



**PENGARUH TEKANAN OKSIGEN PADA PROSES  
ANNEALING FILM TIPIS ZINC OKSIDA ( $ZnO$ )  
DOPING ALUMINIUM (Al)**

Skripsi

disusun dalam rangka penyelesaian Studi Strata 1

untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

oleh

Siti Nor Mahmudah

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

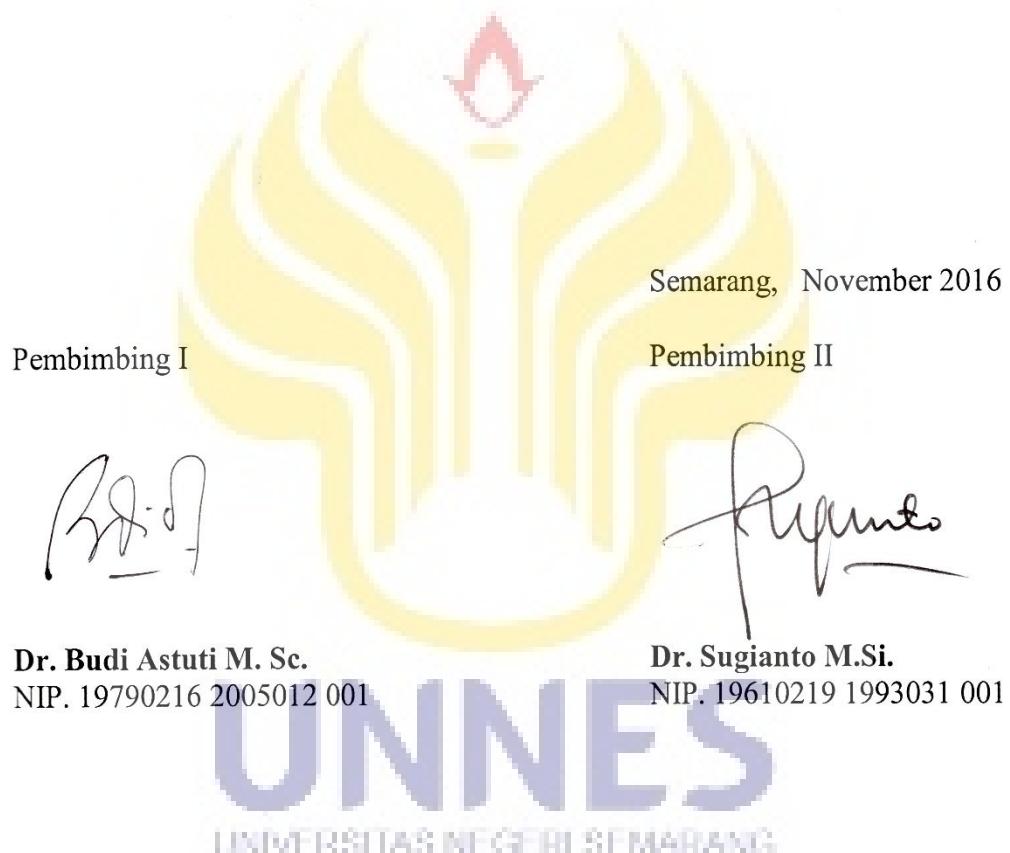
**JURUSAN FISIKA**

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

**2016**

## 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.



## **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, November 2016

Penulis,



Siti Nor Mahmudah

4211412015

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul:

Pengaruh Tekanan Oksigen pada Proses *Annealing* Film Tipis Zinc Oksida (ZnO) Doping Aluminium (Al)  
disusun oleh

Siti Nor Mahmudah

4211412015

telah dipertahankan di hadapan Panitia Sidang Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 1 November 2016.



**Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si. Akt.**  
NIP. 19641223 198803 1 001

Ketua Penguji

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

Anggota Penguji /  
Pembimbing I

**Dr. Budi Astuti M. Sc.**  
NIP. 19790216 2005012 001

Sekretaris

**Dr. Suharto Linuwih, M.Si.**  
NIP. 19680714 199603 1 005

Anggota Penguji /  
Pembimbing II

**Dr. Sugianto M.Si.**  
NIP. 19610219 1993031 001

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

When I stand before Allah at the end of my life, I would hope  
that I would not have a single bit of talent left and could say, I  
used everything you gave me.

Nobody ever wrote down a plan to be broke, fat, lazy, or stupid.

Those things are what happen when you don't have a plan.

(Larry winget)

Keep away from people who try to belittle your ambitions.

Small people always do that, but the really great makes you feel  
that you, too, can become great. (Mark Twain)

The difference between a successful person and others is not  
lack of strength not a lack of knowledge but rather a lack of will.

(Vince Lombardi)



### **PERSEMBAHAN**

Untuk bapak, Ibu,  
Mbak, dan Adek

## **PRAKATA**

Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT. atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul " Pengaruh Tekanan Oksigen pada Proses *Annealing* Film Tipis Zinc Oksida (ZnO) Doping Aluminium (Al) ".

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. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum. sebagai Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si.Akt. sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si. sebagai Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si. sebagai Ketua Prodi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
5. Dr. Budi Astuti, M.Sc. selaku pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran kepada penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi.
6. Dr. Sugianto, M.Si. selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran kepada penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi.

7. Dr. Putut Marwoto, M.S. dan Dr. Sulhadi, M.Si. yang telah memotivasi serta membantu selama penelitian skripsi.
8. Edy Wibowo, M.Sc. dan Didik Aryanto, M.Sc. yang telah membantu dalam karakterisasi sampel.
9. Dr. Khumaedi, M.Si. selaku dosen wali yang dengan penuh kesabaran dan kebersahajaan telah memberikan nasehat dan motivasi kepada penulis.
10. Farida Usriyah, Reza Faizal, Rofiatul Jannah, dan Mas Agus yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini, maaf jika penulis telah banyak merepotkan.
11. Bapak dan Ibu yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, motivasi serta doanya.
12. Mbak Zanif dan Dek Fiya yang selalu jadi saudara dan memberikan waktunya untuk saling mengasihi, memberikan motivasi untuk lebih maju dan saling menghormati satu sama lain.
13. Pak Muttaqin dan Pak Wasi, terimakasih atas bantuannya selama penelitian.
14. *Power rangers* (Dita, Farida, Reza, Pamungkas) terimakasih atas persahabatan, doa, semangat, kebersamaan dan bantuannya selama di  Laboratorium Fisika Material Film Tipis Universitas Negeri Semarang.
15. Keluarga Fisika 2012 terimakasih kebersamaan serta kebersahajaannya.
16. Keluarga besar Kost Dita, Erien, Fita, Danis, Nadia, Yaya, Fiya, Mail yang banyak sekali memberikan 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 dari sempurna karena kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Semoga laporan skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi kita semua. Amiin.

Semarang, November 2016

Penulis



## ABSTRAK

Mahmudah, S.N. 2016. *Pengaruh Tekanan Oksigen pada Proses Annealing Film Tipis Zinc Oksida (ZnO) Doping Aluminium (Al)*. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I: Dr. Budi Astuti, M.Sc. dan Pembimbing II: Dr. Sugianto, M.Si.

**Kata kunci:** ZnO doping Al, Annealing, Oksidasi, XRD, UV-vis spektrofotometer, I-V meter.

Film tipis ZnO doping Al dideposikan di atas substrat *corning glass* dengan menggunakan metode *DC magnetron sputtering*. Film tipis ZnO doping Al dideposikan dengan tekanan argon 500 mTorr dan daya plasma 40 watt pada temperatur 400°C selama 2 jam. Hasil karakterisasi XRD film tipis ZnO doping Al menunjukkan bahwa film tipis yang dideposikan mempunyai struktur heksagonal dengan puncak difraksi dominan sesuai orientasi bidang (002). Hasil karakterisasi sifat optik film tipis menggunakan spektrometer UV-Vis menunjukkan nilai transmitansi film yang dideposikan sebesar 81,27%. Nilai energi *band gap* masih dalam rentang energi *band gap* untuk bahan TCO yaitu antara 2,5 – 4,5 eV. Pemberian oksigen pada tekanan 100 mTorr menghasilkan film tipis ZnO doping Al dengan struktur dan sifat optik yang baik. Sifat listrik film tipis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen pada proses *annealing* dikarakterisasi dengan menggunakan IV meter. Hasil analisis sifat listrik film tipis menunjukkan nilai resistivitas film tipis ZnO doping Al paling kecil dihasilkan oleh film tipis ZnO doping Al dengan tekanan oksigen pada proses *annealing* 50 mTorr yaitu sebesar  $1,28 \times 10^4$  ( $\Omega \cdot \text{cm}$ ).

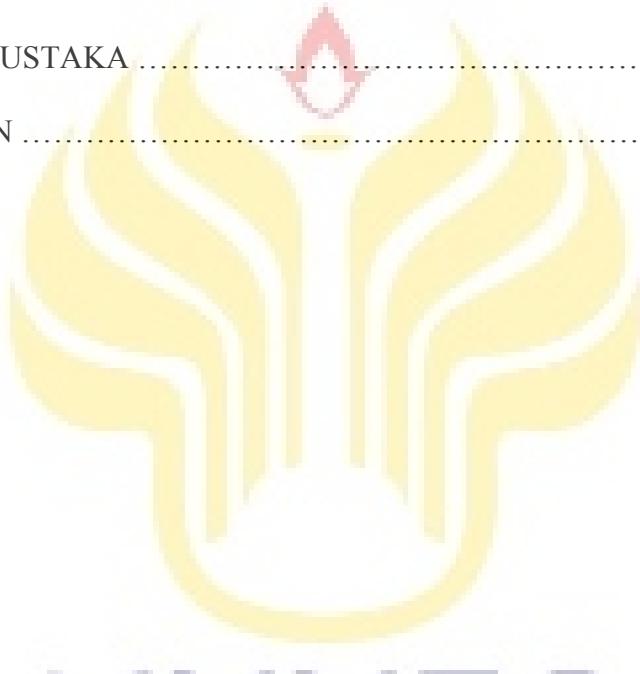


## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
PRAKATA .....	vi
ABSTRAK .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DARTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xv
 <b>BAB</b>	
1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Manfaat penelitian .....	6
2 TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Material Semikonduktor .....	7

2.2	<i>Transparent Conducting Oxide (TCO)</i> .....	8
2.3	Material ZnO .....	9
2.4	Material Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	11
2.5	<i>Sputtering</i> .....	12
2.6	Sistem <i>DC Magnetron Sputtering</i> .....	14
2.7	Struktur Film Tipis .....	16
2.8	Sifat Optik .....	17
2.9	Sifat Listrik .....	19
2.10	Oksidasi Film Tipis pada Proses <i>Annealing</i> .....	20
3	METODE PENELITIAN .....	22
3.1	Pelaksanaan Penelitian .....	22
3.1.1	Pembuatan Target ZnO Doping Al (3 wt%) .....	22
3.1.2	Preparasi Substrat .....	23
3.1.3	Deposisi Film Tipis ZnO Doping Al .....	23
3.1.4	Proses Oksidasi pada Proses <i>Annealing</i> .....	25
3.2	Karakterisasi Film Tipis .....	26
3.2.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	26
3.2.2	Spektrometer UV-vis .....	28
3.2.3	I-V Meter .....	30
3.3	Alur Penelitian .....	33
4	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	34
4.1	Karakterisasi Film Tipis ZnO Doping Al dengan XRD.....	34
4.2	Karakterisasi Sifat Optik Film Tipis ZnO doping Al .....	43

4.3 Karakterisasi Sifat Listrik Film Tipis ZnO Doping Al .....	49
4.4 Hubungan antara Struktur, Sifat Optik, dan Sifat Listrik Film Tipis ZnO Doping Al .....	51
5 PENUTUP .....	53
5.1 Simpulan .....	53
5.2 Saran .....	54
DAFTAR PUSTAKA .....	55
LAMPIRAN .....	62



## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Parameter penumbuhan film tipis ZnO doping Al .....	25
3.2 Parameter variasi tekanan oksigen film tipis ZnO doping Al pada proses <i>annealing</i> dengan temperatur 300°C selama 20 menit .....	26
4.1 Hasil analisis XRD film tipis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen puncak orientasi (002) .....	37
4.2 Nilai lattice strain dan stress film tipis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen pada proses <i>annealing</i> .....	40
4.3 Hasil analisis XRD film tipis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen puncak orientasi (101)	42
4.4 Nilai energi band gap film tipis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen .....	48
4.5 Nilai resistivitas dan kondutivitas film tipis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen pada proses <i>annealing</i> .....	50

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur Kristal <i>zinc oxide</i> .....	11
2.2 Proses <i>sputtering</i> pada permukaan target .....	13
2.3 Skema reaksi dalam <i>DC magnetron sputtering</i> .....	15
2.4 Sistem reaktor <i>DC magnetron sputtering</i> .....	15
2.5 Penentuan celah pita energi TiO <sub>2</sub> dengan metode <i>Touc Plot</i> .....	18
3.1 Difraksi sinar-X oleh Kristal .....	27
3.2 (a) Elektron tidak sanggup meloncat ke pita konduksi jika material diradiasi gelombang EM dengan energi foton kurang dari lebar celah energi. (b) Elektron dapat mencapai pita konduksi jika material diradiasi gelombang EM dengan energi foton lebih besar daripada lebar celah energi .....	29
3.3 Skema Pengukuran Resistansi Film Tipis dengan Metode <i>Two-point Probe</i> .....	31
3.4 Diagram alir penelitian .....	33
4.1 Hasil karakterisasi XRD film tipis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen pada proses <i>annealing</i> .....	35
4.2 Nilai FWHM dan ukuran kristal film tipis ZnO doping Al pada sudut <i>diffraction</i> (002) dengan variasi tekanan oksigen pada proses <i>annealing</i> .....	39
4.3 Nilai FWHM dan ukuran kristal film tipis ZnO doping Al pada sudut difraksi (101) dengan variasi tekanan oksigen pada proses <i>annealing</i> .....	43
4.4 Karakterisasi Spektrometer UV-Vis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen pada proses <i>annealing</i> .....	44
4.5 Grafik hubungan Transmitansi terhadap tekanan oksigen pada proses <i>annealing</i> .....	46
4.6 Hubungan antara $(\alpha h\nu)^2$ dengan energi (eV) film tipis ZnO doping Al .....	47
4.7 Grafik Hasil karakterisasi sifat listrik film tipis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen pada proses <i>annealing</i> .....	49

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran	Halaman
1 Perhitungan konsentrasi doping Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan Zinc Oksida ( $\text{ZnO}$ ) pada pembuatan target $\text{ZnO}$ doping Al .....	62
2 Data standar JCPDS $\text{ZnO}$ .....	64
3 Perhitungan nilai FWHM orientasi bidang (002) .....	65
4 Perhitungan nilai $d$ - spacing .....	70
5 Perhitungan nilai kisi- $c$ puncak difraksi (002) .....	72
6 Perhitungan nilai kisi- $a$ puncak difraksi (002) .....	75



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan utama yang dibutuhkan oleh setiap individu di seluruh dunia. Kebutuhan akan energi terus meningkat berbanding terbalik dengan sumber energi yang keberadaannya semakin menipis seiring berjalannya waktu. Hal ini menuntut adanya sumber energi alternatif yang dapat menjawab tantangan tersebut.

Energi surya sebagai energi terbesar dibandingkan dengan energi lain seperti angin, *biomass*, dan *hydro power* memiliki potensi untuk pengembangan sumber energi alternatif. Ketersediaan energi surya yang tidak terbatas dan bebas dari CO<sub>2</sub> atau gas buang lainnya, serta dapat dipergunakan secara berkelanjutan (*sustainable*) menjadikan energi surya banyak diteliti sampai saat ini (Yanti, 2013).

Teknologi *photovoltaic* merupakan teknologi untuk mengkonversi secara langsung energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan devais semikonduktor yang disebut sel surya (*solar cells*). Teknologi *photovoltaic* merupakan salah satu teknologi sel surya yang menarik. Pemanfaatan sel surya dibidang teknologi saat ini berkembang sangat pesat diberbagai negara. Teknologi untuk pengembangan sel surya terus menerus dilakukan peningkatan dengan adanya modifikasi terbaru, yang bertujuan untuk menemukan bahan baku material baru, khususnya dalam teknologi film tipis untuk pengembangan sel surya. Film

tipis merupakan lapisan tipis dari bahan organik, anorganik, metal, maupun campuran metal organik yang memiliki sifat konduktor, semikonduktor, maupun isolator (Sudjatmoko, 2003).

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang terus berkembang membawa ke beberapa pendekatan baru pada penelitian dan pengembangan material *Transparent Conducting Oxide* (TCO) untuk teknologi yang lebih efisien dan ekonomis, serta tampilan yang lebih menarik. Penggunaan TCO sebagai lapisan luar sel surya yang digunakan selama ini adalah material *Indium Tin Oxide* (ITO) (Yanti, 2013). Pemanfaatan ITO digunakan secara luas dibeberapa bidang lainnya, seperti *liquid crystal display* (LCD), *plasma display panels* (PDPs), dan *organic light emitting diodes* (OLEDs), serta *window layer* dalam sel surya. Hal tersebut dikarenakan ITO memiliki karakteristik yang baik dari segi transmitansi optik, energi *band gap* yang lebar, dan konduktivitas listrik yang tinggi (sim *et al.*, 2010). Selain kelebihan, ITO juga memiliki kelemahan, seperti bahan indium yang mahal dan relatif langka (Kim *et al.*, 2007), sehingga diperlukan material baru untuk mengatasi hal tersebut. Zinc oksida (ZnO) dipilih sebagai material baru yang diteliti untuk bahan alternatif pengganti ITO.

ZnO adalah bahan semikonduktor II-VI (Ling *et al.*, 2013) dan memiliki keuntungan utama seperti murah, tidak beracun (Zhao *et al.*, 2011), memiliki band gap yang lebar sebesar 3,37eV (Liu *et al.*, 2016) dengan energi ikat tinggi 60 MeV (Zhao *et al.*, 2011) dan memiliki sifat listrik serta sifat optik yang baik (Kim *et al.*, 2008). ZnO murni mempunyai struktur unit yang kurang bagus sehingga dapat diperbaiki dengan cara diberi doping (Li *et al.*, 2013). Karakteristik sifat listrik ZnO

tanpa doping kurang baik (Li *et al.*, 2013), dimana resistivitasnya sebesar  $0,78 \Omega\text{cm}$  (sim *et al.*, 2010), dan nilai konduktivitas film tipis ZnO tanpa doping yaitu sekitar  $6,24 \times 10^{-5} (\Omega\text{cm})^{-1}$ . 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 Boron (B), Alumunium (Al), Galium (Ga), dan Indium (In). Logam Al merupakan unsur yang paling baik diantara unsur golongan III A lainnya (Kuo *et al.*, 2006), yang didasarkan pada mobilitas elektron Al paling tinggi dan doping Al memberikan elektron pembawa level yang tinggi. Al berkontribusi terhadap lebar *band gap* ZnO dengan bertambahnya konsentrasi pembawa muatan yang dikenal sebagai efek Burstein-Moss (Suchea *et al.*, 2007).

Pendeposisian film tipis ZnO dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain: *Metal Oxide Chemical Vapor Deposition* (MOCVD) (Park *et al.*, 2009), *sol-gel-dip-coating* (Zhou *et al.*, 2007), *buffer assistend pulsed laser deposition* (Ajimsha *et al.*, 2010), *pulsed laser deposition* (Zhao *et al.*, 2007), *Electrodeposition* (Lupan *et al.*, 2010), *chemical spray pyrolysis* (Ramos-barrado *et al.*, 2003; Illican *et al.*, 2008; saleh *et al.*, 2012). Metode penumbuhan film tipis ZnO yang lain adalah dengan metode *sputtering* (Ismail & Abdullah, 2013). Metode penumbuhan jenis *sputtering* dibagi menjadi dua yaitu *radio frekuency (RF) sputtering* dan *direct current (DC) magnetron sputtering*. Pada penelitian ini menggunakan metode *DC magnetron sputtering*, karena diantara teknik deposisi film tipis yang telah dikembangkan, teknik deposisi dengan metode *DC magnetron*

*sputtering* menghasilkan film tipis yang baik dan mempunyai keuntungan dibandingkan teknik lainnya.

Metode deposisi menggunakan *DC magnetron sputtering* menarik untuk dikaji lebih lanjut karena mempunyai beberapa kelebihan. Teknik ini memiliki proses yang sederhana dan biaya yang tidak terlalu mahal. Reaktor *DC magnetron sputtering* tersedia di laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang. Reaktor tersebut telah berhasil menumbuhkan berbagai film tipis pada penelitian-penelitian sebelumnya, seperti ZnO murni (Wahyuningsih, 2013), film tipis ZnO doping Al (Yanti, 2013), film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan variasi konsentrasi doping (Suprayogi, 2014), film tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan variasi temperatur deposisi (Fatiyatun, 2015), ZnO doping Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan variasi fraksi mol Aluminium (Firmaningsih, 2015), film tipis ZnO doping Ga dengan variasi temperatur *annealing* (Usriyah, 2016), film tipis ZnO doping Ga dengan variasi tekanan oksigen pada proses *annealing* (Faizal, 2016), dan film tipis ZnO doping Al dengan variasi temperatur *annealing* (Jannah, 2016).

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. ZnO doping Al sangat potensial untuk diaplikasikan sebagai TCO (Sim *et al.*, 2010).

Untuk mendapatkan sifat-sifat yang baik dari film tipis ZnO selain dilakukan doping, juga dilakukan proses *annealing*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Jannah (2016), didapatkan temperatur *annealing* yang optimum adalah 300 °C. Variasi tekanan oksigen dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh tekanan oksigen selama proses *annealing* film tipis ZnO doping Al pada struktur kristal dan sifat optik sesuai dengan aplikasinya. Berdasarkan Kim *et al.*, (2007) pemberian oksigen dapat meningkatkan kristalinitas, transmitansi dan memperbaiki morfologi permukaan pada film tipis. Proses *annealing* film tipis ZnO dalam lingkungan oksigen menyebabkan penggabungan oksigen dalam film, yang kemudian mengkompensasi kekosongan/ *vacancies* (Rao *et al.*, 2012). Diharapkan kekosongan oksigen menurun dengan *annealing* dalam lingkungan oksigen karena penggabungan oksigen dalam film. Oleh karena itu, studi film yang di *annealing* pada kondisi tekanan oksigen yang berbeda sangat penting untuk memperoleh film tipis dengan kualitas tinggi.

Pada penelitian ini akan dilakukan proses *annealing* dalam lingkungan oksigen film tipis ZnO doping Al (3%) pada temperatur 300 °C dengan variasi tekanan oksigen yaitu 0 mTorr, 50 mtorr, 100 mtorr, 150 mtorr, dan 200 mTorr selama 20 menit (Kim *et al.*, 2007).

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan yang menjadi fokus kajian penelitian ini adalah bagaimana pengaruh tekanan oksigen pada proses *annealing* film tipis ZnO doping Al yang ditumbuhkan dengan metode *DC magnetron sputtering*.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah mampu memahami dan mengetahui pengaruh tekanan oksigen pada proses *annealing* film tipis ZnO doping Al dengan metode *DC magnetron sputtering*.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan uraian latar belakang dan tujuan yang telah disebutkan di atas dapat diperoleh manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemberian oksigen pada film tipis ZnO doping Al selama proses *annealing*, dan diharapkan dapat meningkatkan kualitas film tipis ZnO yang didoping dengan Al.



## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Material Semikonduktor**

Berdasarkan konduktivitas bahan, material dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu, (1) konduktor, dengan resistivitas  $<10^{-4}$  Ωm, (2) semikonduktor, dengan resistivitas antara  $10^{-4}$ - $10^{12}$  Ωm, dan (3) insulator, dengan resistivitas  $>10^{12}$  Ωm. Material semikonduktor merupakan material yang paling banyak dimanfaatkan bagi pengembangan teknologi modern seperti perlengkapan elektronik, optoelektronik, dan sensor (Wu *et al.*, 2015).

Berdasarkan mayoritas pembawa muatannya, material semikonduktor dapat digolongkan menjadi 2 tipe yaitu tipe-n dan tipe-p. Material semikonduktor tipe-n dapat dibuat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor pentavalen (antimony, phosphorus atau arsenik) pada semikonduktor murni, seperti silikon. Atom-atom pengotor (dopan) ini mempunyai lima elektron valensi sehingga secara efektif memiliki muatan sebesar +5q. Sebuah atom pentavalen menempati posisi atom silikon dalam kisi kristal dan hanya empat elektron valensi yang dapat membentuk ikatan kovalen lengkap sisanya satu elektron tidak berpasangan. Sisa elektron tersebut akan menjadi elektron bebas dan menjadi pembawa muatan dalam proses hantaran listrik sehingga material ini disebut material semikonduktor tipe-n.

Material semikonduktor tipe-p dapat dibuat dengan menambahkan sejumlah kecil atom pengotor trivalen (aluminium, boron, gallium atau indium) pada

semikonduktor murni, seperti silikon. Atom-atom pengotor (dopan) ini mempunyai tiga elektron valensi sehingga secara efektif hanya dapat membentuk tiga ikatan kovalen. Sebuah atom trivalen menempati posisi atom silikon dalam kisi kristal, dengan membentuk tiga ikatan kovalen lengkap, dan sisanya sebuah muatan positif dari atom silikon yang tidak berpasangan yang disebut *hole*. *Hole* merupakan pembawa mayoritas material dan dikenal sebagai material semikonduktor tipe-p.

## 2.2 *Transparent Conductive Oxide* (TCO)

TCO merupakan semikonduktor dengan *band gap* yang lebar dan karakteristik spektrum yang selektif, sehingga dapat digunakan sebagai lapisan luar (*window layer*) sel surya (Minami *et al.*, 2003). Lebar *band gap* TCO berada pada kisaran 3,3 eV, sehingga hanya foton yang berenergi setara atau lebih besar dari 3,3 eV yang mampu mengeksitasi elektron. Foton dengan energi lebih kecil dari *band gap* tersebut tidak akan mampu mengeksitasi elektron dan foton ini hanya akan ditransmitansikan atau diteruskan. Foton yang diteruskan inilah yang berada pada kisaran spektrum cahaya tampak karena cahaya ini energinya lebih kecil dari 3,3 eV.

TCO bersifat konduktif disebabkan oleh karakteristik ikatan kimianya dengan jenis ikatan berupa ikatan ionik. Ikatan tersebut biasanya terbentuk dari ikatan antara logam dengan oksigen yang memungkinkan atom terlepas dengan sendirinya dari posisi normal ke posisi lain yang akhirnya menyebabkan elektron terlepas pula di dalam struktur oksida tersebut. Jumlah elektron di dalam material TCO dipengaruhi oleh banyaknya atom yang terlepas dari posisi normalnya, semakin banyak atom yang terlepas maka semakin banyak pula jumlah elektron di

dalam material TCO. Elektron akan menghantarkan arus listrik apabila arus listrik dialirkan ke material tersebut, sehingga material ini bersifat konduktif.

TCO ini digunakan di berbagai peralatan optik karena sifatnya yang memiliki konduktivitas dan transparansi yang tinggi. TCO diaplikasikan pada aspek komputasi seperti *liquid crystal displays* (LCD), aspek alternatif energi yaitu sel surya (*solar cell*), dan aspek teknologi yang berupa sensor gas yang dapat mendeteksi berbagai macam gas, contohnya yaitu: sensor gas dimetil amin (DMA) yang terlarut pada gas hidrogen, uap etanol, dan gas-gas beracun hasil pembakaran dari transportasi darat.

Ada beberapa jenis lapisan tipis konduktif transparan antara lain yaitu SnO<sub>2</sub>, ITO, dan TCO. Harga SnO<sub>2</sub> sangat murah dan mempunyai nilai resistivitas jauh lebih tinggi dibanding *indium tin oxide* (ITO). ITO merupakan campuran dari SnO<sub>2</sub> dan In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan perbandingan Sn:In sekitar 5:95. Keunggulan ITO adalah resistivitas rendah, namun proses pembuatan ITO sangat mahal. Oleh karena itu, saat ini dikembangkan lapisan tipis lain untuk lapisan konduktif transparan (Wirjoadi & Bambang, 2008), seperti Zinc Oksida (Sudjatmoko, 2003).

### 2.3 Material ZnO

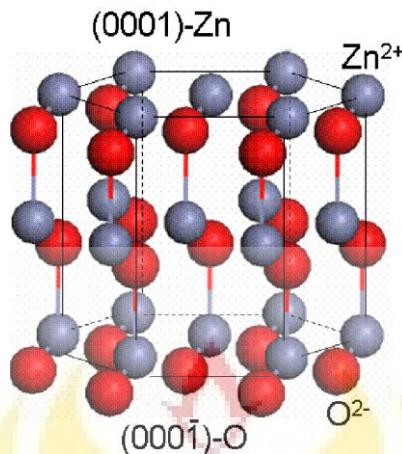
Zinc Oksida (ZnO) merupakan material semikonduktor tipe-n dengan struktur *wurtzite* karena *nonstoichiometric* (Bao Ma *et al.*, 2007) dan bersifat transparan serta konduktif (Goldsmit, 2006). Konduktivitas listrik dalam ZnO dapat ditimbulkan karena *nonstoichiometric* yang disebabkan oleh kelebihan ion-ion zinc (Zn<sup>2+</sup>). Kelebihan kation ini diimbangi oleh muatan negatif dengan jumlah yang sama, yaitu 2 elektron. Elektron-elektron ini bebas bergerak di dalam kristal

di bawah pengaruh medan listrik luar. ZnO memiliki energi gap yang besar ~3,37 eV pada temperatur rendah dan 3,30 eV pada temperatur ruang (Liewhiran *et al.*, 2007).

Film tipis ZnO mempunyai struktur heksagonal dengan tipe kristal *wurtzite*, parameter kisi pada sumbu  $a = 3,2495 \text{ \AA}$  dan sumbu  $c = 5,2069 \text{ \AA}$ . Sifat-sifat yang menarik dari material ZnO lainnya adalah anisotropi dalam struktur kristal, struktur cacat *non-stoichiometric*, transparansi optik dalam daerah cahaya tampak dan indeks biasnya cukup tinggi. Berdasarkan sifat-sifat tersebut, film tipis ZnO dapat dimanfaatkan sebagai *window layer* dan elektroda depan yang sangat konduktif dan transparan pada sel surya.

Film tipis ZnO mengkristal dalam tiga bentuk: *wurtzite* heksagonal, *zincblende* kubik, dan jarang diamati kubik *rocksalt*. Struktur *wurtzite* paling stabil dibandingkan bentuk yang lain. Bentuk *zincblende* dapat distabilkan dengan ZnO yang tumbuh pada substrat dengan struktur kisi kubik.

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, tersusun secara khusus yang secara periodik berulang dalam tiga dimensi dalam suatu kisi. Spasi antar sel unit dalam segala arah disebut parameter kisi. Struktur dan simetri suatu zat padat mempunyai peran penting dalam menentukan sifat-sifatnya, seperti struktur pita energi dan sifat optiknya. Komposisi *nonstoichiometry* ZnO ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Kristal *zinc oxide*

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

## 2.4 Material Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Aluminium (Al) merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistem periodik, dengan nomor atom 13 dan massa atom 26,98 u. Struktur kristal aluminium adalah *face center cubic* (FCC). Al merupakan logam yang bersifat memantulkan cahaya datang dan reflektansinya cukup tinggi di daerah cahaya tampak. Aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) merupakan material yang memiliki band gap lebar, serta memiliki sifat optik dan listrik yang baik (Kim *et al.*, 2007). Nilai band gap film tipis Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sekitar 4,7 eV (Yazdanmehr *et al.*, 2012).

Material Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki karakteristik sifat fisis yang menarik, sehingga banyak dilakukan penelitian pada material tersebut. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan bahan yang

menjanjikan karena mempunyai keuntungan, seperti ion  $\text{Al}^{3+}$  mempunyai jejari yang lebih kecil daripada ion  $\text{Zn}^{2+}$  sehingga dapat menyisip ke dalam kristal  $\text{ZnO}$  (Kuo *et al.*, 2010).

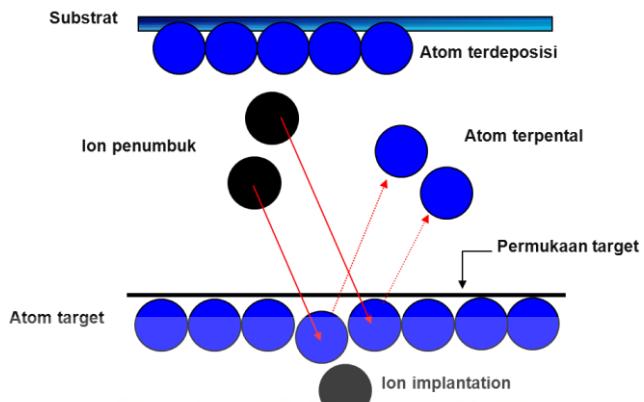
Film tipis  $\text{ZnO}$  tanpa doping yang ditumbuhkan dengan *RF magnetron sputtering* mempunyai transmitansi yang tinggi sekitar 90% dalam rentang panjang gelombang cahaya tampak 400-800 nm (Yang *et al.*, 2009), ini menunjukkan film tipis  $\text{ZnO}$  dapat diaplikasikan sebagai bahan TCO. Namun, sifat listrik film tipis  $\text{ZnO}$  tanpa doping kurang baik yaitu konduktivitas listriknya rendah sekitar  $8,92 \times 10^{-7} \Omega\text{-cm}^{-1}$  (Wahyuningsih, 2013). Perlu adanya perlakuan tertentu untuk menaikkan nilai konduktivitas listrik film tipis  $\text{ZnO}$  tanpa doping. Film tipis  $\text{ZnO}$  didoping dengan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan tujuan menaikkan nilai konduktivitas listrik film tersebut.

Aluminium oksida melindungi material dibawahnya dari proses oksidasi sehingga tidak menurunkan nilai material yang dilapisi. Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) juga merupakan material yang memiliki *band gap* lebar, serta memiliki sifat optik dan listrik yang baik (Kim *et al.*, 2007).

## 2.5 Sputtering

Sputtering merupakan proses penembakan partikel-partikel (atom-atom atau ion-ion) berenergi tinggi pada sebuah target sehingga atom-atom individu memperoleh energi yang cukup tinggi untuk melepaskan diri dari permukaan target.

Proses sputtering pada permukaan target ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses *sputtering* pada permukaan target

Proses sputtering diawali dengan proses ionisasi gas-gas *sputter* seperti Ar (argon), Xe (xenon), Kr (kripton), Ne (neon) maupun He (helium). *Sputtering* merupakan proses penembakan partikel-partikel (atom-atom atau ion-ion) berenergi tinggi pada sebuah target sehingga atom-atom individu memperoleh energi yang cukup tinggi untuk melepaskan diri dari permukaan target. Atom-atom yang tersputter terhambur kesegala arah, kemudian difokuskan pada substrat untuk membentuk film tipis (Sudjatmoko, 2003).

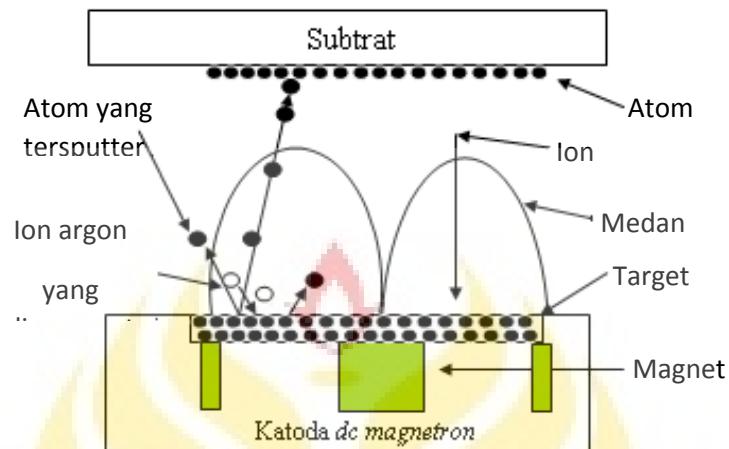
*Sputtering* dapat melapiskan berbagai jenis logam maupun paduan logam (*metal alloy*) atau non logam pada substrat sehingga sputtering banyak dipakai sebagai langkah utama untuk membuat lapisan tipis (*thin film layer*). Proses deposisi film tipis menggunakan sistem sputtering diindikasikan dengan terlihatnya plasma atau *glow discharge* secara visual. Timbulnya plasma bergantung pada nilai tekanan gas dan daya yang diberikan dalam sistem sputtering. Hasil deposisi berupa ketebalan film yang terbentuk pada substrat. Ketebalan film berbeda-beda untuk setiap jenis bahan pelapis yang digunakan dalam waktu deposisi yang sama, karena setiap jenis pelapis mempunyai sifat dan massa partikel penyusun yang berbeda.

Teknik sputtering memiliki beberapa kelebihan, antara lain: film yang terbentuk mempunyai komposisi yang serupa dengan bahan target, kualitas, struktur dan keseragaman hasil film dikendalikan oleh tingkat homogenitas target, mempunyai rapat arus yang besar sehingga memungkinkan terjadinya laju deposisi yang tinggi, dan lapisan yang terbentuk mempunyai kekuatan rekat yang tinggi terhadap permukaan substrat (Sudjatmoko, 2003).

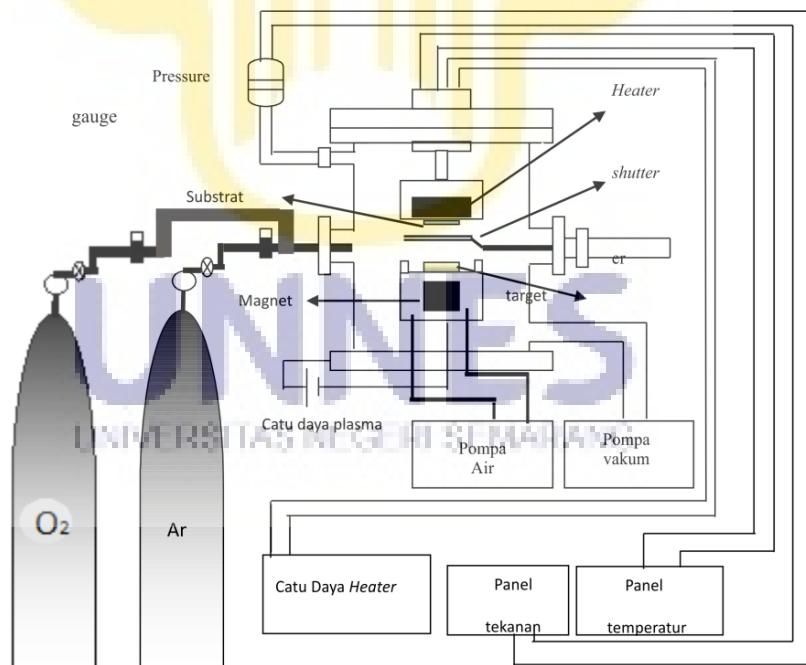
## 2.6 Sistem *DC magnetron sputtering*

Film tipis ditumbuhkan dengan menggunakan berbagai teknik, teknik penumbuhan film tipis paling sederhana adalah dengan metode *DC magnetron sputtering*. Sistem *DC magnetron sputtering* terdiri dari sepasang elektroda planar. Elektroda adalah katoda dingin dan lainnya adalah anoda. Gambar 2.3 menunjukkan skema reaksi dalam *DC magnetron sputtering*. Pada bagian katoda dipasang sebuah bahan target sedangkan substrat dipasang di anoda. Apabila tabung sputter diisi dengan gas argon (Ar) dan pada elektroda dipasang beda potensial, maka antara elektroda terjadi lucutan pijar (*glow discharge*). Gas argon yang melalui ruang antara elektroda dipecah menjadi plasma yang mengandung elektron (*e*), ion Ar. Atom-atom permukaan target yang tertumbuk keluar akan menempel pada permukaan substrat sehingga terbentuk film tipis. *DC magnetron sputtering* 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. Jumlah ion-ion yang ditarik ke permukaan target menjadi

lebih banyak. Semakin banyak ion-ion yang menumbuk target, hasil sputtering semakin meningkat.



Gambar 2.3 Skema reaksi dalam *DC magnetron sputtering* (Joshi, 2003).



Gambar 2.4 Sistem reaktor *DC magnetron sputtering*

Sistem *DC magnetron sputtering* merupakan modifikasi dari sistem *DC sputtering* dengan menambahkan sistem magnet. Gambar 2.4 menunjukkan sistem

*DC magnetron sputtering* yang 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.

## 2.7 Struktur Film Tipis

Struktur film tipis yang terbentuk pada proses *sputtering* bersifat mikro. Struktur mikro film tipis ditunjukkan oleh besar butiran kristal (*grain size*) dan tebal tipisnya lapisan yang terbentuk. Kristal merupakan zat padat yang memiliki susunan atom teratur. Partikel kristal tersusun secara berulang dan teratur dengan rentang perulangannya panjang. Struktur kristal terdapat pada hampir semua logam dan mineral. Satu struktur kristal dibangun oleh sel unit, sekumpulan atom yang tersusun secara khusus dan berulang secara periodik dalam tiga dimensi pada tiap kisi. Struktur dan simetri zat padat menentukan sifat-sifatnya, seperti struktur pita energi dan sifat optiknya.

Struktur lapisan film bergantung pada perlakuan penumbuhan, seperti temperatur, target dan energi dopan, topografi susbtrat dan tekanan aliran gas dalam proses penumbuhan film tipis. Parameter tersebut mempengaruhi mobilitas permukaan atom yang terabsorpsi. Butiran lateral yang besar pada film tipis terbentuk pada temperatur tinggi yang diakibatkan mobilitas permukaan yang tinggi.

Ukuran butir lateral diharapkan meningkat dengan berkurangnya nilai konsentrasi larutan tekanan uap di atas yang diperlukan untuk berkondensasi menjadi fase padatan pada kondisi kesetimbangan termodinamika, serta diharapkan

dapat meningkatkan mobilitas permukaan atom-atom terabsorpsi. Film tipis dengan butiran-butiran besar terbentuk pada temperatur substrat tinggi yang diakibatkan mobilitas permukaan yang tinggi.

## 2.8 Sifat Optik

Sifat optik lapisan film tipis suatu bahan dapat menentukan karakteristik film tersebut yang dapat ditunjukkan dengan bagaimana interaksi film dengan cahaya. Ketika cahaya mengenai suatu bahan maka sebagian akan diserap, dipantulkan dan ditransmisikan. Nilai transmitansi film tipis diperoleh dalam bentuk spektrum transmitansi (%) terhadap panjang gelombang ( $\lambda$ ).

Transmitansi berupa perbandingan antara intensitas cahaya setelah dan sebelum melewati material semikonduktor (film tipis ZnO doping Al) yang dinyatakan dalam persamaan (2.1) :

$$T = \frac{I}{I_0} \times 100\% \quad (2.1)$$

dengan  $T$  adalah transmitansi material semikonduktor (%). Intensitas radiasi berkurang secara eksponensial terhadap ketebalan film sehingga persamaan (2.1) dapat dinyatakan dalam persamaan (2.2) :

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\alpha b} \quad (2.2)$$

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

Berdasarkan data energi cahaya dan besarnya koefisien absorpsi optik, dapat dibuat grafik hubungan antara energi cahaya terhadap kuadrat dari koefisien

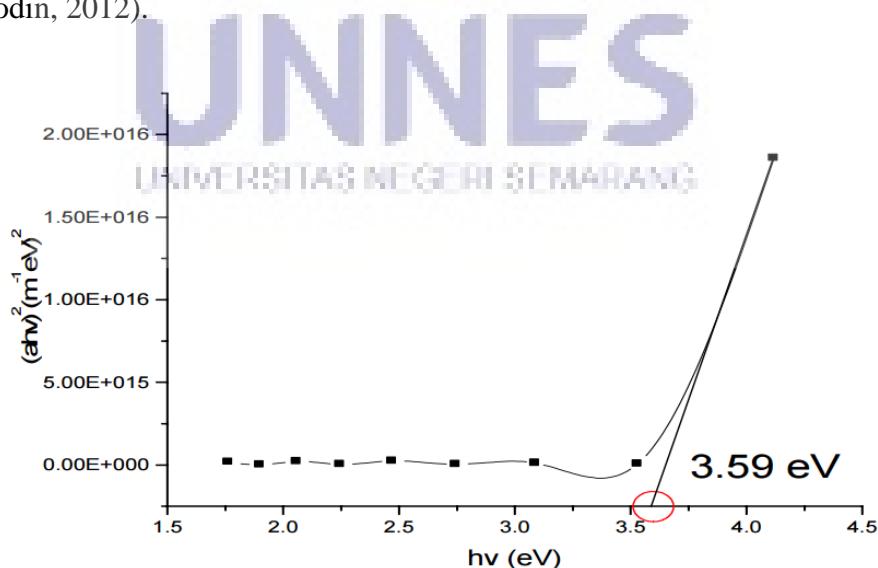
absorpsi ( $\propto^2$ ), yang selanjutnya disebut sebagai grafik absorpsi, dengan kurva grafik absorpsi ini dapat ditentukan nilai *band gap*.

Material semikonduktor dengan celah pita energi langsung (*direct band gap*) memiliki hubungan sederhana antara  $\propto$  dan  $hv$ , khususnya pada energi foton yang hampir setara dengan nilai celah pita energi semikonduktor. Pada jangkauan energi tersebut koefisien absorpsi memenuhi persamaan (2.3) :

$$(\propto hv)^2 = A (hv - E_g) \quad (2.3)$$

dengan  $E_g$  adalah lebar celah pita energi (energi gap) dan  $A$  adalah konstanta yang terkait dengan sifat pita energi.

Lebar celah pita energi dapat ditentukan menggunakan metode *Tauc Plot* yaitu dengan cara melakukan ekstrapolasi dari grafik hubungan energi foton,  $hv$  sebagai absis dan  $(\propto hv)^2$  sebagai ordinat hingga memotong sumbu energi. Perpotongan tersebut merupakan nilai celah pita energi. Gambar 2.5 adalah contoh penentuan celah pita energi film tipis  $\text{TiO}_2$  menggunakan metode *Tauc Plot* (Bilalodin, 2012).



Gambar 2.5. Penentuan celah pita energi  $\text{TiO}_2$  dengan metode *Tauc Plot* (Bilalodin, 2012)

Berbeda dengan semikonduktor yang memiliki *indirect band gap*, hubungan antara koefisien absorpsi dengan frekuensi cahaya dapat didekati dengan persamaan

$$(\propto h\nu)^{1/2} = A (h\nu - E_g) \quad (2.4)$$

Penentuan besarnya celah pita energi (*band gap*) dari pengukuran absorpsi optik dipengaruhi oleh beberapa hal. Pengaruh yang pertama adalah terbentuknya *band tail* atau energi urbach. Energi urbach terjadi karena adanya keadaan terlokalisasi (*localized states*) pada *band gap* sebagai akibat dari keacakan struktur penyusun film dan ditambah dengan adanya konsentrasi doping yang tinggi (Caricato *et al.*, 2010) atau cacat kristal dan tergabung dalam pita konduksi dan pita valensi. Efek ini menghasilkan tepi eksponensial pada bahan semikonduktor.

## 2.9 Sifat Listrik

Sifat listrik film tipis dapat diketahui dari resistivitas, konduktivitas, dan jenis pembawa muatannya. Konduktivitas merupakan kemampuan suatu material dalam mengalirkan panas atau listrik. Bahan semikonduktor mempunyai dua jenis pembawa muatan yaitu elektron dan *hole*. Ketika medan listrik diberikan pada suatu material, elektron dalam material tersebut akan mengalir berlawanan dengan arah medan dan membawa arus listrik, sedangkan *hole* mengalir searah dengan medan.

Konduktivitasnya dinyatakan sebagai berikut (Kittel, 1996) :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = nq\mu \quad \text{atau} \quad \rho = \frac{1}{nq\mu} \quad (2.5)$$

dimana  $\sigma$  adalah konduktivitas dan  $\rho$  adalah resistivitas tergantung pada pembawa muatan  $n$ , besar muatan  $q$  (-e untuk elektron dan +e untuk *hole*), dan mobilitas

pembawa muatan  $\mu$ . Hantaran listrik pada bahan semikonduktor intrinsik dipengaruhi oleh elektron dan lubang (hole), sehingga konduktivitasnya adalah:

$$\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p) \quad \text{Atau} \quad \rho = \frac{1}{q(n\mu_e + p\mu_h)} \quad (2.6)$$

## 2.10 Oksidasi Film Tipis pada Proses *Annealing*

Proses *annealing* yaitu proses pemanasan material sampai temperatur tertentu. Kemudian proses tersebut ditahan beberapa waktu kemudian pendinginannya dilakukan perlakan-lahan di dalam tungku. Keuntungan yang didapat dari proses ini diantaranya: menurunkan kekerasan, memperbaiki sifat mekanik, menurunkan atau menghilangkan ketidak homogenan struktur, dan memperhalus ukuran butir.

Penumbuhan film tipis menggunakan metode sputtering biasanya terdapat kekosongan oksigen atau *interstitial* dalam film, sehingga akan merusak stoikiometri. Film tipis ZnO doping Al mempunyai sifat listrik yang baik dibandingkan dengan ZnO tanpa doping. Untuk diaplikasikan sebagai TCO, ZnO doping Al selain mempunyai sifat listrik yang baik juga harus mempunyai transparansi yang baik sekitar 85% (Amara, 2014). Dalam penumbuhan ZnO doping Al didapatkan transparansi yang kurang baik. Penambahan oksigen dapat digunakan untuk memperbaiki transparansi film ZnO doping Al.

Penambahan oksigen dapat digunakan untuk memperbaiki stoikiometri film dan mengisi kekosongan oksigen sekaligus memperbaiki struktur kristal film. Penambahan oksigen pada saat *sputtering* dan *annealing* setelah pelapisan akan mengakibatkan atom-atom bebas bahan akan semakin berkurang yang dapat mengakibatkan lapisan tipis menjadi transparan (Muslimin, 2011). Hal ini dapat

digunakan untuk menurunkan cacat kristal dengan menggunakan oksigen sebagai donor dan menunjukkan karakteristik tipe-*n* film ZnO (Tatsumi *et al.*, 2004).



## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Simpulan

Film tipis ZnO doping Al didepositikan di atas substrat *corning glass* dengan menggunakan metode *DC magnetron sputtering* telah berhasil dilakukan. Hasil karakterisasi XRD film tipis ZnO doping Al menunjukkan bahwa film tipis yang didepositikan mempunyai struktur heksagonal dengan puncak difraksi dominan sesuai orientasi bidang (002) dan (101). Bidang orientasi (002) digunakan sebagai aplikasi *windows layer* sel surya dan bidang (101) dapat diaplikasikan sebagai *photoanoda single layer* dan *double layer* pada *Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*. Pemberian tekanan oksigen film tipis ZnO doping Al pada proses *annealing* memperbaiki kualitas kristal film yang dihasilkan dan optimum pada tekanan oksigen 100 mTorr, hal ini dibuktikan dengan nilai FWHM film tipis ZnO doping Al paling kecil sebesar  $0,37^\circ$ .

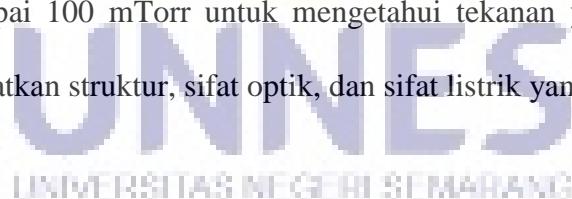
Hasil karakterisasi sifat optik film tipis ZnO doping Al menggunakan UV-Vis menunjukkan bahwa nilai transmitansi film tipis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen pada proses *annealing* sebesar 81,27%. Nilai energi *band gap* yang dihasilkan film tipis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen pada proses *annealing* berbeda, perbedaan nilai energi *band gap* tidak terlalu signifikan dan masih termasuk dalam rentang energi *band gap* untuk bahan TCO, sehingga film

yang dihasilkan dapat diaplikasikan sebagai bahan TCO atau *window layer* pada sel surya.

Hasil karakterisasi dari sifat listrik film tipis ZnO doping Al menggunakan I-V meter menunjukkan bahwa variasi tekanan oksigen yang diberikan pada proses *annealing* dapat mempengaruhi nilai resistivitas dari film tipis ZnO doping Al yang dihasilkan. Nilai resistivitas film tipis ZnO doping Al paling kecil dihasilkan oleh film tipis ZnO doping Al dengan tekanan oksigen pada proses *annealing* 50 mTorr yaitu sebesar  $1,28 \times 10^4 \Omega.cm$ .

## 5.2 Saran

Untuk mendapatkan struktur dan sifat optik yang baik film tipis ZnO doping Al dapat di *annealing* pada lingkungan oksigen dengan tekanan 100 mTorr, sedangkan untuk mendapatkan sifat listrik yang baik film tipis ZnO doping Al di *annealing* pada lingkungan oksigen dengan tekanan 50 mTorr. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan proses *annealing* di lingkungan oksigen pada tekanan antara 50 mTorr sampai 100 mTorr untuk mengetahui tekanan yang paling optimum sehingga didapatkan struktur, sifat optik, dan sifat listrik yang baik.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., & Khairurrijal. 2009. Review Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, vol. 2, No. 1,165-169.
- Ajimsha, R.S, A.K. Das, B.N. Singh, P. Misra, & L.M. Kukreja. 2010. Structural, Electrical and Optical Properties of Dy Doped ZnO Thin films Grown by Buffer Assisted Pulsed Laser Deposition. Elsevier. *Physica*, E 42, 1838–1843.
- Amara S., Bouafia M., 2014. Investigation On Optical, Structural and Electrical Properties of Annealed AZO/Al/AZO Multilayer Structures Deposited by DC Magnetron Sputtering. *J Mater Sci : Mater Electron*, vol. 26 (3).
- Bao Ma, Q, Z-Zhen Ye, H-P. He, L-P.Zhu, B-H. Zhao. 2007. Effect of Deposition Pressure on the Properties of Transparent Conductive ZnO:Ga Films Prepared by DC Reactive Magnetron Sputtering. *Materials Science in Semiconductor Processing*, (10): 167-172.
- Belkhalfa, H., H. ayed, A. Hafdallah, M.S. Aida, R. T. Ighil. 2016. Characterization and Studying of ZnO Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis : Effect of Annealing Temperature. Elsevier. *Optics*, 127 2336-2340.
- Benramache, S., B. Benhaoua, H. Bentrah. 2013. Preparation of Transpatent Conductive ZnO:Co and ZnO:In Thin Films by Ultrasonic Spray Method. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 3: 54.
- Bilalodin. 2012. Pembuatan dan Penentuan Celah Pita Optik Film Tipis TiO<sub>2</sub>. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*, ISSN 0853-0823, 86-89. Purwokerto: Universitas Soedirman.
- Cao, H.T, Z.L. Pei, J. Gong, C. Sun, R.F. Huang, & L.S. Wen. 2004. Preparation and Characterization of Al and Mn Doped ZnO (ZnO: (Al, Mn)) Transparent Conducting Oxide Films. Elsevier. *Journal of Solid State Chemistry*, 177, 1480–1487.
- Caricato, A. P., M. Cesaria, A. Luches, M. Martino, G. Maruccio, D. Valerini, M. Catalano, A. Cola, M. G. Manera, M. Lomascolo, A. Taurino, & R. Rella. 2010. Electrical and Optical Properties of ITO and ITO/Cr-doped ITO Films. Springer. *Appl Phys A*, 101: 753-758 DOI 10.1007/s00339-010-5988-2.
- Cho H. J., Lee S. U., Hong B., Shin Y. D., Ju J. Y., Park M., Choi W. S., Kim H. D. 2010. The effect of annealing on Al-doped ZnO films deposited by RF

- magnetron sputtering method for transparent electrodes. *Thin Solid Films*, 518, 2941–2944.
- Dengyuan, Song. 2005. *Zinc Oxide TCOs (Transparent Conductive Oxides) And Polycrystalline Silicon Thin-Films For Photovoltaic Applications*. Tesis Doktor. University of New South Wales.
- Faizal, R. 2016. *Pengaruh Tekanan Oksigen Setelah Deposisi terhadap Sifat Film Tipis ZnO Doping Ga yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Fatiyatun. 2015. *Pengaruh Suhu Deposisi terhadap Sifat Fisis Film Tipis ZnO doping Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Metode dc Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Firmaningsih. 2015. *Pengaruh Fraksi Mol Alumunium Oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) terhadap Sifat Listrik dan Sifat Optik Film Tipis Zinc Oxide (ZnO) dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Gahtar A., A. Rahal, B. Benhaoua, S. Benramache. 2014. A Comparative Study on Structural and Optical Properties of ZnO and Al-doped ZnO Thin Films Obtained by Ultrasonic Spray Method Using Different Solvents. Elsevier. *Optik*, 125, 3674–3678.
- Ghosh T. & D. Basak. 2011. Effect of oxygen flow rate and radio-frequency power on the photoconductivity of highly ultraviolet sensitive ZnO thin films grown by magnetron sputtering. *Materials Research Bulletin*, 46: 1975–1979.
- Goldsmith, S. 2006. Filtered Vacuum ARC Deposition of Undoped and Doped ZnO Thin Films: Electrical, Optical, and Structural Properties. *Surface & Coatings Technology*, 201, 3993–3999.
- Guillen C, J. Herrero. 2010. Optical, electrical and structural characteristics of Al:ZnO thin films with various thicknesses deposited by DC sputtering at room temperature and annealed in air or vacuum. *Departamento de Energi'a, CIEMAT, Av. Complutense 22, 28040 Madrid, Spain*.
- Hsu, C.W., T.C. Cheng, C.H. Yang, Y.L. Shen, J.S. Wu, S.Y. Wu. 2011. Effects of oxygen addition on physical properties of ZnO thin film grown by radio frequency reactive magnetron sputtering. *Journal of Alloys and Compounds*, 509: 1774–1776.
- Huang, C.H., D.Y. Chen, C.Y. Hsu. 2012. Influence of deposition parameters and annealing treatment on the properties of GZO films grown using rf magnetron sputtering. *Ceramics International*, 38: 1057–1063.

- Huang, Chien-Sheng and Ching-Chun Liu. 2015. The optical and electrical properties of gallium-doped ZnO thin film with post-annealing processes of various atmospheres. *Microelectronic Engineering*, 148: 59–63.
- Ilican, S., Y. Caglar, & M. Caglar. 2008. Preparation and Characterization of ZnO Thin Films Deposited by Sol-Gel Spin Coating Method. *Journal of Optoelectronic and Advance Material*, vol. 10, pp. 2578-2583.
- Ismail, A. & Abdullah, M.J. 2013. The structural and optical properties of ZnO thin films prepared at different RF sputtering power. *Journal of King Saud University – Science*, Vol. 25, pp.209–215.
- Jannah, R. 2016. *Pengaruh Temperatur Annealing terhadap Struktur, Sifat Listrik dan Sifat Optik Film Tipis Zinc Oxide Doping Aluminium (ZnO:Al) dengan Metode DC magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Jiang, J., Y. Xue, H. He, Y. Jin, B. Lu, H. Cao, S. Bai, Z. Ye. 2013. Effect of Oxygen Plasma Treatment on The surface Properties of Ga-doped ZnO Thin Film. *Applied Physics A Materials Science and Processing*, Vol. 114 (2), p509-513.
- Joshi, C. 2003. *Characteristization and Corrosion of BCC-Tantalum Coating Deposited on Aluminium and Steel Substrat by dc Madnetron Sputtering*. Thesis. New Jersey: New Jersey Institute of Technology Press.
- Kim, C.E., P. Moon, S. Kim, J.M. Myoung, H.W. Ja ng, J. Bang, & I. Yun. 2010. Effect of Carrier Concentration on Optical Bandgap Shift in ZnO:Ga Thin Films. *Thin Solid Films*, 518: 6304–6307.
- Kim, D.S., J.H. Park, S.J. Lee, K.J. Ahn, M.S. Lee, M.H. Ham, W. Lee, J.M. Myoung. 2013. Effects of oxygen concentration on the properties of Al-doped ZnO transparent conductive films deposited by pulsed DC magnetron sputtering. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 16: 997–1001.
- Kim, Do-Hyun, Hoonha Jeon, Gheumchae Kim, Suejeong Hwang Boe, Ved Prakash Verma, Wonbong Choi, & Minhyon Jeon. 2007. Comparison of the Optical Properties of Undoped and Ga-doped ZnO Thin Films Deposited using RF Magnetron Sputtering at Room Temperatur. Elsevier. *Optics Communications*, 281, 2120-2125.
- Kim, K.H., S.M.Kim, Y.S. Rim, M.J. Keum. 2008. Study on The Electrical and Optical Properties of ITO and AZO Thin Film by Oxygen Gas Flow rate. *J Electroceram*, 23 : 341-345.
- Kittel, Charles. 1996. *Introduction to Solid State Physics*. United States of America: Jhon wiley & sons, inc.
- Kuo, Shou-Yi, Kou-Chen Liu, Fang-I Lai, Jui-Fu Yang, Wei-Chun Chen, Ming-Yang Hsieh, Hsin-I Lin, & Woei-Tyng Lin. 2010. Effect of RF Power on

- the Structural, Optical and Electrical Properties of Al-doped Zinc Oxide Fillms. Elsevier. *Microelektronics Reliability*, (50), 730-733.
- Kuo, Shou-Yi, Wei-Chun Chen, Fang-I Lai, Chin-Pao Cheng, Hao-Chung Kuo, Shing-Chung Wang, & Wen-Feng Hsieh. 2006. Effects of Doping Concentration and Annealing Temperatur on Properties of Highly-Oriented Al-Doped ZnO Films. Elsevier. *Journal of Crystal Growth*, 287 78–84.
- Lee, C., S.K. Hwang, S. Kim, W.I. Lee, E.H. Lee. 2007. Dependence of Resistivity and The Transmittance of Sputter-Deposited Ga-doped ZnO Films on Oxygen Partial Pressure and Sputtering Tempetature. *J Mater Sci*, 42 : 4845-4849.
- Li, Ying, Huang Qin, Xiaofang Bi. 2013. Stress Dependent Properties of Ga-Doped ZnO Thin Films Prepared by Magnetron Sputtering. *Journal Mater Sci*, 24. 79-84.
- Liewhiran, C. & S. Phanichphant. 2007. Improvement of Flame-made ZnO Nanoparticulate Thick Film Morphology for Ethanol Sensing. *Sensors*, 7, 650-675 ISSN 1424-8220.
- Lupan, O., T. Pauporte, L. Chow, B. Viana, F. Pelle, L.K. Ono, B.R. Cuenya, & H. Heinrich. 2010. Effects of annealing on properties of ZnO thin films prepared by electrochemical deposition in chloride medium. *Applied Surface Science*, Vol. 256, pp.1895–1907.
- Minami, T., Satoshi Ida, Toshihiro Miyata, & Youhei Minamino. 2003. Transparent Conducting ZnO Thin Films Deposited by Vacum ARC Plasma Evaporation. Elsevier. *Thin Solid Films*, 445, 268-273.
- Muslimin, 2011. Pengaruh Kadar Oksigen, Laju Deposisi dan Annealing terhadap Struktur Mikro Lapisan Tipis Indium Tin Oxide. *Jurnal ILMU DASAR*, Vol. 12 No. 1, Januari 2011 : 57 – 61.
- Park, Jong Pil, Sin Kyu Kim, Jae-Young Park, Kang Min Ok, & II-Wun Shim. 2009. Preparation of ZnO Thin Films Using ZnO-Containing Single Precursor Through MOCVD Method. *Bull. Korean Chem. Soc.* Vol. 30, No. 1.
- Rahmane, S., M.A. Djouadi, M.S. Aida, & N. Barreau. 2014. Oxygen Effect in Radio Frequency magnetron Sputtered Aluminium doped Zinc Oxide Film. *Thin Solid Film*, Vol.562, pp.70-74.
- Ramos-Barrado, J.R., R. Ayouchi, F. Martin, & D. Leinen. 2003. Growth of pure ZnO thin films prepared by chemical spray pyrolysis on silicon. *Journal of Crystal Growth*, Vol. 247, pp.497–504.
- Rao, T.P., M.C. Santhosh Kumar, N. Sooraj Hussain. 2012. Effects of thickness and atmospheric annealing on structural, electrical and optical properties of

- GZO thin films by spray pyrolysis. *Journal of Alloys and Compounds*, 541: 495–504.
- Saleem, M., L. Fang, A. Wakeel, M. Rashad, & C.Y. Kong. 2012. Simple preparation and characterization of nano-crystalline zinc oxide thin films by sol-gel method on glass substrate. *World Journal of Condensed Matter Physics*, Vol. 2, pp.10–15.
- Saleh, W.R., N.M. Saeed, W.A. Twej, & M. Alwan. 2012. Synthesis Sol-Gel Derived Highly Transparent ZnO Thin Films for Optoelectronic Applications. *Advances in Materials Physics and Chemistry*, vol.2, pp. 11-16.
- Schroder, K. D. 2006. *Semiconductor Material and Device Characterization*. Canada: Jhon Wiley & Sons, inc.
- 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.
- Sim, Kyu Ung, Seung Wook Shin, A.V. Moholkar, Jae Ho Yun, Jong Ha Moon, & Jin Hyeok Kim. 2010. Effect of dopant (Al, Ga, and In) on the Caracteristics of ZnO Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering System. Elsevier. *Current Applied Physics*, 10, 5463-5467.
- Suchea, M., S. Christoulakis, N. Katsarakis, T. Kitsopoulos, & G. Kiriakidis. 2007. Comparative Study of Zinc Oxide and Aluminum Doped Zinc Oxide Transparent Fhin Films Grown by Direct Current Magnetron Sputtering. Elsevier. *Thin Solid Films*, 515, 6562-6566.
- Sudjatmoko. 2003. *Teknologi Sputtering (Diktat Kuliah Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan)*. Yogyakarta: Penerbit BATAN.
- Suprayogi Dwi. 2014. *Pengaruh Doping Galium Oksida pada Karakteristik Film Tipis Seng Oksida Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Suryanarayana C & M.Grant Norton. 1998. *X-ray Diffraction A Partical Approach*. New York: plenum Press.

- Syukron, A., D.D. Risanti, D. Sawitri. 2013. Pengaruh preparasi Pasta dan Temperatur Annealing pada Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopartikel ZnO. *Jurnal Teknik Pamits*, vol 2. No 2. ISSN : 2337-3539.
- Tatsumi, T., M. Fujita, N. Kawamoto, M. Sasajima and Y. Horikoshi, *Jpn. J. Appl. Phys., Part 1*, 43, 2602 \_2004.
- Usriyah, F. 2016. *Pengaruh Temperatur Annealing terhadap Sifat Film Tipis ZnO:Ga dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Wahyuningsih, Kiki. 2013. *Konduktivitas dan Transmitansi Film Tipis Zinc Oxide yang Dideposikan pada Temperatur Ruang*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Wirjoadi & Bambang Siswanto. 2008. *Sifat Optik, Struktur Kristal dan Struktur Mikro Lapisan Tipis ZnO:Al pada Substrat Kaca sebagai Bahan TCO*. Yogyakarta: Penerbit BATAN.
- Wu, H.W., Y.M. Lin, C.H. Chu, J.L. Huang. 2015. Study of AZO Thin Film Under Different Annealing Atmosphere on Structural, Optical and Electrical Properties by rf Magnetron Sputtering. *Proceeding of The International Multi Conference of Engineers and Computer Scienties Vol.II*. Hong Kong : IMECS.
- Wu, M., S.Yu, L. Hea, G. Zhang, D. Ling, W. Zhang. 2014. Influence of oxygen pressure on the structural, electrical and optical properties of Nb-doped ZnO thin films prepared by pulsed laser deposition. *Applied Surface Science*, 292: 219– 224.
- Yang, Weifeng, Zhuguang Liu, Dong-Liang Peng, Feng Zhang, Huolin Huang, Yannan Xie, & Zhengyun Wu. 2009. Room-Temperature Deposition of Transparent Conducting Al-Doped ZnO Films by RF Magnetron Sputtering Method. Elsevier. *Applied Surface Science*, 255, 5669-5673.
- Yanti. 2013. *Penumbuhan dan Karakterisasi Sifat Fisis Film Tipis ZnO doping Al dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Yazdanmehr, Mohse, Saeis Jalali Asadabadi, Abolghasem N., M. Ghasemzadeh. 2012. Electronic Structure and Bandgap of  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Compound using mBJ Exchange Potential. Springer. *Nanoscale Research Letters*, 7:488.
- Zhang C., X. Li, J. Bian, W. Yu, X. Gao. 2004. Structural and electrical properties of nitrogen and aluminum codoped p-type ZnO films. Elsevier. *Solid State Communications*, 132, 75–78.

Zhao, J., Hu, L., Wang, Z., Chen, J., Zhao, J., Fan, Z. and Wu, G. 2007. Growth and photoluminescence of ZnO thin films on Si (1 1 1) by PLD in oxygen adequate ambient. *Vacuum*, Vol. 81, pp.1035–1039.

Zhao, L., G. Shao, S. Song, X. Qin, S. Han. 2011. Development on Transparent Conductive ZnO thin Films Doped with Various Impurity Elements. *Rare Metal*, vol. 30, No. 2, p. 175.

Zhou, Hong-ming, Dan-qing Yi, Zhi-ming Yu, Lai-rong Xiao, & Jian Li. 2007. Preparation of Aluminum Doped Zinc Oxide Films and The Study of Their Microstructure, Electrical and Optical Properties. Elsevier. *Thin Solid Films*, 515, 6909–6914.

