



**PENGARUH DURASI *ANNEALING* TERHADAP STRUKTUR, SIFAT
OPTIK, DAN SIFAT LISTRIK FILM TIPIS ZnO:Al DENGAN
METODE *DC MAGNETRON SPUTTERING***

Skripsi
disusun dalam rangka penyelesaian Studi Strata 1
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

oleh
Nur Arina Firmahaya
4211414002

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

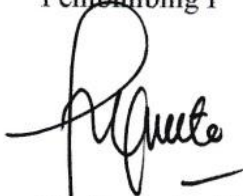
2018

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “Pengaruh Durasi *Annealing* terhadap Struktur, Sifat Optik, dan Sifat Listrik Film Tipis ZnO:Al dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*” telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 14 November 2018

Pembimbing I



Dr. Sugianto, M.Si.
NIP. 19610219 199303 1 001

Pembimbing II



Dr. Budi Astuti, M.Sc.
NIP. 19790216 200501 2 001

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini ditulis berdasarkan hasil karya saya, bebas plagiat maupun hasil karya orang lain, baik sebagian maupun seluruhnya. Pendapat maupun temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, 14 November 2018

Penulis,



Nur Arina Firmahaya
4211414002

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Pengaruh Durasi *Annealing* terhadap Struktur, Sifat Optik, dan Sifat Listrik Film Tipis ZnO:Al dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*” disusun oleh

Nur Arina Firmahaya

4211414002

telah dipertahankan dihadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang pada tanggal 21 November 2018.



Panitia
Ketua

Prof. Dr. Sudarmin, M.Si.
NIP. 19660123 199203 1 003

Ketua Penguji

Dr. Sulhadi, M.Si.
NIP. 19710816 199802 1 001

Anggota Penguji
Pembimbing Utama

Dr. Sugianto, M.Si.
NIP. 19610219 199303 1 001

Sekretaris

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

Pembimbing Pendamping

Dr. Budi Astuti, M.Sc.
NIP. 19790216 200501 2 001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan” (Al-Insyirah:5)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(Al-Baqarah:286)

“Bersabarlah kamu dan kuatkanlah kesabaranmu dan tetaplah bersiap siaga dan bertawakallah kepada Allah agar kamu beruntung” (Al-‘Imran:200)

PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk:

Bapak Juli Tarwoko dan Ibu Sumiati

Adik saya Niara Abi Kharisma

Feri Diyanto

Keluarga besar saya

PRAKATA

Bismillahirrohmaanirrohiim

Syukur alhamdulillah kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **Pengaruh Durasi *Annealing* terhadap Struktur, Sifat Optik, dan Sifat Listrik Film Tipis ZnO:Al dengan Metode *DC Magnetron Sputtering***. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan orang-orang yang mengikuti risalah beliau hingga akhir zaman.

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

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum. selaku Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Sudarmin, M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si. selaku Ketua Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
5. Dr. Sugianto, M.Si. selaku pembimbing utama dan dosen wali yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran selama penelitian dan penyusunan skripsi.

6. Dr. Budi Astuti, M.Sc. selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran selama penelitian dan penyusunan skripsi.
7. Dr. Sulhadi, M.Si. selaku penguji skripsi yang telah memberikan arahan dan saran dalam penyusunan skripsi.
8. Bapak Rodhotul Muttaqin dan Ibu Natalia Erna S. selaku teknisi laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang yang telah membantu selama proses karakterisasi sampel skripsi.
9. Keluarga *Thin Film Laboratory*, Mas Agus Andi Wibowo, Lana Khanifah, Ida Maftuchah, Rini Murtafiatin, dan Priyandika Dwi Rizaldi atas kebersamaannya selama penelitian.
10. Teman-teman Fisika 2014 atas motivasi dan semangat selama menjalani perkuliahan sampai penelitian skripsi.
11. Teman-teman Kost Adem Ayem, Dini, Andin, Erma, Ibad, Mita, Nimas, Lusi dan teman-teman Family Kost, Pungki, Lana, Mba Vera, Mba Ade atas semangat dan motivasinya.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang membantu saya menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari dan meminta maaf apabila dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna karena kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Semoga skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan manfaat bagi kita semua. Aamiin.

Semarang, 14 November 2018

Penulis

ABSTRAK

Firmahaya, N.A. 2018. *Pengaruh Durasi Annealing terhadap Struktur, Sifat Optik, dan Sifat Listrik Film Tipis ZnO:Al dengan Metode DC Magnetron Sputtering.* Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I: Dr. Sugianto, M.Si., dan Pembimbing II: Dr. Budi Astuti, M.Sc.

Kata kunci: ZnO:Al, Annealing, DC Magnetron Sputtering, XRD, Photoluminescence, I-V meter.

Film tipis ZnO:Al dideposisikan di atas substrat *preparation glass* dengan metode *DC Magnetron Sputtering*. Film tipis tersebut dideposisikan dengan tekanan argon 500 mTorr, daya plasma 40 watt pada temperatur 400°C, dan dalam durasi penumbuhan 120 menit. Film tipis yang dihasilkan kemudian di *annealing* dengan variasi durasi *annealing* 0 dan 50 menit pada temperatur *annealing* 300°C. Hasil karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan masing-masing sampel mempunyai struktur amorf. Hasil karakterisasi sifat optik film tipis ZnO:Al menggunakan *photoluminescence* menghasilkan dua puncak emisi pada setiap sampel dengan intensitas yang berbeda. Puncak emisi pertama terjadi pada panjang gelombang 447 nm atau 2,81 eV yang mengindikasikan adanya cacat kristal *interstitial zinc*, dan puncak emisi kedua pada panjang gelombang 752 nm atau 1,6 eV yang mengindikasikan cacat kristal *vacancy oxygen*. Tinggi intensitas emisi sampel mengalami perubahan seiring dengan peningkatan durasi *annealing*. Tinggi intensitas emisi berpengaruh terhadap cacat kristal yang terjadi pada sampel. Cacat kristal *vacancy oxygen* adalah sumber pembawa muatan yang sangat penting dan memainkan peran dalam mekanisme konduksi ZnO. Konsentrasi pembawa dapat dipahami dari substitusi Al dan *interstitial Zn* yang keduanya bertindak sebagai donor yang berkaitan dengan besarnya konduktivitas bahan. Dengan begitu, film tipis ZnO:Al dengan durasi *annealing* 50 menit merupakan sampel yang mempunyai sifat optik paling baik karena mempunyai intensitas yang tinggi. Hasil karakterisasi sifat listrik film tipis ZnO:Al dengan I-V meter menunjukkan nilai resistivitas film tipis ZnO:Al paling kecil dihasilkan oleh film tipis dengan durasi *annealing* 50 menit yaitu sebesar $1,23 \times 10^{10}$ (Ωcm).

DAFTAR ISI

	Halaman
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PERNYATAAN	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Tujuan Penelitian.....	6
1.5. Manfaat Penelitian.....	7
1.6. Sistematika Penelitian	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. <i>Transparent Conductive Oxide (TCO)</i>	9
2.2. <i>Material Zinc Oxide</i>	10
2.3. <i>Material Aluminium (Al₂O₃)</i>	11
2.4. <i>ZnO doping Al (ZnO:Al)</i>	12
2.5. <i>Annealing</i>	13
2.6. <i>Sputtering</i>	14
2.7. <i>DC Magnetron Sputtering</i>	16
2.8. <i>Cacat Kristal</i>	18
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1. Alur Penelitian.....	21
3.2. Pembuatan Target ZnO:Al	22
3.3. Preparasi Substrat	23

3.4.	Deposisi Film Tipis ZnO:Al	23
3.5.	Proses <i>Annealing</i>	25
3.6.	Karakterisasi Film Tipis	26
3.6.1.	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	26
3.6.2.	<i>Photoluminescence</i> (PL).....	27
3.6.3.	I-V Meter	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1.	Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	33
4.2.	Karakterisasi <i>Photoluminescence</i> (PL)	35
4.3.	Karakterisasi I-V Meter.....	38
BAB 5 PENUTUP		41
5.1.	Kesimpulan.....	41
5.2.	Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN.....		50

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Struktur Kristal (a) <i>rockzalt</i> , (b) <i>zinc blende</i> , dan (c) <i>wurtzite</i> (Morkoc and Ozgur, 2009).....	10
Gambar 2.2. Mekanisme Proses <i>Sputtering</i>	15
Gambar 2.3. Skema Reaksi dalam <i>DC Magnetron Sputtering</i> (Joshi, 2003)	17
Gambar 2.4. Sistem Reaktor <i>DC Magnetron Sputtering</i> (Raharjo, 2009).....	18
Gambar 2.5. Skema Representasi Cacat Titik pada Kristal (1) <i>vacancy</i> , (2) <i>self interstitial</i> , (3) <i>interstitial impurities</i> , (4) dan (5) substitusional	20
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2. Proses Difraksi Sinar-X oleh Kristal (Raharjo, 2009)	27
Gambar 3.3. Proses Rekombinasi Spektrum <i>Photoluminesence</i> (Widuri, 2007).....	28
Gambar 3.4. Cara Kerja <i>Photoluminesence</i>	29
Gambar 3.5. Jenis Cacat Kristal yang terjadi pada ZnO (Fan <i>et al.</i> , 2005)	30
Gambar 3.6. Pengukuran Resistansi Film Tipis dengan Metode <i>two-probe</i>	32
Gambar 4.1. Pola XRD Film Tipis ZnO:Al dengan Variasi Durasi <i>Annealing</i> (a) 0 menit dan (b) 50 menit.....	34
Gambar 4.2. Spektrum <i>Photoluminesence</i> Film Tipis ZnO:Al dengan Variasi Durasi <i>Annealing</i> (a) 0 menit dan (b) 50 menit.....	36
Gambar 4.3. Grafik Hubungan Intensitas Emisi dengan Panjang Gelombang dan Energi pada Film Tipis ZnO:Al dengan Variasi Durasi <i>Annealing</i> 0 dan 50 menit.....	37
Gambar 4.4. Plot Tegangan versus Arus Listrik dari Film Tipis ZnO:Al dengan Variasi Durasi <i>Annealing</i> 0 dan 50 menit.....	39

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Parameter Deposisi Film Tipis ZnO:Al	24
Tabel 3.2. Parameter Variasi Durasi <i>Annealing</i> Film Tipis ZnO:Al.....	26
Tabel 4.1. Nilai Resistivitas dan Konduktivitas Listrik Film Tipis ZnO:Al dengan Variasi Durasi <i>Annealing</i>	40

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran I. Perhitungan konsentrasi doping Al_2O_3 pada target ZnO:Al dengan Variasi Durasi <i>Annealing</i> (a) 0 menit dan (b) 50 menit	50

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi sangat diperlukan dalam menjalankan aktivitas perekonomian Indonesia. Energi yang berasal dari alam, seharusnya dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya bagi kemakmuran masyarakat dan pengelolaannya harus mengacu pada asas pembangunan berkelanjutan (Elinur *et al.*, 2010). Sampai saat ini, ada bermacam-macam sumber energi yang telah ditemukan dan dimanfaatkan bagi kehidupan manusia.

Sumber energi dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu sumber energi yang tidak dapat diperbaharui dan sumber energi yang dapat diperbaharui (Astuti, 2011). Sumber energi yang tidak dapat diperbaharui adalah sumber energi yang sekali pakai, seperti minyak, gas, dan batu bara, sedangkan sumber energi yang dapat diperbaharui adalah energi surya, angin, dan panas bumi.

Banyak energi alam yang berpotensi sebagai sumber energi alternatif. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi energi surya yang dapat dijadikan pilihan tepat sebagai sumber energi alternatif (Elinur *et al.*, 2010). Energi surya memiliki keuntungan diantaranya mudah didapatkan, ramah lingkungan, sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis, dan listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai (Hasan, 2012).

Teknologi *photovoltaic* merupakan teknologi untuk mengkonversi secara langsung energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan devais semikonduktor yang disebut sel surya (*solar cells*). Teknologi untuk pengembangan sel surya terus ditingkatkan seperti teknologi film tipis untuk pengembangan sel surya (Mahmudah, 2016).

Film tipis merupakan lapisan tipis dari bahan organik, anorganik, metal, maupun campuran metal organik yang memiliki sifat konduktor, semikonduktor, maupun isolator (Zakaria *et al.*, 2015). Teknologi film tipis sudah dikenal berpuluh-puluh tahun di industri besar maupun kecil. Proses teknologi film tipis terus dikembangkan dengan tujuan penghematan bahan baku dan biaya produksi dengan kualitas yang baik (Wibowo *et al.*, 2013). Dengan demikian, para peneliti terus mencari material-material baru sebagai alternatif dari material yang sudah dikomersilkan seperti *Transparent Conducting Oxide* (TCO).

Material TCO telah memperoleh perhatian dan banyak digunakan dalam perangkat elektronik dan optoelektronik seperti sel surya. Hal tersebut karena TCO mempunyai resistivitas rendah dan transmitansi tinggi (Zhai *et al.*, 2016). Ada berbagai macam material TCO, seperti *Stibium* (Sb), *Zinc* (Zn), *Kadmium* (Cd), *Indium Tin Oxide* (ITO), dan *Stannum* (Sn). Diantara material tersebut, material ITO merupakan material yang paling banyak digunakan dalam pembuatan film (Zhai *et al.*, 2016). Pemanfaatan material ITO juga digunakan secara luas dibidang lainnya seperti elektroda transparan pada *flat panel display*, seperti LCD dan *Organic Light Emitting Display* (OLED) (Wibowo *et al.*, 2013). Material ITO menunjukkan performa paling tinggi dari segi transparansi terhadap

cahaya tampak dengan ketebalan yang sangat tipis (~150 nanometer) dan tingkat konduktivitas yang tinggi (Wibowo *et al.*, 2013). Material *Indium* dalam ITO susah untuk ditemukan dan bersifat racun. Hal tersebut menjadi hambatan utama untuk pengembangan lebih lanjut (Zhai *et al.*, 2016). Material ITO juga mempunyai harga yang mahal (Faizal *et al.*, 2017) sehingga menyebabkan peneliti mencari material pengganti ITO. Salah satu material pengganti ITO adalah *Zinc Oksida* (ZnO) sebagai material baru yang mempunyai karakteristik seperti ITO (Marwoto *et al.*, 2014).

Pada saat ini material semikonduktor amorf telah banyak diaplikasikan pada pembuatan sel surya (Siswanto *et al.*, 2006). Sel surya berbasis film tipis yang menarik perhatian para peneliti dan kalangan industri adalah sel surya *Zinc Oxide* amorf (a-ZnO) (Narushima *et al.*, 2003), silikon amorf (a-Si), dan CuInSe₂ (CIS) (Raharjo, 2009). Sebagian peneliti berfokus pada penumbuhan untuk film tipis ZnO dengan struktur kristal tunggal (Korsunskaya *et al.*, 2003) dan polikristal (Mahmudah *et al.*, 2016), namun hanya sedikit yang berfokus pada penumbuhan untuk film tipis ZnO amorf (a-ZnO) (Khosman and Kordesch, 2007). Sel surya a-ZnO telah menjadi perhatian para peneliti karena film tipis a-ZnO mempunyai keuntungan yaitu proses pembuatannya lebih efisien dan memerlukan sedikit bahan, dapat dibentuk pada substrat kaca atau plastik (Narushima *et al.*, 2003), dan dapat dideposisi pada suhu rendah bahkan pada suhu ruang (Khosman and Kordesch, 2007). Namun kelemahan dari film tipis a-ZnO adalah konversi efisiensinya masih rendah. Untuk mengatasi hal tersebut, dapat dilakukan dengan doping.

Film tipis ZnO tanpa doping memiliki nilai konduktivitas rendah sekitar $6,24 \times 10^{-7} (\Omega\text{m})^{-1}$ (Suprayogi, 2014). ZnO sering kali didoping dengan unsur golongan III pada sistem periodik unsur, seperti *Gallium* (Ga), *Flourine* (F), *Indium* (In), *Manganese* (Mn), dan *Aluminium* (Al). Al adalah salah satu bahan yang stabil dan paling mudah untuk didapatkan (Tseng *et al.*, 2010). Al sebagai doping menyebabkan *seed* memiliki morfologi yang dapat meningkatkan luas permukaan lapisan dan berguna untuk efisiensi aktivitas fotokatalis (Mahadik *et al.*, 2014). Al juga dapat menaikkan konduktivitas listrik film tipis ZnO hingga berorde $10^5 \Omega\text{cm}$ (Sugianto *et al.*, 2016) dan menurunkan resistivitas hingga orde $10^{-4} \Omega\text{cm}$ (Sinaga, 2009). Al berkontribusi terhadap lebar *band gap* ZnO dengan bertambahnya konsentrasi pembawa muatan yang dikenal sebagai efek Burstein-Moss (Suchea *et al.*, 2007). ZnO:Al sangat berpotensi untuk diaplikasikan sebagai TCO (Astuti *et al.*, 2018).

Sifat optik dan sifat listrik film tipis ZnO sangat ditentukan oleh metode pembuatannya (Sinaga, 2009). Ada beberapa macam metode penumbuhan film, diantaranya *Metal Oxide Chemical Vapar Deposition* (MOCVD) (Saragih *et al.*, 2010), *sol-gel spray-coating* (Durri and Sutanto, 2015), *buffer assisted pulsed laser deposition* (Ajimsha *et al.*, 2010), dan teknik *Screen Printing* (Sinaga, 2016). Metode penumbuhan film tipis ZnO yang lain adalah metode *sputtering*. Metode *sputtering* dibagi menjadi dua yaitu *Radio Frekuensi Sputtering* (Sim *et al.*, 2010) dan *Direct Current Magnetron Sputtering* (Wibowo *et al.*, 2013). Penelitian ini menggunakan metode *DC Magnetron Sputtering* karena metode ini mempunyai kelebihan yaitu proses pendeposisian yang sederhana dan biaya yang

tidak terlalu mahal, kepadatan plasma yang tinggi (Kim *et al.*, 2013) serta reaktor *DC Magnetron Sputtering* tersedia di laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Reaktor *DC Magnetron Sputtering* tersebut telah berhasil digunakan untuk menumbuhkan berbagai film tipis pada penelitian sebelumnya diantaranya ZnO murni (Wahyuningsih, 2013), film tipis ZnO doping Al (Yanti, 2013), ZnO doping Al₂O₃ dengan variasi fraksi mol Aluminium (Firmaningsih, 2015), film tipis ZnO doping Al dengan variasi temperatur *annealing* (Zannah, 2016), dan film tipis ZnO doping Al dengan variasi tekanan oksigen pada proses *annealing* (Mahmudah, 2016).

Selain dilakukan doping, untuk mendapatkan sifat-sifat yang baik dari film tipis ZnO juga dapat dilakukan proses *annealing*. *Annealing* yaitu proses pemanasan material sampai dengan temperatur tertentu, dimana dalam proses ini dapat mengubah struktur material. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Zannah (2016) didapatkan temperatur optimum *annealing* yaitu 300°C. Parameter yang lain seperti durasi *annealing* juga dapat mempengaruhi struktur morfologi, sifat optik, dan sifat listrik dari film yang dihasilkan (Iskandar *et al.*, 2015).

Berdasarkan uraian di atas, telah dilakukan penelitian tentang pengaruh durasi *annealing* terhadap struktur, sifat optik, dan sifat listrik film tipis ZnO:Al dengan menggunakan metode *DC Magnetron Sputtering*. Variasi durasi *annealing* yang dilakukan adalah 0 dan 50 menit.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang menjadi fokus kajian penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana pengaruh durasi *annealing* terhadap struktur film tipis ZnO:Al yang ditumbuhkan dengan metode *DC Magnetron Sputtering*?
- 2) Bagaimana pengaruh durasi *annealing* terhadap sifat optik dan sifat listrik film tipis ZnO:Al yang ditumbuhkan dengan metode *DC Magnetron Sputtering*?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

- 1) Deposisi film tipis ZnO:Al di atas substrat *preparation glass* dengan metode *DC Magnetron Sputtering*,
- 2) Variasi durasi *annealing* yaitu selama 0 dan 50 menit.
- 3) Karakterisasi sampel menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Photoluminescence* (PL), dan I-V meter.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Mengetahui pengaruh durasi *annealing* terhadap struktur film tipis ZnO:Al yang ditumbuhkan dengan metode *DC Magnetron Sputtering*.

- 2) Mengetahui pengaruh durasi *annealing* terhadap sifat optik dan sifat listrik film tipis ZnO:Al yang ditumbuhkan dengan metode *DC Magnetron Sputtering*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai pengaruh durasi *annealing* terhadap struktur, sifat optik dan sifat listrik film tipis ZnO:Al yang ditumbuhkan dengan metode *DC Magnetron Sputtering*, sehingga kualitas film tipis ZnO:Al dapat meningkat.

1.6. Sistematika Penelitian

Penulisan skripsi ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian awal, bagian pokok, dan bagian akhir skripsi.

- 1) Bagian awal skripsi

Bagian ini terdiri dari halaman *cover*, persetujuan pembimbing, pernyataan, pengesahan, motto dan persembahan, prakata, abstrak, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.

- 2) Bagian pokok skripsi

Bagian ini terdiri dari lima bab yang meliputi:

- a) Bab 1 Pendahuluan, berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.
- b) Bab 2 Tinjauan Pustaka, berisi landasan teori yang mendasari penelitian.

- c) Bab 3 Metode Penelitian, berisi uraian metode yang digunakan dalam penyusunan skripsi, meliputi tempat pelaksanaan penelitian, langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian, serta uraian mengenai alat untuk karakterisasi sampel,
 - d) Bab 4 Hasil dan Pembahasan, berisi hasil dan pembahasan dari karakterisasi sampel.
 - e) Bab 5 Penutup, berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran-saran yang berkaitan dengan hasil penelitian.
- 3) Bagian akhir skripsi
- Bagian ini berisi daftar pustaka yang digunakan sebagai acuan dari penulisan skripsi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Transparent Conductive Oxide (TCO)*

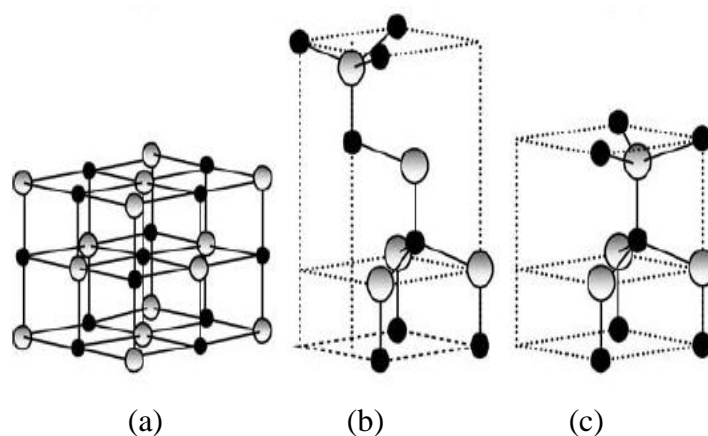
Transparent Conductive Oxide (TCO) merupakan hasil penemuan nanoteknologi yang bermanfaat dalam teknologi masa kini. TCO bersifat konduktif yang disebabkan oleh karakteristik ikatan kimianya yaitu jenis ikatan ionik. Ikatan tersebut biasanya terbentuk dari ikatan antara logam dengan oksigen yang memungkinkan atom terlepas dengan sendirinya dari posisi normal ke posisi lain yang akhirnya menyebabkan elektron terlepas di dalam struktur oksida tersebut (Zannah, 2016). 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 (Mahmudah, 2016).

Pada zaman modern dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, TCO banyak diminati dan dimanfaatkan. TCO banyak digunakan diberbagai peralatan optik karena sifatnya yang memiliki resistivitas yang rendah dan transparansi yang tinggi (Zhai *et al.*, 2016). TCO diaplikasikan pada aspek komputasi seperti *Liquid Crystal Displays (LCD)*, aspek alternatif energi yaitu sel surya (Cho *et al.*, 2010) dan aspek teknologi yaitu sensor gas (Wahyuningsih *et al.*, 2013).

2.2 Material Zinc Oxide

Zinc Oxide adalah suatu senyawa anorganik dengan rumusan kimia ZnO yang merupakan material semikonduktor tipe-n golongan II-IV yang mempunyai *band gap* yang lebar sekitar 3,2 eV pada temperatur ruang (Zakaria *et al.*, 2015) dan resistivitas yang rendah serta transmitansi yang tinggi (Marwoto *et al.*, 2014). Sifat transparansi yang tinggi pada ZnO disebabkan karena adanya perbedaan antara energi foton dengan energi *gap* yang semakin besar (Wirjoadi and Yunanto, 2009). Material ini digunakan sebagai bahan dasar lapisan tipis, karena memiliki beberapa keunggulan dalam aplikasinya terutama dalam bidang sensor, sel surya, serta *nanodevice* (Zakaria *et al.*, 2015). Kelebihan ZnO yang lain adalah murah, dapat disimpan pada temperatur rendah (Marwoto *et al.*, 2014), tidak beracun, memiliki stabilitas yang tinggi dalam plasma hidrogen dan siklus panas serta tahan terhadap radiasi (Sinaga, 2009).

Film tipis ZnO memiliki tiga macam struktur kristal yaitu *wurtzite*, *zinc blende*, dan *rocksalt* (Morkoc and Ozgur, 2009) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Kristal (a) *rocksalt*, (b) *zinc blende*, dan (c) *wurtzite* (Morkoc and Ozgur, 2009)

Struktur kristal *wurtzite* tersusun atas ikatan tetrahedral antara atom seng dan oksida. Struktur ini merupakan struktur paling umum karena stabil pada kondisi lingkungan (Fatiatun, 2015). Struktur *wurtzite* memiliki unit heksagonal dengan parameter kisi pada sumbu $a = 0,325$ nm dan sumbu $c = 0,521$ nm (Balta *et al.*, 2015). Struktur *zinc blende* stabil hanya dengan deposisi pada struktur kubik, sementara struktur *rocksalt* akan terbentuk untuk fase metastabil pada tekanan tinggi (Morkoc *and* Ozgur, 2009).

Struktur kristal dan ukuran butir partikel pada film tipis ZnO sangat mempengaruhi sifat optik dan listriknya (Zakaria *et al.*, 2015). Pada dasarnya orientasi dari nanokristal yang membentuk film tipis sangat bergantung pada jenis substrat dan lapisan yang ditumbuhkan. Penggunaan substrat yang memiliki ketidaksesuaian kisi yang kecil akan mempermudah pembentukan kristal menjadi lebih teratur (*preferred orientation*) dan seragam (Zakaria *et al.*, 2015). Film tipis akan lebih baik kualitasnya jika ditumbuhkan pada substrat yang mempunyai parameter kisi dan koefisien termal yang sama (Raharjo, 2009).

Suatu struktur kristal dibangun oleh sel unit, sekumpulan atom yang tersusun secara khusus yang secara periodik berulang dalam tiga dimensi dalam suatu kisi. Jarak antar sel unit dalam segala arah disebut parameter kisi (Zakaria *et al.*, 2015).

2.3. Material Aluminium (Al_2O_3)

Aluminium (Al_2O_3) merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistem periodik yang mempunyai mobilitas elektron yang paling tinggi dibandingkan

dengan Boron (B), Galium (Ga), Indium (In) dan memberikan pembawa muatan level yang tinggi (Sugianto *et al.*, 2016).

Unsur Al_2O_3 mempunyai struktur kristal berupa *face center cubic (fcc)* dan mempunyai ikatan kimia berupa ikatan ionik. Al_2O_3 merupakan logam paling banyak atau melimpah persediaannya, dan merupakan konduktor atau penghantar listrik yang baik karena mempunyai delokalisasi elektron yang bebas bergerak atau berpindah sepanjang padatan atau cairan logam (Raharjo, 2009).

Unsur Al_2O_3 bersifat tidak beracun (*nontoxic*), anisotropi dalam struktur kristalnya, dan memiliki struktur cacat *nonstoichiometric* (Zannah, 2016). Ion Al^{3+} pada unsur Al_2O_3 mempunyai jejari yang lebih kecil daripada ion Zn^{2+} sehingga dapat menyisip ke dalam kristal ZnO (Tao *et al.*, 2012). Al_2O_3 melindungi material dibawahnya dari proses oksidasi sehingga tidak menurunkan nilai material yang dilapisi (Zannah, 2016).

Al_2O_3 sering dijadikan dopan karena mempunyai resistivitas yang rendah dan transparansi yang tinggi (Cho *et al.*, 2010). Selain itu Al_2O_3 merupakan logam yang bersifat memantulkan cahaya datang dan reflektansinya cukup tinggi di daerah cahaya tampak (*visible*).

2.4. ZnO doping Al (ZnO:Al)

Doping aluminium (Al) memberikan peranan yang penting dalam menentukan struktur dan intensitas puncak difraksi. Al dapat digunakan sebagai dopan. Film tipis ZnO yang di dopan dengan Al mempunyai nilai konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan film tipis ZnO tanpa doping (Mahmudah

et al., 2016). Al dapat menaikkan konduktivitas listrik hingga berorde $10^5 \Omega\text{cm}$ (Sugianto *et al.*, 2016) dan menurunkan resistivitas hingga orde $10^{-4} \Omega\text{cm}$ (Sinaga, 2009) pada film tipis ZnO. Bahan Al juga menyebabkan *seed* memiliki morfologi yang dapat meningkatkan luas permukaan lapisan dan berguna untuk efisien aktivitas fotokatalis (Mahadik *et al.*, 2014).

ZnO:Al banyak diteliti sebagai pengganti ITO untuk aplikasi TCO (Sinaga, 2009) karena keberadaannya yang melimpah di alam sehingga mudah didapat dan harganya murah. Kelebihan lain dari ZnO:Al adalah stabilitas yang bagus (Sim *et al.*, 2010), temperatur deposisi yang rendah (Ajimsha *et al.*, 2010), transmitansi yang tinggi di daerah cahaya tampak (*visible*), resistivitas yang rendah, serta konduktivitas listrik yang tinggi (Chen *et al.*, 2009).

2.5. Annealing

Proses *annealing* yaitu proses pemanasan material sampai dengan temperatur tertentu, dimana dalam proses ini dapat mengubah struktur suatu material. Keuntungan dari proses *annealing* adalah menurunkan kekerasan, memperbaiki sifat mekanik, menurunkan atau menghilangkan ketidakhomogenan struktur, dan memperhalus atau memperbesar ukuran butir (Mahmudah *et al.*, 2016). Selain itu, *annealing* merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan untuk mengurangi cacat dan meningkatkan kualitas film tipis yang ditumbuhkan (Kim *et al.*, 2010). Ada beberapa parameter *annealing* yang digunakan dalam penelitian, seperti variasi temperatur *annealing*, variasi durasi *annealing*, variasi gas yang digunakan dalam proses *annealing*, dan variasi

tekanan gas *annealing*. Namun variasi temperatur *annealing* dan durasi *annealing* merupakan parameter paling efektif untuk meningkatkan kualitas film (Kim *et al.*, 2010). Sebagian besar peneliti melaporkan pengaruh temperatur *annealing* pada sifat struktural dan sifat optik film ZnO (Karamdel *et al.*, 2011), tetapi hanya sedikit yang melaporkan pengaruh durasi *annealing* (Kim *et al.*, 2010).

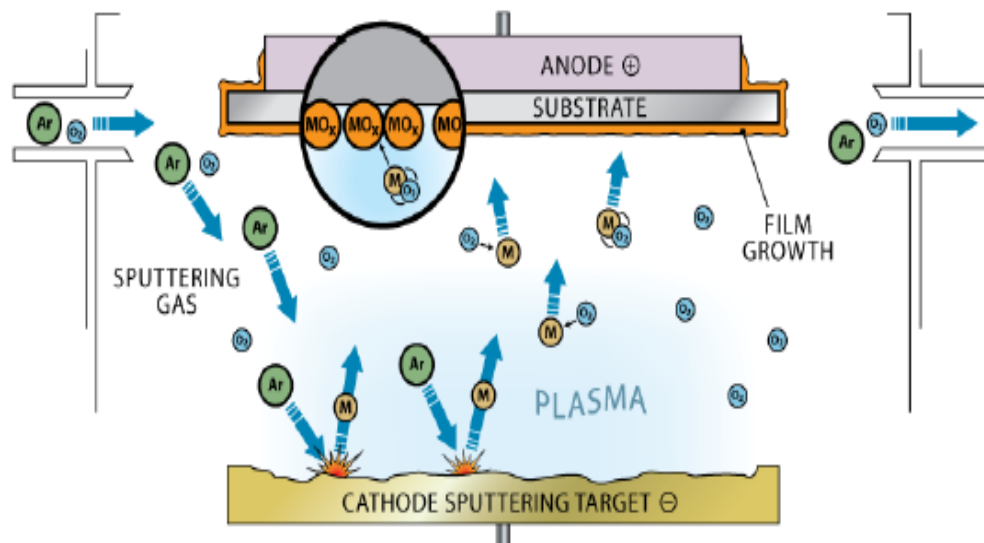
Perbedaan durasi *annealing* setelah penumbuhan film dapat dilakukan untuk mengetahui durasi yang paling optimum dalam melakukan *annealing* pada film sehingga dapat memperbaiki struktur film. Semakin lama durasi *annealing* akan menyebabkan ukuran butir menjadi semakin besar (Iskandar, 2011). Semakin lama durasi *annealing* juga akan menurunkan resistivitas listrik (Tighineanu *et al.*, 2010) serta mengubah sifat optik film dimana dapat memperbaiki kinerja film untuk menyerap cahaya tampak (Iskandar *et al.*, 2015).

2.6. Sputtering

Sputtering adalah proses penembakan partikel dimana proses tersebut terdiri dari atom-atom atau ion-ion yang memiliki energi tinggi ke target yang akan dikenai sasaran, sehingga atom-atom yang ada pada sasaran memiliki energi tinggi untuk melepaskan diri dari permukaan sasaran tersebut (Astuti, 2011).

Pada teknik *sputtering*, partikel yang dikenai sasaran terletak pada katoda sehingga bermuatan negatif, dan substrat terletak pada anoda sehingga bermuatan positif. Proses *sputtering* terjadi karena tumbukan yang terus menerus antar ion-ion penumbuk dengan atom-atom permukaan target (Raharjo, 2009). Akibat dari proses *sputtering*, material-material yang berasal dari target akan lepas dan

terdeposisi pada substrat. Perpindahan atom-atom permukaan target pada permukaan substrat menjadi *isotropik* sehingga terbentuk film tipis pada permukaan substrat (Raharjo, 2009). Mekanisme terlepasnya elektron hingga terdeposisi pada substrat ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mekanisme Proses *Sputtering* (<https://energisurya.wordpress.com>)

Berdasarkan Gambar 2.2 terlihat bahwa proses *sputtering* diawali dengan proses ionisasi gas-gas *sputter* yaitu gas Argon. 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 durasi deposisi yang sama, karena jenis pelapis mempunyai sifat dan massa partikel penyusun yang berbeda.

Teknik *sputtering* memiliki beberapa kelebihan, diantaranya yaitu 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 posisi yang tinggi, dan lapisan yang terbentuk mempunyai kekuatan rekat yang tinggi terhadap permukaan substrat (Astuti, 2011).

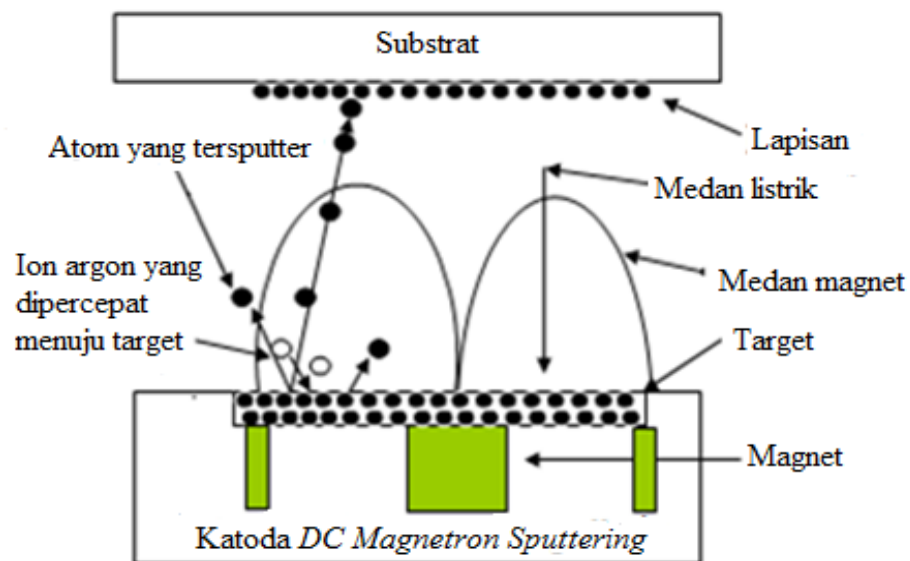
2.7. DC Magnetron Sputtering

Ada berbagai macam metode penumbuhan film tipis dengan *sputtering*, salah satunya adalah metode *DC Magnetron Sputtering* (Wibowo *et al.*, 2013). Metode ini merupakan metode penumbuhan film tipis paling sederhana, tidak terlalu mahal, dan mempunyai kepadatan plasma yang tinggi (Kim *et al.*, 2013). Sistem *DC Magnetron Sputtering* terdiri dari sepasang elektroda planar. Salah satu dari elektroda tersebut adalah katoda dingin dan lainnya adalah sebuah anoda. Pada bagian katoda dipasang target dan pada bagian belakangnya didinginkan dengan air pendingin, sedangkan bagian anoda dipasang substrat. Substrat tersebut dapat dipanaskan menggunakan suatu sistem pemanas. Apabila tabung *sputter* diisi dengan gas argon (Ar) dan pada elektroda dipasang beda potensial, maka antara elektroda terjadi lucutan pijar. Atom-atom permukaan target yang tertumbuk keluar akan menempel pada permukaan substrat sehingga terbentuk film tipis (Astuti, 2011).

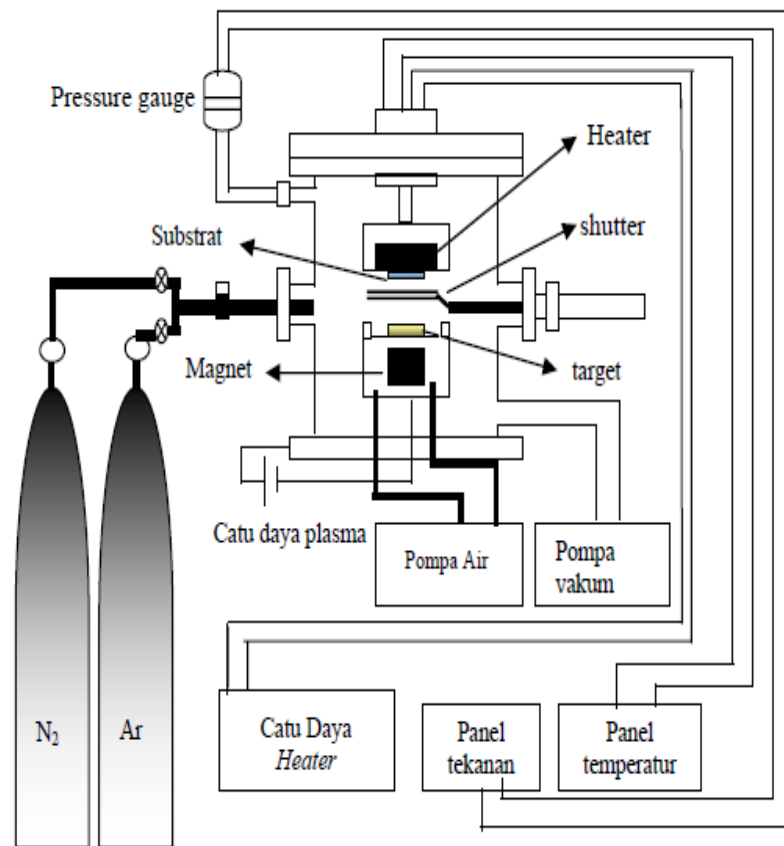
DC Magnetron Sputtering menggunakan sistem magnet yang diletakkan dibawah katoda. Magnet membentuk lingkupan medan magnet untuk

membelokkan partikel bermuatan. Elektron-elektron dikurung dalam lingkupan medan magnet dekat target dan menyebabkan ionisasi pada gas argon lagi. Jumlah ion-ion yang ditarik ke permukaan target menjadi lebih banyak. Semakin banyak ion-ion menumbuk target, hasil *sputtering* semakin meningkat (Wirjoadi dan Yunanto, 2009).

Gambar 2.3 menunjukkan secara rinci skema reaksi dalam *DC Magnetron Sputtering* (Joshi, 2003), dan Gambar 2.4 (Raharjo, 2019) menunjukkan skematik sistem reaktor *DC Magnetron Sputtering* yang ada di laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.



Gambar 2.3 Skema Reaksi dalam *DC Magnetron Sputtering* (Joshi, 2003)



Gambar 2.4 Sistem Reaktor *DC Magnetron Sputtering* (Raharjo, 2009)

Berdasarkan Gambar 2.4 terlihat bahwa sistem reaktor *DC Magnetron Sputtering* yang ada di laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang 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.

2.8. Cacat Kristal

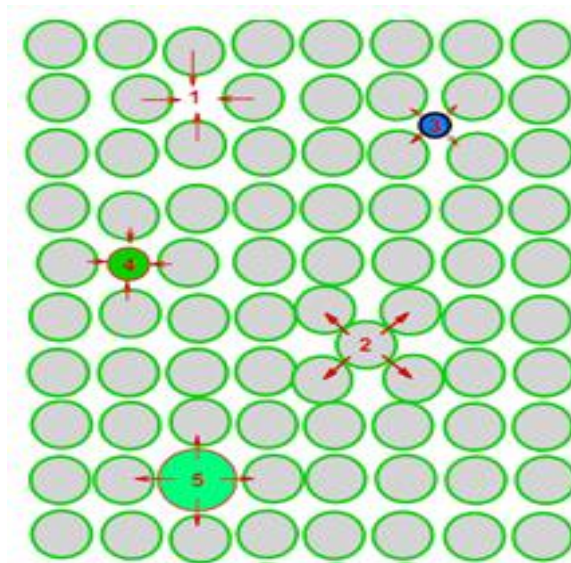
Berdasarkan struktur kristal, atom dalam setiap material tersusun secara teratur, tetapi terdapat berbagai ketidaksempurnaan atau sering disebut dengan

cacat kristal. Cacat kristal ini terjadi pada suatu bahan padat yang dapat mempengaruhi sifat fisis tertentu seperti sifat mekanik atau sifat listrik. Cacat kristal yang sering terjadi pada material semikonduktor adalah cacat garis (*dislocation*) dan cacat titik (*point defect*).

Dislocation adalah cacat kristal yang terjadi karena bagian kristal bergeser ke bagian lain (Widuri, 2007) atau akibat salah susun struktur kristal. Selain itu, *dislocation* juga muncul karena adanya pergeseran ikatan kristal sehingga menyebabkan atom-atom terlepas dari ikatan tetangga terdekatnya sehingga dapat menghasilkan *deep level* pada pita energi. *Deep level* ini dapat menjadi perangkap elektron dan hole saat proses rekombinasi pada pita energi (Widuri, 2007).

Point defect yaitu cacat kristal yang terjadi karena adanya penyimpangan susunan periodik kisi di sekitar atom sehingga terjadi kekosongan atom, sisipan, dan atau perpindahan kedudukan atom tak murni disela kisi. *Point defect* dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu kekosongan (*vacancy*), sisipan (*interstitial*), dan *antisite* (Fan *et al.*, 2005). *Vacancy* adalah cacat kristal yang terjadi karena atom-atom tidak menempati posisi pada kisi kristal sehingga posisi atom tidak terisi (kosong). Selain itu, *vacancy* dapat terjadi akibat vibrasi atom pada saat penurunan suhu. *Interstitial* adalah cacat kristal yang disebabkan adanya penambahan atom-atom diantara kekisi kristal yang terjadi secara spontan. Jika atom *interstitial* adalah atom yang sejenis dengan atom pada kisi maka disebut *self interstitial*. Apabila atom *interstitial* merupakan atom asing seperti karbon, nitrogen, hidrogen atau oksigen maka disebut *interstitial impurities*. Selain *interstitial*, ada juga substitusional yang merupakan penggantian atom pada

matriks kristal, dimana atom asing akan mengganti atau mensubstitusi matriks atom sehingga disebut substitusional *impurities*. Cacat kristal terakhir adalah *antisite* yaitu cacat kristal yang terjadi apabila kation menempati posisi anion dan sebaliknya anion menempati posisi kation (Morkoc, 1999). Skematik untuk semua cacat kristal yang telah disebutkan ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema Representasi Cacat Titik pada Kristal (1) *vacancy*, (2) *self interstitial*, (3) *interstitial impurities*, (4) dan (5) substitusional *impurities*. (<https://ciripo.wordpress.com/2011/11/11/cacat-kristal/>)

Cacat kristal yang lain, yang sering terjadi pada film tipis ZnO adalah *point defect*. *Point defect* tersebut akan menyebabkan gangguan lokal di dalam kristal, seperti gangguan yang menyebabkan perubahan potensial periodik dalam satu atau beberapa unit sel. Keadaan yang demikian dikenal dengan *deep level* yang merujuk cacat dengan tingkat energi yang berada jauh dari energi pita valensi dan pita konduksi. Perubahan potensial yang semakin luas dan jumlahnya lebih dari sepuluh unit sel dikenal dengan *shallow level* (dengan tingkat energi yang berdekatan dengan energi pita valensi dan energi pita konduksi (Singh, 1995).

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Hasil karakterisasi menggunakan XRD film tipis ZnO:Al dengan variasi durasi *annealing* menunjukkan bahwa semua sampel dalam keadaan amorf karena tidak menunjukkan difraksi dari sembarang bidang orientasi. Hal ini juga dapat disebabkan karena pengaruh jenis substrat yang digunakan yaitu *preparation glass* yang mempunyai struktur amorf.

Hasil karakterisasi sifat optik film tipis ZnO:Al menggunakan PL menghasilkan dua puncak emisi pada setiap sampel dengan intensitas yang berbeda. Puncak emisi pertama terjadi pada panjang gelombang 447 nm atau 2,81 eV yang mengindikasikan adanya cacat kristal *interstitial zinc*, dan puncak emisi kedua pada panjang gelombang 752 nm atau 1,6 eV yang mengindikasikan cacat kristal *vacancy oxygen*. Tinggi intensitas emisi sampel mengalami perubahan seiring dengan peningkatan durasi *annealing*. Tinggi intensitas emisi berpengaruh terhadap cacat kristal yang terjadi pada sampel. Cacat kristal *vacancy oxygen* adalah sumber pembawa muatan yang sangat penting dan memainkan peran dalam mekanisme konduksi ZnO. Konsentrasi pembawa dapat dipahami dari substitusi Al dan *interstitial Zn* yang keduanya bertindak sebagai donor yang berkaitan dengan besarnya konduktivitas bahan. Dengan begitu, film tipis ZnO:Al dengan durasi *annealing* 50 menit merupakan sampel yang mempunyai sifat optik yang paling baik karena mempunyai intensitas yang tinggi.

Hasil karakterisasi dari sifat listrik film tipis ZnO:Al menggunakan I-V meter menunjukkan bahwa variasi durasi *annealing* yang diberikan pada proses *annealing* dapat mempengaruhi nilai resistivitas dari film tipis ZnO:Al yang dihasilkan. Nilai resistivitas film tipis ZnO:Al paling kecil dihasilkan oleh film tipis ZnO:Al dengan durasi *annealing* 50 menit yaitu sebesar $1,37 \times 10^{10}$ (Ωcm).

5.2. Saran

Dari hasil pengukuran struktur film tipis ZnO:Al masih menunjukkan struktur amorf, sehingga hal ini dapat diperbaiki dengan melakukan deposisi film tipis di atas substrat *corning glass*. Sedangkan hasil pengukuran sifat listrik, film tipis ZnO:Al masih menunjukkan nilai resistivitas bahan dengan orde yang cukup tinggi, sehingga dapat dilakukan dengan melakukan metode pengukuran lain yang mempunyai ketelitian alat yang lebih baik. Selain itu dapat juga dilakukan perbaikan kontak alat ukur. Film sebaiknya dimetalisasi terlebih dahulu melalui metal coating silver atau emas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, W. 2013. Seputar Kaca Transparan Konduktif Oksida Karakteristik dan Pembuatan Indium Tin Oxide. Tersedia di <https://energisurya.wordpress.com/2013/10/02/seputar-kaca-transparan-konduktif-oksida-karakteristik-dan-pembuatan-indium-tin-oxide/> [diakses 18-02-2017].
- 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. *Physica E*, Vol.42 : 1838 - 1843.
- Astuti, B., Sugianto, S. N. Mahmudah, R. Zannah, N. M. D. Putra, P. Marwoto, D. Aryanto, & E. Wibowo. 2018. Structural and Morphological Study on ZnO:Al Thin Films Grown using DC Magnetron Sputtering. *Journal of Physics:Conf. Series* 983.
- Astuti, S. Y. 2011. Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis CdTe:Cu yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering. *Skripsi*. Semarang: FMIPA Unnes.
- Balta, A. K., O. Ertek, N. Eker, & I. Okur. 2015. MgO and ZnO Composite Thin Films Using the Spin Coating Method on Microscope Glasses. *Materials Sciences and Applications*, Vol.6 : 40 - 47.
- 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. *Journal of Solid State Chemistry*, Vol.177: 1480 – 1487.
- Chen, J. T., J. Wang, R. F. Zhuo, D. Yan, J. J. Feng, F. Zhang, & P. X. Yan. 2009. The Effect of Al Doping on the Morphology and Optical Property of ZnO Nanostructures Prepared by Hydrothermal Process. *Applied Surface Science*, Vol.255 : 3959 - 3964.

- Ciripo. 2011. Cacat Kristal. Tersedia di <https://ciripo.wordpress.com/2011/11/11/cacat-kristal/> [diakses 21-09-1018].
- Cho, H. J., S. U. Lee, B. Hong, Y. D. Shin, J. Y. Ju, H. D. Kim, M. Park, & W. S. Choi. 2010. The Effect of Annealing on Al-doped ZnO Films Deposited by RF Magnetron Sputtering Method for Transparent electrodes. *Thin Solid Films*, Vol.518 : 2941-2944.
- Durri, S., & H. Sutanto. 2015. Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO Doping Al yang Dideposisi diatas Kaca dengan Metode Sol-Gel Teknik Spray-Coating. *Jurnal Fisika Indonesia*, Vol.XIX (55).
- Elinur, D. S. Priyarsono, M. Tambunan, & M. Firdaus. 2010. Perkembangan Konsumsi dan Penyediaan Energi dalam Perekonomian Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE)*, Vol.2 (1) : 2087 – 409X.
- Faizal, R., P. Marwoto, Sulhadi, & Sugianto. 2017. Pengaruh Oksidasi setelah Deposisi terhadap Sifat Film Tipis ZnO:Ga. *Jurnal Matematika dan Sains*, Vol.22 : 1 - 4.
- Fan, X. M., J. S. Lian, Z. X Guo, & H. J Lu. 2005. Microstructure and Photoluminescence Properties of ZnO Thin Films Grown by PLD on Si (1 1 1) Substrates. *Applied Surface Science*, Vol.239 : 176 - 181.
- Fatiatun. 2015. Pengaruh Suhu Deposisi terhadap Sifat Fisis Film Tipis Seng Oksida Doping Galium Oksida dengan Metode DC Magnetron Sputtering. *Skripsi*. Semarang: FMIPA Unnes.
- Firmaningsih. 2015. Pengaruh Fraksi Mol Aluminium Oxide (Al_2O_3) terhadap Sifat Listrik dan Sifat Optik Film Tipis Zinc Oxide (ZnO) dengan Metode DC Magnetron Sputtering. *Skripsi*. Semarang: FMIPA Unnes.
- Hasan, H. 2012. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)*, Vol.10 (2) : 169 - 180.
- Iskandar, J. 2011. Uji Sifat Listrik dan Sifat Struktur Fotodiode Ferroelektrik Film Barium Strontium Titanate ($\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{TiO}_3$) Berdasarkan Perbedaan Durasi Annealing. *Skripsi*. Bogor: FMIPA IPB.

- Iskandar, J., H. Syafutra, J. Juansah, & Irzaman. 2015. Characterizations of Electrical and Optical Properties on Ferroelectric Photodiode of Barium strontinum titanate ($\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$) Films based on the Annealing Time Differences and its Development as Light Sensor on Satellite Technology. *Procedia Environmental Sciences*, Vol.24 : 324 - 328.
- 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: p509 - 513.
- Joshi, C. 2003. *Characterization and Corrosion of BCC-Tantalum Coating Deposited on Aluminium and Steel Substrat by DC Magnetron Sputtering (thesis)*. New jeresy:new jeresy institute of Technology Press.
- Karamdel, J., C. F. Dee, & B. Y. Majlis. 2011. Effects of Annealing Conditions on the Surface Morphology and Crystallinity of Sputtered ZnO Nano Films. *Sains Malaysiana*, Vol.40 : 209 – 213.
- Kim, C.R., C. M. Shin, J. Y. Lee, J. H. Heo, T. M. Lee, J. H. Park, H. Ryu, C. S. Son, & J. H. Chang. 2010. Influence of Annealing Duration on Optical Property and Surface Morphology of ZnO Thin Film Grown by Atomic Layer Deposition. *Current Applied Physics*, Vol.10 : S294 – S297.
- 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*, Vol.16 : 997 - 1001.
- Khosman, J. M., & M. E. Kordesch. 2007. Optical Constants and Amorphous Zinc Oxide Thin Films. *Thin Solid Films*, Vol.515 : 7393 – 7399.
- Korsunskaya, N. O., L. V. Borkovskaya, B. M. Bulakh, L. Y. Khomenkova, V. I. Kushnirenko, & I.V. Markevich. 2003. The Influence of Defect Drift in External Electric Field on Green Luminescence of ZnO Single Crystals. *Journal of Luminescence*, Vol.102-103 : 733 – 736.

- Mahadik, M. A., S. S. Shinde, Y. M. Hunge, V. S. Mohite, S. S. Khumbhar, A. V. Moholkar, K. Y. Rajpure, & C. H. Bhosale. 2014. UV Assisted Photoelectrocatalytic Oxidation of Phthalic Acid Using Spray Deposition Al Doped Zinc Oxide Thin Films. *Journal of Alloys and Compounds an Interdisciplinary Journal of Materials Science and Solid-State Chemistry and Physics*. ISSN : 0925 - 8398.
- Mahmudah, S. N. 2016. Pengaruh Tekanan Oksigen pada Proses Annealing Film Tipis Zinc Oksida (ZnO) Doping Aluminium (Al). *Skripsi*. Semarang: FMIPA Unnes.
- Mahmudah, S. N., B. Astuti, Sugianto, & P. Marwoto. 2016. Pengaruh Tekanan Oksigen pada Proses Annealing terhadap Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis Zinc Oksida Doping Aluminium (ZnO:Al). *Prosiding Seminar Nasional Quantum*. ISSN : 2477 - 1511.
- Marwoto, P., Sulhadi, Sugianto, D. Aryanto, E. Wibowo, & K. Wahyuningsih. 2014. Room-Temperature Deposition of ZnO Thin Films by Using DC Magnetron Sputtering. *Advanced Materials Research*, Vol.896 : 237 - 240.
- Morkoc, H. 1999. *Nitride Semiconductors and Devices*. Berlin: Springer-verlag: 8-95.
- 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.
- Narushima, S., H. Mizoguchi, K. Shimizu, K. Ueda, H. Ohta, M. Hirano, T. Kamiya, & H. Hosono. 2003. A p-Type Amorphous Oxide Semiconductor and Room Temperature Fabrication of Amorphous Oxide p-n Heterojunction Diodes. *Adv. Mater*, Vol.17. No.17.
- Raharjo, M. 2009. Struktur Kristal, Sifat Listrik (Resistivitas), dan Sifat Optik Film Tipis ZnO dengan Doping Al yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering. *Skripsi*. Semarang: FMIPA Unnes.

- Saragih, H., Hasniah, E. Sustini, & Sukirno. 2010. Studi Sifat Termal Prekursor In(TMHD)₃ untuk Menumbuhkan Lapisan Tipis In₂O₃ dengan Teknik MOCVD. *Berkala Fisika*, Vol.13 (1) : 19 - 26.
- 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*, Vol.10 : 5463-5467.
- Sinaga, P. 2009. Pengaruh Temperatur Annealing terhadap Struktur Mikro, Sifat Listrik dan Sifat Optik dari Film Tipis Oksida Konduktif Transparan ZnO:Al yang Dibuat dengan Teknik Screen Printing. *Jurnal Pengajaran MIPA*, Vol.14 (2).
- Singh, J. 1995. *Semiconductor Optoelectronics Physics and Technology*. New York: McGraw Hill Inc.
- Siswanto, B., Wirjoadi, T. M. Atmono, & Yunanto. 2006. Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis a-Si:H:B untuk Bahan Sel Surya. *GENENDRA*, Vol.9 (2) : 31 – 37.
- Smith, & William. 1993. *Foundations of Materials Science and Engineering*. New York: McGraw Hill Inc.
- Spadoni, A., & M. L. Addonizio. 2015. 2015. Effect of the RF Sputtering Power on Microstructure, Optical and Electrical Properties of Al Doped ZnO Thin Films. *Thin Solid Film*, Vol.589 : 514 - 520.
- Suchea, M., S. Christoulakis, N. Katsarakis, T. Kitsopoulos, & G. Kiriakidis. 2007. Comparative Study of Zinc Oxide and Aluminium Doped Zinc Oxide Transparent Thin Films Grown by Direct Current Magnetron Sputtering. *Thin solid Films*, Vol.515, 6562 - 6566.
- Sugianto, R. Zannah, S. N. Mahmudah, B. Astuti, N. M. D. Putra, A. A. Wibowo, P. Marwoto, D. Ariyanto, & E. Wibowo. 2016. Pengaruh Temperatur Annealing pada Sifat Listrik Film Tipis Zinc Oksida Doping Aluminium Oksida. *Jurnal MIPA*, Vol.39 (2) : 115 - 122.

- Suprayogi, D. 2014. Pengaruh Doping Galium Oksida pada Karakteristik Film Tipis Seng Oksida Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering. *Skripsi*. Semarang: FMIPA Unnes.
- Tao, R., T. Tomita, R. A. Wong, & K. Waki. 2012. Electrochemical and Structural Analysis of Al-doped ZnO Nanorod Arrays in Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Power Sources*, Vol.214 : 159 – 165.
- Tighineanu, A., T. Ruff, S. Albu, R. Hahn, & P. Schmuki. 2010. Conductivity of TiO₂ Nanotubes: Influence of Annealing Time and Temperature. *Chemical Physics Letters*, Vol.494 : 260 - 263.
- Tseng, Y. K., G. J. Gao, & S. C. Chien. 2010. Synthesis of c-axis Preferred Orientation ZnO:Al Transparent Conductive Thin Films Using a Novel Solvent Method. *Thin Solid Film*, Vol.518 : 6259 - 6263.
- Usriyah, F. 2016. Pengaruh Temperatur Annealing terhadap Sifat Film Tipis ZnO:Ga dengan Metode DC Magnetron Sputtering. *Skripsi*. Semarang:FMIPA Unnes.
- Wahyuningsih, K., P. Marwoto, & Sulhadi. 2013. Konduktivitas dan Transmittansi Film Tipis Zinc Oxide yang Dideposisikan pada Temperatur Ruang. *Unnes Physics Journal*, Vol.2 (1) : 37 - 43.
- Wibowo, A. A., P. Marwoto, & Sulhadi. 2013. Analisis Struktur dan Sifat Optik Film Tipis Galium Oksida Doping Seng Oksida yang Dideposisikan Menggunakan Metode DC Magnetron Sputtering. *Unnes Physics Journal*, Vol.2 (2).
- Widuri, U. 2007. Pengaruh Tekanan Gas Argon pada Penumbuhan Film Tipis Ga₂O₃ Doping Mn dengan menggunakan Metode DC Magnetron Sputtering. *Skripsi*. Semarang:FMIPA Unnes.
- Wirjoadi & Yunanto. 2009. Deposisi Lapisan Tipis TCO (ZnO:In) pada Substrat Kaca Menggunakan Teknik DC Sputtering. *Buku I Prosiding PPI-PDIPTN Pusat teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN*. ISSN : 0216 – 3128.
- Wu, H. W, Y. M. Lin, C.H. Chu, & J. L. Huang. 2015. Study of AZO Thin Film Under Different Annealing Athmosphere on Stuctural, Optical and

- Electrical Properties by RF Magnetron Sputtering. *Proceeding of the International Multi Conference of Engineers and Computer Sciences*, Vol.2.
- Yanti. 2013. Penumbuhan dan Karakterisasi Sifat Fisis Film Tipis ZnO Doping Al dengan Metode DC Magnetron Sputtering. *Skripsi*. Semarang: FMIPA Unnes.
- Zakaria, H., P. L. Gareso, & N. Rauf. 2015. Pengaruh Pemanasan terhadap Struktur dan Sifat Optik Kristal ZnO. *Physics Departement, Faculty of Mathematics and Natural Science, Hasanuddin University*.
- Zannah, 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.
- Zhai, C. H., R. J. Zhang, X. Chen, Y. X. Zheng, S. Y. Wang, J. Liu, N. Dai, & L. Y. Chen. 2016. Effects of Al Doping on the Properties of ZnO Thin Films Deposition by Atomic Layer Deposition. *Nanoscale Research Letters*, Vol.11 : 407.