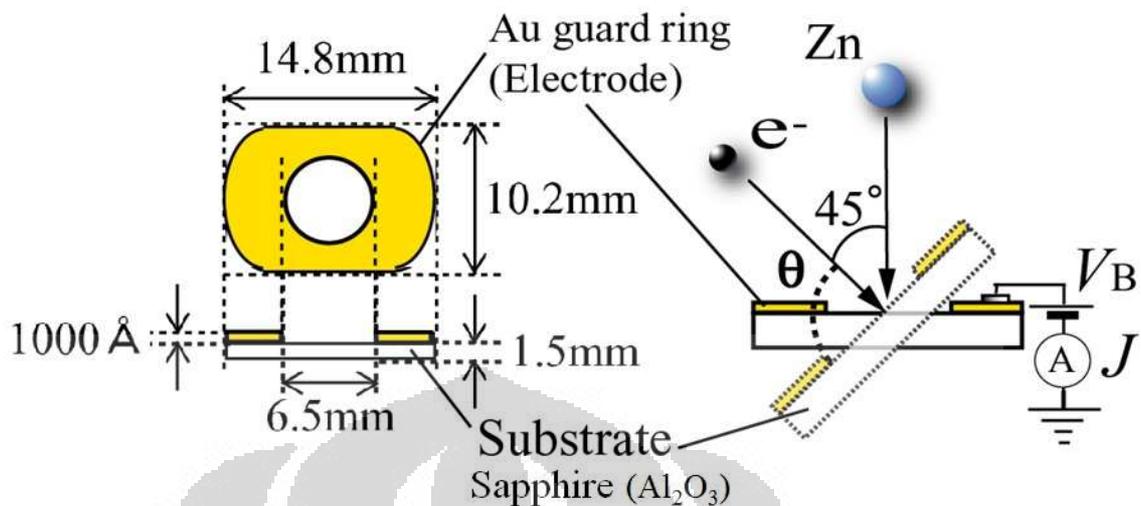
Sedangkan untuk deposisi alumina dengan temperatur 100 °C , hasil yang didapatkan adalah deposisi Zn yang tidak rata di bagian tengah. Fotonya ada pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5.** Sampel Alumina dengan yang diberikan temperatur deposisi 100°C.

#### **3.3.1.1. Mekanisme Peletakkan Substrat (Sampel)**

Sebelum melapisi substrat dengan film tipis Zn, Substrat harus diletakan di *substrat holder* dengan tepat. Biasanya sudut atau kemiringannya diatur sehingga tembakan elektronnya tidak meleset. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat dalam Gambar 3.6.



**Gambar 3.6.** Peletakkan substrat di *substrat holder*.<sup>[16]</sup>

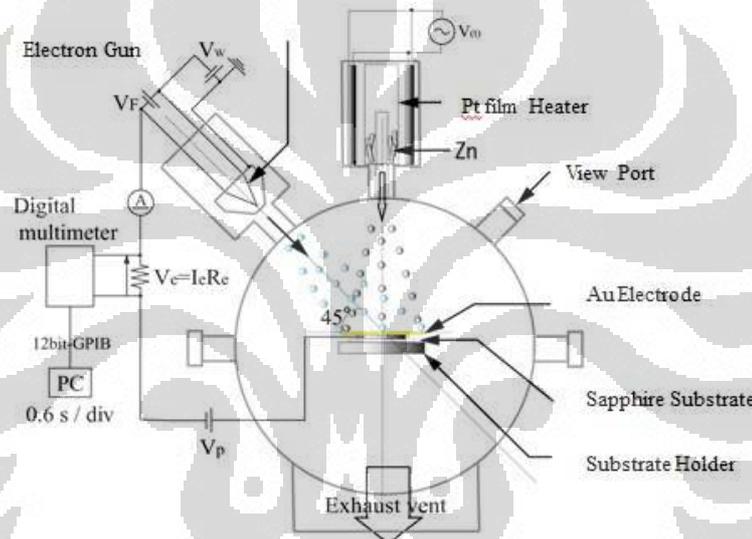
Substrat alumina ini memiliki diameter sekitar 6-6,5 mm dengan panjang kurang lebih 14,8 mm dan lebar 10,2 mm.<sup>[16]</sup> Setelah substrat terpasang secara baik pada *substrat holder* dilakukan *charging* elektron pada substrat tersebut dan dapat diteliti densitas *charging* elektronnya dengan menggunakan XPS dan dilihat pengaruhnya pada hasil material film tipis yang akan dihasilkan. Akan tetapi, fokus penelitian ini tidak pada *charging* elektron.

Gambar 3.6 menunjukkan substrat Alumina dengan elektroda emas (Au) yang terevaporasi yang mengontrol energi  $Zn^+$ .<sup>[12]</sup> Film tipis Zn yang tereksitasi dibentuk di atas substrat alumina dengan diameter 6 mm. Substrat Aluminanya merupakan *single* kristal.

### 3.3.1.2 Iradiasi Elektron

Sebagai langkah pertama, substrat Alumina diradiasi dengan elektron yang diakselerasikan dengan medan listrik dari *bias potential*. Elektron-elektron tersebut diiradiasikan ke substrat kurang lebih selama 10 jam sampai arusnya bisa stabil.<sup>[12]</sup> Kemudian, Zn dengan kemurnian 99.999% dimasukkan ke dalam *effusion cell*. Setelah temperatur pada *cell* mencapai titik leleh Zn yaitu sebesar 419.5 °C. Tekanan parsial Zn naik secara ekstrim seiring dengan meningkatnya temperatur *cell*. Deposisi Zn memakan waktu 1000 detik. Kemudian, temperatur *cell*nya ditunggu maksimal sampai 600 °C baru proses deposisinya dihentikan.<sup>[12]</sup>

Setelah substrat alumina diletakkan dengan baik di dalam *chamber*, akan dilanjutkan dengan proses PVD yang sebenarnya, meliputi evaporasi dan deposisi. Di dalam *chamber* partikel Zn sekaligus akan diiridasi ke substrat. Diasumsikan bahwa proses rekombinasi elektronnya terjadi pada saat proses evaporasi. Sehingga nantinya akan dihasilkan konsep perubahan fasa permukaan. Substrat alumina dilengkapi dengan emas (Au) pelindung dan berotasi dalam sudut yang sudah diatur dengan iradiasi elektron. Elektron siap diakselerasikan melalui *bias voltage*. Partikel Zn diiradiasikan dalam arah tegak lurus dengan sudut horizontal.<sup>[17]</sup> Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7.** Proses iradiasi elektron.<sup>[18]</sup>

Gambar 3.7 merupakan aparatus mesin PVD dan bagian-bagiannya. Mesin PVD itu sendiri digambarkan sama Gambar 3.8.



**Gambar 3.8.** Mesin PVD.<sup>[18]</sup>

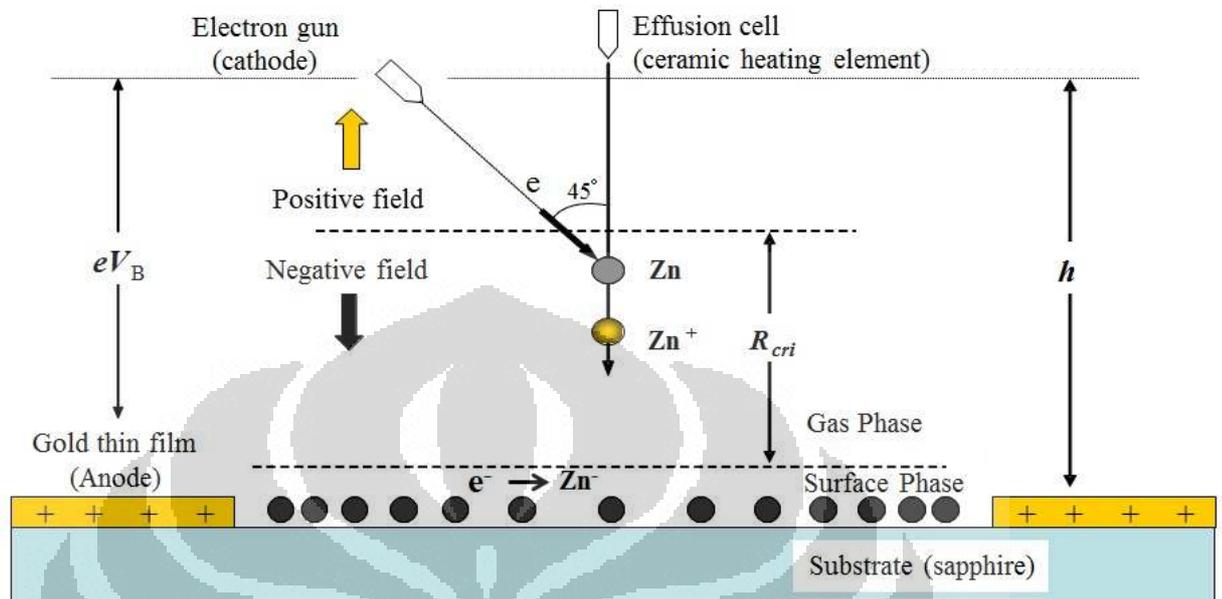
Sistem deposisinya menggunakan sistem electron assisted-PVD yang terdiri dari *turbo-molecular pump*, *effusion cell for Zinc atomic beam*, dan *electron gun* untuk iradiasi elektron ke permukaan substrat. Tekanan yang digunakan dalam sistem tersebut adalah  $10^{-5}$  Pa dan sudut antara *Zinc atomic beam* dan *electron beams* adalah  $45^{\circ}$ .<sup>[12]</sup>

### 3.3.2. Proses Rekombinasi Ion

Proses rekombinasi ion berdasarkan eksitasi sistem elektron terdalam dilakukan pada atom Zn  $[\text{Ne}]3s^23p^63d^{10}4s^2$ . Dalam penelitian beberapa tahun ini, material yang terkondensasi dalam penelitian ini akan mengindikasikan variasi energi yang dapat dilihat melalui difraksi sinar-X yang ada pada *scattering* (hamburan) pada intensitas 10 eV, 90eV, 100 eV, dan 230 eV.<sup>[14]</sup> Energi-energi ini berhubungan dengan sistem elektron Zn yaitu 3s, 3p, dan 3d.

Proses rekombinasi ion ini terjadi di antara dua ion dengan polaritas yang berbeda dan ada dalam fase yang berlawanan yaitu dalam fase gas dan fase permukaan (*surface phase*).<sup>[14]</sup> Dalam iradiasi elektron, ion-ion negatif dikelilingi oleh elektroda positif. Rekombinasi ion memiliki luas permukaan tabrakan yang tinggi untuk kedua jenis ion-ion tersebut. Fenomena ini disebut dengan “fenomena tabrakan langsung” yang memiliki efisiensi yang tinggi dalam transfer

energi.<sup>[14]</sup> Berikutnya, akan dijelaskan mengenai ilustrasi skematik dari *reaction field* atau bidang reaksi dengan fase permukaan dalam Gambar 3.9.



**Gambar 3.9.** Bidang reaksi dengan fase permukaan dan poin kritis.<sup>[16]</sup>

Gambar tersebut merupakan ilustrasi dari apa yang terjadi di dalam alat atau mesin PVD. Di dalam substrat alumina yang sudah dilapisi emas (Au), dideposisikan lapisan film tipis Zn. *Electronic state* pada substrat dikontrol oleh energi iradiasi elektron yang diemisikan lewat tembakan elektron (*electron gun*).<sup>[14]</sup> Sudut iradiasi elektron adalah  $45^{\circ}$  dari permukaan normal substrat. Atom Zn dideposisikan dari *effusion cell* ke *insulative area* dengan diameter 6.5 mm di tengah substrat. Fase permukaan (*surface phase*) diadaptasikan dari *fluid bed* dengan dua dimensi gas yaitu cairan (*liquid*) dan komposit *solid*.<sup>[14]</sup> Langkah pertama yang dilakukan adalah mengontrol energi potensial dari *insulative area* di permukaan substrat dengan elektron iradiasi.

Walaupun usia elektron dalam sistem elektron terdalam yang tereksitasi itu pendek, pembentukannya dapat terjadi di berbagai kondisi dalam kondisi kuantum<sup>[12]</sup>. Kondisi kuantum tersebut, menentukan usia elektron yang tereksitasi. Jika transisi elektron dalam kondisi tereksitasi dihindari, maka akan didapatkan usia elektron yang panjang.<sup>[12]</sup> Contohnya, keadaan elektron Zn yang tereksitasi. Karena di dalam sistem kuantum untuk eksitasi elektron Zn ada yang memiliki

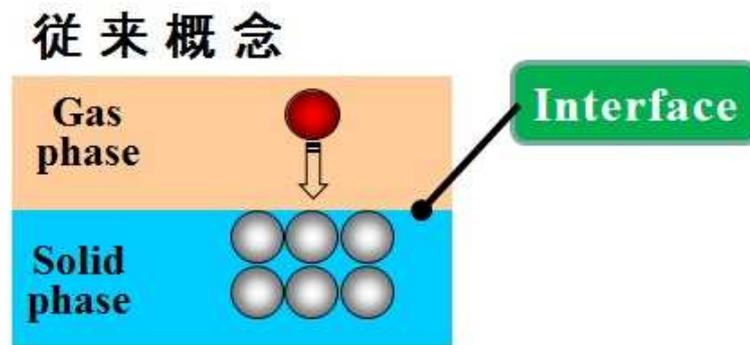
energi yang lebih tinggi dan lebih rendah, maka eksitasi dari tingkat energi yang lebih tinggi ke lebih rendah dihindari untuk mendapatkan usia yang panjang dari elektron tersebut. Keadaan seperti ini pun lebih stabil. Proses rekombinasi ion digunakan untuk pembentukan *dimer* (2 atom) pada proses pertumbuhan permukaan. Kondisi elektron yang tereksitasi dikuens dari fase padat ke fase gas.<sup>[12]</sup>

### 3.3.2.1. Teori Fase Permukaan dan Pembentukan *Excimer*

Masih di dalam mesin PVD, hal yang akan dibahas selanjutnya adalah fase permukaan. Di dalam fasa permukaan ini terjadi proses rekombinasi ion yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Dalam proses ini, dibentuk dua atom yaitu *dimer* dalam keadaan yang tereksitasi yang disebut juga dengan *excimer*.

Di dalam proses kondensasi, fase transisi dari fase gas atau cair ke fase padat terjadi di permukaan.<sup>[19]</sup> Transisi ini sangat berpengaruh besar dalam perubahan dimensi pada saat fase hidrodinamik (fase cair yang bergerak) ke fase padat (*solid*). Penelitian ini membahas perubahan film tipis Zn yang dideposisikan dengan proses rekombinasi ion. Ketergantungan energi dalam struktur kristal dari film tipis Zn yang dideposisikan menunjukkan bahwa distribusi eksitasi elektronik dari sistem elektron bagian dalam yang memungkinkan terjadinya transfer energi kinetik ke potensial.<sup>[19]</sup>

Proses kondensasi merupakan proses yang paling penting dan paling dasar dalam pertumbuhan mikrokristal lapisan film tipis. Mekanismenya meliputi ikatan antara dua atom yaitu tekanan yang dikarenakan pertukaran kedua jenis atom tersebut.<sup>[19]</sup> Konsep pembentukan *excimer* dijelaskan sebagai berikut. Pada saat proses evaporasi di dalam chamber, ada fase gas dan fase padat (*solid*) yang dilapisi oleh antar muka (*interface*) material, seperti yang ada dalam Gambar 3.10. Terjadi tabrakan elastis (*elastic collision*) pada atom-atom yang menabrak antar muka material substrat. Peristiwa ini disebut proses *knock on*.<sup>[16]</sup>



Gambar 3.10. Model pembentukan *excimer* berdasarkan rekombinasi ion.<sup>[16]</sup>

$Zn^-$  berada pada fase permukaan dan  $Zn^+$  berada pada fase gas. Eksitasi yang terjadi pada  $Zn^+$  mendapat pengaruh dari atom yang berada paling dekat yaitu  $Zn^-$ . Bagaimanapun juga, tidak mungkin mengikat atom Zn pada fase padat karena jarak yang terlalu jauh di antara atom  $Zn^+$  dan atom  $Zn^-$ .



Gambar 3.11. Tiga fase dalam pembentukan *excimer*.<sup>[16]</sup>

Sebelum sampai pada fase padat, atom-atom tersebut melewati fase permukaan seperti yang dijelaskan pada Gambar 3.11. Di antara fase gas dan fase padat terdapat fase permukaan (*surface phase*). Kemudian, di antara fase permukaan bagian atas adalah gabungan antara fase gas dan fase cair. Lalu, fase permukaan bagian bawah adalah gabungan antara fase cair dan fase padat. Fase permukaan merupakan fase transisi. Sebelum film tipis Zn menempel pada substrat alumina, atom-atomnya harus melewati fase permukaan terlebih dahulu. Pada fase ini, tabrakan antara atom-atomnya sudah tidak elastis dan transfer energi yang dihasilkan pun naik. Kemudian, energinya bergerak dari energi kinetik ke energi dalam pada sistem *inner*-elektron. Di sinilah terjadi rekombinasi ion yang

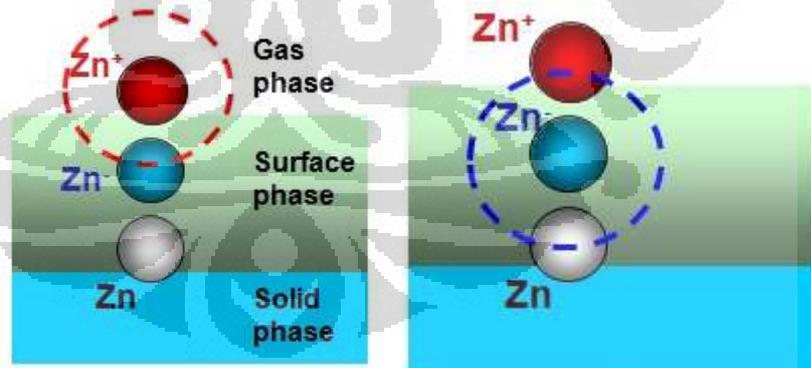
menghasilkan *excimer* (2 atom). Kemudian, setelah *excimer* terbentuk barulah *excimer* tersebut menempel pada substrat Alumina.

Pada saat  $Zn^-$  dan  $Zn^+$  membentuk *excimer*,  $Zn^+$  tereksitasi dan terjadi transfer energi (*charging*).<sup>[14]</sup> Pada saat terjadi proses *charging* tersebut, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Pada peristiwa ini terjadi transfer energi antara ion-ion tersebut menyebabkan perubahan bilangan atom dalam setiap-setiap atomnya. Terjadi loncatan elektron sehingga atom Zn dapat direkayasa secara atomik dan menempati ruang kuantum yang diinginkan yaitu yang paling stabil sehingga dapat meningkatkan umur pakai.

Zn excimer dibentuk dari proses ion-rekombinasi yang mana ion-ion  $Zn^-$  sudah terikat di permukaan substrat (fase padat) dan ion-ion  $Zn^+$  terikat di fasa gas. Walaupun demikian, tidak ada ikatan antara atom Zn dalam fasa solid karena jarak yang jauh antara  $Zn^+$  dan atom  $Zn$ .<sup>[6]</sup>



**Gambar 3.12.** (a) eksitasi  $Zn^+$  pada fase gas, (b) Eksitasi  $Zn^-$  pada fase permukaan.<sup>[11]</sup>

Ion-ion  $Zn^+$  dan ion-ion  $Zn^-$  bertabrakan satu dengan lainnya. Tabrakan ion-ion inilah yang menyebabkan terjadinya proses perubahan kristal Zn.<sup>[5]</sup> Perubahan kristal di dalam suatu material menyebabkan adanya perubahan sifat material itu sendiri. Karena tabrakan antara ion-ion  $Zn^+$  dan  $Zn^-$  memiliki polarisasi yang

besar, akan membuat luas permukaan yang bertabrakan juga besar. Sehingga terjadilah transfer energi yang memiliki efisiensi tinggi dari energi kinetik ke sistem elektron yang paling dalam (tereksitasi).<sup>[12]</sup>

Hasil yang akhirnya dapat dicapai adalah rekayasa dalam pengubahan elektron valensi dari dua elektron terluar yaitu  $4s^23d^{10}(Ar)$  menjadi  $4s^23d^9(Ar)$ .<sup>[13]</sup> Inilah yang disebut dengan *Zn excimer*. Menurut penelitian di tahun 2011, film *Zn excimer* ternyata memiliki umur pakai yang lebih lama daripada film tipis Zn biasa, yaitu sepanjang 44 minggu.<sup>[13]</sup> Disimpulkan bahwa *Zn excimer* muncul pada fase terkondensasi yaitu pada fase permukaan dan termasuk sebagai keadaan makroskopik di dalam bentuk film tipis.

#### **3.4. Parameter yang Divariasikan.**

Waktu deposisi yang digunakan adalah 1000 sekon yang akhirnya menghasilkan film tipis dengan ketipisan 0,03-0,05 $\mu$ m dan energi deposisi 230 eV. Kemudian menggunakan tekanan  $1 \times 10^{-5}$  torr dan dalam temperatur deposisi 60°C, 80°C, dan 100°C. Setelah itu, film tipis *Zn excimer* dikarakterisasi dengan XRD *Spectroscopy (X-Ray Diffraction)* dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

#### **3.5. Karakterisasi Sampel**

Karakterisasi sampel yang dilakukan di dalam penelitian ini adalah karakterisasi XRD *Spectroscopy (X-Ray Diffraction)* dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dengan jenis FE-SEM S-4100H yang akan dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut.

##### **3.5.1. Pengujian Difraksi Sinar-X (XRD)**

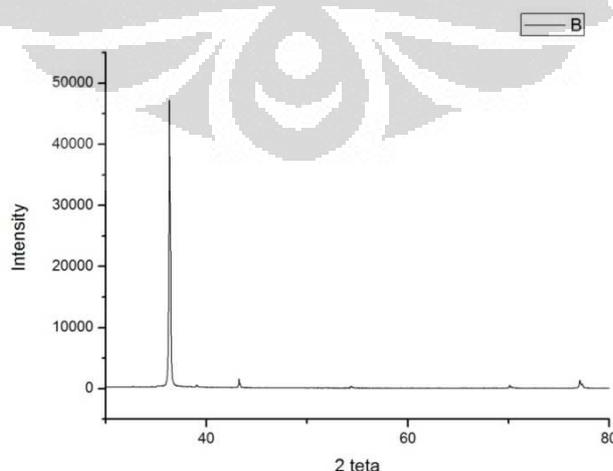
Analisa XRD dilakukan di laboratorium gedung penelitian gabungan Fakultas Teknik dan Sains Universitas Kagoshima. Karakterisasi ini diperlukan untuk mengetahui struktur kristal film tipis *Zn excimer*. Alat XRD menggunakan sumber sinar-X berupa Cu dengan konstanta emisi ( $k\alpha$ ) yaitu  $\lambda = 0,154$  nm. Persebaran difraksi sinar-X menunjukkan adanya matriks diraksi yang berupa puncak grafik. Puncak grafik difraksi ini menunjukkan bahwa terbentuknya

kristalit di dalam film tipis tersebut. Alat XRD ini sudah diatur dengan voltase 45 kV dan arus 40 mA.

Dalam menggunakan alat XRD, hal pertama yang dilakukan adalah memasang lempeng karbon sebagai penstabil alat kemudian memasukkan sampel sampai sambil disesuaikan dengan *probe* untuk kalibrasi. Setelah itu, menstabilkan pengukuran lewat komputer dengan memilih fitur *system maintenance: tube breeding*. Untuk rentang pemakaian lebih dari 10 menit digunakan tipe pengukuran *fast speed*. Lalu, sebelum dilakukan *scan manual*, *unit cell*nya diatur menjadi Si (1,1,1) dengan (h,k,l) yaitu (1,1,1) kemudian diset.

Saat dilakukan manual scan, di layar komputer akan mulai muncul grafik XRD, ini artinya alat tersebut sedang mengukur sampel. Untuk kalibrasi selanjutnya, dipilih opsi *fine calibration offsets* dengan posisi 28,441 ( $2\theta$ ) agar puncak grafik tidak melebihi garis tengah. Jika dilihat pada alat masih belum pada posisi 28,441, pengukuran harus diulang dari awal.

Penelitian ini dilakukan untuk merekayasa jarak kisi kristal dengan memberikan energi listrik sebesar 230 eV. Kemudian, setelah diberikan energi listrik dan dapat menginduksi elektron, nantinya atom-atom akan bergerak dan kemudian berhenti. Pada saat atom berhenti, jarak antara kisi sebelum dan sesudah diberikan energi listrik akan berubah. Inilah yang dapat diukur dengan menggunakan XRD. Pada data XRD akan muncul puncak grafik yang menunjukkan adanya kristal. Contoh dari grafik XRD yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.13.** Contoh grafik XRD yang menunjukkan orientasi kristalografi Zn.

Dari grafik tersebut dapat diketahui nilai  $2\theta$  dan intensitasnya. Dari nilai  $2\theta$  tersebut, dapat dicari nilai  $d$  (*lattice spacing* atau jarak antar kisi kristalografi) dengan menggunakan Hukum Braggs seperti rumus berikut:

$$\lambda = 2d \sin \theta \quad (6.1)$$

Keterangan:

$\lambda$  = panjang gelombang difraksi Cu dengan nilai  $\lambda = 0,154$  nm.

$d$  = *lattice spacing* atau *interplanar spacing*.

$\sin\theta$  = nilai  $\sin\theta$  dapat dilihat melalui grafik.

Dengan memasukkan nilai panjang gelombang difraksi Cu dan nilai  $\sin\theta$ , maka akan didapatkan nilai *lattice spacing* dan kemudian dapat dicocokkan dengan menguji indeks miller yang kira-kira dapat terjadi pada kristal tersebut.

Dalam penelitian ini perlu dilakukan pemeriksaan apakah berhasil terbentuk film tipis Zn excimer. Sehingga diperlukan perhitungan indeks *miller* agar dapat diketahui apakah posisi kristalnya, atau disebut dengan *plane* dan ditunjukkan dengan lambang  $(h,k,l)$ , sudah memenuhi konteks struktur kristal HCP. Untuk itu, kita perlu mengetahui *interplanar spacing* dengan rumus sebagai berikut.

$$D_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \quad (6.2)$$

Keterangan:

$d_{hkl}$  = *interplanar spacing* antara bidang paralel terdekat dengan miller indeks  $h, k, l$ .

$a$  = *lattice constant* (unit kubik yang terletak di pinggir).

$h,k,l$  = indeks miller pada bidang kubik yang dicari. Untuk HCP,  $h+k = -l$ .

Kemudian, untuk mengetahui *interplanar spacing* pada struktur kristal HCP yaitu menggunakan rumus sebagai berikut. Lalu nilai  $h, k,$  dan  $l$  dikuadratkan  $h^2 + k^2 + l^2$  seperti rumus di atas.

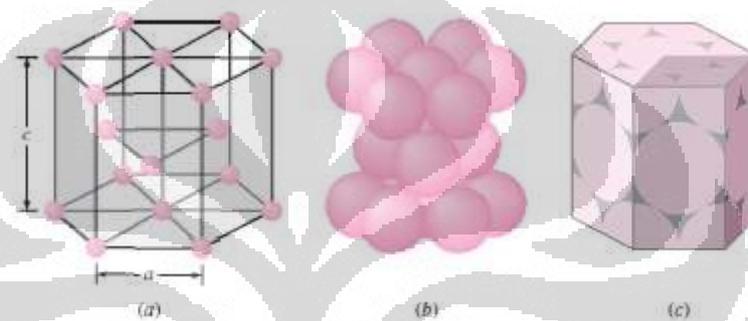
$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (6.3)$$

Keterangan:

$a$  = panjang kisi kristal HCP (untuk Zn  $a = 2.66$  amstrong ).

$c$  = tinggi kisi kristal HCP (untuk Zn  $a = 4.95$  amstrong).

Menurut teori, kristal Zn normal adalah HCP (*Hexagonal Closed Packing*) dengan unit sel seperti gambar di bawah ini

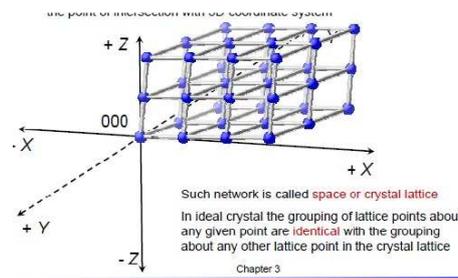


**Gambar 3.14.** unit sel HCP, (a) *atomic-site unit cell*, (b) *hard-sphere unit cell*, dan (c) *isolated unit cell*.<sup>[9]</sup>

**Tabel 3.2.** Material yang memiliki struktur kristal HCP.<sup>[9]</sup>

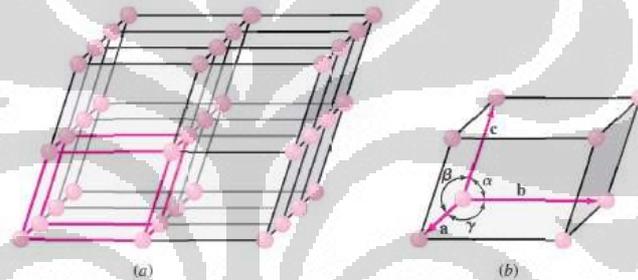
Metal	Lattice constants (nm)		Atomic radius $R$ (nm)	$c/a$ ratio	% deviation from ideality
	$a$	$c$			
Cadmium	0.2973	0.5618	0.149	1.890	+15.7
Zinc	0.2665	0.4947	0.133	1.856	+13.6
Ideal HCP				1.633	0
Magnesium	0.3209	0.5209	0.160	1.623	-0.66
Cobalt	0.2507	0.4069	0.125	1.623	-0.66
Zirconium	0.3231	0.5148	0.160	1.593	-2.45
Titanium	0.2950	0.4683	0.147	1.587	-2.81
Beryllium	0.2286	0.3584	0.113	1.568	-3.98

Jarak antar kisi yang disebut juga dengan *space lattice*. *Space lattice* adalah posisi dari atom-atom dalam kristal yang dapat diketahui dengan menyamakan atom pada poin interseksi atau persimpangan dengan koordinat 3 dimensi.<sup>[8]</sup> Susunan semacam ini disebut spasi atau kisi kristal. Substart yang telah digunakan dalam penelitian ini adalah safir atau alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yaitu dengan jenis material kristalin.



**Gambar 3.15.** Kisi kristal<sup>[9]</sup>

Setiap jarak kisi kristal dapat dijelaskan sebagai posisi atom-atom yang spesifik dalam sebuah unit sel.<sup>[10]</sup> Bentuk dan ukuran unit sel ditentukan dengan vektor kisi yang ditunjukkan dengan huruf yaitu a,b, dan c (gambar b).



**Gambar 3.16.**(a) Jarak kisi antara material kristalin solid yang ideal. (b) unit sel yang menunjukkan kisi konstan (*lattice constant*).<sup>[9]</sup>

Kemudian, panjang a,b, dan c ditunjukkan dengan sudut inersial yaitu  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ . Klasifikasi dari Jarak spasi kisi dalam sistem kristal dapat diketahui lewat tabel di berikut.<sup>[9]</sup> Dengan melihat tabel tersebut, dapat diketahui perubahan orientasi kristal dalam pertumbuhan film tipis Zn *excimer*. Zn normal mempunyai sistem kristal heksagonal. Pada penelitian sebelumnya, diasumsikan bahwa pada saat pertumbuhan kristal dalam film tipis terjadi, Zn normal dengan sistem kristal heksagonal bertransformasi menjadi Zn *excimer* dalam proses PVD (*Physical Vapour Deposition*) dengan sistem kristal kubik.

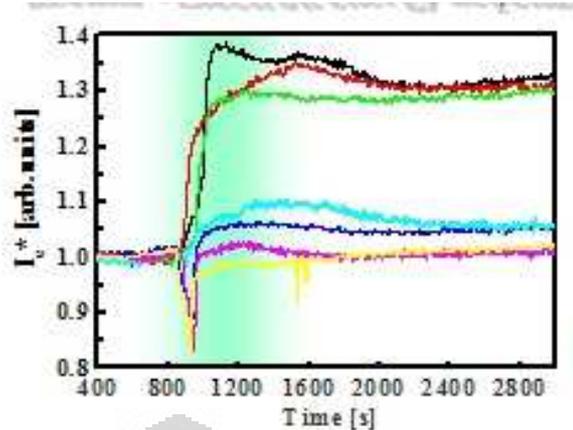
**Tabel 3.3.** Sistem kristal dalam material.<sup>[10]</sup>

Crystal system	Axial lengths and interaxial angles	Space lattice
Cubic	Three equal axes at right angles $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple cubic Body-centered cubic Face-centered cubic
Tetragonal	Three axes at right angles, two equal $a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple tetragonal Body-centered tetragonal
Orthorhombic	Three unequal axes at right angles $a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Simple orthorhombic Body-centered orthorhombic Base-centered orthorhombic Face-centered orthorhombic
Rhombohedral	Three equal axes, equally inclined $a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	Simple rhombohedral
Hexagonal	Two equal axes at $120^\circ$ , third axis at right angles $a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Simple hexagonal
Monoclinic	Three unequal axes, one pair not at right angles $a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Simple monoclinic Base-centered monoclinic
Triclinic	Three unequal axes, unequally inclined and none at right angles $a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Simple triclinic

Pada penelitian ini digunakan salah satu material dengan struktur kristal HCP. Menurut tabel di atas, Zn memiliki *lattice constant* yaitu panjang kisi ( $a$ ) sebesar 0.2665 nm dan tinggi kristal ( $c$ ) yaitu 0.4947 nm. Ikatan antara atom-atom Zn (dua atom disebut *dimer*) tersebut memiliki jarak antara kisi di dalam atom yang berbeda yang bersebelahan dari satu dengan yang lain.

Setelah diketahui hasil XRD, kisi kristal yang telah didapatkan akan dibandingkan dengan literatur. Apabila hasilnya memiliki perbedaan yang signifikan, nantinya akan dapat diketahui apakah Zn *excimer* tersebut terbentuk. Dalam parameter temperatur akan dilihat bagaimana terbentuknya kisi kristal dalam temperatur yang berbeda. Setelah mendapatkan hasil indeks *miller*, bidang kristal film tipis akan dapat diketahui. Kemudian, untuk mengetahui unit sel dalam kristal dapat dilakukan perhitungan intensitas yang didapat dari grafik XRD. Unit sel dapat menunjukkan bidang kristal yang mengalami pertumbuhan di dalam film tipis Zn *excimer*.

Penelitian lain, yaitu yang dilakukan oleh M. Kuwayama dkk, hampir sama dengan penelitian yang telah dijelaskan di atas. Akan tetapi, penelitian tersebut memiliki parameter yang berbeda yaitu energi deposisi dengan rentangan antara 25 eV sampai 220 eV. Sehingga, didapatkan grafik sebagai berikut.



**Gambar 3.17.** Grafik pengaruh energi elektron dalam proses deposisi.<sup>[13]</sup>

Pada grafik tersebut dapat dijelaskan bahwa energi elektron dalam proses deposisi dapat dihubungkan dengan intensitas ( $I_e$ ) gelombang transmisi seperti yang ditunjukkan pada grafik. Pada waktu kurang dari 650 sekon  $I_e$  konstan. Kemudian, pada 650 – 850 sekon terlihat bahwa Zn memiliki rasio fluktuasi yang rendah. Pada 850 – 1600 sekon merupakan deposisi utama Zn yaitu waktu yang paling optimal untuk deposisi.<sup>[8]</sup> Hal ini menjadi pertimbangan penelitian selanjutnya dengan menggunakan waktu deposisi 1000 sekon secara keseluruhan.

### 3.5.2. Pengamatan Mikroskopis Film Tipis dengan alat SEM(*Scanning Electron Spectroscopy*)

Karakterisasi dengan SEM menunjukkan morfologi pertumbuhan kristal di dalam film tipis Zn excimer. Pengambilan foto mikrokristal diambil dalam suhu 60°C, 80°C, dan 100°C. Hal yang pertama harus dilakukan saat karakterisasi dengan menggunakan SEM adalah memasukkan sampel ke dalam SEM. Setelah itu dilakukan pengaturan perbesaran pada monitor sehingga dapat terlihat bagian yang diinginkan. Voltase yang digunakan saat karakterisasi SEM adalah 5.0 kV dengan perbesaran 13-50 kali. Akan tetapi, foto mikro terlihat paling jelas pada perbesaran 20 X. Kemudian, skala pengukuran foto mikro yang digunakan saat melihat sampel antara 2.75 $\mu\text{m}$  – 750nm.



**Gambar3.18.** Alat SEM.

Pengamatan mikroskopis dengan menggunakan SEM menghasilkan foto mikro yaitu morfologi kristal pada film tipis Zn di atas substra Alumina. Dengan mengamati foto mikro kristal lapisan film tipis Zn dalam temperatur substrat yang berbeda-beda, diharapkan dapat diketahui perbedaan bentuk dan bagaimana struktur kristalnya terbentuk. Pada penelitian sebelumnya juga diamati pertumbuhan kristal dan morfologi film tipisnya dengan parameter yang berbeda yaitu parameter energi deposisi yang diberikan kepada substrat.

Hasil yang didapatkan oleh Kozo Obara et al pada penelitian sebelumnya dengan parameter energi deposisi adalah semakin besar energi yang diberikan pada substrat dalam proses elektrifikasi, akan mempercepat pertumbuhan film tipis pada saat nukleasi. Sehingga pada 125 eV terlihat bahwa butirnya besar-besar daripada sampel atau substrat dengan 75 eV dan 25 eV.<sup>[15]</sup> Pada penelitian kali ini, akan dilihat pengaruh temperatur pada morfologi pertumbuhan film tipis.

## BAB IV PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas hasil-hasil yang diperoleh selama pelaksanaan penelitian, meliputi proses karakterisasi dengan XRD terkait dengan ukuran *lattice parameter* ( $d$ ) sesuai dengan masing-masing puncak pada grafik XRD untuk suhu 60°C, 80°C, dan 100°C dan dicocokkan dengan karakteristik kristal HCP atau BCC. Kemudian, akan ditampilkan juga hasil pengamatan mikrokristal film tipis Zn *excimer* dengan SEM dan dihubungkan dengan teori pertumbuhan kristal.

### 4.1. Karakteristik Sampel Film Tipis Zn dengan Substrat Alumina ( $Al_2O_3$ )

Dalam penelitian ini, diambil tiga sampel hasil deposisi film tipis Zn di atas substrat alumina yaitu dengan variasi temperatur deposisi yang dikenakan pada substrat atau temperatur substrat yaitu 60°C, 80°C, dan 100°C. Karakteristik dari setiap sampelnya antara lain sebagai berikut:

#### 1. Sampel Film Tipis Zn Excimer Bersubstrat Alumina dengan Temperatur Deposisi (Temperatur Substrat) 60°C.

Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan dan karakterisasi tiga sampel. Pengamatan pertama dilakukan untuk sampel bertemperatur deposisi 60°C.



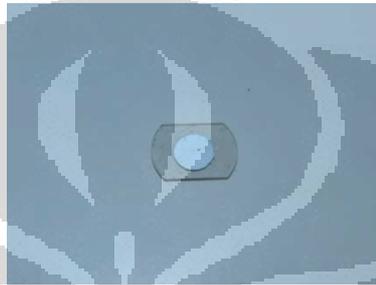
**Gambar 4.1.** Sampel dengan temperatur deposisi 60°C.

Fisik dari sampel dengan temperatur deposisi 60°C yaitu lapisan filmnya memiliki warna yang cukup terang dan tekstur yang halus. Ini menunjukkan bahwa lapisan filmnya terdeposisi secara sempurna dan menempel dengan

baik di atas permukaan substrat. Ada sedikit cacat pada lapisan film tipisnya karena kesalahan teknis saat karakterisasi.

**2. Sampel Film Tipis Zn Excimer Bersubstrat Alumina dengan Temperatur Deposisi (Temperatur Substrat)80°C**

Sampel Film Tipis Zn Excimer Bersubstrat Alumina dengan Temperatur Deposisi 80°C. Kemudian, untuk pengamatan selanjutnya dilakukan pada sampel bertemperatur deposisi 80°C.



**Gambar 4.2.** Sampel dengan temperatur deposisi 80°C.

Fisik dari sampel dengan temperatur deposisi 80°C yaitu jika dibandingkan dengan sampel dengan lapisan filmya memiliki warna yang lebih muda dan tekstur yang lebih tipis tapi masih terdeposisi dengan halus di permukaannya.

**3. Sampel Film Tipis Zn Excimer Bersubstrat Alumina dengan Temperatur Deposisi (Temperatur Substrat)100°C.**

Kemudian pengamatan terakhir dilakukan pada sampel bertemperatur substrat 100°C.



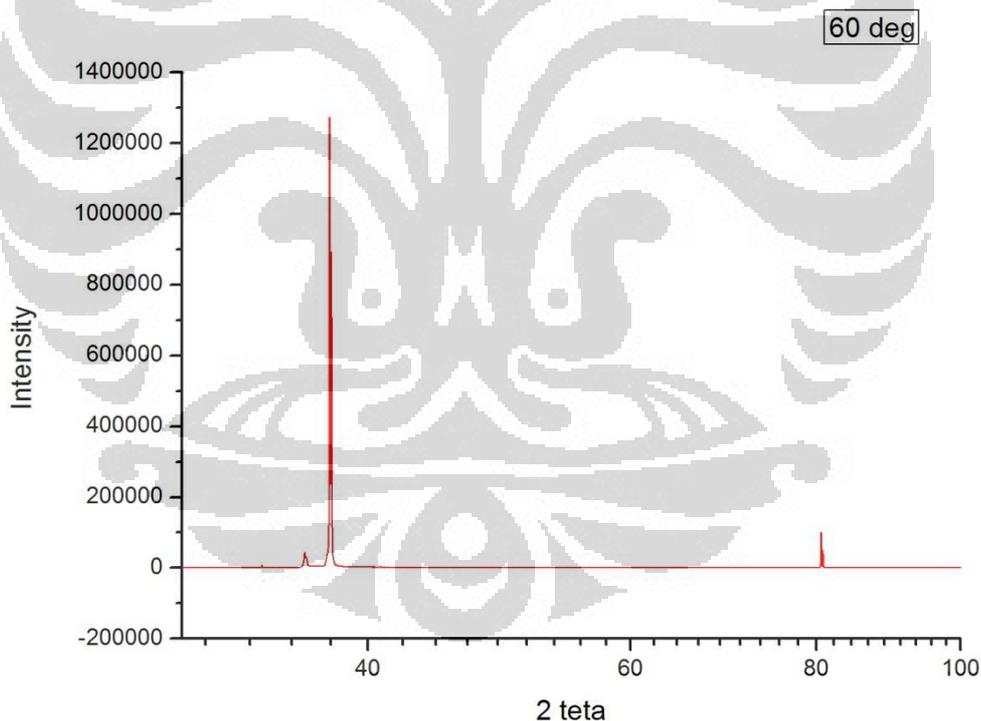
**Gambar 4.3.** Sampel dengan temperatur deposisi 100°C

Dari ketiga sampel tersebut, sampel bertemperatur substrat 100°C yang memiliki warna paling muda dan permukaan yang paling halus. Bahkan di bagian tengah sampel, film tipis tidak terdeposisi dengan sempurna. Di permukaan substrat bagian tengah dapat terlihat film tipis yang jarang-jarang. Artinya, lapisan film tipis Zn tidak terdeposisi dengan sempurna pada temperatur tinggi karena titik didihnya yang tidak terlalu tinggi.

## 4.2. Karakterisasi Material Film Tipis Zn dengan Substrat Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

### 4.2.1. Analisis Hasil Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Untuk pengolahan data yang pertama kali dilakukan adalah dengan memakai hasil grafik XRD yang telah diambil sebelumnya. Pengolahan data yang pertama yaitu untuk sampel bertemperatur substrat 60°C. Grafik XRD adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.4.** Pola Difraksi XRD untuk sampel bertemperatur substrat 60°C.

Menurut pola difraksi tersebut, dengan menggunakan *software* origin, kita dapat mengetahui orientasi kristal film tipis Zn dan apakah pada temperatur 60°C muncul material baru yaitu Zn *excimer*. Pengolahan datanya meliputi perhitungan *lattice*

*parameter* dengan menggunakan hukum Braggs untuk difraksi sinar X. Kemudian dicocokkan dengan *lattice parameter yang ada dalam literatur* untuk memeriksa apakah orientasi kristal dari film tipis Zn *excimer* bertemperatur substrat 60°C. Hasil perhitungannya dilakukan dengan menggunakan program *microsoft excel*. Perhitungan pertama yaitu mencocokkan dengan *lattice parameter HCP* dan dapat dilihat Tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** *Lattice parameter* untuk difraksi XRD pada film tipis Zn bertemperatur substrat 60°C sesuai dengan data 2θ yang diperoleh dari penelitian.

peak#	2θ	sinθ	a	c	λ	d
1	33.95	0.2919	0.2665	0.4947	0.154	0.022476
2	36.27	0.3112	0.2665	0.4947	0.154	0.023962
3	37.69	0.323	0.2665	0.4947	0.154	0.024871
4	37.79	0.3238	0.2665	0.4947	0.154	0.024933
5	80.6	0.6468	0.2665	0.4947	0.154	0.049804
6	80.84	0.6484	0.2665	0.4947	0.154	0.049927

Setelah menghitung *lattice parameter* dengan difraksi sinar X di atas, kita perlu meneliti apakah *lattice parameter* tersebut sesuai dengan kristal HCP atau tidak. Tabel 4.2 adalah jarak antar kisi menurut literatur yang diuji dengan nilai *indeks miller* tertentu.

**Tabel 4.2.** Tabel asumsi *lattice parameter* yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 60°C.

h	k	l	a	c	1/d <sup>2</sup>	1/d	d
1	1	0	0.2665	0.4947	21.44013	4.63	0.215983
1	1	1	0.2665	0.4947	25.52629	5.05	0.19802
0	0	2	0.2665	0.4947	16.34467	4.04	0.247525
2	2	2	0.2665	0.4947	102.1052	10.1	0.09901
2	1	1	0.2665	0.4947	30.85963	5.55	0.18018
1	0	2	0.2665	0.4947	17.678	4.2	0.238095
2	1	0	0.2665	0.4947	26.77346	5.17	0.193424

Kemudian, dari hasil yang diperoleh dengan menghitung *lattice parameter* yang didapatkan dari penelitian dan *lattice parameter* menurut literatur, langkah selanjutnya adalah membandingkan apakah *lattice parameter* yang didapatkan dari penelitian dan literatur memiliki nilai yang mendekati atau tidak. Untuk perbandingannya akan dijelaskan pada Tabel 4.3.

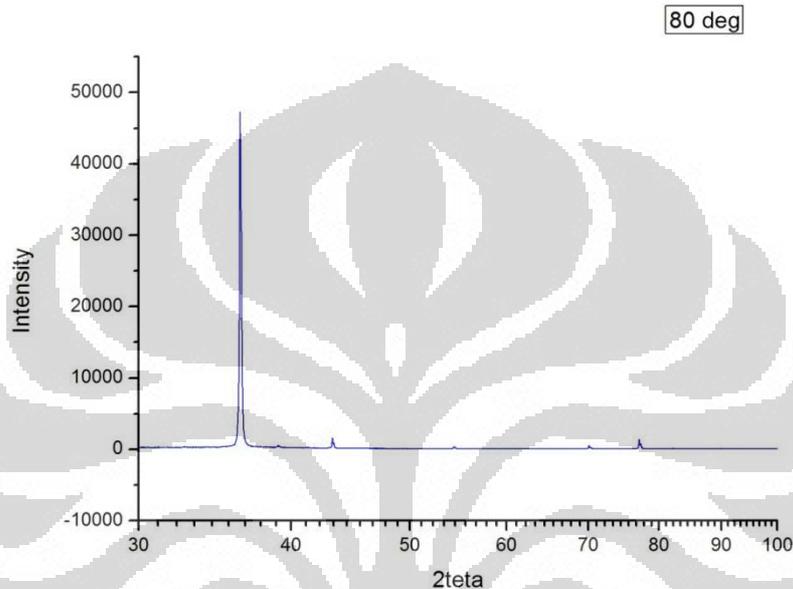
**Tabel 4.3.** Tabel perbandingan *lattice parameter* yang didapatkan dari penelitian asumsi yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 60°C.

<b>d.penelitian</b>	<b>d.literatur</b>
<b>0.022476</b>	0.215983
<b>0.023962</b>	0.19802
<b>0.024871</b>	0.247525
<b>0.024933</b>	0.09901
<b>0.049804</b>	0.18018
<b>0.049927</b>	0.238095

Jika melihat perbandingan data *lattice parameter* di atas, sebagian besar *lattice parameter*nya jauh dari *lattice parameter* literatur Zn yaitu dengan struktur kristal heksagonal atau HCP. Sehingga, diasumsikan bahwa kristal Zn telah mengalami perubahan orientasi kristal. Untuk *lattice parameter* sampel film tipis Zn dengan temperatur substrat 60°C berkisar antara 0,49927 sampai 0,022476. Diasumsikan bahwa grafik XRD dengan puncak paling tinggi berada pada posisi kristal (002) dengan nilai *lattice parameter* 0,024871. Pada sampel bertemperatur substrat 60°C, dengan membandingkan nilai jarak kisi kristal pada penelitian dengan menggunakan perhitungan puncak-puncak pola difraksi dan nilai kisi kristal menurut literatur, ternyata didapatkan perbandingan nilai yang cukup jauh. Dengan ini, dapat diasumsikan bahwa kristal Zn mulai berorientasi membentuk kristal lain dan bentuknya bukan lagi murni heksagonal atau HCP. Jika kristal berorientasi ke bentuk yang berbeda, maka akan didapatkan material yang berbeda pula. Material baru ini diasumsikan sebagai Zn *excimer*.

Sebuah kristalin solid adalah material yang terdiri dari dasar atom-atom atau molekul yang tersusun (*packed*) secara rapi dengan kisi yang berulang.

Dengan menggunakan pola difraksi, sangat dimungkinkan untuk menganalisa struktur kristal yang kompleks. Untuk itu digunakanlah hukum Braggs dengan mengetahui panjang gelombang sinar-X, dalam ini digunakan material Cu dengan nilai 0,154. Kemudian, informasi lain yang terkait dapat dicari dengan melihat puncak-puncak difraksi sinar-X. Selanjutnya dilakukan pengambilan Grafik 4.5 untuk sampel bertemperatur substrat 80°C.



**Gambar 4.5.** Pola Difraksi XRD untuk sampel bertemperatur substrat 80°C.

Seperti pada pola difraksi untuk sampel bertemperatur substrat 60°C, dilakukan perhitungan jarak kisi kristal atau *lattice parameter* untuk sampel bertemperatur substrat 80°C. Sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel berikut.

**Tabel 4.4.** *Lattice parameter* untuk difraksi XRD pada film tipis Zn bertemperatur substrat 80°C.

peak#	2θ	sinθ	a	c	λ	d
1	36.32	0.3117	0.2665	0.4947	0.154	0.024001
2	43.24	0.3684	0.2665	0.4947	0.154	0.028367
3	43.35	0.3693	0.2665	0.4947	0.154	0.028436
4	54.43	0.4573	0.2665	0.4947	0.154	0.035212

5	70.12	0.5744	0.2665	0.4947	0.154	0.044229
6	70.1	0.5743	0.2665	0.4947	0.154	0.044221
7	70.32	0.5759	0.2665	0.4947	0.154	0.044344
8	77.16	0.6236	0.2665	0.4947	0.154	0.048017
9	77.29	0.6244	0.2665	0.4947	0.154	0.048079

Setelah itu, dilakukan perhitungan menurut literatur dengan menggunakan nilai *indeks miller* tertentu dan hasilnya adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.5.** Tabel asumsi *lattice parameter* menurut literatur yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 80°C.

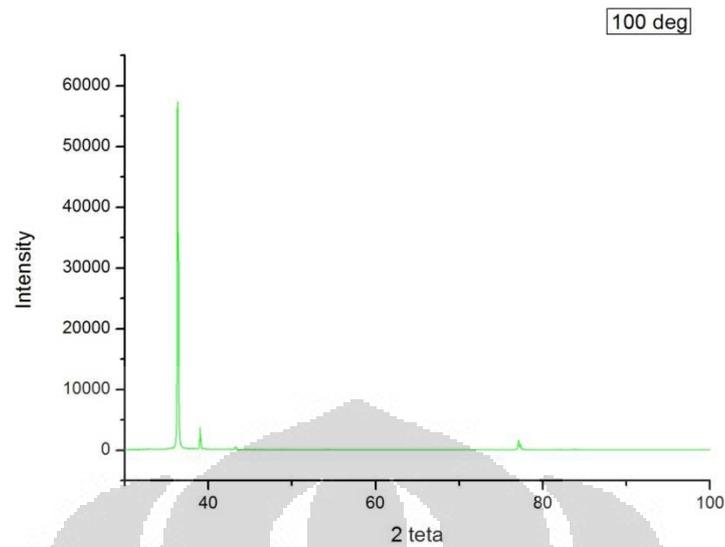
h	k	l	a	c	1/d <sup>2</sup>	1/d	d
1	1	0	0.2665	0.4947	21.44013	4.63	0.215983
1	1	1	0.2665	0.4947	25.52629	5.05	0.19802
0	0	2	0.2665	0.4947	16.34467	4.04	0.247525
2	2	2	0.2665	0.4947	102.1052	10.1	0.09901
2	1	1	0.2665	0.4947	30.85963	5.55	0.18018
1	0	2	0.2665	0.4947	17.678	4.2	0.238095
2	1	0	0.2665	0.4947	26.77346	5.17	0.193424
2	0	0	0.2665	0.4947	5.333333	2.31	0.4329
3	0	1	0.2665	0.4947	16.08617	4.01	0.249377

Setelah menghitung nilai kisi kristal berdasarkan penelitian dan literatur, langkah selanjutnya adalah mencocokkan nilai kisi kristal tersebut. Hasilnya adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.6.** Tabel perbandingan *lattice parameter* literatur dan asumsi yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 80°C.

d.penelitian	d.literatur
<b>0.024001</b>	0.215983
<b>0.028367</b>	0.19802
<b>0.028436</b>	0.247525
<b>0.035212</b>	0.09901
<b>0.044229</b>	0.18018
<b>0.044221</b>	0.238095
<b>0.044344</b>	0.193424
<b>0.048017</b>	0.4329
<b>0.048079</b>	0.249377

Hasil yang didapatkan untuk jarak antar kisi kristal pada sampel dengan temperatur substrat 80°C berdasarkan  $2\theta$  yang didapatkan dari penelitian berkisar antara 0,044221 – 0,024001. Jika dibandingkan dengan nilai jarak antar kisi kristal pada sampel bertemperatur substrat 60°C, nilai jarak antar kisi kristal pada sampel bertemperatur substrat 80°C memiliki nilai 0,035212 yang mendekati dengan nilai jarak antar kisi kristal pada HCP menurut literatur yaitu 0,09901 yang berada pada arah kristal (222). Sehingga, diasumsikan bahwa pada arah ini, kristalnya tidak mengalami perubahan orientasi yang signifikan dan masih dianggap berbentuk heksagonal (HCP) atau dapat dikatakan bahwa materialnya masih berupa film tipis Zn. Sedangkan sisanya diasumsikan merupakan material baru atau Zn *excimer* karena nilai kisi kristal yang didapatkan saat penelitian dengan nilai kisi kristal literatur sangat berbeda. Diasumsikan material film tipis tersebut mengalami perubahan orientasi pada kristalnya. Jika melihat grafik pola difraksi sampel dengan substrat temperatur 80°C, pola difraksi tertinggi ada pada kristal dengan arah (002). Kemudian yang terakhir adalah pengambilan grafik yang bertemperatur substrat 100°C.



**Gambar 4.6.** Pola difraksi XRD untuk sampel bertemperatur substrat 100°C.

Berdasarkan grafik pola difraksi pada gambar 4.5., didapatkanlah data  $2\theta$  sehingga dapat diperoleh nilai jarak antar kisi kristal seperti yang ada pada tabel berikut.

**Tabel 4.7.** *Lattice parameter* untuk difraksi XRD pada film tipis Zn bertemperatur substrat 100°C.

peak#	$2\theta$	$\sin\theta$	a	c	$\lambda$	d
1	36.33	0.3117	0.2665	0.4947	0.154	0.024001
2	36.4	0.3123	0.2665	0.4947	0.154	0.024047
3	39.01	0.3339	0.2665	0.4947	0.154	0.02571
4	39.11	0.3347	0.2665	0.4947	0.154	0.025772
5	43.25	0.3685	0.2665	0.4947	0.154	0.028375
6	43.34	0.3692	0.2665	0.4947	0.154	0.028428

Setelah mendapatkan nilai jarak antara kisi kristal seperti di atas, dihitung juga jarak kisi kristal menurut literatur dengan menggunakan nilai *indeks miller* tertentu seperti berikut.

**Tabel 4.8.**Tabel asumsi *lattice parameter* yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 100°C.

h	k	l	a	c	1/d <sup>2</sup>	1/d	d
1	1	0	0.2665	0.4947	21.44013	4.63	0.215983
1	1	1	0.2665	0.4947	25.52629	5.05	0.19802
0	0	2	0.2665	0.4947	16.34467	4.04	0.247525
2	2	2	0.2665	0.4947	102.1052	10.1	0.09901
2	1	1	0.2665	0.4947	30.85963	5.55	0.18018

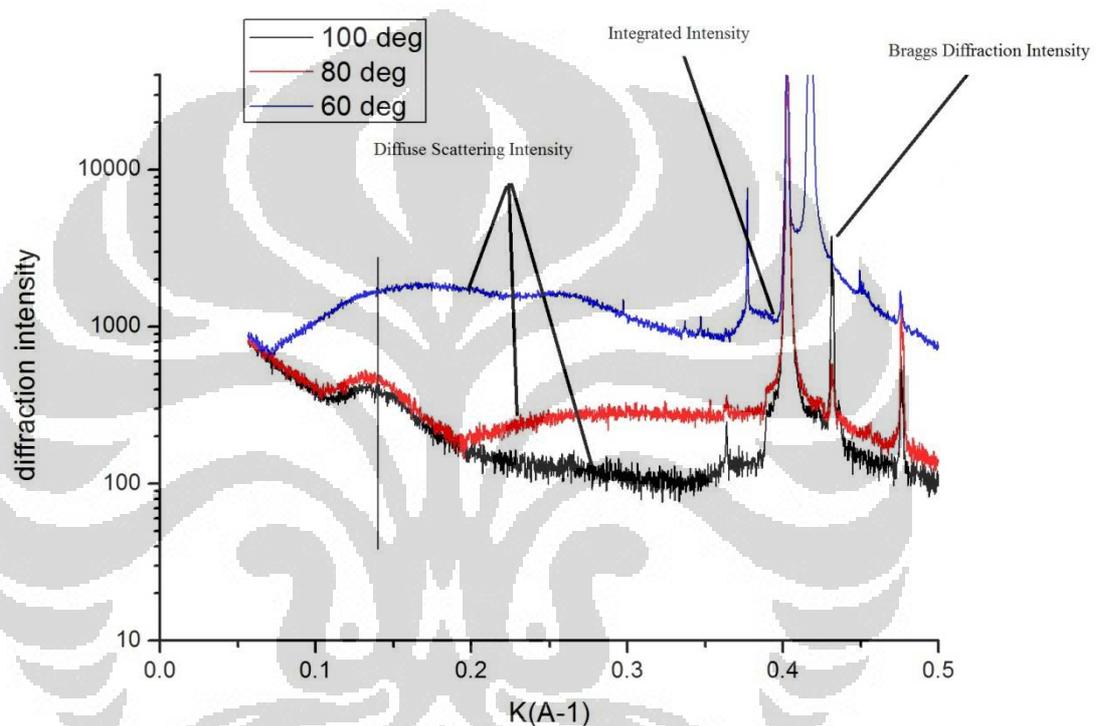
Setelah dihitung nilai kisi kristal menurut penelitian dan kisi kristal menurut literatur, hal yang selanjutnya dilakukan adalah membandingkan hasil tersebut. Hasilnya terdapat pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9.**Tabel perbandingan *lattice parameter* literatur dan asumsi yang terbentuk pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 100°C.

d.penelitian	d.literatur
0.024001	0.215983
0.024047	0.19802
0.02571	0.247525
0.025772	0.09901
0.028375	0.18018
0.028428	0.238095

Berdasarkan tabel di atas, kisaran nilai jarak kisi kristal berdasarkan penelitian adalah 0,28428 – 0,24001. Lalu, untuk kisaran nilai jarak kisi kristal berdasarkan literatur berkisar antara 0,247525 – 0,09901. Nilai jarak antar kisi kristal pada sampel dengan temperatur substrat 80 °C dan 100 °C memiliki kesamaan yaitu memiliki nilai jarak antar kristal yang berdekatan dengan nilai jarak antar kisi kristal pada literatur yaitu 0,025772 dan 0,09901 da juga diasumsikan masih memiliki bentuk struktur kristal heksagonal atau HCP. Sedangkan sisanya diasumsikan berupa kristal Zn *excimer*. Untuk nilai puncak pola difraksi paling tinggi juga berada pada arah (002) yaitu dengann nilai jarak antar kisi kristal

menurut penelitian yaitu 0,02571 dan nilai jarak antar kisi kristal menurut literatur adalah 0,247525. Ketiga grafik pola difraksi tersebut, perbedaan panjang puncak pola difraksi tertingginya sangat terlihat jelas pada arah (002). Alasan perbedaan suhu memiliki perubahan orientasi kisi kristal adalah karena kristal Zn mengalami morfologi yang berbeda berdasarkan perbedaan temperatur tersebut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik pola difraksi gabungan antara sampel dengan substrat temperatur 60°C, 80°C, dan 100°C di Gambar 4.6.



**Gambar 4.7.** Gabungan pola difraksi XRD untuk sampel betemperatur substrat 60°C, 80°C, dan 100°C.

Gambar 4.6. merupakan grafik antara nilai k pada puncak pola difraksi dan intensitas difraksi. Pada pola difraksi tersebut, terlihat jelas perbedaan grafik tiap temperatur. Jenis intensitas pada grafik tersebut ada 3 jenis antara lain:

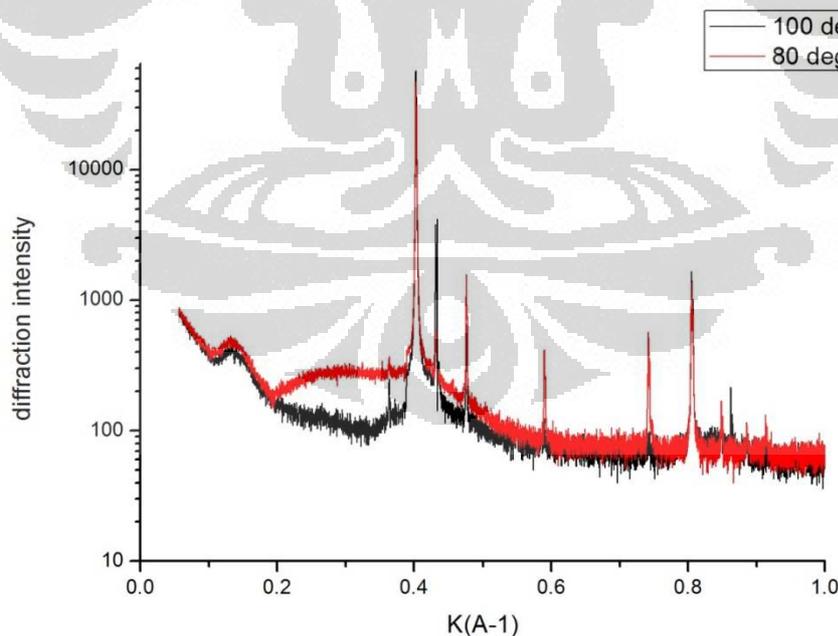
- 1) *Diffuse scattering intensity* yaitu grafik landai yang menunjukkan keadaan intensitas pada saat difusi atomik.
- 2) *Integrated intensity* yaitu nilai intensitas yang harus dicari dengan menggunakan persamaan hukum Braggs lain dan tidak dapat langsung diketahui hanya dengan melihat grafik. Pada penelitian ni tidak dicari nilai

*integrated intensity*. Penelitian tentang nilai tersebut dilakukan pada jenjang yang lebih tinggi.

- 3) *Braggs peak/Bragg diffraction intensity* yaitu intensitas yang dapat diperoleh langsung dengan melihat grafik XRD. Grafik ini ditunjukkan dalam bentuk yang runcing dan pada sampel ini puncak *bragg diffraction intensity* tertinggi ada pada posisi (002) untuk film tipis Zn excimer.

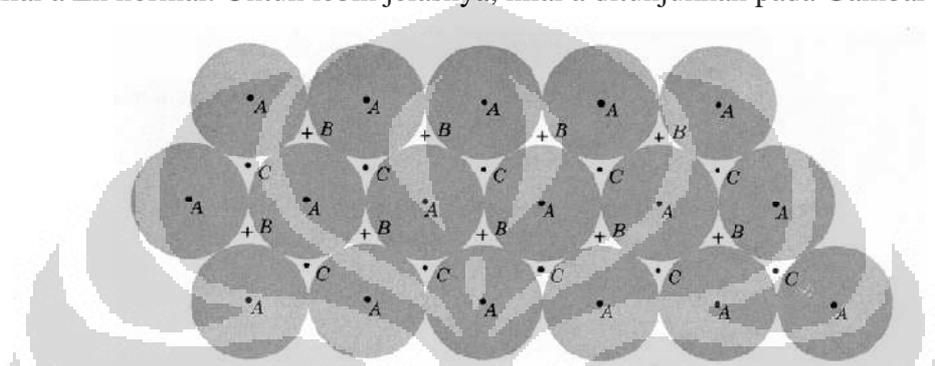
Pola difraksi seperti yang ditunjukkan pada grafik di atas juga dapat menunjukkan efek ukuran butir pada saat terbentuknya film tipis dan nantinya akan berpengaruh pada struktur morfologi film tipis yang dapat dilihat melalui *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Untuk butir kristal yang kecil, dapat ditunjukkan oleh *diffuse scattering intensity* yang landai.

Pada grafik pola intensitas di atas, kita dapat mengetahui bahwa grafik dengan puncak tertinggi adalah grafik sampel dengan temperatur substrat sebesar 60°C. Sedangkan untuk sampel bertemperatur substrat 80°C dan 100°C memiliki kemiripan karena grafiknya saling berdekatan. Untuk lebih jelasnya, dapat dijelaskan pada grafik selanjutnya.



**Gambar 4.8.** Perbandingan grafik pola difraksi dengan sampel bertemperatur substrat 80°C dan 100°C.

Gambar 4.7. di atas sesuai dengan perhitungan jarak antara kisi kristal pada penelitian dan literatur untuk sampel dengan temperatur substrat 80°C dan 100°C yaitu ada bagian kristal yang masih berbentuk heksagonal atau materialnya masih berupa Zn. Kemudian untuk jarak kisi kristal pada arah kristal yang nilainya besar, berarti nilai  $a$  nya kecil. Maka dari itu, diasumsikan material yang terbentuk adalah Zn *excimer* karena pada dasarnya, nilai  $a$  Zn *excimer* lebih kecil daripada nilai  $a$  Zn normal. Untuk lebih jelasnya, nilai  $a$  ditunjukkan pada Gambar 4.8.



**Gambar 4.9.** Jarak  $a$  dalam atom berstruktur kristal heksagonal (*closed packed*).<sup>[22]</sup>

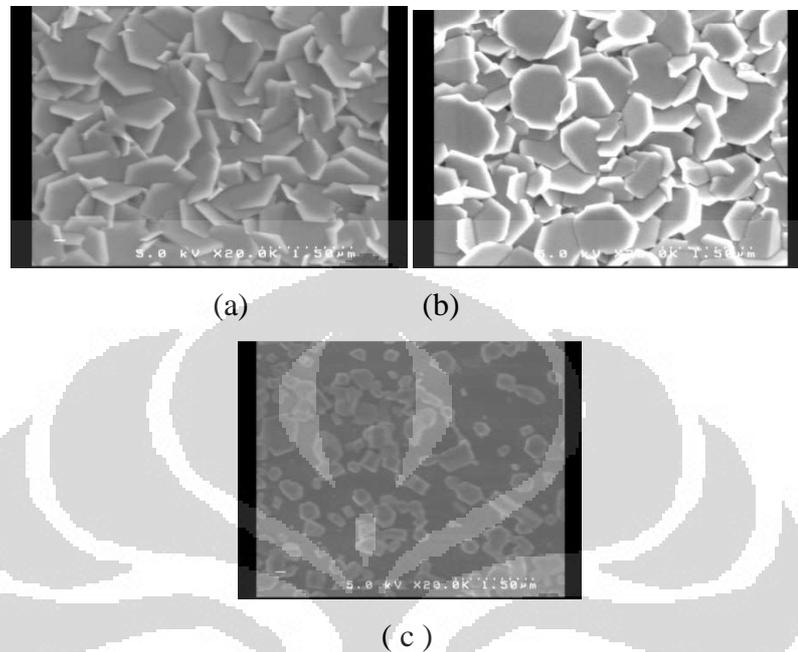
Dengan jarak  $a$  yang kecil kemungkinan struktur kristal berorientasi ke arah kubik atau BCC. Dengan ikatan atom yang semakin kuat, diharapkan kekuatan material juga meningkat. Selanjutnya, akan diertakan grafik yang menjelaskan peningkatan suhu terhadap intensitas difraksi sinar-X.

Diasumsikan bahwa seiring dengan meningkatnya temperatur, intensitasnya semakin rendah. Hal ini kemungkinan terjadi karena atom-atom dalam material film tipis ada yang sebagian terevaporasi. Jika atom-atom tersebut terevaporasi, maka energinya akan rendah dan kemudian menghasilkan intensitas yang rendah pula.

#### 4.2.2. Analisa Hasil Pengambilan Foto Mikro dengan SEM

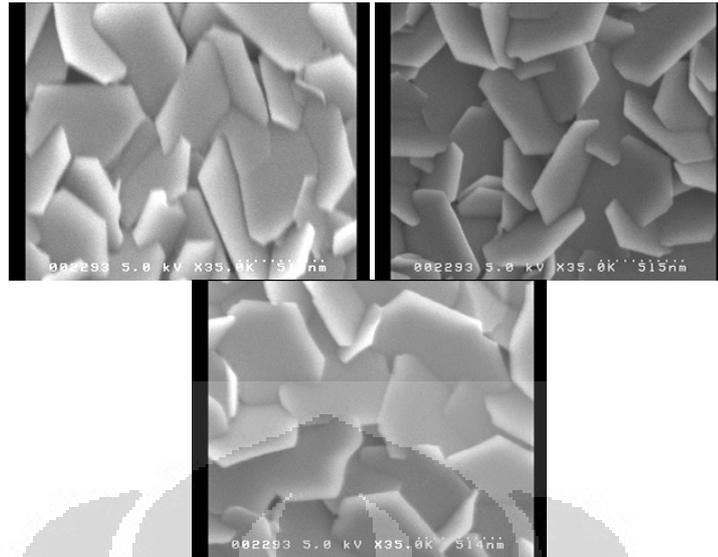
Karakterisasi dengan SEM menunjukkan morfologi pertumbuhan kristal di dalam film tipis Zn *excimer*. Pengambilan foto mikrokristal diambil dalam suhu 60°C, 80°C, dan 100°C. Pengamatan mikroskopis dengan menggunakan SEM yang dilakukan di Laboratorium Nanoteknologi Fakultas Teknik Universitas

Kagoshima menghasilkan foto mikro yaitu orientasi kristal pada film tipis Zn di atas substrat Alumina. Contoh fotonya adalah sebagai berikut.



**Gambar 4.10.** Foto mikro film tipis Zn a) 60°C, b) 80°C, dan c) 100°C.

Dengan mengamati foto mikro kristal lapisan film tipis Zn dalam temperatur substrat yang berbeda-beda, diharapkan dapat diketahui perbedaan bentuk dan bagaimana struktur kristalnya terbentuk. Pada penelitian sebelumnya juga diamati pertumbuhan kristal dan morfologi film tipisnya dengan parameter yang berbeda yaitu parameter energi listrik yang diberikan kepada substrat. Untuk lebih jelasnya hasil pengamatan mikroskopis film tipisnya dapat dilihat pada Gambar 4.10.

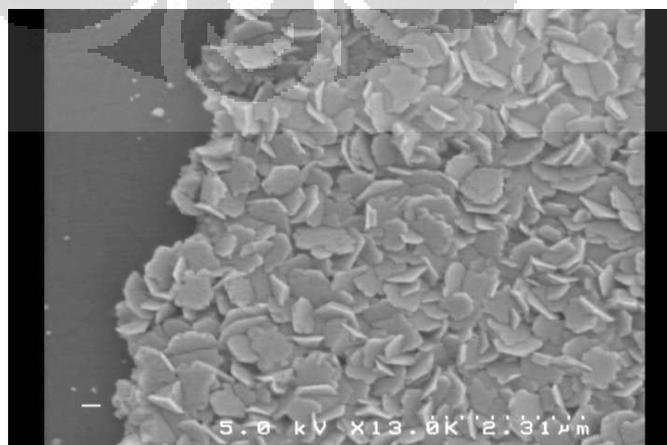


**Gambar 4.11.** Foto mikro film tipis Zn a) 25 eV, b) 75 eV, dan c) 125 eV.<sup>[15]</sup>

Hasil yang didapatkan oleh Kozo Obara et al adalah semakin besar energi yang diberikan pada substrat dalam proses elektrifikasi, akan mempercepat pertumbuhan film tipis pada saat nukleasi. Sehingga pada 125 eV terlihat bahwa butirnya besar-besar daripada sampel atau substrat dengan 75 eV dan 25 eV.<sup>[15]</sup> Pada penelitian kali ini, akan dilihat pengaruh temperatur pada morfologi pertumbuhan film tipis.

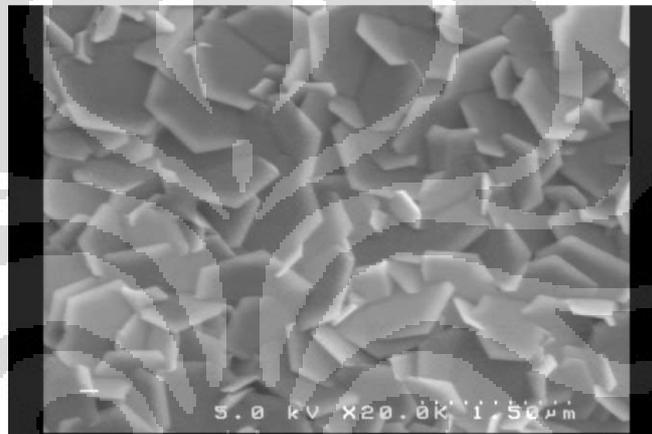
#### 4.2.2.1. Mikrokrystal Film Tipis Zn pada Substrat Bertemperatur 60°C

Hasil pengambilan foto SEM untuk film tipis Zndengan substrat bertemperatur 60°C akan dijelaskan pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.12.** Foto mikro film tipis Zn bagian pinggir batas antara substrat dan film tipis pada substrat bertemperatur 60°C.

Pada bagian pinggir antara substrat dan film tipis Zn, kebanyakan kristal masih berbentuk heksagonal jika dilihat secara langsung. Akan tetapi pada bagian tengah film tipis, jika diperhatikan baik-baik, maka akan terlihat bahwa terjadi morfologi pada *edge* atau pinggir kristal film tipis. Hal ini diasumsikan karena terjadi evaporasi yang menyebabkan bagian pinggir dari film tipis Zn mengalami perubahan morfologi. Foto SEMnya lebih jelas terdapat pada gambar 4.12.

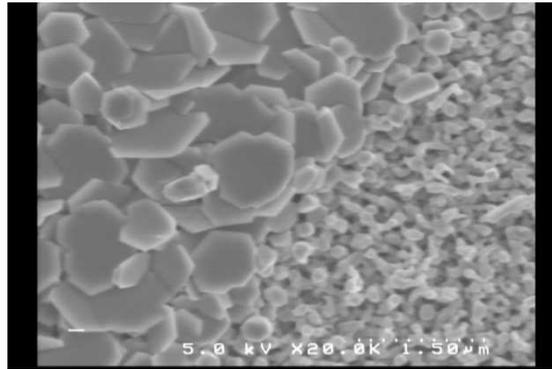


**Gambar 4.13.** Foto mikro film tipis Zn bagian tengah film tipis pada substrat bertemperatur 60°C.

Pada sampel dengan substrat bertemperatur 60°C diasumsikan paling banyak menghasilkan Zn *excimer* karena banyak atom yang terevaporasi pada suhu ini sehingga kristal-kristalnya memiliki banyak waktu untuk bermorfologi.

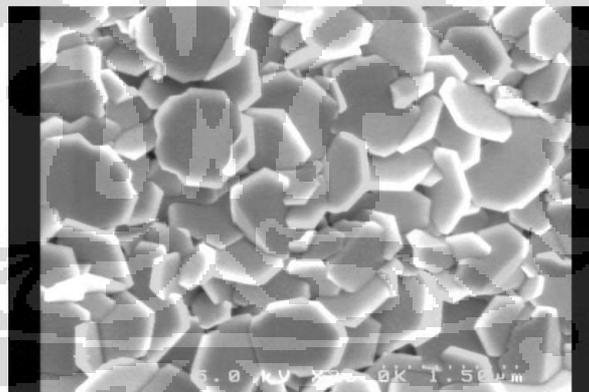
#### 4.2.2.2. Mikrokrystal Film Tipis Zn pada Substrat Bertemperatur 80°C

Hasil pengambilan foto SEM untuk film tipis Zn dengan substrat bertemperatur 80°C akan dijelaskan pada Gambar 4.13.



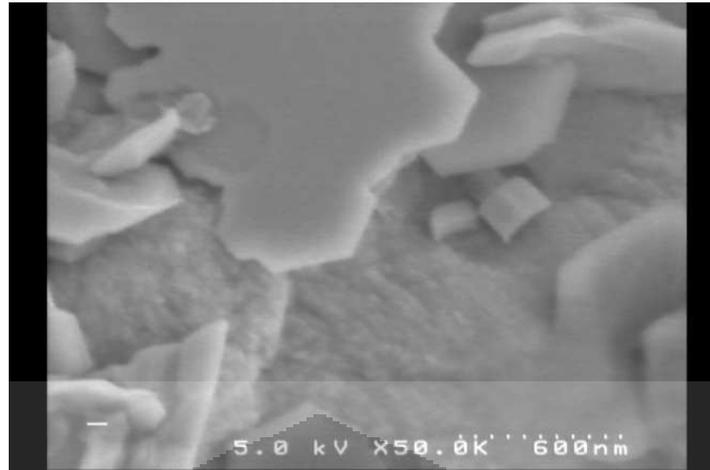
**Gambar 4.14.** Foto mikro film tipis Zn bagian pinggir film tipis dan substrat pada bertemperatur 80°C.

Pada bagian pinggir film tipis Zn yang dekat dengan substrat, ada perbedaan ukuran yaitu polikristal yang kecil dan yang besar. Ini menunjukkan film tipis terus bermorfologi sampai ke bentuk yang proporsional. Pertumbuhan film tipisnya diasumsikan dimulai dari bagian tengah lalu ke bagian pinggir. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.14.



**Gambar 4.15.** Foto mikro film tipis Zn bagian tengah film tipis dan substrat pada bertemperatur 80°C.

Pada bagian tengah ini terlihat jelas bahwa film tipis ada yang sebagian bermorfologi dan sebagian yang masih berbentuk heksagonal atau masih berupa Zn normal. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat kembali pada gambar 4.15.



**Gambar 4.16.** Foto mikro salah satu mikrostruktur film tipis Zn pada substrat bertemperatur 80°C.

Foto di atas memperlihatkan salah satu bagian kristal film tipis yang mengalami morfologi tapi sebagian masih berbentuk heksagonal.

#### 4.2.2.3. Mikrokrystal Film Tipis Zn pada Substrat Bertemperatur 100°C

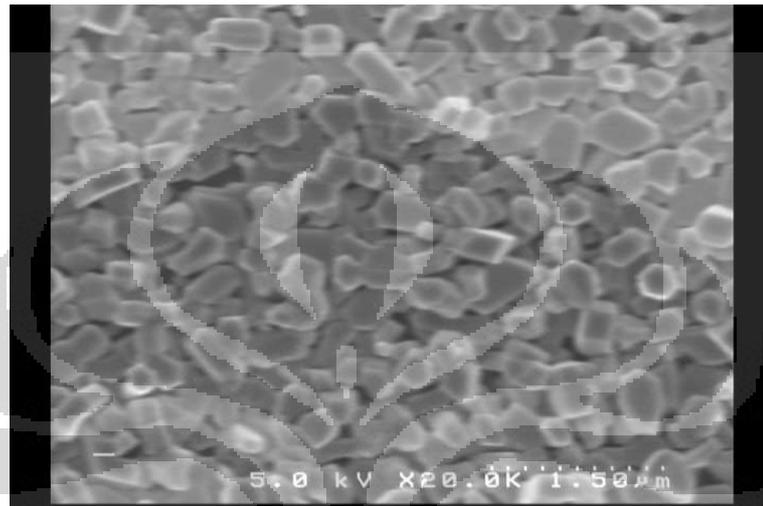
Untuk yang terakhir, hasil pengambilan foto SEM untuk film tipis Zn dengan substrat bertemperatur 100°C akan dijelaskan pada Gambar 4.16.



**Gambar 4.17.** Foto bagian tengah film tipis Zn pada substrat bertemperatur 100°C.

Pada substrat dikenakan temperatur 100 °C, film tipis tidak terlalu sempurna menempel pada substrat. Hal ini dikarenakan pada saat proses evaporasi, film tipis yang ada pada substrat sudah tereporasi jauh dari substrat dan hanya sebagian

yang dapat menempel. Hal ini dapat dilihat pada bagian sampel film tipis yang agak tipis dan jarang-jarang di bagian tengahnya. Pada saat dievaporasi, suhu substrat cukup tinggi yaitu  $100^{\circ}\text{C}$ . Pada dasarnya titik didih Zn rendah yaitu  $419^{\circ}\text{C}$ , sehingga Zn tidak bisa menempel pada substrat bertemperatur tinggi. Morfologi kristalnya digambarkan pada Gambar 4.17.



**Gambar 4.18.** Foto bagian tengah film tipis Zn pada substrat bertemperatur  $100^{\circ}\text{C}$  dengan perbesaran yang lebih besar.

Kristal-kristal film tipis Zn pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  tidak memiliki waktu yang banyak untuk bermorfologi dan membentuk kristal Zn *excimer* yang proporsional karena sebagian besar atomnya sudah terevaporasi dulu menjauhi substrat.

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil mengenai penelitian lapisan film tipis Zn *excimer* yang dikenakan pada substrat Alumina dengan perbedaan temperatur deposisi atau temperatur substrat yaitu 60°C, 80°C, dan 100°C berdasarkan data dan analisis mengenai penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dalam penelitian ini telah berhasil dibuat film tipis dengan menggunakan satu material atau elemen yaitu Zn dengan merekayasanya dalam level atomik. Ditunjukkan dengan munculnya material baru yaitu Zn *excimer* pada sampel bertemperatur substrat 60°C, 80°C, dan 100°C.
2. Model komposit dengan satu layer yaitu Zn-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> telah berhasil dibuat.
3. Morfologi film tipis Zn *excimer* terlihat seiring dengan berubahnya jarak antar kisi kristal oleh perbedaan temperatur. Pengaruhnya kepada material adalah jarak  $a$  yaitu jarak antar atom yang semakin kecil sehingga semakin memperkuat ikatan antar atom yang berdampak pada meningkatnya kekuatan material.
4. Perbedaan mikrokristal pada film tipis Zn dengan temperatur substrat 60°C, 80°C, dan 100°C antara lain pada temperatur 60°C morfologi kristalnya proporsional dan terlihat pada pinggiran kristal lapisan film tipis. Pada temperatur 80°C, morfologi kristalnya ada yang besar dan kecil. Kemudian pada 100°C kristalnya terdistribusi jarang-jarang karena sebagian besar atom film tipisnya sudah terevaporasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Smith, Donald L. 1995. *Thin-film Deposition: Principles and Practice*. New York: Mc-Graww Hill.
- [2] Mattox, Donald. 1998. *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface Preparation, and Contamination Control*. New Jersey: Noyes Publication.
- [3] <http://yukimuki.k.u-tokyo.ac.jp/jpf/pubnew1.html> yang diakses pada tanggal 17 Juni pukul 14:56.
- [4] [http://ap.polyu.edu.hk/apakhwon/lecture\\_notes/Thin\\_Films1.pdf](http://ap.polyu.edu.hk/apakhwon/lecture_notes/Thin_Films1.pdf) : “*Theory of Film Growth*” yang diakses pada tanggal 20 Juni 2012 pukul 18:24.
- [5] <http://www.uccs.edu/~tchriste/courses/PHYS549/549lectures/film1.html>: “*Thin Film Formation* yang diakses pada tanggal 21 Juni 2012 pukul 10:43.”
- [6] <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/physics/current/postgraduate/regs/mpags/ex5/strainedlayer/surfgrwth/> yang diakses pada tanggal 23 Juni 2012 pukul 05:36.
- [7] Palisaitis, Justinas, et al. 2008. *Epitaxial Growth of Thin Films*. Journal of University of Sweden.pdf
- [8] Chapter 3\_crystal handouts.pdf yang diakses pada tanggal 18 April 2012 pukul 22:00.
- [9] Highered. Chapter 3: *Crystal Structure and Crystal Geometry/* Mc.Graw-Hill.e-book.
- [10] <http://en.wikipedia.org/wiki/Excimer> yang diakses pada tanggal 24 Juni 2012 pada pukul 15:34.
- [11] Obara, Kozo et al. *Spontaneous Structures of Zn Excimer Condensates Induce by Ion-recombination Process Under Weak Magnetic Field.*, AIP Con. Proc. Vol 1415, 2011. Pp-43-50.
- [12] Obara, Kozo et al. 2011. *How We Can Produce Sustainable Society from Nanoscience and Nanotechnology for Next Generation- Prospects of Excited Dimers with Long Lifetime-*. American Institute of Physics pp 59-60.
- [13] Kuwayama, Masahiro et al. 2011. *Approximants of Icosahedron Quasicrystals Grown from Single Element Vapor Source, Zinc, Induced by Inner-core Electron Excitation*. Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University.
- [14] Hamasaki, Mitsugi et al. 2011. *A New Approach for Sustainable Energy Systems due to the Excitation of Inner-core Electron on Zinc Atoms Induced by Surface-ion-recombination*. American Institute of Physics pp 43-46.
- [15] Obara, Masumi. 2012. *Structure and Crystal Growth in Zn Excimer by Core Electron Excitation*.ppt. University of Kagoshima. Doctoral Course. Department of Nano Structure and Advanced Material.
- [16] Hamasaki, Mitsugi. 2011. *Recombination Ion in Zn by Electron Shell Excitation in the Process of Condensation*. ppt. University of Kagoshima. Doctoral Course. Department of Nano Structure and Advanced Material.

- [17] Taniguchi, M et al. 2012. *Critical Electron Energy For Surface Diffusibility On Zn Micro-crystal Formed by Electron-Assisted PVD*.ppt. Graduate School of Engineering and Science. Kagoshima University.
- [18] Obara, Kozo et al. 2012. *Electrical Nucleation*.pdf. Graduate School of Engineering and Science. Kagoshima University.
- [19] Obara, Masumi et al.2011. *Slowly Relaxing Structural Defects of Zinc Films With Excited States Induced by Ion Recombination Processes*. Kagoshima University, Graduate School of Science and Engineering, Korimoto 1-21-40, Kagoshima, 8900065, Japan.
- [20] Modgil, V. et al. 2010. *STRUCTURAL STUDY OF Se-Te-Zn SYSTEM USING XRD SPECTRA*. Journal of Ovonic Research Vol. 6, No. 3, p. 125 – 133. Department of Physics, H. P. University, Summer Hill Shimla, India.
- [21] De Conduin, Oisin. 2010. *X-ray Diffraction*. Pdf
- [22] unknown. *Crystal Structure Part II*. [http://www.google.co.id/search: miller indices of HCP crystal](http://www.google.co.id/search:miller+indices+of+HCP+crystal) yang diakses pada 12 Juli 2012 Pukul 09:00.