



**PENGARUH SUHU DEPOSISI TERHADAP SIFAT  
FISIS FILM TIPIS SENG OKSIDA DOPING GALIUM  
OKSIDA DENGAN METODE *DC MAGNETRON  
SPUTTERING***

**Skripsi**

**Disusun sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
Program Studi Fisika**

**oleh**

**Fatiatun**

**4211411036**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

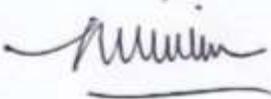
**2015**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

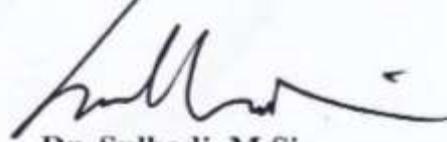
Semarang, 26 Maret 2015

Pembimbing Utama



**Dr. Putut Marwoto, M.S.**  
NIP. 19630821 198803 1 004

Pembimbing Pendamping



**Dr. Sulhadi, M.Si.**  
NIP. 19710816 1998021 001

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Pengaruh Suhu Deposisi terhadap Sifat Fisis Film Tipis Seng Oksida  
Doping Galium Oksida dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*

disusun oleh

Fatiatun

4211411036

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada  
tanggal Maret 2015.



**Prof. Dr. Wiyanto, M.Si.**  
NIP. 19631012 198803 1 001

Sekretaris

**Dr. Khumaedi, M.Si.**  
NIP. 19630610 198901 1 002

Ketua Penguji

**Dr. Sugianto, M. Si.**  
NIP. 1961029 199303 1 001

Anggota Penguji /  
Pembimbing I

**Dr. Putut Marwoto, M.S.**  
NIP. 19630821 198803 1 004

Anggota Penguji /  
Pembimbing II

**Dr. Sulhadi, M.Si.**  
NIP. 19710816 1998021 001

## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya akan bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan perundang-undangan.

Semarang, 26 Maret 2015



Fatiatun

NIM. 4211411036

## **MOTTO**

Bismillahirrahmanirrahim....

“Sesungguhnya keberhasilan akan diraih dengan perjuangan dan usaha“

“Jangan pernah berhenti memiliki harapan karena harapan memiliki semua kekuatan untuk kesuksesan”

“Mimpi, cita-cita, keyakinan dan apa yang mau dikejar biarkan menggantung 5 cm, mengambang di depan kening sehingga tak akan pernah lepas dari penglihatan”.

## **PERSEMBAHAN**

Untuk ayah (alm), Ibuk, Guru-guru,  
Kakak-kakak, dan Teman-teman

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul "Pengaruh Suhu Deposisi terhadap Sifat Fisis Film Tipis Seng Oksida Doping Galium Oksida dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*".

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak berupa saran, bimbingan, maupun petunjuk dan bantuan dalam bentuk lain, maka penulis dengan penuh ketulusan hati menyampaikan terimakasih kepada:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
4. Ketua Prodi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
5. Dr. Putut Marwoto, M.S selaku pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran kepada penulis selama penyusunan skripsi dan proses perkuliahan.
6. Dr. Sulhadi, M.Si selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran kepada penulis selama penyusunan skripsi dan proses perkuliahan.
7. Dr. Sugianto, M.Si yang telah memberikan inspirasi dan motivasi selama penyusunan skripsi dan proses perkuliahan.
8. Dr. Supriyadi, M.Si. selaku Kepala Laboratorium Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang
9. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional melalui Hibah Pekerti yang telah membiayai penelitian
10. Dr. Ian Yulianti, S.Si., M.Sc selaku dosen wali yang dengan penuh kesabaran dan kebersahajaan telah memberikan nasehat dan motivasi kepada penulis

11. Ibuk, mbak ifa, mbak dzur, mbak min, mbak lutfi dan kak adiyang telah memberikan dukungan, motivasi kepada penulis serta memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh jenjang pendidikan ke Universitas
12. Dwi Suprayogi, S.Si., Didik Aryanto, M.Sc, Edy Wibowo, M.Sc, Dr. Budi Astuti, S.Si.,M.Sc, Wasi Sakti W.P, S.Pd., Muttaqin, S.Si. dan Mas Agus Andi Wibowo, S.Siyang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini
13. Fani Faria (Fatim, Nina (alm), Rundi, Alif) dan Muji serta Widi terimakasih telah menjadi sahabat terbaik
14. Dika, tyas, damar, habibi, mas gun, margi, rofi dan farida terimakasih atas doa, semangat, kebersamaan dan bantuannya selama di Laboratorium Fisika Material Film Tipis Universitas Negeri Semarang
15. Pasukan Fisika murni 2011 terimakasih kebersamaan serta kebersahajaannya.
16. Keluarga besar Kost Gharini 88, Dian, Ita, Lani, Icha, Ari, Gusta, Roro dan Anis yang banyak memberikan nasihat dan motivasi mengenai pembelajaran hidup.
17. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk selalu memberikan bantuan moral dan spiritual.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh darisempurna karena kesempurnaan hanya milik Allah SWT.Semoga laporan skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi kita semua.Amiin.

Semarang,26 Maret 2015

Penulis

## ABSTRAK

**Fatiatun.**2015. *Pengaruh Suhu Deposisi terhadap Sifat Fisis Film Tipis Seng Oksida Doping Galium Oksida dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.Pembimbing Utama Dr. Putut Marwoto, M.S. dan Pembimbing Pendamping Dr. Sulhadi, M.Si.

**Kata kunci:** ZnO:Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sputtering, Struktur, Optik, Listrik.

Film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berhasil dideposisi pada substrat *corning glass* menggunakan metode *dc magnetron sputtering*. Deposisi dilakukan pada tekanan argon 500 mTorr dengan variasi suhu deposisi 300<sup>0</sup> C, 325<sup>0</sup> C, 350<sup>0</sup> C, 375<sup>0</sup> C, 400<sup>0</sup> C, 425<sup>0</sup> C dan 450<sup>0</sup> C dan daya plasma 30 W. Karakterisasi struktur dengan EDX menunjukkan adanya unsur Zn (73 %), Ga (2,56 %), dan O (21,77 %). Hasil XRD menunjukkan peningkatan suhu deposisi menyebabkan film tipis ZnO mempunyai intensitas puncak yang tinggi. Analisis FWHM pada suhu deposisi 300<sup>0</sup> C menunjukkan nilai paling kecil sebesar 0,24° pada puncak difraksi (002), serta intensitas paling tinggi pada suhu deposisi 400<sup>0</sup> C. Analisis SEM menunjukkan film tipis ZnO yang ditumbuhkan pada suhu 400<sup>0</sup> C mempunyai ukuran butir yang paling besar. Karakterisasi sifat optik dengan menggunakan UV-Vis menunjukkan transmitansi optik paling tinggi terdapat pada suhu deposisi 300<sup>0</sup> C sebesar 90%. Nilai *band gap* dan transmitansi mengalami penurunan dengan peningkatan suhu deposisi, *band gap* terbesar 3,34 eV pada suhu 300<sup>0</sup> C. Nilai ketebalan film paling tinggi yang dihasilkan sebesar 157 nm pada suhu deposisi 400<sup>0</sup> C. Hasil analisis sifat listrik menggunakan I-V meter menunjukkan pada peningkatan suhu deposisi menyebabkan nilai konduktivitas listrik menurun secara signifikan. Film tipis ZnO pada suhu deposisi 300<sup>0</sup> C memiliki nilai konduktivitas paling tinggi yaitu  $2,15 \times 10^{-3} (\Omega\text{cm})^{-1}$ , dan konduktivitas paling rendah sebesar  $1,79 \times 10^{-4} (\Omega\text{cm})^{-1}$ . Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa ada hubungan antara hasil analisis karakterisasi struktur, sifat optik dan sifat listrik yang dihasilkan bahwa pada penggunaan suhu deposisi 300<sup>0</sup> C mempunyai sifat fisis yang cocok untuk aplikasi TCO.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERSETUJUAN PEMBIMBING .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	6
1.3 Tujuan .....	6
1.4 Manfaat .....	6
1.5 Sistematika .....	6
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1 Seng Oksida.....	8
2.2 Galium Oksida .....	10
2.3 Sputtering .....	11
2.4 Sistem DC Magnetron Sputtering .....	11
2.5 Transparent Conducting Oxide .....	13

2.6 Daya Plasma .....	14
2.7 Struktur Unit Film Tipis .....	15
2.8 Sifat Optik .....	20
2.9 Sifat Listrik .....	21

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Pelaksanaan Penelitian .....	24
3.2 Alat dan Bahan.....	24
3.2.1 Bahan .....	24
3.2.2 Alat .....	25
3.3 Prosedur Penelitian .....	26
3.3.1 Pembuatan Target .....	26
3.3.2 Preparasi Substrat .....	27
3.3.3 Deposisi Film Tipis ZnO Doping Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	27
3.4 Karakterisasi Film Tipis ZnO Doping Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	28
3.4.1 Karakterisasi Struktur .....	29
3.4.1.1 <i>Energy Dispersive X-Ray</i> (EDX) .....	29
3.4.1.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	30
3.4.1.3 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) .....	33
3.4.2 Karakterisasi Sifat Optik .....	34
3.4.2.1 Spektrometer UV-Vis .....	34
3.4.2.2 Ellipsometer .....	35
3.4.3. Karakterisasi Sifat Listrik .....	36
3.4.3.1 I-V Meter .....	36
3.5 Diagram Alir Penelitian .....	38

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1 Karakterisasi Struktur .....	39
4.1.1 <i>Energy Dispersive X-Ray</i> (EDX) .....	39
4.1.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	40
4.1.3 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) .....	52

4.2 Karakterisasi Sifat Optik .....	56
4.2.1 Spektrometer UV-Vis .....	56
4.2.2 Ellipsometer .....	64
4.3 Karakterisasi Sifat Listrik .....	68
4.3.1 I-V Meter .....	68
4.4 Hubungan antara Struktur, Sifat Optik dan Sifat Listrik Film Tipis ZnO Doping Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	73

## **BAB V PENUTUP**

5.1 Simpulan.....	75
5.2 Saran.....	76

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	77
-----------------------------	----

<b>LAMPIRAN</b> .....	82
-----------------------	----

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais .....	17
3.1 Parameter Kondisi Film Tipis ZnO Doping Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2%) yang Dideposisi di Atas Substrat <i>Corning Glass</i> dengan Variasi Suhu Deposisi pada Tekanan Ar 500 mtorr, Daya Plasma 30 W dan Lama Deposisi 60 menit .....	28
3.2. Penggunaan Panjang Gelombang X-Ray K dalam XRD (nm).....	32
4.1 Hasil Analisis XRD Film Tipis ZnO Doping Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan Variasi Suhu Deposisi .....	42
4.2 Nilai <i>Lattice Strain</i> dan Nilai <i>Stress</i> Film Tipis ZnO Doping Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan Variasi Suhu Deposisi .....	43
4.3 Nilai <i>Band Gap</i> Film Tipis Tipis ZnO Doping Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan Variasi Suhu Deposisi .....	64
4.4 Nilai Ketebalan Film Tipis ZnO Doping Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan Indeks Bias 1.999 Menggunakan Variasi Suhu Deposisi.....	66
4.5 Nilai konduktivitas Film Tipis ZnO doping Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dengan Variasi Suhu Deposisi.....	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur kristal (a) <i>rockzalt</i> , (b) <i>zinc blende</i> , dan (c) <i>wurtzite</i> .....	9
2.2. Proses <i>sputtering</i> pada permukaan target.....	11
2.3 Skema reaksi dalam <i>dc magnetron sputtering</i> .....	13
2.4 Diagram blok system I-V meter untuk menghasilkan kurva arus-tegangan dari sebuah devais uji .....	23
3.1 Sistem Reaktor <i>dc magnetron sputtering</i> .....	26
3.2 Difraksi sinar-X oleh kristal .....	31
3.3 Pengukuran resistansi film tipis dengan metode <i>two-probe</i> .....	37
3.4 Diagram alir penelitian .....	38
4.1 Spektrum EDX sampel film tipis ZnO doping $Ga_2O_3$ .....	40
4.2 Spektrum XRD film tipis ZnO doping $Ga_2O_3$ dengan variasi suhu deposisi .....	41
4.3 Grafik hubungan antara posisi 2 theta dengan variasi suhu deposisi .....	47
4.4 Grafik hubungan antara FWHM dengan variasi suhu deposisi .....	49
4.5 Grafik hubungan antara ukuran kristal dengan variasi suhu deposisi .....	50
4.6 Citra SEM film tipis ZnO doping $Ga_2O_3$ dengan variasi suhu deposisi (a) $300^{\circ}C$ , (b) $325^{\circ}C$ , (c) $350^{\circ}C$ , (d) $375^{\circ}C$ , (e) $400^{\circ}C$ , (f) $425^{\circ}C$ , (g) $450^{\circ}C$ .....	53
4.7 Hasil karakterisasi Spektrometer UV-Vis ZnO doping $Ga_2O_3$ dengan variasi suhu deposisi.....	58
4.8 (a) Hubungan $(\alpha h)^2$ dengan energy ( $h\nu$ ) film tipis ZnO doping $Ga_2O_3$ suhu $300^{\circ}C$ .....	59
(b) Hubungan $(\alpha h)^2$ dengan energi ( $h\nu$ ) film tipis ZnO doping $Ga_2O_3$ suhu $325^{\circ}C$ .....	60
(c) Hubungan $(\alpha h)^2$ dengan energi ( $h\nu$ ) film tipis ZnO doping $Ga_2O_3$ suhu $350^{\circ}C$ .....	60

(d) Hubungan $(\alpha h)^2$ dengan energi $(h\nu)$ film tipis ZnO doping $Ga_2O_3$ suhu $375^0C$ .....	61
(e) Hubungan $(\alpha h)^2$ dengan energi $(h\nu)$ film tipis ZnO doping $Ga_2O_3$ suhu $400^0C$ .....	61
(f) Hubungan $(\alpha h)^2$ dengan energi $(h\nu)$ film tipis ZnO doping $Ga_2O_3$ suhu $425^0C$ .....	62
(g) Hubungan $(\alpha h)^2$ dengan energi $(h\nu)$ film tipis ZnO doping $Ga_2O_3$ suhu $450^0C$ .....	62
4.9 Grafik hubungan antara <i>band gap</i> dengan variasi suhu deposisi .....	64
4.10 Grafik hubungan antara tebal film dengan variasi suhu deposisi .....	68
4.11 Grafik hubungan antara arus dan tegangan .....	70

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Standar JCPDS ZnO.....	82
2. Perhitungan konsentrasi doping galium ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) pada target ZnO doping $\text{Ga}_2\text{O}_3$ .....	83
3. Perhitungan FWHM orientasi bidang (002).....	85
4. Perhitungan FWHM orientasi bidang (004).....	88
5. Perhitungan nilai <i>d-space</i> orientasi bidang (002) dan (004) .....	89
6. Perhitungan parameter kisi- <i>c</i> .....	92
7. Perhitungan nilai transmitansi.....	94

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Film tipis merupakan material oksida yang transparan terhadap cahaya. Sifat konduktifnya diaplikasikan untuk *transparent conducting oxide* (TCO) pada layar LCD, LED, *electrochromic windows* (jendela yang bisa diatur menjadi transparan gelap) dan lapisan pertama pada sel surya lapis tipis.

Banyak energi alam yang berpotensi sebagai sumber energi alternatif. Energi surya merupakan salah satu sumber energi yang patut dikembangkan sebagai energi alternatif. Sebagai sumber energi alam, energi surya memiliki keuntungan yaitu mudah didapatkan, ramah lingkungan, sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis dan listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai (Hasan, 2012).

Teknologi *photovoltaic*, pada prinsipnya mengkonversi secara langsung energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan devais semikonduktor yang disebut sel surya. Sel surya atau yang sering dikenal dengan *solar cell*, perkembangan pemanfaatannya begitu pesat di berbagai negara. Hal ini karena teknologi sel surya merupakan salah satu pilihan yang menarik, yaitu teknologi *photovoltaic*. Perkembangan sel surya patut diperhatikan, khususnya teknologi film tipis. Teknologi ini terus menerus dikembangkan dengan

menggunakan proses modifikasi terbaru, yang bertujuan menemukan bahan material baru untuk teknologi tersebut.

TCO merupakan material dengan karakteristik transparansi yang tinggi pada panjang gelombang visibel dan resistivitas listrik yang rendah sehingga dapat dimanfaatkan untuk teknologi *window layer* dalam sel surya. Bahan TCO yang saat ini populer dimanfaatkan adalah *Indium thin oxide* (ITO). ITO memiliki karakteristik yang baik dari segi transmitansi optik, band gap (*bandgap*) yang lebar, serta konduktivitas listrik yang tinggi (Sim *et al.*, 2010). Film tipis ITO memiliki konduktivitas  $\sim 10^4 \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  dan transmitansi  $\sim 85\%$  dengan band gap  $\sim 3,7 \text{ eV}$  (Tuna *et al.*, 2010). Dalam perkembangan penelitian, ITO termasuk bahan yang mahal dan relatif langka, maka ZnO dipilih sebagai material baru yang diteliti untuk bahan alternatif pengganti ITO.

ZnO memiliki keuntungan utama yaitu material ini tidak beracun dan sangat berlimpah di bumi (Sali *et al.*, 2008). ITO memiliki stabilitas tinggi dalam plasma hidrogen dan siklus panas serta tahan terhadap radiasi. ZnO juga memiliki band gap yang lebar ( $3,37 \text{ eV}$ ) dengan energi ikat tinggi ( $60 \text{ MeV}$ ) dan memiliki sifat listrik, sifat optik serta struktur unit yang kurang bagus sehingga dapat diperbaiki dengan cara diberi doping (Kim *et al.*, 2010).

Film tipis ZnO tanpa doping memiliki karakteristik sifat listrik yang kurang baik. Resistivitasnya sebesar  $0,78 \text{ } \Omega \text{ cm}$  (Sim, *et al.*, 2010). Nilai konduktivitas film tipis ZnO tanpa doping yaitu sekitar  $6,24 \times 10^{-7} (\Omega \text{ m})^{-1}$  (Suprayogi, 2014)

Penambahan doping perlu dilakukan untuk meningkatkan konduktivitas listrik pada lapisan film tipis ZnO murni. Sifat listrik film tipis ZnO sangat resistif, sehingga untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan doping dengan unsur-unsur golongan III A seperti B, Al, Ga, dan In. Nilai konduktivitas ZnO dengan doping yaitu menjadi  $3,16 \times 10^{-4} (\Omega m)^{-1}$  dan nilai transmitansinya yaitu 80 - 85%.

Bahan doping yang dipakai yaitu logam *gallium* (Ga) yang memiliki prospek menjanjikan sebagai bahan dopan film ZnO, sehingga mendapatkan film berkualitas baik. Ga memiliki konduktivitas yang baik daripada aluminium (Li *et al.*, 2009). Ga memiliki beberapa kelebihan seperti, jari-jari atom Ga hampir sama dengan Zn dengan panjang ikatan kovalen dari Ga-O dan Zn-O diperkirakan nilainya 1.92 Å and 1.97 Å (Maet *al.*, 2008). Logam Ga juga memiliki sifat kurang reaktif dan lebih resistif terhadap oksidasi dibandingkan logam aluminium.

Untuk mendapatkan sifat-sifat yang baik tersebut selain dilakukan doping, dilakukan juga variasi suhu saat deposisi. Variasi suhu ini dilakukan untuk mencari suhu terbaik yang dipakai saat deposisi agar mendapatkan sifat listrik, optik dan struktur unit yang bagus pada lapisan film tipis yang dihasilkan sesuai dengan aplikasinya. ZnO sangat potensial diaplikasikan sebagai elektroda transparan dalam teknologi fotovoltaik, piranti elektroluminisens dan material piranti pemancar ultraviolet.

Film tipis merupakan lapisan yang sangat tipis dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal-organik yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor maupun isolator (Sudjatmoko, 2003). Film tipis ZnO kurang stabil terhadap lingkungan yang korosif, misalnya saat terjadi proses

absorpsi oksigen pada film tipis dapat menurunkan konduktivitas elektrik dan juga mempengaruhi struktur mikro dari partikel. Struktur partikel mempengaruhi besar cahaya yang melewati dan diteruskan. Bahan substrat yang digunakan dalam proses deposisi juga dapat mempengaruhi film tipis yang dihasilkan. Substrat yang digunakan untuk film tipis sebaiknya memiliki sifat transparan yang baik agar cahaya yang datang dapat menembus film. Substrat tersebut juga mempunyai konduktivitas tertentu agar dapat digunakan untuk menentukan sifat listrik film yang dihasilkan.

Proses deposisi lapisan film tipis ZnO doping  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dapat dilakukan dengan berbagai macam teknik deposisi. Diantaranya yaitu teknik evaporasi, *magnetron sputtering*, *Chemical Vapour Deposition (CVD)*, *Pulsed Laser Deposition (PLD)* dan *spray pyrolysis*. Namun dalam penelitian ini teknik yang dipakai yaitu dengan teknik *sputtering*, karena diantara teknik deposisi film tipis yang telah dikembangkan, teknik deposisi dengan *dc magnetron sputtering* menghasilkan film tipis yang lebih baik dan mempunyai keuntungan dibandingkan teknik lainnya. Teknik ini dipengaruhi oleh suhu, daya dan tekanan aliran gas argon saat deposisi, namun dalam penelitian ini hanya memakai dan mencari parameter suhu terbaik untuk mengetahui hasil sifat fisis yang dihasilkan dari hasil deposisi.

Metode deposisi menggunakan *dc magnetron sputtering* menarik untuk dikaji lebih lanjut karena mempunyai berbagai kelebihan dan keuntungan. Teknik ini memiliki proses yang sederhana dan biaya yang tidak terlalu mahal. Reaktor *dc magnetron sputtering* tersedia di laboratorium fisika material Universitas

Negeri Semarang. Reaktor tersebut telah berhasil menumbuhkan berbagai film tipis pada penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian yang baru dikerjakan beberapa tahun terakhir ini seperti film tipis ZnO murni (Wahyuningsih, 2013), film tipis ZnO doping Al (Yanti, 2013) dan film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan variasi konsentrasi doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Suprayogi, 2014).

Pada penelitian dengan teknik PLD telah menarik banyak perhatian peneliti, hal ini karena proses fabrikasinya sangat cocok untuk perangkat optoelektronik menggunakan film tipis ZnO (Shin *et al.*, 2009). Film tipis ZnO yang dihasilkan dengan teknik ini dapat terbentuk kristal pada temperatur deposisi lebih rendah dibandingkan dengan teknik lain. Peningkatan variasi suhu deposisi film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (dari suhu 100<sup>o</sup>C sampai 400<sup>o</sup>C). Berdasarkan analisis XRD menunjukkan bahwa film memiliki struktur polikristalin wurtzite heksagonal dengan orientasi (002). Sifat optik film tipis diukur dengan UV-Vis yang mengacu pada pengukuran transmitansi, menunjukkan bahwa karakteristik film sangat transparan di daerah cahaya visibel. Film yang dihasilkan juga memiliki band gap yang meningkat dari 3,56 sampai 3,69 eV (Shin *et al.*, 2009).

Penelitian film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan metode *dc magnetron sputtering* telah banyak dilakukan dengan variasi parameter deposisi. Penambahan doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan konsentrasi 2% telah menghasilkan kualitas film tipis dengan karakteristik sifat optik, listrik, dan struktur kristal yang bagus sehingga cocok dalam aplikasi seperti TCO (Suprayogi, 2014). Pada penelitian ini proses deposisi film dilakukan dengan daya sputtering rendah, konsentrasi Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang ditambahkan dalam campuran target 2% dan variasi suhu.

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dituliskan, permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah pengaruh suhu deposisi terhadap sifat fisis film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan metode *dc magnetron sputtering*.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu deposisi terhadap sifat fisis film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan metode *dc magnetron sputtering*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah dapat menunjukkan kajian mengenai pengaruh suhu deposisi ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sehingga dapat diperoleh sifat fisisfilm tipis.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini terdiri atas 5 bab. Skripsi ini diawali dengan halaman judul, abstrak, halaman pengesahan, halaman motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel. Bab 1 berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi. Bab 2 menguraikan kajian pustaka yang merupakan landasan teoritis dalam penelitian. Kajian pustaka berisi penjelasan mengenai material seng oksida, galium oksida, *sputtering*, *Transparent*

*Conducting Oxide* (TCO), daya plasma, struktur unit film tipis, sifat optik dan sifat listrik. Bab 3 membahas metode penelitian yang meliputi pembuatan target ZnO, preparasi substrat, deposisi film tipis dan karakterisasi film tipis ZnO. Bab 4 memaparkan hasil penelitian dan pembahasan hasil penelitian. Analisis dan pembahasan hasil penelitian yang meliputi struktur yang digunakan untuk mengetahui struktur (komposisi unsur-unsur, struktur unit film beserta orientasi bidang kristal, struktur morfologi permukaan), sifat optik (transmitansi, *band gap*, ketebalan film), sifat listrik (konduktivitas listrik). Bab 5 berisi simpulan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya. Bagian akhir skripsi berisi daftar pustaka dan lampiran hasil penelitian.

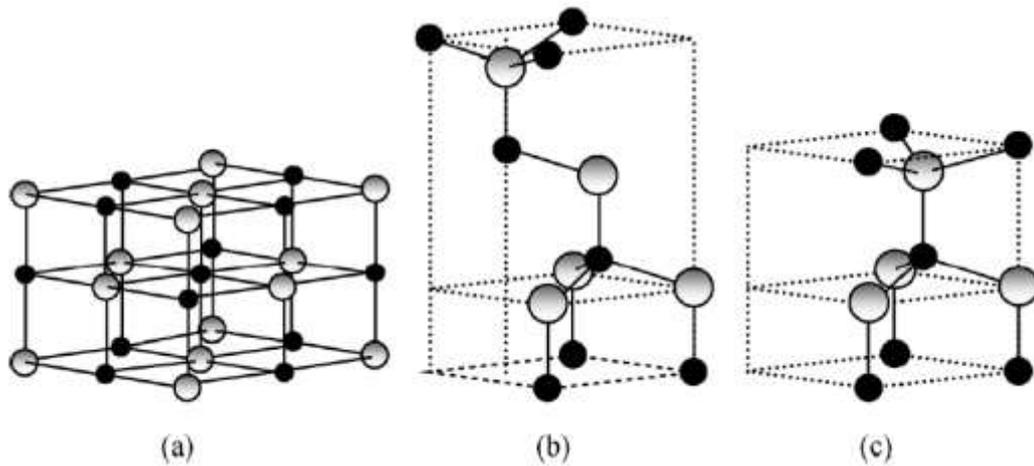
## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Seng Oksida

Seng Oksida (ZnO) merupakan material semikonduktor tipe-*n* dengan struktur *wurtzite* karena *nonstoichiometry* (Ma *et al.*, 2008) dengan *directband gap* besar sekitar 3,37 eV pada temperatur rendah dan 3,30 eV pada temperatur ruang (Liewhiran, 2007). ZnO juga merupakan material semikonduktor yang menjanjikan untuk berbagai aplikasi dalam teknologi modern. Material ini dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi dalam pembuatan perangkat semikonduktor seperti, perangkat filter SAW, sensor gas dan TCO (Bhole *et al.*, 2007). Karakteristik ZnO ini menarik untuk dijadikan bahan penelitian.

ZnO termasuk bahan paduan dalam golongan II dan VI antara logam dan oksida. ZnO diakui sebagai salah satu material semikonduktor oksida yang paling menjanjikan karena mempunyai sifat optik, listrik dan piezoelektrik yang baik (Peng Sun *et al.*, 2006). Material ini juga termasuk dalam semikonduktor tipe *n*, yang memiliki tiga macam struktur kristal yaitu *wurtzite*, *zinc blende*, dan *rocksalt* (Morkoc *et al.*, 2009). Ketiga bentuk struktur kristal ZnO tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur kristal (a) *rock salt*, (b) *zinc blende*, dan (c) *wurtzite* (Morkoc et al., 2009)

Struktur kristal *wurtzite* tersusun atas ikatan tetrahedral antara atom seng dan oksigen. Struktur ini merupakan bentuk paling umum pada karakteristik film tipis seng oksida, hal ini karena struktur tersebut stabil pada kondisi lingkungan. Struktur *wurtzite* memiliki unit heksagonal dengan dua parameter kisi  $a$  dan  $c$ , dengan rasio ideal  $c/a = 1,633$  (Morkoc et al., 2009). Struktur *zinc blende* stabil hanya dengan deposisi pada struktur kubik, sementara struktur *rock salt* akan terbentuk untuk fase metastabil pada tekanan tinggi (Coleman et al., 2006).

ZnO merupakan material yang potensial dipertimbangkan untuk pengganti ITO dan  $\text{SnO}_2$  (Kuo et al., 2010) yaitu sebagai aplikasi dalam *transparent conducting oxide* (TCO) karena band gap lebar (3,3 eV), konduktivitas tinggi, mudah didoping, stabilitas kimia pada plasma hidrogen, suhu stabil ketika ditambahkan doping dengan golongan III (Singh et al., 2001). Band gap ZnO yang lebar memiliki keuntungan dalam mempertahankan medan listrik yang besar, ketahanan pada suhu tinggi dan daya operasi tinggi.

Film tipis ZnO merupakan material yang menarik untuk dikembangkan karena memiliki sifat fisis yaitu transparan yang tinggi pada daerah spektrum *visible* dan *near-ultraviolet* (UV-vis), rentang konduktivitas yang lebar dan konduktivitas mengalami perubahan dibawah kondisi photoreduksi dan oksidasi (Suchea *et al.*, 2007).

## 2.2 Galium Oksida

Galium Oksida ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) merupakan material yang memiliki *band gap* lebar, serta memiliki sifat optik dan listrik yang baik (Yu *et al.*, 2010). Nilai *band gap* film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  sekitar 4,8 eV dan film yang dihasilkan memiliki struktur polikristal fase monoklinik (Sugianto, 2004).

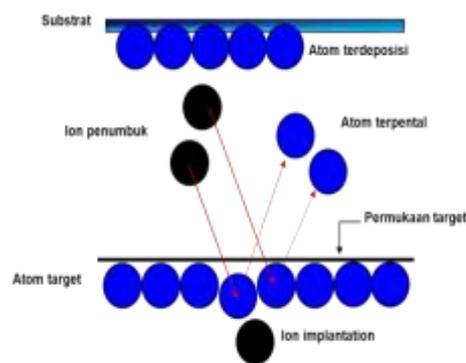
Material  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  memiliki karakteristik sifat fisis yang menarik, sehingga dilanjutkan menjadi objek penelitian.  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  merupakan bahan menjanjikan karena mempunyai keuntungan, yaitu atom Ga mempunyai jejari yang hampir sama dengan Zn sehingga hanya menyebabkan deformasi kekisi yang kecil meskipun konsentrasi Ga tinggi, dan Ga kurang reaktif serta lebih tahan terhadap oksidasi (Ma *et al.*, 2007).

Material Ga merupakan bahan dopan yang tergolong dalam *hard dopan*, ion *hard* dopandapat menghasilkan material ferroelektrik menjadi lebih *hardness*, seperti *loss* dielektrik, *bulk* resistivitas lebih rendah, faktor kualitas mekanik lebih tinggi dan faktor kualitas listrik menjadi lebih tinggi.

### 2.3 Sputtering

*Sputtering* merupakan proses penembakan partikel-partikel berenergi tinggi kepada target sehingga atom-atom target memperoleh energi yang cukup tinggi untuk melepaskan diri dari permukaan target. Proses sputtering diawali dengan proses ionisasi gas-gas sputter seperti Argon (Ar), Xenon (Xe), Krypton (Kr), Neon (Ne) maupun Helium (He). Atom-atom yang tersputter dari permukaan bahan yang ditembak ion terhambur ke segala arah kemudian difokuskan pada substrat untuk membentuk lapisan tipis (Atmono, 2003).

*Sputtering* terjadi ketika dihasilkan lucutan listrik dan gas argon secara listrik menjadi konduktif karena mengalami ionisasi yang menghasilkan ion-ion bermuatan positif dan negatif yang mempunyai jumlah seimbang, dikenal sebagai plasma (Purwaningsih, 2003). Seperti yang dijelaskan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Proses *sputtering* pada permukaan target

### 2.4 Sistem DC *magnetron sputtering*

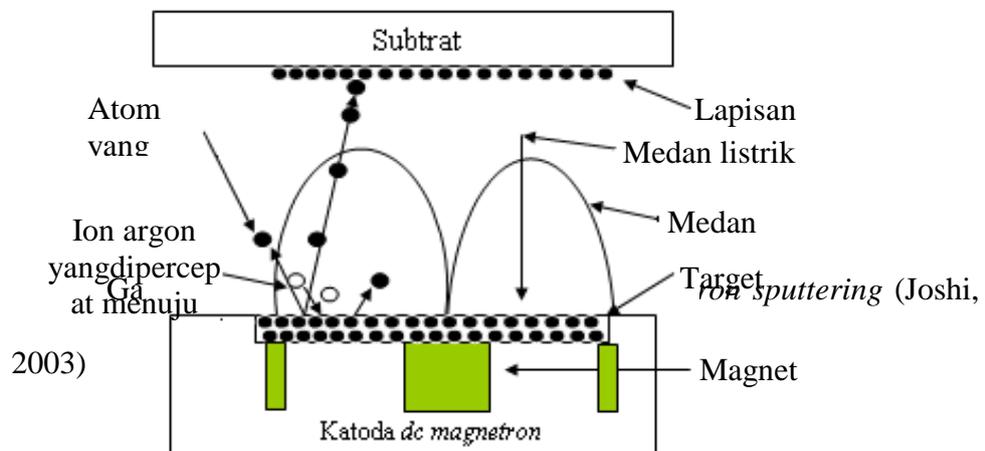
Teknik deposisi film tipis paling sederhana adalah dengan metode *dc magnetron sputtering*. Sistem *dc magnetron sputtering* terdiri dari sepasang elektroda planar. Salah satu dari elektroda tersebut adalah katoda dingin dan

anoda. Pada bagian katoda dipasang sebuah bahan target dan pada bagian belakangnya didinginkan dengan air pendingin, sedangkan substrat dipasang di anoda.

Apabila tabung sputter diisi dengan gas Ar (argon) dan pada elektroda dipasang beda potensial, maka antara elektroda terjadi lucutan pijar (*glow discharge*). Gas argon mempunyai massa yang lebih berat dan mudah terionisasi dari pada gas-gas yang lain seperti Neon dan Helium, maka yang dipakai yaitu gas Ar. Gas Ar yang melalui ruang antara elektroda dipecah menjadi plasma yang mengandung elektron ( $e^-$ ), ion Ar, sehingga atom-atom permukaan target yang tertumbuk keluar akan menempel pada permukaan substrat sehingga terbentuk film tipis.

*DC magnetron sputtering* ini menggunakan sistem magnet yang diletakkan dibawah katoda. Magnet membentuk lingkupan medan magnet untuk membelokkan partikel bermuatan. Elektron-elektron dikurung dalam lingkupan medan magnet dekat target dan mengakibatkan ionisasi pada gas argon lagi. Jumlah ion-ion yang ditarik ke permukaan target menjadi lebih banyak. Semakin banyak ion-ion yang menumbuk target, hasil sputtering semakin meningkat.

Sistem *dc magnetron sputtering* merupakan modifikasi dari sistem *dc sputtering* dengan menambahkan sistem magnet, sehingga sistem *dc magnetron sputtering* terdiri dari tabung plasma berbentuk silinder, sumber tegangan tinggi, sepasang elektroda, sistem pemanas substrat, sistem pendingin target dan magnet, sistem vakum, sistem masukan gas *sputter* dan sistem magnet. Untuk lebih jelasnya mengenai skema reaksi akan dijelaskan dalam Gambar 2.3.



## 2.5 Transparent Conducting Oxide

*Transparent Conducting Oxide* (TCO) merupakan hasil penemuan nanoteknologi dan bermanfaat dalam teknologi masa kini. TCO ini digunakan di berbagai peralatan optikal karena sifatnya yang memiliki konduktivitas dan transparansi yang baik dan tinggi. TCO diaplikasikan pada aspek komputasi *liquid crystal displays* (LCD), aspek alternatif energi yaitu solar sel, dan aspek teknologi yang berupa sensor gas yang dapat mendeteksi berbagai macam gas, sebagai contohnya yaitu: sensor gas dimetil amin (DMA) yang terlarut pada gas hidrogen, uap etanol, dan gas-gas beracun hasil pembakaran dari transportasi darat.

Material ini bersifat tembus pandang terhadap cahaya tampak, dan konduktif karena material ini bersifat seperti semikonduktor yang dapat menghantarkan listrik dan disebut transparan karena mempunyai ketebalan yang sangat tipis sekitar 150 nm, serta perumpamaannya ibarat “tembaga tembus pandang”. Melalui pemanfaatan nanoteknologi, yaitu melalui teknologi pelapisan skala nanometer dengan jalan mengevaporasikan (menguapkan) material oksida

ke atas sebuah substrat kaca, dan akan diperoleh sebuah lapisan material TCO dengan ketebalan bervariasi antara 100 hingga 200 nm.

Pada zaman modern dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, material TCO yang banyak diminati dan dimanfaatkan secara komersial adalah  $\text{SnO}_2$  (*Tin Oxide*) dan ITO (*Indium Tin Oxide*). TCO juga sering digunakan sebagai pengganti bahan ITO.  $\text{SnO}_2$  harganya relatif murah tetapi resistivitasnya lebih tinggi. ITO merupakan paduan yang terdiri dari sepersepuluh ( $\text{SnO}_2$ ) dan sisanya indium oksida ( $\text{In}_2\text{O}_3$ ) dengan perbandingan 5:95 dan mempunyai resistivitas rendah, tetapi harga In (indium) relatif mahal (Sudjatmoko, 2003).

## 2.6 Daya plasma

Plasma adalah gas terionisasi. Suatu gas dikatakan terionisasi jika terdiri dari atom-atom yang terionisasi bermuatan positif (ion) dan elektron yang bermuatan negatif. Plasma terbentuk dari gas terionisasi di dalam tabung, yang digolongkan menjadi dua yaitu terionisasi lemah dan terionisasi kuat. Terionisasi lemah apabila derajat ionisasi lebih rendah dari  $10^{-4}$ , sedangkan terionisasi kuat apabila derajat ionisasi lebih besar dari  $10^{-4}$ .

Pada prinsipnya, karena proses ionisasi membutuhkan energi dalam orde elektron volt untuk melepas elektron, maka dalam membuat plasma harus ditambahkan energi dalam suatu sistem. Penambahan ini bisa dilakukan dengan osilator gelombang mikro (RF) pada ruangan bertekanan rendah. Meskipun

plasma merupakan gas terionisasi, namun tidak semua gas terionisasi disebut plasma.

Plasma merupakan gas quasinetral yang terdiri dari ion, elektron serta molekul netral yang mempunyai sifat kolektif. Plasma dikatakan *quasinetral*, artinya cukup netral sehingga kerapatan ion dan kerapatan elektronnya hampir sama atau sebanding tetapi tidak sangat netral karena dapat mengakibatkan semua interaksi elektromagnetiknya hilang. Sifat dasar plasma yang lain adalah kemampuannya untuk menyelubungi diri (*shield out*) terhadap tegangan listrik dari luar. Perlindungan tersebut akan efektif bila kerapatan elektron atau kerapatan ion dalam plasma setebal daerah transisi.

## **2.7 Struktur Unit Film Tipis**

Struktur mikro dari suatu lapisan film tipis dapat ditunjukkan dengan besar butiran-butiran kristal (*grain size*) yang terbentuk dan tebal tipisnya lapisan yang terbentuk. Kristal adalah zat padat yang susunan atom-atomnya atau molekulnya teratur. Partikel kristal tersusun secara berulang dan teratur serta perulangannya mempunyai rentang yang panjang. Struktur kristal terdapat pada hampir semua logam dan mineral.

Suatu struktur kristal dibangun oleh sel unit, sekumpulan atom, yang tersusun secara khusus, yang secara periodik berulang dalam tiga dimensi suatu kisi. Spasi antar sel unit dalam segala arah disebut parameter kisi. Periodesitas ini yang menentukan sifat-sifat khas suatu kristal, dengan perulangan pola yang terdapat di dalam seluruh tubuhnya disebut sebagai kristal tunggal, sedangkan

kumpulan kristalit yang membentuk pola tertentu disebut sebagai polikristal. Struktur dan simetri suatu zat padat mempunyai peran penting dalam menentukan sifat-sifatnya, seperti struktur pita energi dan sifat optiknya.

Pada dasarnya, struktur dan topografi suatu lapisan bahan bergantung pada perlakuan saat deposisi, seperti suhu pada saat deposisi, sumber dan energi atom-atom pengotor, topografi substrat dan tekanan aliran gas yang dipakai saat deposisi film. Parameter-parameter tersebut juga mempengaruhi mobilitas permukaan atom-atom teradsorpsi.

Kisi kristal memiliki titik-titik kisi yang ekuivalen yang disebut *kisi bravais*, sehingga titik-titik kisi tersebut dalam kristal akan ditempati oleh atom-atom yang sejenis. Titik-titik kisi bravais dapat ditempati oleh atom atau sekumpulan atom yang disebut basis. Orientasi bidang-bidang kristal ditentukan oleh tiga titik dalam bidang yang dikenal sebagai indeks miller dengan notasi  $(h k l)$ . Masing-masing bidang datar memiliki orientasi berbeda, kecuali pada bidang sejajar yang orientasinya adalah identik.

Anggapan bravais, berdasarkan kisi bidang dan kisi ruang, kristal memiliki 14 macam kisi dan berdasarkan perbandingan sumbu-sumbu kristal dengan hubungan sudut satu dengan sudut lain, kristal dapat dikelompokkan dalam 7 sistem kristal. Tujuh sistem kristal dan keempat belas macam kisi ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais

No	Sistem	Sumbu & sudut	Kekisi Bravais
1	Kubik	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Kubus Sederhana (KS) Kubus berpusat Sisi (KPS) Kubus berpusat Badan (KPB)
2	Tetragonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Tetragonal Sederhana Tetragonal berpusat Sisi
3	Ortorombik	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ortorombik sederhana Ortorombik berpusat Sisi Ortorombik berpusat Badan Ortorombik berpusat Dasar
4	Monoklin	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$	Monoklin Sederhana Monoklin berpusat Dasar
5	Triklin	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Triklin
6	Trigonal	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$ , dan $< 120^\circ$	Trigonal
7	Hexagonal	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ , dan $\gamma = 120^\circ$	Hexagonal

Struktur kristal film tipis sering mengalami ketidaksempurnaan kristal atau yang sering disebut cacat kristal. Cacat kristal merupakan ketidakaturan dalam tubuh kristal. Cacat-cacat inilah yang ikut menentukan sifat bahan secara

keseluruhan. Cacat kristal dapat terjadi pada saat proses kristalisasi, proses pemurnian dan bahkan seringkali cacat kristal sengaja diciptakan untuk menghasilkan sifat-sifat tertentu.

Cacat atau ketidaksempurnaan kisi-kisi kristal digolongkan menurut geometri dan pembentukannya. Ketiga ketidaksempurnaan yang utama adalah cacat titik, cacat garis, dan cacat bidang.

#### a. Cacat Titik

Cacat titik merupakan ketidaksempurnaan kristal yang terjadi pada suatu titik kisi tertentu, ini terjadi karena ada atom yang hilang dalam kristal. Cacat titik sendiri dapat berupa kekosongan (*vacancy*), sisipan (*interstitial*), takmurnian (*substitutional impurity*) dan cacat *frenkel*.

Cacat titik ini dapat terjadi pada suhu yang tinggi karena energi termal meningkat. Bila energi termal tinggi, ada kemungkinan bagi atom-atom untuk melompat meninggalkan tempatnya (dimana energi terendah akan ikut naik pula), maka akan terdapat kekosongan tunggal saat kristalisasi, dan bila terdapat kekosongan ada 2 (dua) maka dapat disebut sebagai kekosongan ganda.

Sisipan (*interstitial*) terjadi ketika suatu atom menduduki lokasi interstitial antara atom yang melingkupi pada lokasi atom normal, sehingga terjadi penumpukan antara tempat kisi teratur. *Substitutional impurity* terjadi saat ada pergantian atom lain pada matriks kristal.

Dalam kristal ionik, ikatannya disebabkan oleh gaya coulomb antara ion positif dan ion negatif. Cacat titik dalam ikatan ion adalah muatan itu sendiri.

Gaya coulomb sangat besar dan setiap muatan yang tidak seimbang memiliki kecenderungan yang kuat untuk menyeimbangkan diri. Untuk membentuk muatan netral, beberapa cacat titik akan terbentuk. Cacat *frenkel* adalah kekosongan pasangan ion dan kation interstitial. Cacat *schottky* adalah kekosongan pasangan kation dan anion. Keduanya cacat *frenkel* dan *schottky*, pasangan cacat titik tetap berdekatan satu sama lain karena tarikan coulomb yang kuat antara muatan yang berlawanan.

#### b. Cacat Garis

Cacat garis yang paling banyak dijumpai didalam kristal adalah dislokasi. Dislokasi ini dapat digambarkan sebagai sisipan satu bidang atom tambahan dalam struktur kristal. Disekitar dislokasi garis terdapat daerah yang mengalami tekanan dan tegangan, sehingga terdapat energi tambahan sepanjang dislokasi tersebut.

Dislokasi ulir menyerupai spiral dengan garis cacat sepanjang sumbu ulir. Vektor gesernya sejajar dengan garis cacat. Atom-atom disekitar dislokasi ulir mengalami gaya geser, oleh karena itu terdapat energi tambahan disekitar dislokasi tersebut. Kedua jenis dislokasi garis terjadi karena ada ketimpangan dalam orientasi bagian-bagian yang berdekatan dalam kristal yang tumbuh sehingga ada suatu deretan atom tambahan ataupun deretan yang kurang.

#### c. Cacat Bidang

Cacat bidang merupakan cacat permukaan pada material polikristal yang memisahkan *grain* dari orientasi yang berbeda. Di dalam daerah batas, di mana terdapat jarak cukup lebar di antara atom, terdapat beberapa atom yang

hilang dalam transisi dari orientasi kristal dalam satu *grain* ke *grain* yang berdekatan.

## 2.8 Sifat Optik

Sifat optik suatu lapisan film tipis dapat menentukan karakteristik film tersebut yang meliputi absorpsi, reflektansi dan transmitansi dapat diketahui karena adanya interaksi film dengan cahaya. Nilai transmitansi film tipis diperoleh dalam bentuk spektrum transmitansi (%) terhadap panjang gelombang ( $\lambda$ ). Selain itu, dapat diketahui juga dalam bentuk reflektansi (%) terhadap panjang gelombang ( $\lambda$ ).

Reflektansi tersebut diperoleh apabila substrat yang digunakan bersifat reflektif. Energi gelombang cahaya dapat diketahui dari panjang gelombang yang dirumuskan pada persamaan (2.1).

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

dengan  $E$  adalah energi gelombang cahaya (joule),  $h$  adalah konstanta planck yang besarnya  $6,626 \times 10^{-34}$  J s,  $c$  adalah kecepatan cahaya dalam ruang hampa yang besarnya  $3 \times 10^8$  m/s dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang cahaya (nm).

Transmitansi merupakan perbandingan antara intensitas cahaya setelah dan sebelum melewati material semikonduktor (film tipis ZnO:Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang dinyatakan dalam persamaan (2.2).

$$T = \frac{I}{I_0} \times 100 \% \quad (2.2)$$

Dengan  $T$  menyatakan besarnya transmitansi material semikonduktor (%). Intensitas radiasi berkurang secara eksponensial terhadap ketebalan film sehingga persamaan (2.2) dapat dinyatakan dalam persamaan (2.3).

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\alpha b} \quad (2.3)$$

Dengan  $b$  adalah ketebalan film dan  $\alpha$  adalah koefisien absorpsi optik.

Hubungan transmitansi dengan ketebalan dapat dilihat dengan mensubstitusikan persamaan (2.2) dalam persamaan (2.3) sehingga diperoleh persamaan (2.4).

$$T = e^{-\alpha b} \quad (2.4)$$

Nilai ketebalan yang semakin besar menyebabkan nilai transmitansi semakin kecil, ditunjukkan dalam persamaan (2.5) dan (2.6).

$$-\alpha b = \ln T \quad (2.5)$$

$$\alpha = \frac{-\ln T}{b} \quad (2.6)$$

dengan  $\alpha$  merupakan koefisien absorpsi optik. Berdasarkan data energi cahaya dan besarnya koefisien absorpsi optik, dapat dibuat grafik hubungan antara energi cahaya terhadap kuadrat dari koefisien absorpsi ( $\alpha^2$ ), yang selanjutnya disebut sebagai grafik absorpsi. Kurva grafik absorpsi ini dapat menentukan nilai *band gap*, apabila *band gap* yang diperoleh nilainya semakin kecil, maka konduktivitas listrik bahan itu semakin tinggi. Demikian juga sebaliknya, apabila nilai *band gap* yang diperoleh semakin besar, maka sifat konduktivitas listriknya semakin rendah.

## 2.9 Sifat Listrik

Sifat listrik film tipis dapat diketahui dari konduktivitas, resistivitas dan pembawa muatannya. Pada saat medan listrik diberikan pada suatu material, elektron dalam material tersebut akan mengalir berlawanan dengan arah medan dan membawa arus listrik.

Bahan semikonduktor mempunyai dua jenis pembawa muatan yaitu elektron dan *hole*. Konduktivitas listriknya dapat dinyatakan (Kittel, 1996) dalam persamaan (2.7).

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m} \quad (2.7)$$

dengan  $\tau$  adalah waktu hidup (*lifetime*) elektron.

Konduktivitas listrik dapat dirumuskan dalam suku mobilitas, dituliskan pada persamaan (2.8).

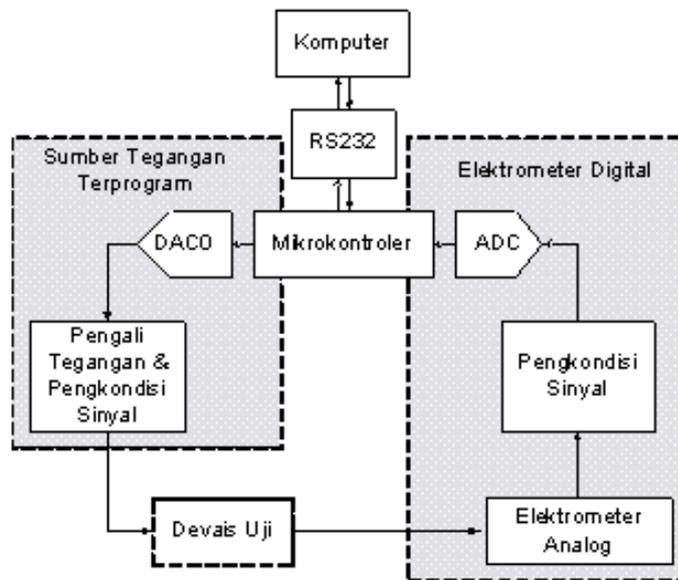
$$\sigma = ne\mu \quad (2.8)$$

Konduktivitas listrik ( $\sigma$ ,  $(\text{ohmcm})^{-1}$ ) selain bergantung pada mobilitas pembawa muatan ( $\mu$ ,  $\text{cm}^2/\text{Vs}$ ) juga bergantung pada konsentrasi pembawa muatan ( $n$ ,  $\text{cm}^{-3}$ ) dan besar muatan ( $e$ , Coulomb).

Pengukuran dengan I-V meter menggunakan prinsip kerja mikrokontroler SoC 8051F006 yang berisi mikroprosesor dengan transistor MOS, mengeluarkan bit-bit digital yang diubah menjadi tegangan DC oleh pengubah digital ke analog (DAC/*digital to analog converter*) sehingga menjadi sumber tegangan terprogram yang keluarannya diatur oleh mikrokontroler. Tegangan keluaran tersebut diterapkan kepada devais uji dan arus mengalir didalam devais uji tersebut. Arus

tersebut dibaca oleh elektrometer arus yang keluarannya berupa tegangan, diubah menjadi digital oleh ADC (*analog to digital converter*), dan kemudian diberikan ke mikrokontroler.

Dalam suatu siklus ini mikrokontroler memiliki sepasang data yaitu tegangan (V) yang diberikan ke devais uji dan arus (I) yang mengalir didalam devais uji tersebut. Siklus tersebut diulangi lagi untuk tegangan yang berbeda hingga seluruh tegangan yang diinginkan selesai. Pasangan-pasangan data (V,I) tersebut selanjutnya diolah oleh mikrokontroler dan dikirimkan ke komputer melalui protokol komunikasi serial RS232 untuk disimpan atau diperagakan di display dalam bentuk kurva I-V. Hal ini dijelaskan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram blok system I-V meter untuk menghasilkan kurva arus-tegangan dari sebuah devais uji

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Pelaksanaan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan yaitu pembuatan target, preparasi substrat, dan deposisi film tipis. Proses deposisi dilakukan di laboratorium Fisika Material FMIPA UNNES, dilanjutkan dengan proses karakterisasi sampel film. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan merujuk referensi yang terkait. Pada penelitian ini mengkaji pengaruh suhu deposisi pada karakteristik film tipis seng oksida doping galium oksida dengan metode *DC Magnetron Sputtering*.

Karakterisasi dilakukan di tempat berbeda-beda seperti, karakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD), spektrometer UV-Vis dan SEM dilakukan di laboratorium kimia Institut Teknologi Bandung dan karakterisasi menggunakan I-V Meter di laboratorium fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang dan ellipsometer dilakukan di laboratorium fisika Universitas Negeri Malang.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

##### **3.2.1 Bahan**

Bahan yang digunakan untuk deposisi film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu serbuk ZnO dan serbuk galium dengan kemurnian 99,999%, substrat *corning*

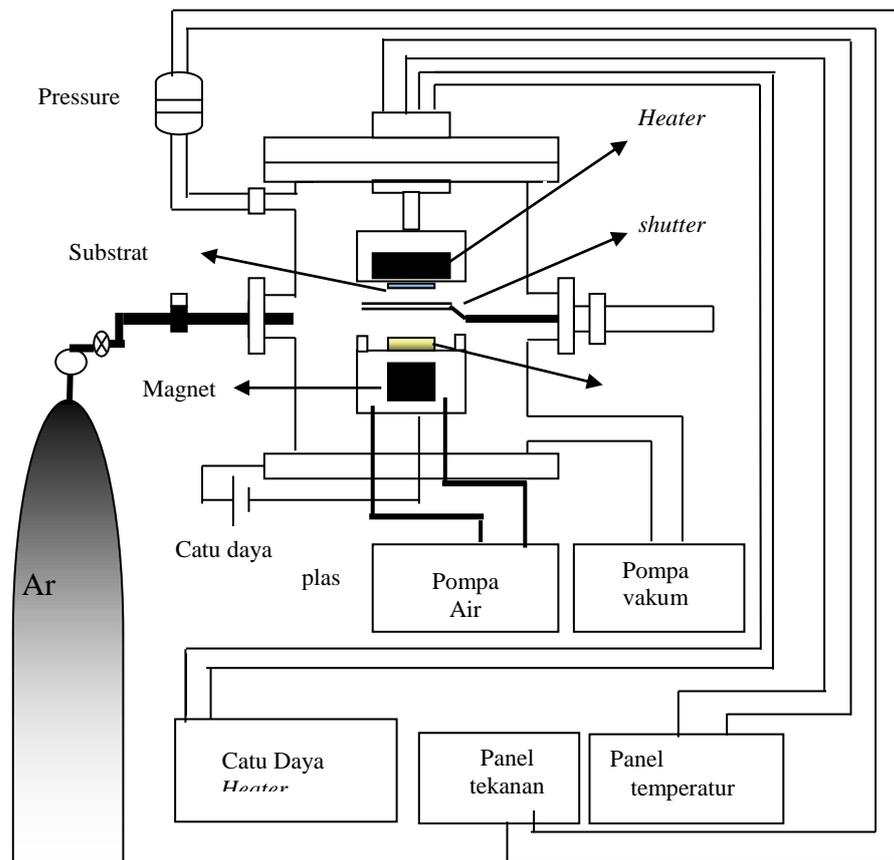
*glass* sebagai tempat tumbuhnya film tipis, pencuci substrat (metanol dan aseton), gas oksigen sebagai pengering substrat dan pasta perak untuk merekatkan substrat pada anoda dalam *DC magnetron sputtering* serta gas argon sebagai gas pen-*sputter*.

### 3.2.2 Alat

Alat yang dipakai dalam deposisi film tipis ini menggunakan *DC magnetron sputtering* yang terdiri dari chamber berbentuk silinder yang terbuat dari bahan stainless steel, dilengkapi dengan penutupnya yang bisa dibuka dan ditutup, sepasang elektroda berbentuk lingkaran dengan diameter 6 cm yang terbuat dari stainless steel yaitu anoda dan katoda. Anoda sebagai tempat menempelkan substrat yang dihubungkan dengan sistem pemanas dan katoda sebagai tempat meletakkan target yang dilengkapi dengan magnet dan dialiri air pendingin. Sistem tegangan tinggi DC berfungsi memberikan catu daya pada elektroda yang dilengkapi dengan voltmeter, amperemeter, dan proteksi terjadinya kelebihan arus.

Sistem pemanas substrat dipasang tepat di atas anoda, dilengkapi alat ukur suhu digital dengan sistem pengontrol suhu yang bekerja secara otomatis, sistem vakum menggunakan pompa rotary berfungsi untuk memvakumkan chamber sampai dengan tekanan 0 mTorr, dan sistem pendingin target berupa air pendingin yang dialirkan pada katoda untuk menghindari peningkatan suhu yang berlebih selama proses deposisi, magnet diletakkan dibawah katoda. Shutter berfungsi penghalang tumbukan ion dari target menuju substrat saat proses deposisi belum

stabil, ada tabung gas argon yang digunakan sebagai gas pen-*sputter* dan sistem masukan gasyang digunakan untuk mengukur besarnya tekanan gas serta mengatur laju aliran gas argon. Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Sistem Reaktor *dc magnetron sputtering*

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Pembuatan Target

Pembuatan target ZnO doping  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  menggunakan bahan ZnO yang mempunyai kemurnian 99,999%, dan  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dengan kemurnian 99,999% dengan massa total 10 gram. Mekanisme pembuatannya meliputi beberapa tahap, yang pertama pencampuran kemudian penggerusan serbuk selama kurang lebih 3 jam,

pemadatan atau pengepresan dengan menggunakan sistem pompa hidrolis menjadi pellet dengan diameter 2,5cm, kemudian pellet tersebut disintering pada suhu 750 °C selama 2,5 jam dan kemudian didinginkan. Pellet ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> digunakan sebagai target dalam proses deposisi film tipis.

### 3.3.2 Preparasi Substrat

Proses preparasi substrat *corning glass* meliputi pemotongan dan pencucian substrat dengan larutan aseton dan larutan metanol selama 15 menit menggunakan *ultrasonic bath*. Kemudian substrat dikeringkan dengan cara menyemprotkan gas oksigen ke seluruh permukaan substrat.

### 3.3.3 Deposisi Film Tipis ZnO Doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Deposisi film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dilakukan dengan reaktor *dc magnetron sputtering*. Langkah-langkah deposisinya yaitu dengan membuka *chamber*, tekan tombol *reset* kemudian setting suhu pada 100<sup>0</sup>C untuk pemanasan anoda. Pemanasan ini berguna untuk membantu merekatkan substrat pada anoda. Target seng oksida doping galium oksida diletakkan pada katoda dan substrat dipasang pada anoda dengan perekat berupa pasta perak, menunggu pasta perak sampai mengering, kemudian *chamber* ditutup kembali. Pompa vakum dihidupkan, *chamber* divakumkan sampai dengan tekanan mendekati 0 mTorr.

Temperatur substrat disetting sesuai dengan parameter penelitian, bersamaan dengan itu menghidupkan pompa air sebagai pendingin magnet, dan ditunggu sampai stabil, kemudian gas argon dialirkan dan diatur tekanannya

sesuai parameter penelitian. Memastikan temperatur substrat dan tekanan aliran gas argon dalam kondisi stabil, tegangan tinggi DC dihidupkan, dan tegangan diatur sehingga menghasilkan daya yang sesuai dengan parameter yang akan digunakan. *Shutter* dibuka dan proses deposisi dimulai hingga parameter waktu yang ditentukan, setelah proses deposisi selesai, *shutter* ditutup dan mematikan reaktor (proses *cooling down*), setelah proses *cooling down* selesai, sampel film tipis hasil deposisi diambil dan membersihkan chamber seperti keadaan semula.

Kualitas film tipis yang memiliki karakteristik yang baik bergantung pada parameter-parameter kondisi deposisi. Parameter proses deposisi film tipis seng oksida doping galium oksida ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Parameter Kondisi Film Tipis ZnO Doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2%) yang Dideposisi di Atas Substrat *Corning Glass* dengan Variasi Suhu pada Tekanan Ar 500 mtorr, Daya Plasma 30 W dan Lama Deposisi 60 Menit

Sampel	Suhu Deposisi (°C)
A	300
B	325
C	350
D	375
E	400
F	425
G	450

### 3.4 Karakterisasi Film Tipis ZnO Doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Sampel film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil deposisi dikarakterisasi untuk mengetahui struktur (komposisi unsur-unsur, struktur unit film beserta orientasi

bidang kristal, struktur morfologi permukaan), sifat optik (transmitansi, *band gap*, ketebalan film), sifat listrik (konduktivitas listrik). Karakterisasi *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) untuk mengetahui komposisi unsur-unsur dalam film tipis yang dihasilkan, *X-ray diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui struktur unit dan orientasi bidang kristal, struktur morfologi permukaan kristal dalam film tipis dapat diketahui dengan menggunakan SEM. SEM yang dipakai ini type JSM-6510LV dan dengan perbesaran 40000X dan 60000X. Karakterisasi spektrometer UV-Vis digunakan untuk mengetahui transmitansi dan *band gap* suatu material, ellipsometer digunakan untuk mengetahui ketebalan film yang dihasilkan. Pengukuran I-V ini dilakukan untuk mengetahui adanya konduktivitas listrik suatu material yang terkandung di dalam film tipis.

### **3.4.1 Karakterisasi Struktur**

#### **3.4.1.1 *Energy Dispersive X-Ray* (EDX)**

*Energy Dispersive X-Ray* (EDX) merupakan suatu teknik analisis yang menggunakan karakteristik radiasi sinar-X untuk menganalisis komposisi kimia suatu bahan. Analisis unsur dengan menggunakan EDX pada prinsipnya menggunakan deteksi sinar-X yang dipancarkan pada material target. Sinar-X timbul sebagai interaksi berkas elektron berenergi tinggi dengan elektron-elektron atom dalam material target, sehingga elektron-elektron tersebut akan terlempar ke orbit yang energinya lebih tinggi (tereksitasi). Elektron yang tereksitasi tersebut cenderung kembali ke orbit yang energinya lebih rendah dengan memancarkan sinar-X. Informasi langsung yang dapat diperoleh dari pengujian komposisi dengan menggunakan EDX yaitu spektrum energi sinar-X dan intensitas.

Spektrum energi sinar-X digunakan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur yang terdapat dalam material target. Persentase unsur-unsur yang terdapat dalam material target dapat diketahui dari tingginya intensitas.

#### 3.4.1.2 *X-Ray Diffraction (XRD)*

*X-Ray Diffraction (XRD)* atau difraksi sinar-X merupakan metode difraksi Sinar-X yang digunakan untuk karakterisasi struktur kristal dan orientasi bidang kristal film tipis. Tingkat kekristalan dari suatu material dapat diamati dari pola difraksi sinar-X material tersebut. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum Sinar-X memiliki panjang gelombang  $10^{-5} - 10^{-8}$  nm, berfrekuensi  $10^{17} - 10^{20}$  Hz dan memiliki energi  $10^3 - 10^6$  eV. Panjang gelombang Sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal.

Proses difraksi ini terjadi ketika Sinar-X yang mengenai bidang kristal akan dihamburkan ke segala arah. Sinar-sinar pantul yang sefase berbeda lintasan sebesar kelipatan bulat dari panjang gelombang akan menimbulkan interferensi saling menguatkan. Pemantulan dan interferensi bergabung menjadi difraksi. Difraksi Sinar-X oleh kristal ditunjukkan dalam Gambar (3.2). Difraksi akan saling menguatkan jika terpenuhi persamaan Bragg (3.1).

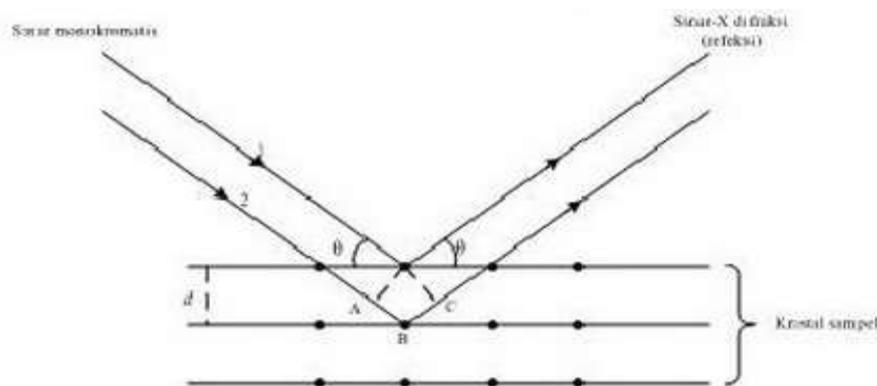
$$2 d \sin \theta = n \lambda \quad (3.1)$$

dengan  $n =$  bilangan bulat,  $\lambda =$  panjang gelombang sinar-X,  $d =$  jarak antar atom dalam bidang kristal dan  $\theta =$  sudut difraksi.

Parameter kisi- $c$  puncak difraksi pada fase heksagonal dapat diketahui (Benramache *et al.*, 2013) dengan menggunakan persamaan (3.2) doping

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (3.2)$$

dimana  $d$  merupakan jarak antar atom dalam kristal,  $hkl$  merupakan indeks miller, dan  $c$  merupakan parameter kisi.



Gambar 3.2 Difraksi sinar-X oleh kristal

Spektrum keseluruhan dari Sinar-X bersifat polikromatis (spektrum malar dan karakteristik). Untuk keperluan difraksi digunakan spektrum karakteristik ( $K\alpha_1$ ,  $K\alpha_2$ , dan  $K\beta$ ) dengan intensitas terkuat, biasanya spektrum  $K\alpha$ . Selanjutnya untuk menjamin agar berkas sinar-X benar-benar monokromatis diperlukan filter. Bahan filter bergantung pada panjang gelombang spektrum  $K\alpha$  yang dipakai. Sinar monokromatis diperoleh dengan menggunakan kristal monokromator, biasanya grafit yang diketahui ruang kisi terorientasi hanya mendifraksi radiasi  $K\alpha$  dan tidak mendifraksi radiasi  $K\beta$ . Pada umumnya  $CuK\alpha$  sering digunakan untuk XRD. Panjang gelombang garis  $K\alpha$  memiliki energi yang lebih besar

daripada  $L\alpha$  sehingga sering digunakan untuk XRD (Suryanarayana, 1998). Hal ini ditunjukkan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Penggunaan Panjang Gelombang X-Ray K dalam XRD (nm)  
(Suryanarayana, 1998)

Unsur	$K\alpha$ ( <i>Weighted average</i> )	$K\alpha_2$ ( <i>strong</i> )	$K\alpha_1$ ( <i>very strong</i> )	$K\beta$ ( <i>weak</i> )
Cr	0,229100	0,229361	0,228970	0,208487
Fe	0,193176	0,193998	0,193604	0,175661
Co	0,179026	0,179026	0,178897	0,162079
Cu	0,154184	0,154439	0,154056	0,139222
Mo	0,071073	0,071359	0,070930	0,063229

Hasil dari difraksi sinar-X berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi  $2\theta$  dengan intensitas sinar-X yang dipantulkan. Struktur dan orientasi kristal dapat diketahui dengan membandingkan data standar difraksi sinar-X yaitu JCPDS (*joint committee on powder diffraction standard*). Hasil analisis karakterisasi XRD diketahui juga nilai *full width at half maximum* (FWHM), parameter kisi-*c*, ukuran kristal serta dimensi kisi dalam struktur kristal.

### 3.4.1.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Mikroskop elektron merupakan alat yang menggunakan sinar elektron berenergi tinggi untuk menguji objek yang berukuran sangat kecil. Pengujian ini dapat digunakan untuk mengetahui topografi, morfologi, komposisi dan kristalografi. SEM adalah salah satu tipe mikroskop elektron yang mampu menghasilkan resolusi tinggi dari gambaran suatu permukaan sampel. Gambar yang dihasilkan oleh SEM mempunyai karakteristik secara kualitatif dalam 3 dimensi karena menggunakan elektron sebagai pengganti gelombang cahaya dan sangat berguna untuk menentukan struktur morfologi permukaan dari sampel. Informasi gambar yang diperoleh dari SEM memperlihatkan bentuk morfologi, struktur mikro, ukuran dan ketebalan lapisan tipis yang terdeposisi pada permukaan substrat.

Hasil karakterisasi SEM berupa foto penampang permukaan (*surface*) dan penampang lintang (*cross section*). Dengan menganalisis penampang permukaan dapat diketahui adanya *grain boundaries* dan *dislokasi* pada film. Informasi lain yang diperoleh dari karakterisasi SEM adalah ketebalan lapisan yang dapat dianalisis dari penampang lintang citra.

Analisis komposisi kimia dari suatu material dapat diketahui dengan menggunakan Energi Dispersif Sinar-X (EDX) yang menggunakan karakteristik radiasi Sinar-X. Prinsip analisis unsur dengan menggunakan EDX yaitu menggunakan deteksi sinar-X yang dipancarkan dalam material target. Sinar-X timbul sebagai interaksi berkas elektron berenergi tinggi dengan elektron-elektron atom dalam material target sehingga elektron-elektron tersebut akan tereksitasi,

yaitu terlemparnya elektron ke orbit yang energinya lebih tinggi. Elektron yang tereksitasi tersebut cenderung kembali ke orbit yang energinya lebih rendah dengan memancarkan sinar-X. Pengujian komposisi dengan menggunakan EDX dapat mengetahui spektrum energi dan intensitas sinar-X. Jenis atom-atom atau unsur-unsur yang terkandung dalam material target dapat diketahui dari spektrum energi Sinar-X. Persentase unsur-unsur yang terkandung dalam material target dapat diketahui dari tingginya intensitas.

### 3.4.2 Karakterisasi Sifat Optik

#### 3.4.2.1 Spektrometer UV-Vis

Karakterisasi transmitansi optik film tipis ZnO dilakukan dengan menggunakan Spektrometer UV-vis. Spektrometer UV-Vis merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui transmitansi, absorptansi, dan reflektansi. Alat UV-vis yang digunakan mempunyai rentang panjang gelombang antara 200 nm sampai 1000 nm. Spektrum transmisi menunjukkan karakteristik film tipis terhadap panjang gelombang yang melewati film tersebut. Nilai transmitansi film dapat diolah untuk mencari nilai koefisien absorpsi film tipis. Nilai koefisien absorpsi digunakan untuk menentukan *band gap*. Hubungan antara koefisien absorpsi dengan *band gap* (Kim *et al.*, 2010) dijelaskan dengan menggunakan persamaan (3.3).

$$\alpha h\nu = C (h\nu - E_g)^x \quad (3.3)$$

dimana C adalah konstanta,  $h\nu$  adalah energi foton dan x adalah sebuah parameter dengan memiliki nilai  $\frac{1}{2}$  untuk sebuah semikonduktor. Penggunaan persamaan 3.3

ini karena kristal yang dihasilkan bukanlah kristal sempurna, tetapi mengandung cacat kristal. *Band gap* film tipis diperoleh dengan melakukan ekstrapolasi secara linier terhadap grafik hubungan kuadrat koefisien absorpsi  $(\alpha h\nu)^2$  dengan *band gap* ( $h\nu$ ).

#### 3.4.2.2 Ellipsometer

Ellipsometer adalah suatu alat yang dapat dipergunakan untuk pengukuran sifat-sifat optik dari suatu material yang didasarkan pada analisis fenomena pantulan sinar terhadap suatu material tersebut yaitu perubahan pengkutuban (*polarization*). Sinar yang digunakan dengan panjang gelombang tertentu terjadi sewaktu sinar dipantulkan atau diteruskan pada media tersebut. Analisis perubahan intensitas sinar akibat pantulan gelombang tersebut dapat digunakan untuk mengetahui berbagai parameter sifat optik seperti parameter indeks bias, ketebalan, koefisien serapan, dan lain-lain dari medium yang dikenainya.

Pada dasarnya sistem kerja alat ellipsometer ini yaitu bila seberkas cahaya dijatuhkan pada permukaan film tipis dapat menghasilkan berbagai fenomena optik yang banyak digunakan untuk pengukuran ketebalan film karena sifatnya yang tidak merusak.

Beberapa faktor keuntungan yang dapat diperoleh dari alat ini yaitu tidak mengganggu sifat-sifat fisis dari permukaan sampel yang diukurnya untuk panjang gelombang tertentu, cukup sensitif untuk pengukuran antarmuka (*interface*) dari suatu struktur media yang memiliki ukuran cukup kecil, dapat

dioperasikan pada udara bebas (tidak harus pada kondisi khusus seperti ruang hampa), dan dapat diperoleh hasil secara langsung (*in situ*) dari pengukuran.

Secara umum alat ellipsometer dapat dipergunakan untuk mengukur sifat-sifat optik suatu bahan baik padat maupun cair yang memiliki sifat isotropik (sifat optik tidak tergantung arah) ataupun anisotropik (sifat optik tergantung arah), selain itu media yang akan diukur dapat berupa lapisan tipis (*thin film*) atau berupa lapisan yang tebal (*bulk*). Alat ini digunakan untuk mengukur ketebalan film tipis yang dihasilkan dari proses deposisi. Ellipsometer dapat digunakan untuk memantau fenomena perubahan suatu permukaan bahan akibat oksidasi, pengendapan lapisan, dan juga dapat digunakan untuk pengukuran faktor fisik dari suatu bahan yang dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat optik seperti medan listrik, medan magnet, tekanan dan suhu.

### **3.4.3 Karakterisasi Sifat Listrik**

#### **3.4.3.1 I-V Meter**

Karakteristik I-V merupakan suatu hubungan fisis antara arus dan tegangan. Pengukuran I-V dilakukan untuk mengetahui adanya sifat listrik material yang terkandung di dalam film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang ditumbuhkan dengan metode *dc magnetron sputtering*. Karakterisasi sifat listrik film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dianalisis berdasarkan data dari hasil pengukuran dengan menggunakan I-V Meter.

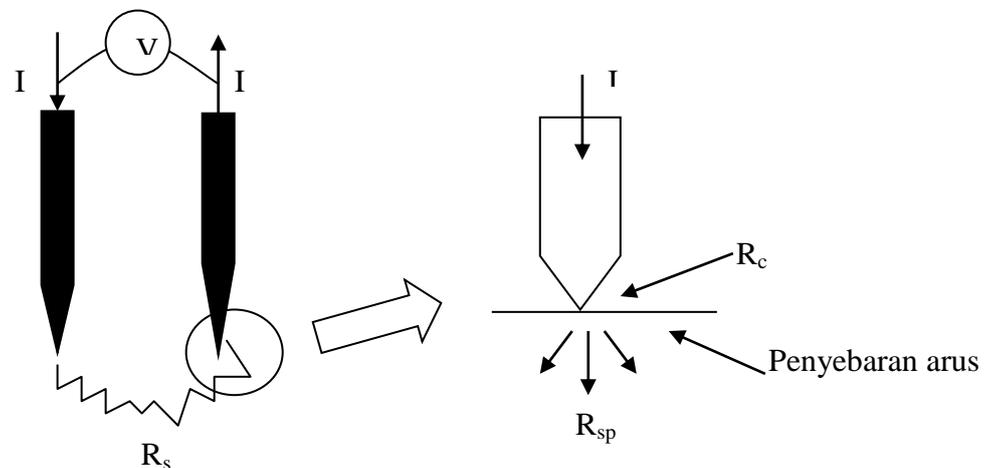
Karakterisasi sifat listrik I-V meter menggunakan metode *two-probe* seperti diperlihatkan pada Gambar 3.3. Metode *two-probe* merupakan teknik

pengukuran untuk mengetahui resistivitas pada bahan semikonduktor. Tampak pada gambar, *probe* dialiri arus kemudian diukur tegangannya. Total resistansi diantara *two-probe* dapat dinyatakan sesuai persamaan (3.4).

$$R_T = \frac{V}{I} = 2R_c + 2R_{sp} + R_s \quad (3.4)$$

dengan  $R_c$  adalah resistansi kontak pada masing-masing kontak (*metal probe*) semikonduktor,  $R_{sp}$  adalah resistansi penyebaran dari masing-masing *probe* dan  $R_s$  merupakan resistansi semikonduktor.

Resistansi kontak muncul ketika *metal probe* berhubungan langsung dengan semikonduktor, sedangkan besarnya *spreading resistance* muncul ketika *probe* dialiri arus. Gambar 3.3 menunjukkan pengukuran resistansi film tipis dengan metode *two-probe*.



Gambar 3.3 Pengukuran resistansi film tipis dengan metode *two-probe*

Pada pengukuran hambatan sampel,  $R_c$  dan  $R_{sp}$  diabaikan karena terlalu kecil. Besarnya resistivitas film dihitung menggunakan persamaan (3.5).

$$\rho = \frac{2 \pi r V}{I} \quad (3.5)$$

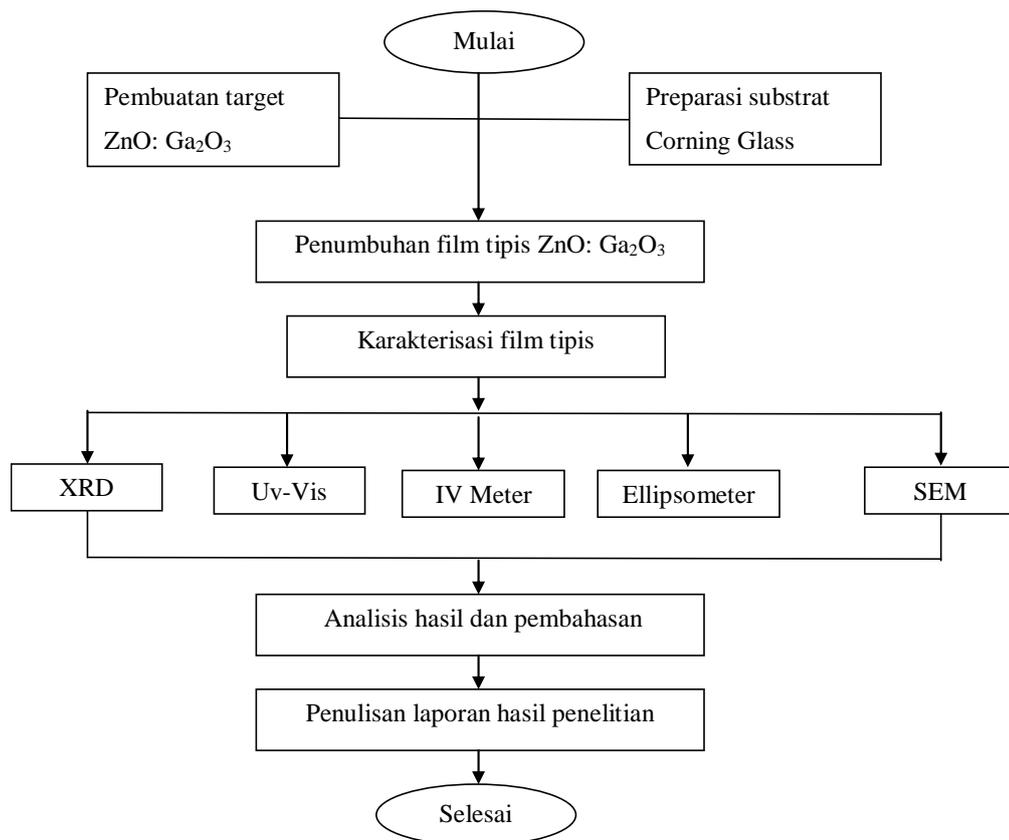
dengan  $V$  adalah tegangan (volt),  $\pi$  adalah 3,14,  $r$  adalah jarak antar *probe* (cm) dan  $I$  merupakan arus (ampere).

Konduktivitas listrik film dapat diperoleh menggunakan persamaan (3.6) doping

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.6)$$

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian film tipis seng oksida doping galium oksida yang ditumbuhkan pada substrat *corning glass* dengan menggunakan metode *dc magnetron sputtering* dan karakterisasinya ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Simpulan**

Film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> berhasil dideposisi pada substrat *corning glass* menggunakan metode *dc magnetron sputtering*. Deposisi dilakukan pada tekanan argon 500 mTorr dengan variasi suhu deposisi 300<sup>0</sup> C, 325<sup>0</sup> C, 350<sup>0</sup> C, 375<sup>0</sup> C, 400<sup>0</sup> C, 425<sup>0</sup> C dan 450<sup>0</sup> C dan daya plasma 30 W. Karakterisasi struktur dengan EDX menunjukkan adanya unsur Zn (73%), Ga (2,56%), dan O (21,77%). Hasil XRD menunjukkan peningkatan suhu deposisi menyebabkan film tipis ZnO mempunyai intensitas puncak yang tinggi. Analisis FWHM pada suhu deposisi 300<sup>0</sup> C menunjukkan nilai paling kecil sebesar 0,24° pada puncak difraksi (002). Karakterisasi sifat optik dengan menggunakan UV-Vis menunjukkan transmitansi optik paling tinggi terdapat pada suhu deposisi 300<sup>0</sup> C sebesar 90%. Nilai *band gap* dan transmitansi mengalami penurunan dengan peningkatan suhu deposisi, *band gap* terbesar 3,34 eV pada suhu 300<sup>0</sup> C .

Hasil analisis sifat listrik menggunakan I-V meter menunjukkan pada peningkatan suhu deposisi menyebabkan nilai konduktivitas listrik menurun secara signifikan. Film tipis ZnO pada suhu deposisi 300<sup>0</sup> C memiliki nilai konduktivitas paling tinggi yaitu  $2,15 \times 10^{-3} (\Omega\text{cm})^{-1}$ . Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa ada hubungan antara hasil analisis karakterisasi struktur unit,

sifat optik dan sifat listrik yang dihasilkan bahwa pada penggunaan suhu deposisi  $300^{\circ}\text{C}$  mempunyai sifat fisis yang cocok untuk aplikasi TCO.

Hasil lain yang ditunjukkan yaitu pada suhu deposisi  $400^{\circ}\text{C}$  juga menunjukkan kualitas kristal dengan intensitas puncak paling tinggi. Hal ini sesuai dengan citra penampang permukaan hasil karakterisasi SEM menunjukkan film tipis ZnO yang ditumbuhkan pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  mempunyai ukuran butir yang paling besar dan nilai ketebalan film paling tinggi yang dihasilkan sebesar  $157\text{ nm}$  pada suhu deposisi  $400^{\circ}\text{C}$ , sehingga pada suhu deposisi  $400^{\circ}\text{C}$  dapat dimanfaatkan untuk aplikasi yang lain berdasarkan karakteristik yang dimiliki.

## **5.2 Saran**

Penumbuhan film tipis ZnO doping  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  perlu dikembangkan lagi dengan melakukan variasi daya plasma dan mengalirkan gas oksigen pada saat proses deposisi, sehingga dapat diketahui besar daya plasma yang digunakan dalam proses deposisi dan seberapa besar pengaruh gas oksigen pada kualitas sifat fisis film tipis yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atmono, T.M. 2003. *Lapisan tipis dan Aplikasinya untuk sensor magnet dan sensor gas*. Workshop: Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan. Yogyakarta: Puslitbang Teknologi Maju Batan.
- Benramache, S., B. Benhaoua, & H. Bentrah. 2013. Preparation of Transparent, Conductive ZnO:Co and ZnO:In Thin Films by Ultrasonic Spray Method. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 3(1):54.
- Bhole, M.P. & D.S. Patil. 2007. Deposition of Non-Polar a-axis Nano Crystalline ZnO Thin Film for Light Emitting Application Optoelectronics and Advanced Materials. *Rapid Communications*, 1: 672-676.
- Coleman, V.A. & C. Jagadish. 2006. *Basic Properties and Applications of ZnO*. Australia: Departement of Electronic Materials Engineering Australian National University.
- Hasan, H. 2012. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Sugi. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)*, 10(2).
- Joshi, C. 2003. *Characterization and Corrosion of BCC-Tantalum Coating Deposited on Aluminium and Steel Substrat by dc Magnetron Sputtering*. Thesis. New Jersey: New Jersey Institute of Technology Press.
- Jun, M.C., S.U. Park & J.H.Koh. 2012. Comparative studies of Al-Doped ZnO and Ga-Doped ZnO Transparent Conducting Oxide Thin Films. *Nanoscale Research Letters*, 7(1):639.
- Kim, K.H. dan E. Arifin. 2007. The effect of gallium concentration and substrate temperature on the properties of Ga-doped ZnO thin films sputtered from powder compacted target. *Metals and Materials International*, 13(6): 489–494.
- Kim, C.E., P. Moon, S. Kim, J.M. Myoung, H.W. Jang, J. Bang, & I. Yun. 2010. Effect of Carrier Concentration on Optical Bandgap Shift in ZnO:Ga Thin Films. *Thin Solid Films*, 518: 6304–6307.

- Kittel, C. 1996. *Introduction to Solid State Physics*. United States of America: Jhon wiley & sons, inc.
- Kuo, S-Y., K-C. Liu , F-I Lai, J-F.Yang, W-C.Chen, M.Y.Hsieh, H-I Lin, W-Tyng Lin. 2010. Effects of RF power on the structural, optical and electrical properties of Al-doped zinc oxide films. *Microelectronics Reliability*, 50: 730–733.
- Li, M.C., C.C. Kuo, S.H. Chen, & C.C. Lee. 2009. Optical and Electric Properties of Alumunium-Gallium Doped Zinc Oxide for Transparent Conducting Film. *Thin Film Solar Technology*, 7409.
- Liewhiran, C. & S. Phanichphant. 2007. Improvement of Flame-made ZnONanoparticulate Thick Film Morphology for Ethanol Sensing. *Sensors*, 7: 650-675.
- Ma, Q.B., Z-Z. Ye, H-P. He, L-P. Zhu, B-H. Zhao. 2007. Effects of Deposition Pressure on the Properties of Transparent Conductive Zn:Ga Films Prepared by DC Reactive Magnetron Sputtering. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 10:167–172.
- Ma, Q.B., Z-Z. Ye, H-P. He, J-R. Wang, L-P. Zhu, & B-H. Zhao. 2008. Preparation and Characterization of Transparent Conductive ZnO:Ga Films by DC Reactive Magnetron Sputtering. *Materials Characterization*, 59:124–128.
- Marwoto, P., Fatiatun, B. Astuti, Sulhadi, D. Aryanto, dan Sugianto. 2014. *Effect of Argon Pressure on the Properties of ZnO:Ga Thin Films Deposited by DC Magnetron Sputtering*. Makalah diseminarkan pada International Conference of Theoretical and Applied Physics (ICTAP), 16 – 17 Oktober 2014.
- Marwoto, P., Fatiatun & Sulhadi. 2014. *Pengaruh Suhu Deposisi pada Struktur dan Sifat Optik Film Tipis ZnO:Ga*. Makalah diseminarkan pada Seminar Nasional Aplikasi Fisika dan Terapannya (SNAFT IV), 15 November 2014.
- Morkoc., H. & U. Ozgur. 2009. Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology. *WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA*, Weinheim ISBN: 978-3-527-40813-9.

- Park, J-H., B-K.Shin, H-M.Moon, M-J.Lee, K-II.Park, K-J.Ahn, W. Lee, & J-M.Myoung.2012. Effect of the Substrate Temperature on The Properties of Ga-doped ZnO Films For Photovoltaic Cell Applications Deposited by a Pulsed DC Magnetron Sputtering with a Rotating Cylindrical Target.*Vacuum*, 86:1423-1427.
- Peng Sun, Z., L.Liu, L. Zhang, D-Z. Jia. 2006. Rapid synthesis of ZnO nano-rods by one-step, room temperature, solid-state reaction and their gas-sensin properties.*Nanotechnology*, 17:2266-2270.
- Purwaningsih, S.Y. 2003.*Pembuatan Lapisan Tipis ZnO:Al pada Substrat Kaca dengan metode DC Magnetron Sputtering dan Karakterisasi Sifat Fisisnya*. Thesis. Univeritas Gajahmada, Yogyakarta: 8-10.
- Rusdiana, D. 2006. Pengaruh Temperatur Deposisi Lapisan Penyangga Aluminium Nitrida terhadap Struktur Kristal dan Morfologi Film Tipis GaN dengan Metoda DC Unbalanced Magnetron Sputtering.*Jurnal matematika dan sains*, 11(1).
- Sali, S., M. Boumaour, & R. T. Ighil. 2008. Preparation and Characteristic of Low Resistive Zinc Oxide Thin Films Using Chemical Spray Technique for Solar Cells Application The Effect of Thickness and Temperature Substrate.*Revue des Energies Renouvelables CICMESousse*,8:201-207.
- Sayono, T., Sujitno, & L. Susita RM. 2008.Efek Doping Indium terhadap Sensitivitas Sensor Gas ZnO.*P3TM-BATAN*, 10:139-147.
- Scott, R.C., K.D.Leedy, B. Bayraktaroglu, D.C.Look, D.J.Smith, D. Ding, X. Lue & Y.H.Zang. 2011. Influence of Substrat Temperature and Post-Deposition Annealing on Material Properties of Ga-Doped ZnO Prepared by Pulsed Laser Deposition.*Journal of Electronic Materials*, 40(4):419-428.
- Shin, H.H., Y. H. Joung, & S. J. Kang. 2009. Influence of the substrate temperature on the optical and electrical properties of Ga-doped ZnO thin films fabricated by pulsed laser deposition. *J. Mater Sci: Mater Electron*, 20:704 – 708.
- Sim, K.U., S.W. Shin, A.V. Moholkar, J.H. Yun, J.H. Moon, & J.H. Kim. 2010. Effects of Dopant (Al, Ga, and In) on The Characteristics of Zno Thin Films

Prepared by RF Magnetron Sputtering System. *Current Applied Physics*, 10: S463–S467.

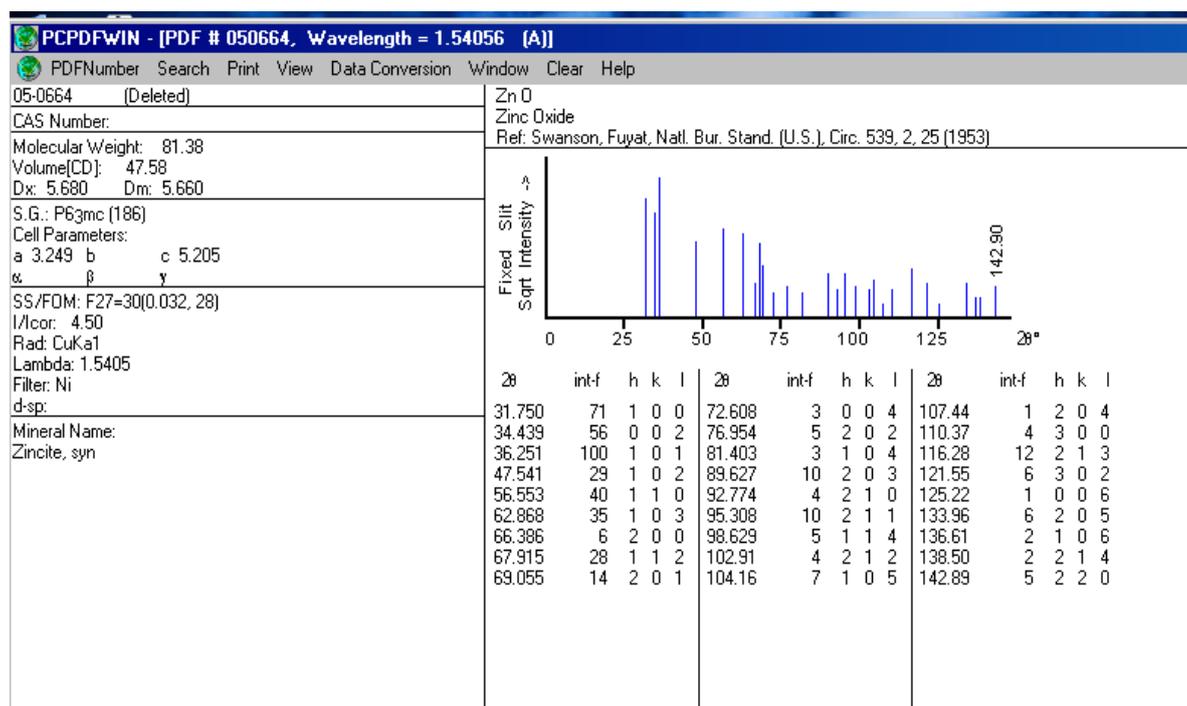
- Singh, A.V., M.Kumar, R. M. Mehra, A.Wakahara, A.Yoshida. 2001. Al-doped Zinc Oxide (ZnO:Al) Thin Films by Pulsed Laser Ablation. *J. Indian InAsLt.- DScOi.P, ESDep Zt.I-NOCc tO. 2X0I0D1E,8(Z1,N 5O2:7A–L5(3T3H)*.
- Suchea, M., S. Christoulakis, N. Katsarakis, T. Kitsopoulos, & G. Kiriakidis. 2007. Comparative Study of Zinc Oxide and Aluminum Doped Zinc Oxide Transparent Thin Films Grown by Direct Current Magnetron Sputtering. *Thin Solid Films*, 515:6562-6566.
- Sudjatmoko. 2003. *Teknologi Sputtering (Diktat Kuliah: Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan)*. P3TM BATAN, Yogyakarta: 1-16.
- Sugianto, Wiyanto, I. Sumpono, N.M. Darma Putra. 2004. Penumbuhan Film Tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Metode DC-Unballanced Magnetron Sputtering. *Jurnal ILMU DASAR*, 5(2):109-114.
- Suprayogi, D. 2014. *Pengaruh Doping Galium Oksida pada Karakteristik Film Tipis Seng Oksida Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Suryanarayana, C. & M.G. Norton. 1998. *X-ray Diffraction A Practical Approach*. New York: Plenum Press.
- Tuna, O., Y. Selamat, G. Aygun dan L. Ozyuzer. 2010. High quality ITO thin films grown by dc and RF sputtering without oxygen. *Journal of Physic D: Appl. Phys*, 43:0055402 (7 pp).
- Wahyuningsih, Kiki. 2013. *Konduktivitas dan Transmittansi Film Tipis Zinc Oxide yang Dideposisikan pada Temperatur Ruang*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Yanti. 2013. *Penumbuhan dan Karakterisasi Sifat Fisis Film Tipis ZnO Doping Al dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.

Yu, Q., Liu Su-Qin, Huang Ke-Long, Fang Dong, Zhang Xue-Ying, & Hou Hua-Wei. 2010. Hydrothermal Synthesis and Characterization of Eu-Doped GaOOH/ $\alpha$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles. *Trans. Nonferrous. Met. Soc.*, 1458-1462.

# LAMPIRAN

## Lampiran 1

### Data Standar JCPDS ZnO



## Lampiran 2

Perhitungan konsentrasi doping galium ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) pada target ZnO doping  $\text{Ga}_2\text{O}_3$

Bahan : ZnO (seng oksida) dan  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  (galium oksida)

Massa campuran : 10 gram

Hasil yang diharapkan : ZnO doping  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  (2%)

Berdasarkan sistem periodik unsur kimia diketahui Ar Zn = 65,38, O = 16 dan Ga = 69,705, dengan mengetahui Ar (massa atom relatif) masing-masing unsur dapat dicari Mr (massa molekul relatif)

$$\text{Mr ZnO} = \{(1 \times \text{Ar Zn}) + (1 \times \text{Ar O})\} = 81,38$$

$$\text{Mr Ga}_2\text{O}_3 = \{(2 \times \text{Ar Ga}) + (3 \times \text{Ar O})\} = 187,41$$

Setelah itu menghitung molaritas dengan massa 10 gram

$$\text{Mol ZnO} = \frac{\text{massacampuran}}{\text{Mr}} = \frac{10}{81,38} = 0,12288 \text{ mol}$$

Konsentrasi doping ZnO doping  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  merupakan perbandingan jumlah mol doping dengan jumlah mol campuran, sehingga mol  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  adalah :

$$2\% \text{ mol ZnO:Ga}_2\text{O}_3 = \frac{\text{molGa}_2\text{O}_3}{\text{molZnO}}$$

$$0,02 = \frac{\text{molGa}_2\text{O}_3}{0,12288}$$

$$\text{molGa}_2\text{O}_3 = 0,0024576 \text{ mol}$$

$$\text{Massa Ga}_2\text{O}_3 = \text{mol Ga}_2\text{O}_3 \times \text{Mr Ga}_2\text{O}_3$$

$$\text{Massa Ga}_2\text{O}_3 = 0,0024576 \times 187,41$$

$$= 0,4606 \text{ gram}$$

$$\text{Massa ZnO} = \text{massa total} - \text{massa Ga}_2\text{O}_3$$

$$= 10 - 0,4606$$

$$= 9,5394 \text{ gram}$$

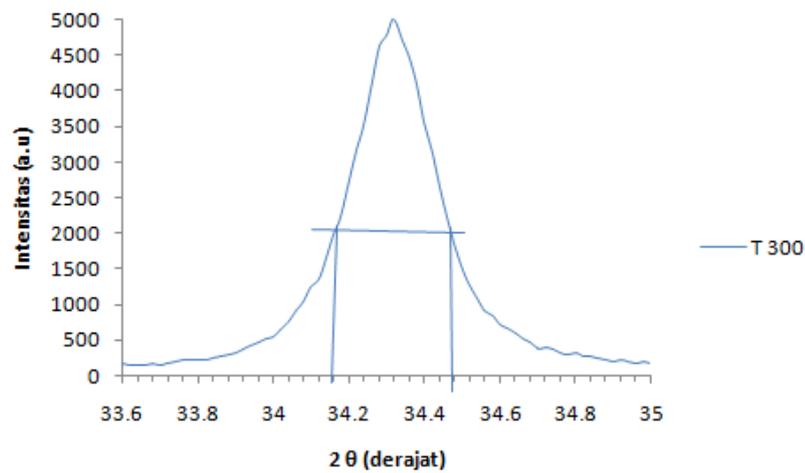
Jadi, massa yang dicampurkan agar menghasilkan target ZnO:Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2%) adalah

ZnO = 9,5394 gram dan Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,4606 gram.

### Lampiran 3

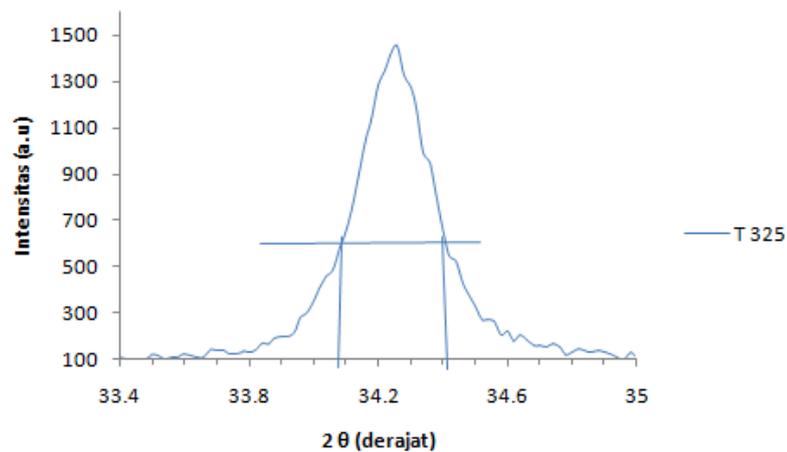
Perhitungan FWHM orientasi bidang (002)

1. Nilai FWHM puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 300<sup>o</sup> C



$$\begin{aligned}\beta &= 2\theta_2 - 2\theta_1 \\ &= 34,42^\circ - 34,18^\circ \\ &= 0,24^\circ\end{aligned}$$

2. Nilai FWHM puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 325<sup>o</sup> C

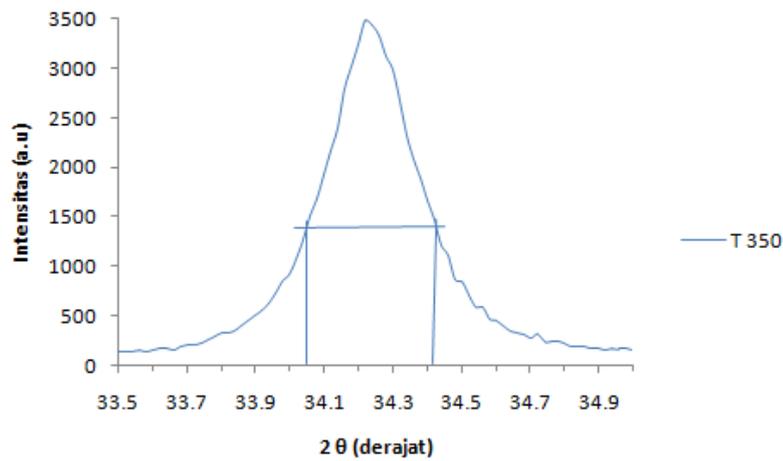


$$\beta = 2\theta_2 - 2\theta_1$$

$$= 34,4^{\circ} - 34,12^{\circ}$$

$$= 0,28^{\circ}$$

3. Nilai FWHM puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 350<sup>o</sup> C

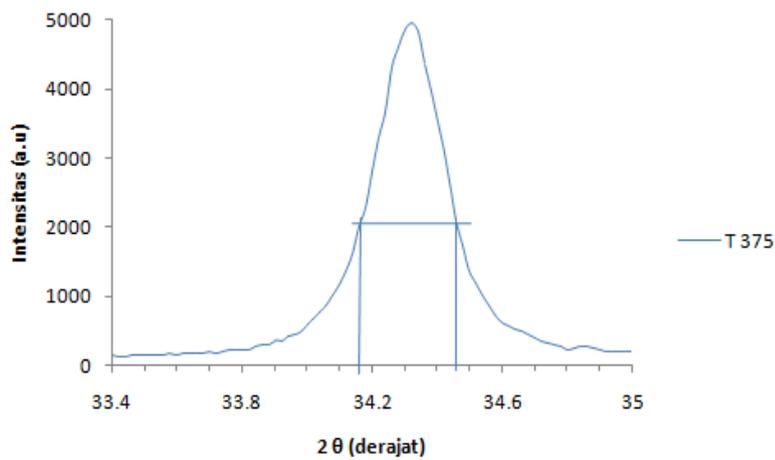


$$\beta = 2\theta_2 - 2\theta_1$$

$$= 34,4^{\circ} - 34,08^{\circ}$$

$$= 0,32^{\circ}$$

4. Nilai FWHM puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 375<sup>o</sup> C

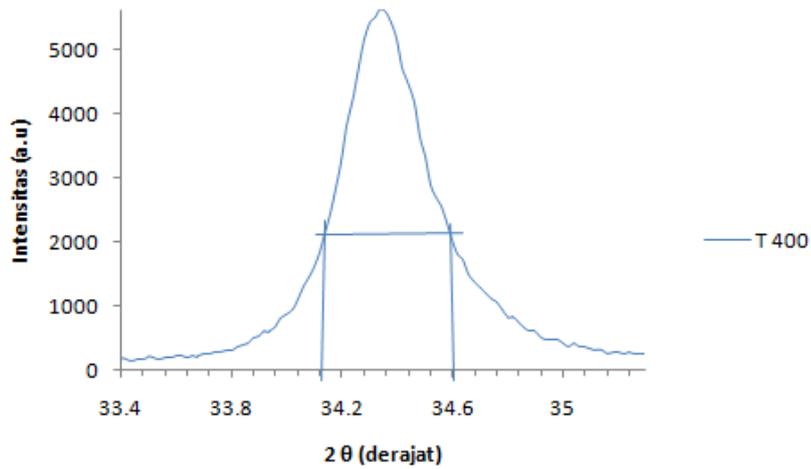


$$\beta = 2\theta_2 - 2\theta_1$$

$$= 34,44^{\circ} - 34,18^{\circ}$$

$$= 0,33^{\circ}$$

5. Nilai FWHM puncak difraksi (002) pada suhu deposisi  $400^{\circ}\text{C}$

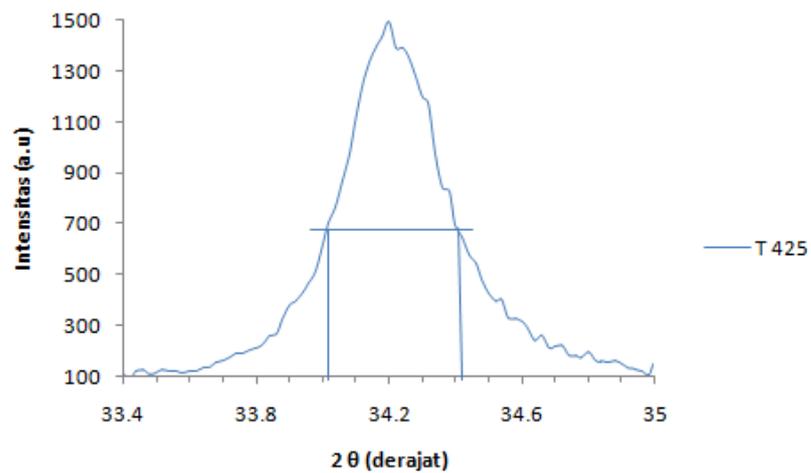


$$\beta = 2\theta_2 - 2\theta_1$$

$$= 34,54^{\circ} - 34,18^{\circ}$$

$$= 0,36^{\circ}$$

6. Nilai FWHM puncak difraksi (002) pada suhu deposisi  $425^{\circ}\text{C}$



$$\beta = 2\theta_2 - 2\theta_1$$

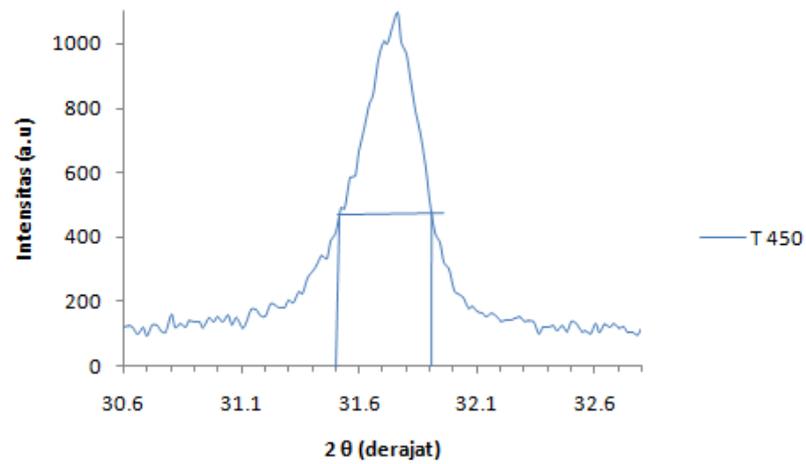
$$= 34,4^{\circ} - 34,04^{\circ}$$

$$= 0,36^{\circ}$$

## Lampiran 4

Perhitungan FWHM orientasi bidang (004)

1. Nilai FWHM puncak difraksi (004) pada suhu deposisi 450<sup>o</sup> C



$$\begin{aligned}\beta &= 2\theta_2 - 2\theta_1 \\ &= 31,9^{\circ} - 31,56^{\circ} \\ &= 0,34^{\circ}\end{aligned}$$

## Lampiran 5

Perhitungan nilai *d-space*

$$2 d \sin \theta = \lambda$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}; \lambda = 0,15406 \text{ nm}$$

1. Nilai *d-space* puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 300° C

$$\theta = 17,16^\circ$$

$$\sin \theta = 0,295041$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{0,15406}{2 \times 0,295041}$$

$$= 2,610 \text{ \AA}$$

2. Nilai *d-space* puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 325° C

$$\theta = 17,13^\circ$$

$$\sin \theta = 0,294541$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{0,15406}{2 \times 0,294541}$$

$$= 2,615 \text{ \AA}$$

3. Nilai *d-space* puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 350° C

$$\theta = 17,11^\circ$$

$$\sin \theta = 0,294207$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{0,15406}{2 \times 0,294207}$$

$$= 2,616\text{\AA}$$

4. Nilai *d-space* puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 375<sup>o</sup> C

$$\theta = 17,16^{\circ}$$

$$\text{Sin } \theta = 0,295041$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{0,15406}{2 \times 0,295041}$$

$$= 2,616\text{\AA}$$

5. Nilai *d-space* puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 400<sup>o</sup> C

$$\theta = 17,17^{\circ}$$

$$\text{Sin } \theta = 0,295208$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{0,15406}{2 \times 0,295208}$$

$$= 2,609 \text{\AA}$$

6. Nilai *d-space* puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 425<sup>o</sup> C

$$\theta = 17,1^{\circ}$$

$$\text{Sin } \theta = 0,29404$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{0,15406}{2 \times 0,29404}$$

$$= 2,619 \text{\AA}$$

7. Nilai *d-space* puncak difraksi (004) pada suhu deposisi 450<sup>o</sup> C

$$\theta = 15,88^\circ$$

$$\sin \theta = 0,273623$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = \frac{0,15406}{2 \times 0,273623}$$

$$= 2,281 \text{ \AA}$$

## Lampiran 6

Perhitungan parameter kisi-c

1. Nilai kisi-c puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 300<sup>0</sup> C

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

$$\frac{1}{(2,610)^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{0+0+0}{a^2} \right) + \frac{4}{c^2}$$

$$\frac{1}{6,8121} = \frac{4}{c^2}$$

$$c = \sqrt{4 \times 6,8121}$$

$$= 5,221\text{Å}$$

2. Nilai kisi-c puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 325<sup>0</sup> C

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

$$\frac{1}{(2,615)^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{0+0+0}{a^2} \right) + \frac{4}{c^2}$$

$$\frac{1}{6,83823} = \frac{4}{c^2}$$

$$c = \sqrt{4 \times 6,83823}$$

$$= 5,230\text{Å}$$

3. Nilai kisi- $c$  puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 350<sup>o</sup> C

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

$$\frac{1}{(2,616)^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{0+0+0}{a^2} \right) + \frac{4}{c^2}$$

$$\frac{1}{6,84346} = \frac{4}{c^2}$$

$$C = \sqrt{4 \times 6,84346}$$

$$= 5,232\text{\AA}$$

4. Nilai kisi- $c$  puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 375<sup>o</sup> C

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

$$\frac{1}{(2,616)^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{0+0+0}{a^2} \right) + \frac{4}{c^2}$$

$$\frac{1}{6,84346} = \frac{4}{c^2}$$

$$C = \sqrt{4 \times 6,84346}$$

$$= 5,233\text{\AA}$$

5. Nilai kisi- $c$  puncak difraksi (002) pada suhu deposisi 400<sup>o</sup> C

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

$$\frac{1}{(2,609)^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{0+0+0}{a^2} \right) + \frac{4}{c^2}$$

$$\frac{1}{6,80688} = \frac{4}{c^2}$$

$$C = \sqrt{4 \times 6,80688}$$

$$= 5,218\text{\AA}$$

6. Nilai kisi- $c$  puncak difraksi (002) pada suhu deposisi  $425^{\circ}\text{C}$

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

$$\frac{1}{(2,619)^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{0+0+0}{a^2} \right) + \frac{4}{c^2}$$

$$\frac{1}{6,85916} = \frac{4}{c^2}$$

$$C = \sqrt{4 \times 6,85916}$$

$$= 5,239\text{\AA}$$

7. Nilai kisi- $c$  puncak difraksi (004) pada suhu deposisi  $450^{\circ}\text{C}$

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

$$\frac{1}{(2,281)^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{0+0+0}{a^2} \right) + \frac{4}{c^2}$$

$$\frac{1}{5,20296} = \frac{4}{c^2}$$

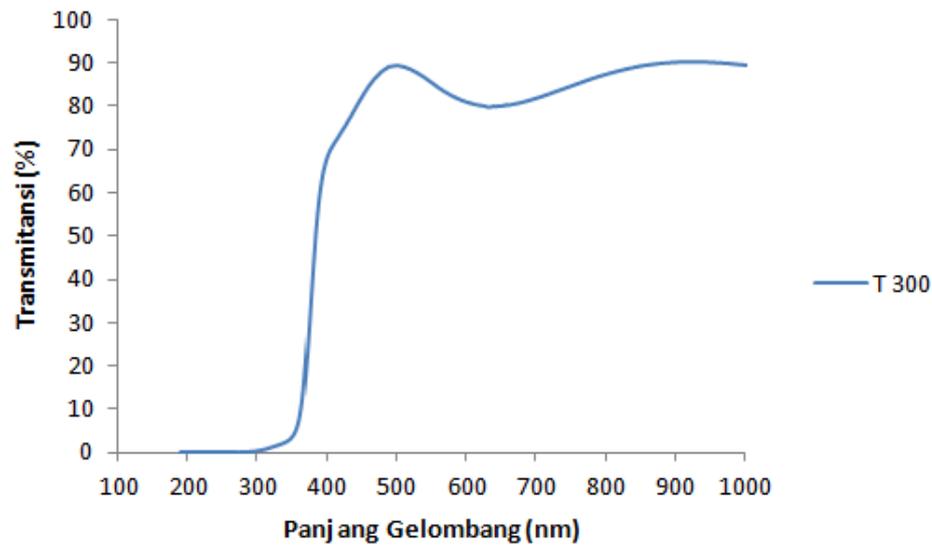
$$C = \sqrt{4 \times 5,20296}$$

$$= 5,630\text{\AA}$$

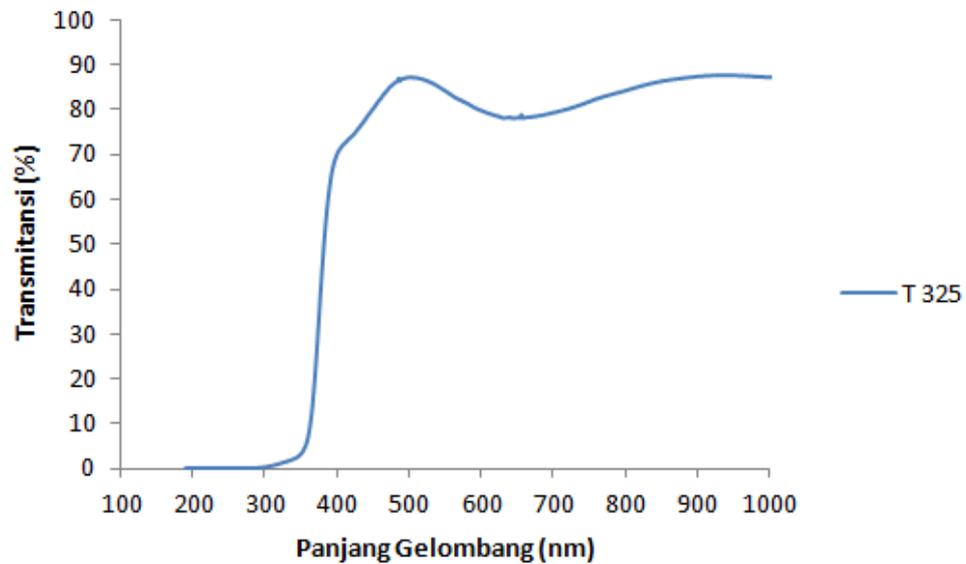
## Lampiran 7

Perhitungan nilai transmitansi

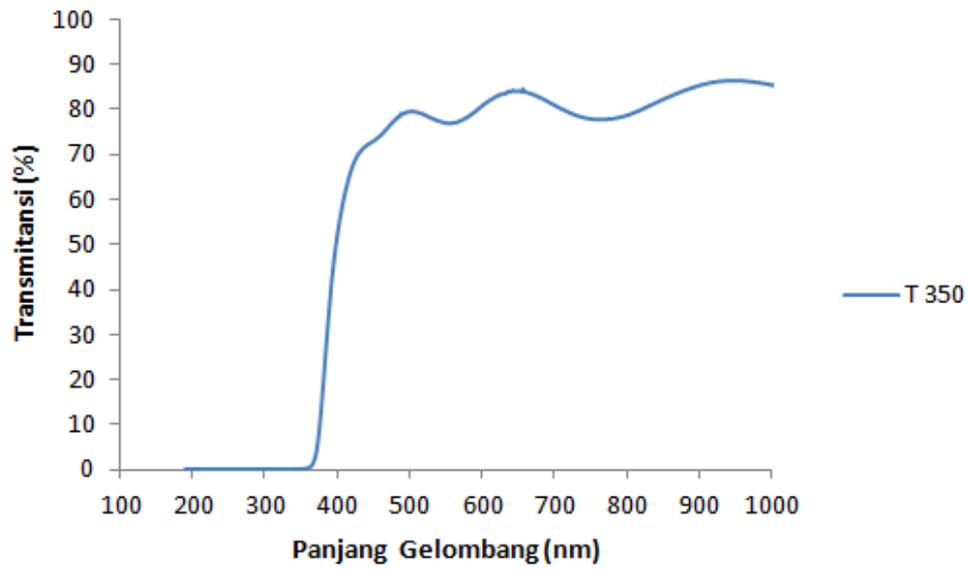
1. Transmitansi pada suhu deposisi 300<sup>0</sup> C



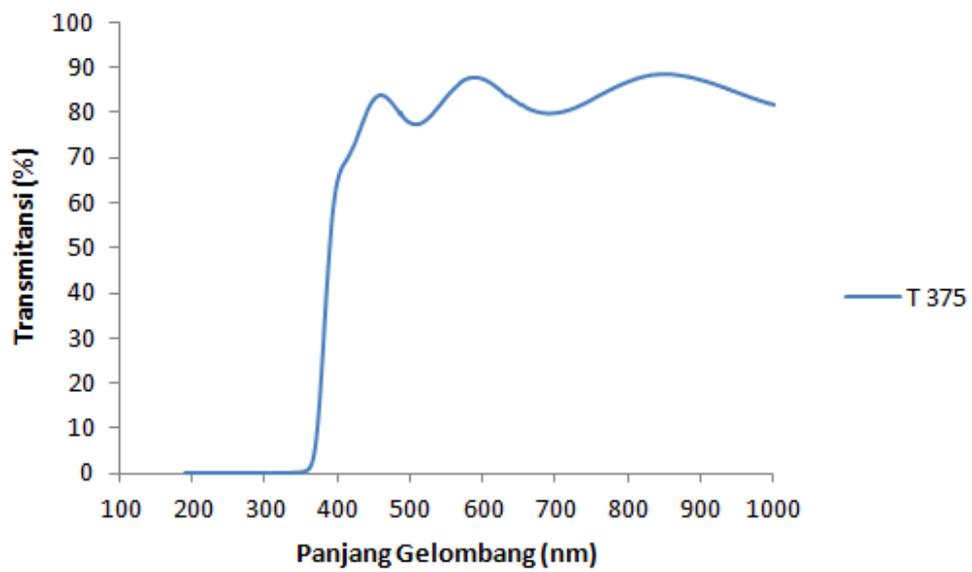
2. Transmitansi pada suhu deposisi 325<sup>0</sup> C

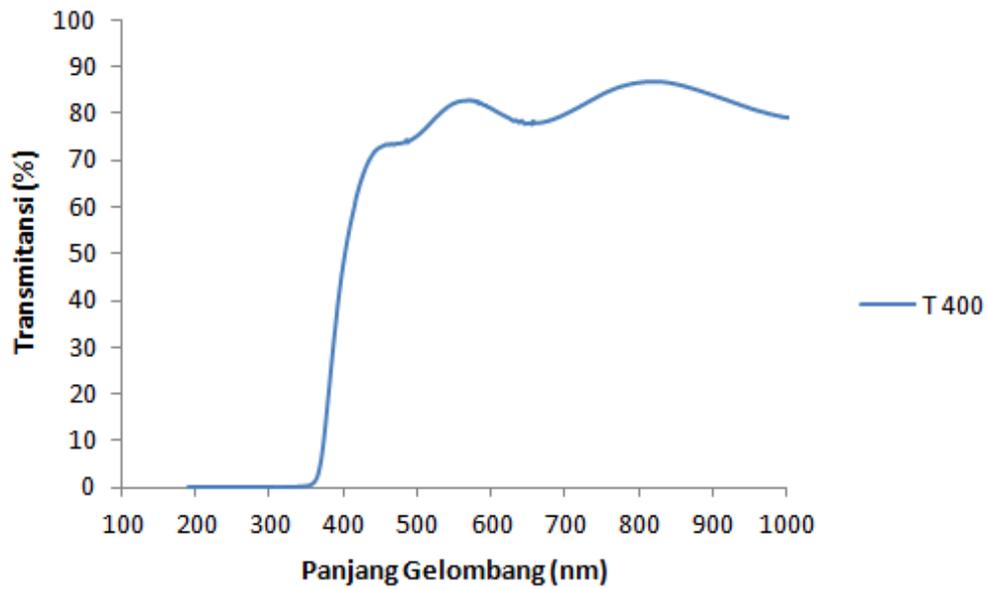
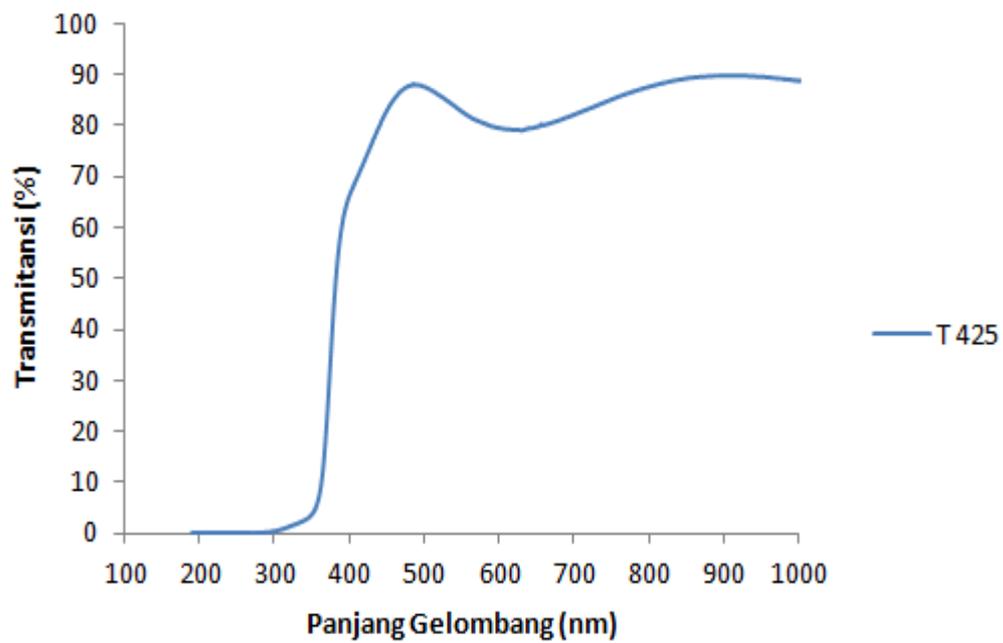


### 3. Transmittansi pada suhu deposisi 350<sup>o</sup> C



### 4. Transmittansi pada suhu deposisi 375<sup>o</sup> C



5. Transmittansi pada suhu deposisi 400<sup>o</sup> C6. Transmittansi pada suhu deposisi 425<sup>o</sup> C

7. Transmittansi pada suhu deposisi 450<sup>o</sup> C

