



TUGAS AKHIR - TL 184834

ANALISA PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU DEPOSISI TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN TIPIS ALUMINIUM-DOPED ZINC OXIDE DENGAN METODE SPRAY PYROLYSIS DEPOSITION UNTUK APLIKASI KACA KONDUKTIF TRANSPARAN

DIAZ PERDANA
NRP. 0251154000030

Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TL 184834

**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU
DEPOSISI TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN TIPIS
ALUMINIUM-DOPED ZINC OXIDE DENGAN METODE
SPRAY PYROLYSIS DEPOSITION UNTUK APLIKASI
KACA KONDUKTIF TRANSPARAN**

**DIAZ PERDANA
NRP. 0251154000030**

**Dosen Pembimbing
Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

**ANALYSIS THE EFFECT OF SUBSTRATE
TEMPERATURE AND DEPOSITION TIME ON
CHARACTERISTICS OF ALUMINIUM-DOPED ZINC
OXIDE THIN FILMS BY SPRAY PYROLYSIS
DEPOSITION FOR TRANSPARENT CONDUCTING
OXIDE**

**DIAZ PERDANA
NRP. 0251154000030**

**Advisors
Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng
Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.**

**MATERIAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

(This page left initially blanked)

**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU
DEPOSISI TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN
TIPIS ALUMINIUM-DOPED ZINC OXIDE DENGAN
METODE SPRAY PYROLYSIS DEPOSITION UNTUK
APLIKASI KACA KONDUKTIF TRANSPARAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Manufaktur
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

DIAZ PERDANA
NRP. 0251154000030

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng. (Pembimbing I)
2. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU
DEPOSISI TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN
TIPIS ALUMINIUM-DOPED ZINC OXIDE DENGAN
METODE SPRAY PYROLYSIS DEPOSITION UNTUK
APLIKASI KACA KONDUKTIF TRANSPARAN**

Nama Mahasiswa : Diaz Perdana
NRP : 025115 4000 0030
Departemen : Teknik Material FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Agung Purniawan, S.T.,M.Eng.
Co-Pembimbing : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Transparent Conducting Oxides (TCOs) atau kaca transparan konduktif adalah sebuah material elektrikal yang memiliki daya serap pada gelombang elektromagnetik yang rendah. Prinsip kerjanya adalah meneruskan cahaya langsung dan menyalurkan elektron melalui lapisan konduktif yang terdapat pada material tersebut. Pada penelitian ini, Aluminium-Doped Zinc Oxide dideposisi dengan substrat kaca borosilikat dengan variasi temperatur yaitu 225, 275, 325 °C, dan variasi waktu deposisi yaitu 5, 10, 15 menit. Prekursor yang digunakan adalah zink asetat dihidrat yang dilarutkan dalam metanol dengan doping Al dari Aluminium Klorida. Dari hasil penelitian, didapatkan nilai resistivitas dengan range $1 \sim 9 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$. Selain itu, nilai transmitansi didapatkan dengan range nilai 0,01% ~ 29,8%. Didapatkan tren bahwa semakin tinggi temperatur akan meningkatkan nilai transmitansi dan menurunkan resistivitas dan semakin lama waktu deposisi akan menurunkan nilai transmitansi dan menurunkan nilai resistivitas sampai waktu tertentu.

Kata Kunci: *Thin Films, Spray Pyrolysis Deposition, Kaca Borosilikat, Zinc Oxide*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALYSIS THE EFFECT OF SUBSTRATE
TEMPERATURE AND DEPOSITION TIME ON
CHARACTERISTICS OF ALUMINIUM-DOPED ZINC
OXIDE THIN FILMS BY SPRAY PYROLYSIS
DEPOSITION FOR TRANSPARENT CONDUCTING
OXIDE**

Student Name : Diaz Perdana
Student ID : 025115 4000 0030
Department : Teknik Material FTI-ITS
Advisor : Dr. Agung Purniawan, S.T.,M.Eng.
Co-Advisor : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

Transparent Conducting Oxides (TCOs) or conductive transparent glass is an electrical material that has absorption capacity on low electromagnetic waves. The principle works is to direct light directly and channel electrons through the conductive layer found in the material. In this study, Aluminum-Doped Zinc Oxide was deposited with a borosilicate glass substrate with temperature variations of 225, 275, 325 ° C, and variations in deposition time were 5, 10, 15 minutes. The precursor used is zinc acetate dihydrate which is dissolved in methanol by Al doping from Aluminum Chloride. From the results of the study, the resistivity values range from $1 \sim 9 \times 10^{-4} \Omega.cm$. In addition, the transmittance value is obtained with a range of values of 0.01% ~ 29.8%. There is a trend that the higher the temperature will increase the transmittance percentage and decrease the resistivity and the longer the deposition time will decrease the transmittance percentage and decrease the resistivity value until a certain time.

Keywords : *Thin Films, Spray Pyrolysis Deposition, Borosilicate glass, Zinc Oxide*

(This page left initially blanked)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“Analisa Pengaruh Temperatur dan Waktu Deposisi Terhadap Karakteristik Lapisan Tipis Aluminium-Doped Zinc Oxide dengan Metode Spray Pyrolysis Deposition Untuk Aplikasi Kaca Konduktif Transparan”** ini dengan lancar dan tepat waktu.

Dengan terbentuknya laporan tugas akhir ini, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama rangkaian penyelesaian tugas akhir, diantaranya kepada:

1. Allah SWT berkat pertolongan dan berkat dari-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI ITS Surabaya dan juga sebagai Dosen Pembimbing I tugas akhir penulis yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, dan motivasi selama proses penelitian tugas akhir.
3. Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D., selaku Sekretaris Departemen Teknik Material FTI ITS Surabaya dan juga sebagai Dosen Pembimbing II Tugas akhir penulis yang juga telah memberikan pengarahan, bimbingan, dan motivasi selama proses penelitian tugas akhir.
4. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan di lingkup Departemen Teknik Material yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun di kemudian hari. Akhir kata, penulis berharap semoga penulisan tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 10 Juli 2019

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 <i>Thin Film</i>	5
2.2 <i>Metode Spray Pyrolysis Deposition</i>	6
2.3 Material Yang Digunakan	8
2.4 <i>Transparent Conducting Oxide</i>	11
2.5 Mekanisme Pembentukan Lapisan Tipis	13
2.6 Faktor Yang Mempengaruhi <i>Spray</i>	17
2.7 Aplikasi <i>Aluminium-Doped Zinc Oxide</i>	18
2.8 Pengaruh Doping	19
2.9 Penelitian Sebelumnya	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir	23
3.2 Variabel Penelitian	24
3.3 Prosedur Penelitian	25
3.4 Pengujian	27
3.5 Rancangan Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Struktural	35
4.2 Analisa Morfologi	39
4.3 Analisa Sifat Optikal	44

4.4 Analisa Sifat Listrik	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN.....	61
UCAPAN TERIMA KASIH.....	75
BIODATA PENULIS.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Metode Pendoposisian Secara Kimia	6
Gambar 2. 2	Skema Metode <i>Spray Pyrolysis</i>	7
Gambar 2. 3	Satu Set Alat <i>Spray Pyrolysis Deposition</i>	8
Gambar 2. 4	Struktur kristal ZnO. (a) Heksagonal Wurtzite; (b) Kubik Zinblendes	8
Gambar 2. 5	(a) Kristal Zincite Oranye Berasal dari Sterling Mine, Ogdensburg, USA. (b) Kristal Sintetis Zink Oksida	9
Gambar 2. 6.	Aplikasi Kaca Borosilikat Sebagai Salah Satu Peralatan Laboratorium	11
Gambar 2. 7	Model Kondensasi Pendeposisian Lapisan Tipis yang Menyebabkan Pembentukan Tetesan Cairan pada Permukaan	14
Gambar 2. 8	Proses Pendeposisian	15
Gambar 2. 9	Pengaruh Temperatur Substrat Terhadap Ukuran Droplet.....	17
Gambar 2. 10	Pengaruh Viskositas Terhadap Hasil Droplet ..	18
Gambar 2. 11	Hubungan antara Hambatan dengan Unsur Penambahan Dopan Al pada Temperatur Ruang	20
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3. 2	Rangkaian Alat <i>Spray Pyrolysis Deposition</i>	26
Gambar 3. 3.	Cara Kerja SEM	28
Gambar 3. 4	Penghamburan Elektron Dan Sinar-X	29
Gambar 3. 5	Cara Kerja XRD.....	30
Gambar 3. 6	Alat Spektrofotometer	31
Gambar 3. 7	Skema Metode Four Point Probe.....	32
Gambar 4. 1	Spesimen Kaca Borosilikat	35
Gambar 4. 2	Spesimen Kaca Borosilikat yang Telah Dideposisi.....	35

Gambar 4. 3	Pola Difraksi Sinar-X Dari Lapisan Tipis AZO Dengan Variasi Temperatur Dengan Waktu Deposisi 10 Menit. (a) Rentang 2θ dari 10° - 90° ; (b) Rentang 2θ dari 30° - 50°	36
Gambar 4. 4	Pola Difraksi Sinar-X Dari Lapisan Tipis AZO Dengan Variasi Waktu Deposisi Dengan Temperatur Substrat 325°C (a) Rentang 2θ dari 10° - 90° ; (b) Rentang 2θ dari 30° - 50°	37
Gambar 4. 5	Morfologi Lapisan Tipis AZO Dengan Variasi Waktu Deposisi 10 Menit Dengan Variasi Temperatur	40
Gambar 4. 6	Morfologi Lapisan Tipis AZO dengan Variasi Temperatur Substrat 325°C dengan Variasi Waktu Deposisi	41
Gambar 4. 7	Persebaran Tiap Unsur yang Ada dari Lapisan Tipis AZO (Zn, O, Al).....	43
Gambar 4. 8	Spektrum Transmittansi Lapisan Tipis AZO dengan Variasi Temperatur pada Waktu Deposisi 10 Menit.....	44
Gambar 4. 9	Nilai Energi Pita Celah Dari Lapisan Tipis AZO Dengan Variasi Temperatur Pada Waktu Deposisi 10 Menit (a) 225°C ; (b) 275°C ; (c) 325°C	45
Gambar 4. 10	Spektrum Transmittansi Lapisan Tipis AZO dengan Variasi Waktu Deposisi pada Temperatur 325°C	46
Gambar 4. 11	Nilai Energi Pita Celah Lapisan Tipis AZO Dengan Variasi Waktu Deposisi Pada Temperatur 325°C (a) 5 Menit; (b) 10 Menit; (c) 15 Menit.....	48
Gambar 4. 12	Nilai Resistivitas dari Lapisan Tipis AZO pada Terhadap Variasi Temperatur.....	49

Gambar 4. 13 Nilai Resistivitas Lapisan Tipis AZO
Terhadap Variasi Waktu Deposisi 50

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Aplikasi Lapisan Tipis	5
Tabel 2. 2 Sifat dari Zink Oksida.....	10
Tabel 2. 3. Sifat dari Kaca Borosilikat	11
Tabel 2. 4 Beberapa Karakteristik Sebagai Material TCO dan Aplikasinya	13
Tabel 2. 5. Sifat Lapisan ZnO Yang Ditambahkan Beberapa Dopan Berbeda Dengan Metode PLD	19
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Kaca Borosilikat	26
Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian Pengujian	33
Tabel 4. 1 Analisa Struktural Lapisan Tipis AZO Terhadap Variasi Temperatur Pada Waktu Deposisi 10 menit.....	37
Tabel 4. 2 Analisa Struktural Lapisan Tipis AZO Terhadap Variasi Waktu Deposisi Pada Temperatur 325°C..	38
Tabel 4. 3. Analisis SEM-EDX Lapisan Tipis Kaca Konduktif dengan Variasi Temperatur dengan Waktu Deposisi 10 Menit	41
Tabel 4. 4 Analisis SEM-EDX Lapisan Tipis Kaca Konduktif dengan Variasi Waktu Deposisi pada Temperatur 325°C	42

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi saat ini ditandai dengan banyaknya manusia memanfaatkan peralatan modern yang berbasis komputer atau elektronik untuk menunjang kebutuhan manusia. Banyak kemudahan yang diberikan dari perkembangan teknologi saat ini. Tetapi semakin meningkatnya perkembangan teknologi ini tentu akan menghabiskan sumber material yang ada di alam. Maka dari itu diperlukan solusi sebagai upaya untuk menghasilkan material alternatif. Salah satu material yang sedang dikembangkan saat ini adalah material semikonduktor.

Material semikonduktor menjadi topik yang sering diteliti dalam perkembangan di bidang sains dan teknologi saat ini. Terutama penggunaannya di bidang elektronika seperti transistor, dioda, telepon genggam, dan kamera menjadi topik yang selalu diteliti di bidang teknologi (Neamen, 2003). Semikonduktor adalah suatu material yang sifat kemampuannya sebagai penghantar listrik berada diantara insulator dan konduktor. Perbedaannya didasarkan atas ukuran celah pita (E_g) yang didefinisikan sebagai ukuran energi orbital-orbital tertinggi yang terisi (pita valensi) dengan orbital-orbital terendah yang masih kosong (pita konduksi) (Yu & Cardona, 2010). Pada umumnya material semikonduktor diaplikasikan di material optoelektronikal dan sel surya.

Salah satu komponen yang ada di kedua material itu adalah *Transparent Conducting Oxides* (TCOs). *Transparent Conducting Oxides* (TCOs) atau kaca transparan konduktif adalah sebuah material elektrikal yang memiliki daya serap pada gelombang elektromagnetik yang rendah. Biasanya digunakan pada teknologi lapisan tipis dan digunakan pada perangkat optoelektronik seperti sel surya, tampilan, dan sirkuit. Prinsip kerjanya adalah meneruskan cahaya langsung dan menyalurkan elektron melalui lapisan konduktif yang terdapat pada material tersebut. (Fortunato, et al., 2007).

Selain menjadi komponen utama pada sel surya, TCO juga digunakan sebagai komponen *display*, *smart window*, *touch screen*, *light emitting diodes* (LEDs), dan lain-lain sehingga material ini menjadi sangat berharga dan mahal (Akshay & Zhou, 2010). Material TCO yang sudah banyak digunakan adalah *Indium Tin Oxide* (ITO) dikarenakan ITO memiliki nilai transparansi ~80% dan resistivitas sebesar $2,36 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ (Patel, et al., 2011). ITO memiliki sifat yang baik dari segi transmitansi optik, energi *band gap* yang lebar, serta konduktivitas listrik yang tinggi (Sim, et al., 2010).

Saat ini Indonesia merupakan net importir material TCO. Untuk itu diperlukan produksi material ini di dalam negeri sebagai upaya menuju kearah kemandirian energi didalam negeri dan pemenuhan kebutuhan pasar serta dapat meningkatkan devisa negara. (Hotim, 2015). Tetapi, seiring dengan perkembangan teknologi di bidang elektronik saat ini menyebabkan kebutuhan ITO bertambah, padahal ketersediaan unsur Indium di alam sangat sedikit. Harganya pun yang mahal menjadi permasalahan dalam pengembangan TCO saat ini. Sehingga menuntut adanya material alternatif pengganti ITO supaya kebutuhan TCO dapat tetap terpenuhi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, saat ini sudah dikembangkan material pengganti ITO seperti *Aluminium-Doped Zinc Oxide* (AZO) dan *Gallium-Doped Zinc Oxide* (GZO). (Jang, et al., 2009).

Zink Oksida merupakan oksida konduktif transparan yang banyak diteliti sebagai alternatif pengganti ITO. Kelebihan dari ZnO adalah karena ZnO terbentuk dari unsur-unsur yang melimpah. Kandungan seng dari kerak bumi 1000 kali lebih melimpah daripada Indium. Kelebihan ZnO yang lain adalah murah, tidak beracun, memiliki stabilitas yang tinggi dalam plasma hidrogen dan siklus panas serta tahan terhadap radiasi. (Sinaga, 2009)

Untuk mempertinggi sifat konduktivitasnya, ZnO seringkali didoping dengan dopan ekstrinsik. Unsur golongan IIIA khususnya aluminium banyak digunakan sebagai dopan dan dapat

menurunkan resistivitas lapisan ZnO hingga berorde $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$. Akan tetapi, doping dengan konsentrasi tinggi juga berpengaruh terhadap sifat optik lapisan ZnO:Al. Dalam TCO, peningkatan konsentrasi pembawa mempelebar energi pita celah akibat adanya efek Burstein-Moss dan efek banyaknya partikel. Selain itu penurunan resistivitas TCO menyebabkan transmitansi menurun dan reflektansi meningkat pada daerah inframerah (Liu, et al., 2013).

Selain doping, sifat listrik, dan sifat optik, lapisan ZnO juga ditentukan oleh proses pendeposisiannya. Salah satu yang cocok adalah metode deposisi kimia dikarenakan rendah biaya dan lapisan yang dideposit ternyata memiliki kualitas yang sama dibandingkan dengan metode yang membutuhkan biaya mahal seperti *physical deposition*. Selain itu metode ini juga dapat memproduksi logam oksida dalam temperatur yang relatif rendah (Shinde, et al., 2007). Pada penelitian kali ini, metode yang digunakan adalah deposisi *spray pyrolysis* dikarenakan Metode ini berguna untuk pendeposisian logam oksida dikarenakan ini merupakan teknik yang sederhana dengan peralatan yang minim biaya, dan hanya membutuhkan perawatan yang tidak sulit. Selain itu, metode ini tidak mengonsumsi energi dan daya yang besar dibandingkan peralatan yang vakum. (Ukoba, et al., 2018). Dengan demikian, lapisan ZnO:Al dapat memiliki nilai resistivitas yang rendah dengan nilai transparansi yang tinggi dan diproduksi dengan biaya yang murah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh waktu deposisi dan temperatur substrat terhadap struktur lapisan tipis *Aluminium-Doped Zinc Oxide* hasil deposisi *spray pyrolysis deposition* ?
2. Bagaimana pengaruh waktu deposisi dan temperatur substrat terhadap sifat optik dan listrik lapisan tipis *Aluminium-Doped Zinc Oxide* hasil deposisi *spray pyrolysis* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh waktu deposisi dan temperatur substrat terhadap struktur lapisan tipis *Aluminium-Doped Zinc Oxide* hasil deposisi *spray pyrolysis deposition*.
2. Menganalisa pengaruh waktu deposisi dan temperatur substrat terhadap sifat optik dan sifat listrik lapisan tipis *Aluminium-Doped Zinc Oxide* hasil deposisi *spray pyrolysis deposition*.

1.4 Batasan Penelitian

Pada penelitian ini memiliki beberapa batasan penelitian agar pembahasan pada penelitian dapat fokus dan tidak melebar, diantaranya yaitu:

1. Temperatur lingkungan dianggap konstan
2. Temperatur plat *heater* dianggap konstan
3. Komposisi kaca borosilikat dianggap homogen
4. Kekasaran kaca borosilikat dianggap sama

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan Metode fabrikasi lapisan tipis *Aluminium-Doped Zinc Oxide*
2. Dapat dijadikan referensi pengembangan lapisan tipis TCO *Aluminium-Doped Zinc Oxide* untuk penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Thin Film*

Thin Film dapat didefinisikan sebagai lapisan material yang ketebalannya hanya beberapa mikrometer ($<1 \mu\text{m}$). *Thin film* tidak dapat berdiri sendiri dan membutuhkan substrat untuk melekat. Teknologi film tipis membutuhkan lapisan permukaan yang jauh lebih halus. Atom-atom/molekul-molekul memiliki energi tinggi karena adanya panas atau tenaga listrik atau karena cara lain, kemudian langsung diangkut dari sumber ke substrat untuk membuat lapisan atom yang tipis (Sunipa & Sekar, 2016).

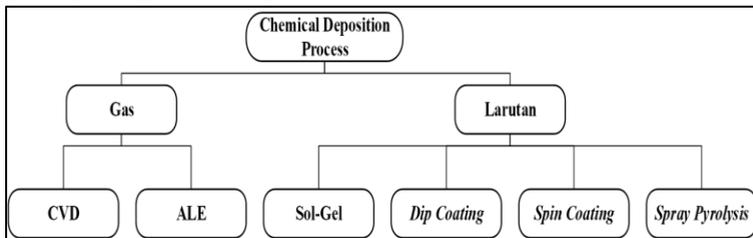
Beberapa aplikasi lapisan tipis dapat dikategorikan seperti yang terlihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Aplikasi Lapisan Tipis (Seshan, 2002)

Kategori	Fungsi dan Contoh Material
Komponen Elektronik	Material semikonduktor, Material dielektrik, Material Insulator, Logam refraktori, Konduktor silisida
Elektronik <i>Display</i>	<i>Liquid-Crystal Display</i> , <i>Light-Emitting Diodes</i> , Elektrokromatik, Plasma dan Fluoresens
Optikal	Antirefleksi, Panel Surya, Laser Optik
Magnetik	Penyimpanan Data
<i>Hard Surface</i>	Perkakas, Suku cadang mesin

2.2 Metode *Spray Pyrolysis Deposition*

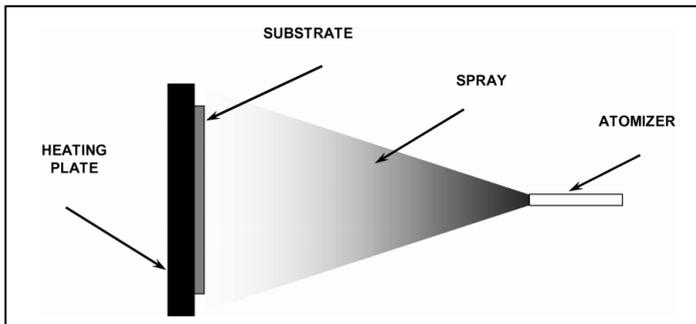
Metode yang digunakan untuk pembentukan lapisan tipis dapat dibagi menjadi dua berdasarkan proses pendeposisiannya yaitu fisik dan kimiawi. Metode fisik meliputi *Physical Vapor Deposition* (PVD), ablasi laser, epitaksi molekular, dan *sputtering*. Metode kimiawi terdiri dari metode deposisi gas dan larutan. Metode deposisi gas terdiri dari *Chemical Vapor Deposition* (CVD) dan *Atomic Layer Epitaxy* (ALE). Melalui larutan terdiri dari *spray pyrolysis*, sol-gel, *spin*, dan *dip coating*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.1



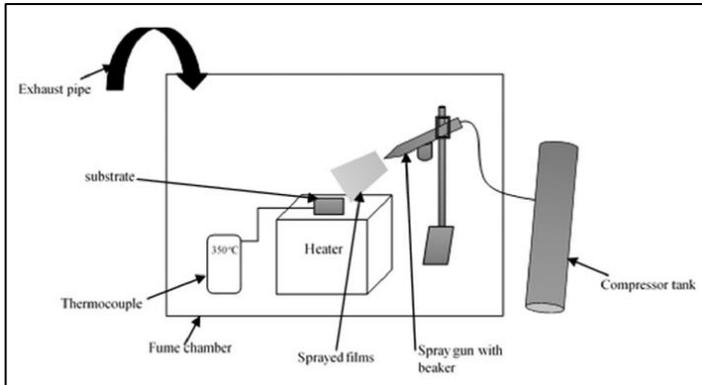
Gambar 2. 1 Metode Pendoposisian Secara Kimia
(Perednis, 2003)

Spray pyrolysis adalah teknik pengolahan untuk mempersiapkan lapisan oksida yang padat, pelapis keramik, dan bubuk. Tidak seperti banyak metode deposisi film lainnya, Metode ini merupakan metode yang sangat sederhana dan relatif hemat biaya, terutama mengenai biaya peralatan. *Spray pyrolysis* tidak memerlukan substrat yang berkualitas tinggi atau bahan kimia. Bahkan film *multi-layered* dapat dengan mudah dibuat dengan menggunakan teknik ini. *Spray pyrolysis* telah digunakan selama beberapa dekade di industri kaca dan dalam produksi sel surya untuk deposit listrik dari elektroda (Mochel, 1951). Teknik ini melibatkan penyemprotan larutan yang mengandung garam-garam terlarut dari atom-atom penyusun senyawa yang diinginkan pada substrat, dan dipertahankan pada suhu tinggi umumnya dalam kisaran 300-500°C (Muruganatham, et al., 2011).

Metode pendeposisian lapisan film tipis dengan *spray pyrolysis* seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 membutuhkan *atomizer*, larutan prekursor, pemanas substrat, dan pengatur temperatur. Untuk *atomizer* sendiri yang biasa digunakan pada metode ini adalah jenis *air blast* seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 (Balkenende, et al., 1996). Metode ini berguna untuk pendeposisian logam oksida dikarenakan ini merupakan teknik yang sederhana dengan peralatan yang minim biaya, dan hanya membutuhkan perawatan yang tidak sulit. Selain itu, metode ini tidak mengonsumsi energi dan daya yang besar dibandingkan peralatan yang vakum. Kualitas dan karakteristik yang dihasilkan dari metode ini tergantung dari parameter saat proses itu berlangsung. Temperatur permukaan substrat mempengaruhi hasil dari lapisan. Semakin tinggi permukaan substrat menghasilkan permukaan yang lebih kasar dan lapisan berpori tetapi ketika dioperasikan pada temperatur rendah akan menghasilkan lapisan yang retak. Proses deposisi ini mempengaruhi kristalinitas, tekstur, dan sifat fisik lainnya dari lapisan tipis yang dideposisikan (Ukoba, et al., 2018).



Gambar 2. 2 Skema Metode *Spray Pyrolysis* (Perednis, 2003)

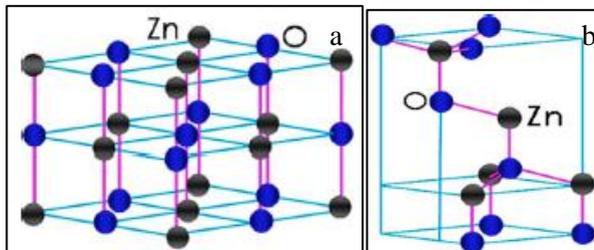


Gambar 2. 3 Satu Set Alat *Spray Pyrolysis Deposition*
(Ukoba, et al., 2018)

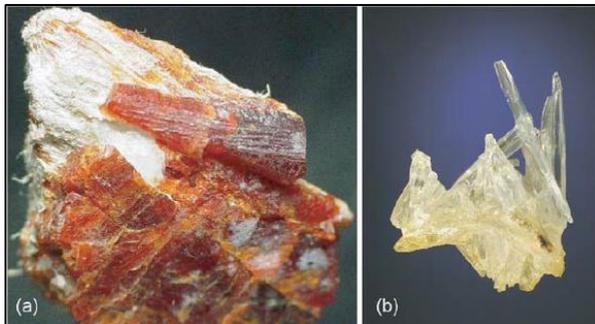
2.3. Material Yang Digunakan

2.3.1 Zinc Oxide

Zink Oksida (ZnO) adalah senyawa oksida yang dialam bumi terkandung dalam mineral langka *zincite*, yang memiliki struktur kristal heksagonal *wurtzite* dan kubik *zincblende* seperti pada Gambar 2.4. *Zincite* biasanya berwarna merah atau oranye karena adanya unsur pengotor mangan. Bentuk *zincite* dapat dilihat pada Gambar 2.5 seperti dibawah ini.



Gambar 2. 4 Struktur kristal ZnO. (a) Heksagonal Wurtzite;
(b) Kubik Zincblende (Ashrafi & Jagadish, 2007)



Gambar 2. 5 (A) Kristal Zincite Oranye Berasal dari Sterling Mine, Ogdensburg, USA. (B) Kristal Sintetis Zink Oksida (Ellmer, et al., 2007)

ZnO sebagai material semikonduktor memiliki banyak aplikasi, meliputi transduser piezoelektrik, varistor, fosfor, dan lapisan konduktif transparan. Karena dari keseluruhan aplikasi tersebut hanya membutuhkan material polikristalin. Pemancar cahaya ultraviolet, transistor daya tinggi dapat diproduksi oleh ZnO jika ZnO tersebut memiliki struktur kristal tunggal. Sebagai pemancar, keuntungan utama dari ZnO memiliki energi ikat eksiton sebesar 60 meV (nilai ini tiga kali lebih besar dibandingkan energi ikat eksiton GaN yaitu 20 meV) sehingga memungkinkan untuk emisi eksitonik yang efisien pada temperatur kamar dan transparan terhadap cahaya tampak. (Litton, et al., 2011).

Zink oksida memiliki pita celah yang lebar (3,37 eV) dengan memiliki beberapa sifat fisik yang baik. ZnO biasanya digunakan untuk material jendela untuk sel surya dikarenakan transmisinya yang tinggi di daerah cahaya tampak dan memiliki hambatan yang rendah. Akhir-akhir ini, ZnO sedang diteliti lebih lanjut sebagai material optoelektronik seperti fotodetektor, *Light Emitting Diodes* (LEDs) dan perangkat fotoluminesens dikarenakan celah pitanya dan energi ikat eksiton sebesar 60 meV. Sehingga ZnO memiliki potensi sebagai aplikasi pada *Ultra Violet Light Emitting Devices*, perangkat laser dan detektor UV. ZnO sendiri dapat disintesi dengan beberapa metode seperti *pulsed layer deposition*, *RF*

magnetron sputtering, *sol-gel*, dan *spray pyrolysis* (Quinones-Galvan, et al., 2013). Untuk sifat dari zink oksida dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Sifat dari Zink Oksida (<https://www.azom.com>)

Sifat	Nilai
Massa Molar (g/mol)	81,408
Densitas (g/cm ³)	5,606
Titik Leleh (°C)	1975
Titik Didih (°C)	2360
Kelarutan dalam air (mg/100ml)	0,16
Pita Celah (eV)	3,3
Refractive Index	2,0041

2.3.2 Kaca Borosilikat

Kaca borosilikat mengantuk beberapa unsur, diantaranya silika (SiO₂), dan boron oksida (B₂O₃ > 8%) sebagai jaringannya dengan komposisinya adalah 70-80 wt% SiO₂, 7-13 wt% B₂O₃, 4-8 wt% Na₂O atau K₂O, dan 2-8 wt% Al₂O₃. (Baucchio, 1994). Kaca ini sendiri terdapat dua jenis berdasarkan komposisi dari boron oksidanya. Kaca boron rendah memiliki kandungan sebesar 7-13 wt% B₂O₃ dan kaca boron rendah memiliki kandungan sebesar 15-25 wt% B₂O₃. (Elmer, 1992)

Kaca Borosilikat adalah material yang saat ini sering diteliti karena memiliki banyak aplikasi. Material ini memiliki koefisien ekspansi termal yang lebih rendah dibandingkan kaca *soda lime*, ketahanan terhadap bahan kimia yang baik, kekuatan dielektrik yang tinggi, dan temperatur *softening* yang lebih tinggi dibandingkan kaca *soda lime*. Maka dari itu, kaca borosilikat sering digunakan untuk peralatan laboratorium, peralatan rumah tangga, instalasi pipa pada industri, dan tabung elektrikal yang membutuhkan *wattage* tinggi seperti *X-ray tubes* seperti pada Gambar 2.6. Kaca ini mengandung 96% SiO₂. (Konijnendijk, 1975).



Gambar 2. 6. Aplikasi Kaca Borosilikat Sebagai Salah Satu Peralatan Laboratorium (Konijnendijk, 1975)

Untuk sifat-sifat dari kaca borosilikat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3. Sifat dari Kaca Borosilikat (<https://azom.com>)

Kategori	Sifat	Satuan	Nilai
Umum	Densitas	g/cm^3	2,23
Thermal	Maksimal Temperatur Penggunaan	$^{\circ}\text{C}$	500
	Konduktivitas Thermal	W/m.K	1,14
	Koefisien Ekspansi Linier	$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	3,3
Elektrikal	Resistansi volume	U.cm	10^{15}
	Konstanta dielektrik		4,6
	Kekuatan dielektrik	kV/mm	30

2.4 *Transparent Conducting Oxide*

Transparent Conducting Oxides (TCOs) atau kaca transparan konduktif adalah sebuah material elektrikal yang memiliki daya serap pada gelombang elektromagnetik yang rendah. Biasanya digunakan pada teknologi lapisan tipis dan digunakan pada perangkat optoelektronik seperti sel surya, tampilan, dan sirkuit. Prinsip kerjanya adalah meneruskan cahaya

langsung dan menyalurkan elektron melalui lapisan konduktif yang terdapat pada material tersebut. (Fortunato, et al., 2007)

Semua oksida yang transparan dan yang mampu mengantarkan listrik (TCO) adalah senyawa biner dan terner, yang terdiri dari satu atau dua unsur logam. Hambatannya dapat sedemikian rendah hingga $10^{-4} \Omega \text{ cm}$, dan koefisien pemadaman k dalam rentang optik terlihat (VIS) dapat lebih rendah dari 0,0001, karena celah pita lebarnya (E_g) dapat lebih dari 3 eV. Kombinasi yang bagus ini biasanya tidak mungkin pada oksida stoikiometri intrinsik namun demikian, kombinasi tersebut dapat diproduksi dengan komposisi non stoikiometrik atau menambahkan dopan yang sesuai. Beberapa paduan TCO yang sudah ada yaitu seperti CdO, lapisan tipis ZnO, SnO₂, In₂O₃, juga merupakan paduan TCO. Doping oksida ini mampu meningkatkan konduktivitas elektrikalnya tanpa menurunkan sifat transmisi optiknya. Al *doped* ZnO (AZO), Timah *doped* In₂O₃ (ITO), dan antimoni atau Fluorine *doped* SnO₂ (ATO dan FTO), adalah beberapa lapisan tipis TCO yang dimanfaatkan dalam teknologi modern. Yang paling sering adalah ITO.

Potensial aplikasi dari lapisan tipis TCO meliputi : (i) elektroda transparan untuk *flat panel display*; (ii) elektroda transparan untuk sel fotovoltaik; (iii) jendela rendah emisivitas; (iv) lapisan tipis untuk transistor; (v) LEDs; (vi) laser semikonduktor; (vii) *window defrosters*. Karena penggunaan TCO tergantung dari sifat optik dan sifat listriknya makadari itu kedua parameter tersebut harus mempertimbangkan dari kestabilan lingkungan, ketahanan abrasi, fungsi kerja elektron, dan kesesuaian dengan substrat dan komponen-komponen lain terutama untuk aplikasi tertentu. Ketersediaan bahan yang ada dan segi ekonomi dari metode deposisi juga merupakan faktor yang menentukan material TCO yang optimal. Keputusan pemilihan secara umum dibuat dengan cara memaksimalkan fungsi dari lapisan tipis TCO dengan pertimbangan parameter tersebut dan meminimalkan biaya pembuatannya (Afre, et al., 2017). Karakteristik dari TCOs dapat dilihat pada Tabel 2.4

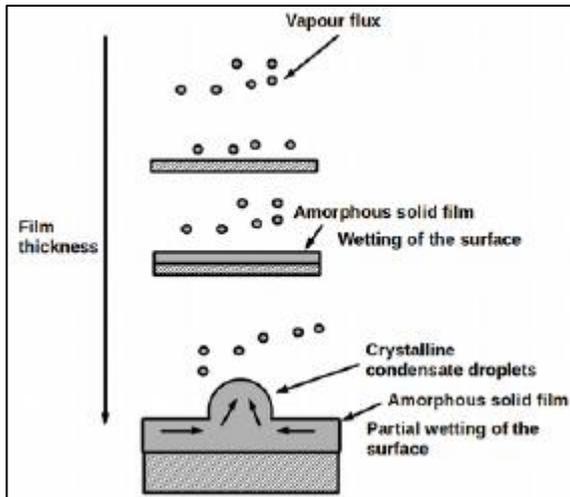
Tabel 2. 4 Beberapa Karakteristik Sebagai Material TCO dan Aplikasinya (Ginley, 2010)

Kriteria Umum	Kriteria Opto-Elektronik	Kriteria Proses
Material Ramah Lingkungan	Transparansi pada Cahaya Tampak	Temperature dan Kondisi Deposisi
Ramah Lingkungan Pembuatannya	Konduktivitas	Stabilitas saat <i>Annealing</i>
Biaya	Konsentrasi <i>Carrier</i>	Kompatibilitas saat proses vakum dan non vakum
Ketersediaan	Mobilitas	Stabilitas Kimia
Jangkauan Aplikasi	Transparansi pada Inframerah	<i>Etchability</i>
	Mobilitas Tinggi	Kondisi Permukaan
	Mobilitas tinggi pada konsentrasi <i>carrier</i> yang rendah	Sensitivitas Temperatur
	Kecocokan untuk Perangkat Elektronik	Sensitivitas Atmosfer
	Fungsi Kerja	

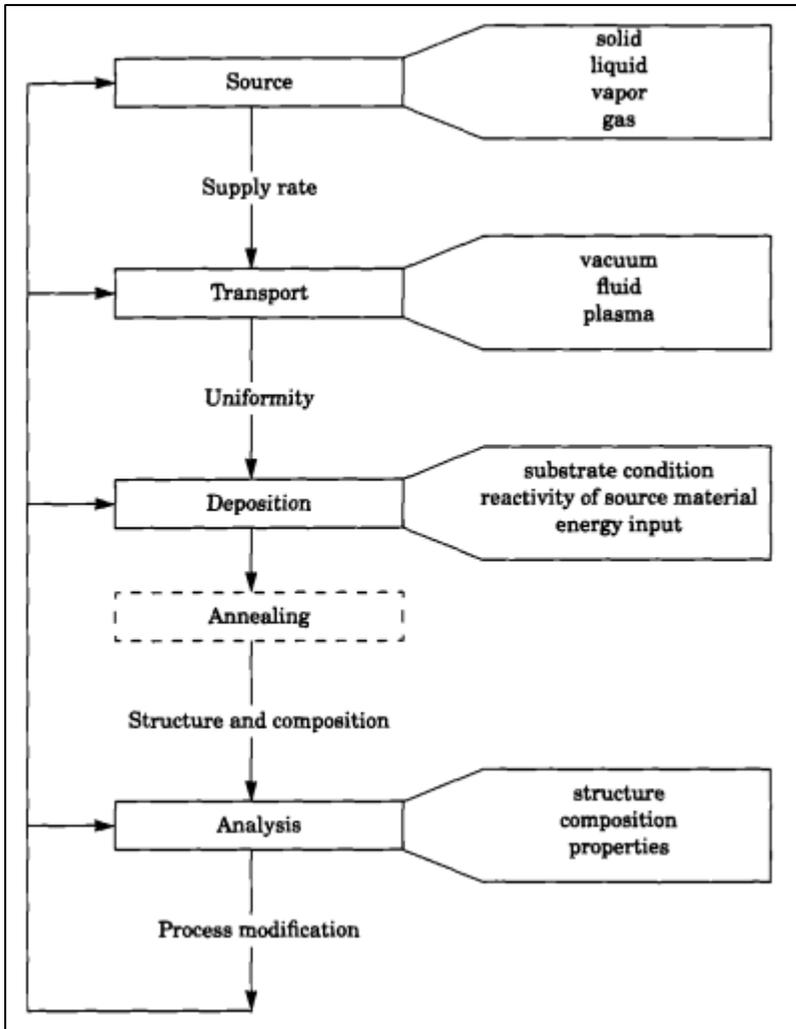
2.5 Mekanisme Pembentukan Lapisan Tipis

Menurut Murthy dkk, 2006. Pembentukan lapisan tipis merupakan suatu proses kompleks yang terdiri dari nukleasi, pertumbuhan, peleburan, dan kristalisasi. Kondensasi dan nukleasi dari uap yang terdapat pada permukaan sudah dipelajari lebih lanjut dan dijadikan untuk pembentukan lapisan tipis. Kondensasi dari uap itu terjadi ketika tingkat kejenuhannya sudah mencapai titik kritis yang berlanjut hingga proses nukleasi kemudian membentuk tetesan cairan. Proses deposisi terjadi ketika tingkat

kejenuhan dari sistem kimia meningkat sehingga membentuk butiran-butiran cair, yang nantinya membentuk lapisan tipis. Untuk mekanisme dan tahapan deposisi dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Model Kondensasi Pendeposisian Lapisan Tipis yang Menyebabkan Pembentukan Tetesan Cairan pada Permukaan (Murthy, et al., 2016)



Gambar 2. 8 Proses Pendeposisian (Smith, 1995)

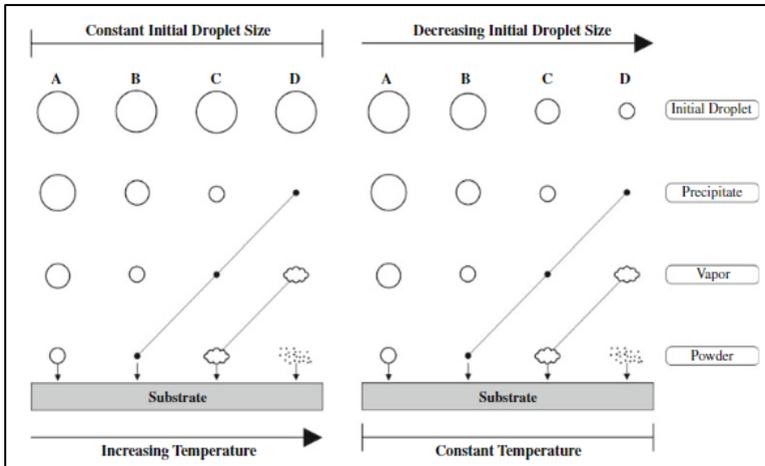
Semua proses pembuatan lapisan tipis meliputi empat (atau lima) tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 2.8. Ketika sumber material sudah ada, material ditransportkan menuju substrat, lalu

deposisi, terkadang proses *annealing* diperlukan kemudian dianalisa untuk mengetahui evaluasi dari proses tersebut. Hasil yang dianalisis kemudian digunakan untuk menyesuaikan kondisi dari tahapan selanjutnya untuk modifikasi sifat-sifat lapisan itu.

Sumber dari pembentuk material lapisan tipis dapat berupa padat, cair, uap atau gas. Material padat dibutuhkan untuk diuapkan terlebih dahulu untuk ditranspor ke substrat. Proses ini dapat dilakukan dengan memanaskan, ablasi laser, atau *sputtering*. Biasanya dikenal dengan metode *physical vapor deposition* (PVD). Untuk material yang menggunakan gas, cairan yang menguap, atau gas kimia sebagai sumber material dikenal dengan *chemical vapor deposition* (CVD). Baik PVD atau CVD, kontaminasi dan laju alir adalah menjadi fokus tersendiri.

Tahapan Transport, fokus utamanya adalah untuk penyeragaman laju kedatangan menuju area substrat. Faktor yang mempengaruhi penyeragaman ini tergantung dari media transportnya seperti vakum atau cairan. Banyak juga yang menggunakan plasma. Plasma adalah gas ionisasi.

Tahapan yang selanjutnya yaitu deposisi dari lapisan menuju permukaan substrat. Faktor yang mempengaruhi proses ini adalah sumber dan faktor transport saat kondisi menuju permukaan deposisi. Ada tiga faktor permukaan yang menentukan proses ini yaitu kondisi permukaan substrat, reaktivitas material, dan input energinya. Kondisi permukaan substrat meliputi kekasaran, ikatan kimia dengan material, kristalografi. Tahapan yang terakhir yaitu analisa dari lapisan. Biasanya meliputi pengecekan komposisi, kristalografi dan beberapa sifat lainnya. Analisa ini dapat mengetahui kekurangan dari proses pendeposisian untuk evaluasi proses selanjutnya (Smith, 1995). Pengaruh temperatur terhadap ukuran droplet yang mengenai substrat dapat dilihat pada Gambar 2.9



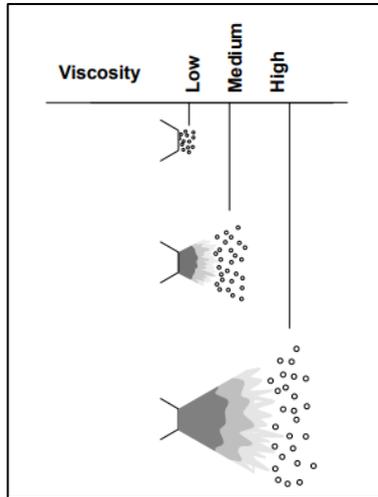
Gambar 2. 9 Pengaruh Temperatur Substrat Terhadap Ukuran Droplet (Nakaruk & Sorrel, 2010)

2.6 Faktor Yang Mempengaruhi *Spray*

Karakteristik aliran dan semprotan dari berbagai *atomizer* sangat dipengaruhi oleh sifat dari fluida tersebut seperti viskositas dan tegangan permukaan dari fluida tersebut.

Tegangan permukaan penting dalam atomisasi karena tegangan permukaan menjelaskan gaya yang menolak pembentukan area permukaan baru. Energi minimum yang diperlukan untuk atomisasi sama dengan tegangan permukaan dikalikan dengan peningkatan luas permukaan cairan.

Selain tegangan permukaan, viskositas juga merupakan salah satu parameter yang penting dikarenakan, viskositas akan mempengaruhi hasil dari droplet yang terbentuk baik dari ukuran droplet, laju alir, dan pola dari semprotan yang terbentuk. (Lefebvre & McDonell, 2017). Untuk mengetahui skema pengaruh dari viskositas sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2. 10 Pengaruh Viskositas Terhadap Hasil Droplet (Lefebvre & McDonell, 2017)

2.7 Aplikasi Aluminium-Doped Zinc Oxide

TCO sudah dipelajari lebih lanjut dikarenakan dapat menghasilkan transparansi optik dan konduktivitas elektrik yang tinggi sehingga sering digunakan *flat panel displays* dan sel surya. Yang sering digunakan adalah *Indium Tin Oxide* (ITO) terutama dalam *Liquid Crystal Displays* (LCD), *Plasma Display*, dan *Organic Light-Emitting Diodes* (OLEDs). Tetapi dikarenakan pengembangan ITO membutuhkan biaya yang besar sehingga dicari alternatif yang membutuhkan biaya yang rendah. *Aluminium-Doped Zinc Oxide* (AZO) adalah alternatif yang memungkinkan untuk menggantikan ITO dikarenakan sifat optik dan kelistrikkannya yang unik. Lapisan tipis AZO membutuhkan biaya yang lebih murah dibandingkan ITO dan memiliki potensi yang baik sebagai *flat panel displays*. Akhir-akhir ini, AZO sedang diteliti lebih lanjut untuk menggantikan ITO sebagai kontak anoda untuk perangkat OLED (Hao, et al., 2006).

Lapisan tipis AZO saat ini menjadi material yang menjanjikan dikarenakan karakteristik elektrik dan optikalnya

yang superior, tidak beracun, rendah biaya, ketersediaan di alam yang melimpah, kestabilan termal yang tinggi, dan daya tahannya di plasma hidrogen. AZO yang disintesa dalam temperatur yang rendah kemudian diikuti dengan proses *annealing* dapat menghasilkan karakteristik listrik untuk perangkat opto-elektronik. Dapat juga dijadikan sebagai elektroda transparan (Marouf, et al., 2017).

2.8 Pengaruh Doping

Beberapa unsur telah ditambahkan ke lapisan tipis ZnO seperti B, Al, Ga, In (Unsur Golongan III), F (Unsur Golongan VII). Dan hingga saat ini sudah dipelajari lebih lanjut untuk material *Aluminium-Doped Zinc Oxide* (AZO), Gallium Zink Oksida (GZO). Untuk letak dari atom dopan dan batas kelarutannya tergantung dari metode yang digunakan untuk pembuatan lapisannya. Contohnya, untuk metode *spray pyrolysis*, In dan Ga lebih efisien dibandingkan Al dikarenakan atomnya lebih mudah masuk dengan interstisi ke kisi dari ZnO sehingga menurunkan mobilitasnya. Beberapa dopan yang sudah ditambahkan ke lapisan tipis ZnO lebih lengkapnya dapat dilihat di Tabel 2.5

Tabel 2. 5. Sifat Lapisan ZnO Yang Ditambahkan Beberapa Dopan Berbeda Dengan Metode PLD (Liu, et al., 2013)

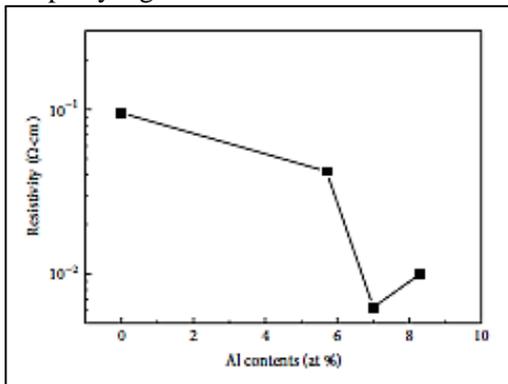
Dopan	Komposisi Optimal (%)	Ketebalan (mm)	Hambatan ($\times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$)	Transmitans (%)
Al	2	500	4,5	88
Ga	5	200	8,12	>90
In	40	>1000	4,02	>85
F	2	200	4,83	>90
Si	2	~150	6,2	~80

Jari-jari ionik Al^{3+} adalah 0,54 Å, yang lebih kecil dibandingkan Zn^{2+} Å. Sehingga Al^{3+} dapat masuk ke kisi Zn^{2+}

dengan mudah yang menyebabkan memperkecil ukuran kisi tersebut. Sedangkan Ga^{3+} memiliki jari-jari yang sama ukurannya dengan Zn^{2+} sehingga mengurangi kemungkinan deformasi pada kisi ZnO meskipun pada konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini menjelaskan mengapa Gallium Zink Oksida (GZO) memiliki sifat listrik yang baik dibandingkan yang lain (Park, et al., 2006).

Sifat konduktivitas lapisan tipis ZnO utamanya didominasi oleh elektron yang dihasilkan dari kekosongan oksigen dan donasi muatan. Pengaruh Aluminium terhadap sifat kelistrikan lapisan tipis ZnO yang tumbuh pada substrat Si (100) memperlihatkan bahwa kiralinitas dari lapisan tersebut menurun sedangkan hambatannya menurun ketika konsentrasi dopan Al meningkat ($9,36 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ dan maksimal konsentrasi dari dopannya adalah 2,7 at%) (Guo, et al., 2011).

Hambatan dari lapisan AZO menurun seiring peningkatan konsentrasi unsur Al sekitar 7% at. setelah itu meningkat ketika konsentrasi 8% at. seperti yang terlihat pada Gambar 2.11 ketika Al memiliki konsentrasi yang tinggi, Al akan membentuk Al_2O_3 yang dapat menurunkan sifat kelistrikan. Hal ini juga berlaku untuk unsur-unsur dopan yang lain.



Gambar 2. 11 Hubungan antara Hambatan dengan Unsur Penambahan Dopan Al pada Temperatur Ruang (Yanli, 2012)

2.9 Penelitian Sebelumnya

Muiva pada tahun 2010, melakukan penelitian tentang pengaruh konsentrasi dopan aluminium terhadap lapisan tipis zink oksida dengan menggunakan metode deposisi *spray pyrolysis* untuk aplikasi elektroda transparan. Substrat yang digunakan yaitu material kaca dengan ukuran 3cm x 7cm. Kondisi operasi yang digunakan meliputi larutan zink asetat 0,2M yang dilarutkan didalam metanol dan aquades dengan perbandingan masing-masing 35:65. Variasi konsentrasi dopan aluminium yang diteliti yaitu 0-10% aluminium. Temperatur yang diberlakukan terhadap substrat yaitu sebesar 420°C. Hasil yang didapatkan yaitu terdapat pelebaran celah pita optik seiring dengan peningkatan konsentrasi dopan aluminium terhadap lapisan tipis ZnO. Hasil optimal yang didapatkan yaitu lapisan tipis ZnO:Al memiliki hambatan yang rendah sebesar $2,8 \times 10^{-2} \Omega \text{ cm}$ dan transmitansinya lebih dari 85% di panjang gelombang 550 nm yang dapat diaplikasikan untuk perangkat optoelektronikal dengan konsentrasi dopan yang optimal sebesar 2% aluminium.

Selanjutnya, Marouf, et al., 2017, melakukan penelitian tentang pengaruh konsentrasi dopan aluminium terhadap lapisan tipis ZnO yang dioperasikan pada temperatur rendah dengan metode *spray pyrolysis* deposisi untuk aplikasi elektroda transparan. Substrat yang digunakan adalah material kaca dengan ukuran dimensi 25 mm x 75 mm dengan ketebalan 1 mm. Larutan prekursor yang digunakan terbuat dari zink asetat dihidrat yang dilarutkan dengan metanol. Lalu aluminiumnya didapatkan dari aluminium klorida dengan variasi konsentrasi dopan sebesar 0-1% atomik rasio. Temperatur operasi yang diberlakukan terhadap substrat yaitu sebesar 300°C yang diikuti dengan proses *post-annealing* dengan menggunakan *rapid thermal annealing* (RTA) pada temperatur 350°C dengan dua kondisi atmosfer yang berbeda yaitu pembentukan gas (5% H₂ dan 95% N₂) dan kondisi vakum selama 25 menit. Hasil yang didapatkan yaitu (i) Aluminium yang mampu meningkatkan kualitas kristal sehingga menaikkan mobilitas elektron material dan (ii) RTA melepaskan elektron

terpusat yang disebabkan penyerapan oksigen sehingga meningkatkan densitas muatan bebas. Dalam kondisi optimalnya didapatkan bahwa lapisan tipis memiliki hambatan yang rendah dan transmitans yang tinggi dengan masing-masing nilai sebesar $4 \times 10^{-3} \Omega \text{ cm}$ dan 87%. Dengan kondisi tersebut material ini dapat diaplikasikan untuk aplikasi sel surya dengan mengontrol kembali temperatur dari proses *post-deposition annealing*.

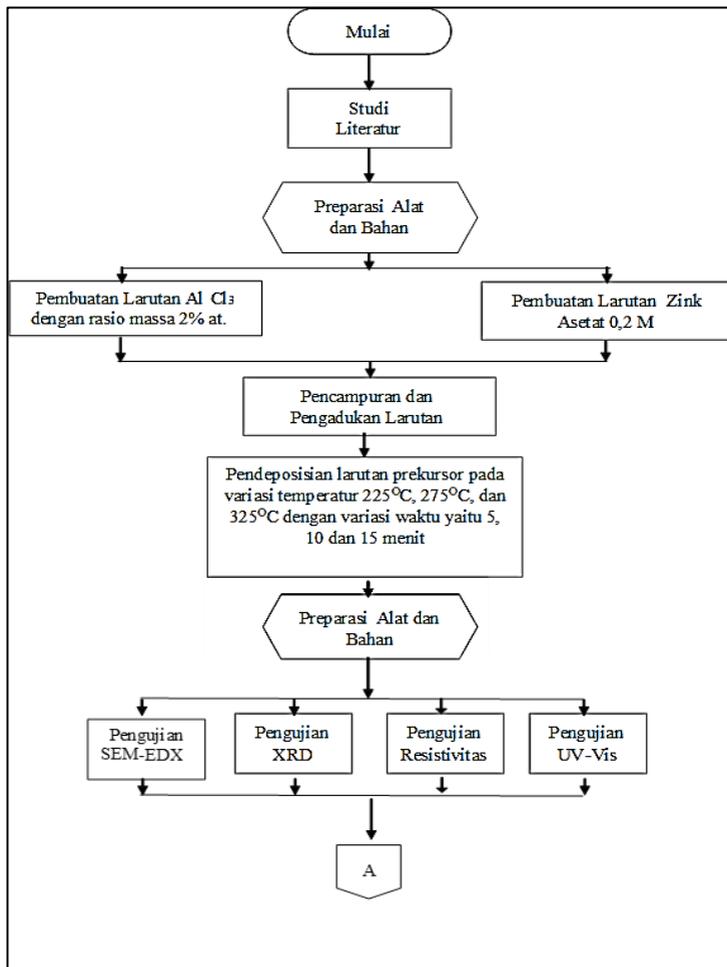
Arini, et al., 2017, juga telah melakukan penelitian dengan metode yang sama pada tahun 2016. Material yang digunakan adalah substrat kaca dengan larutan prekursor hasil campuran antara timah (II) klorida hidrat ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan amonium florida (NH_4F). Rasio massa dari doping fluor yaitu sebesar 6% wt. Arini melakukan penelitian untuk pembentukan kaca konduktif FTO (*Fluorine-Doped Tin Oxide*) dengan variasi waktu deposisi dan temperatur substrat. Variasi waktu yang diberlakukan adalah 5, 20, 30, dan 40 menit dengan waktu operasi tetap 300°C . Sedangkan variasi temperatur substrat yang dioperasikan adalah 250, 300, 350, dan 400°C dengan waktu konstan yaitu 5 menit. Dari penelitian yang sudah dilakukan didapatkan beberapa tren hasil yaitu semakin lama waktu deposisi maka akan semakin kecil nilai resistivitas dari kaca konduktif dan semakin lama waktu deposisi akan mengurangi nilai transmitansi kaca tersebut. Dan kesimpulan penelitian ini adalah didapatkan transmitansi tertinggi dan resistivitas terendah pada variasi waktu deposisi 5 menit dengan temperatur substrat 300°C .

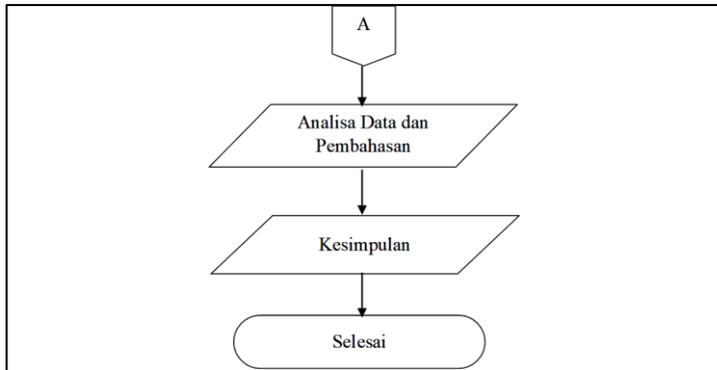
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir

Diagram alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar

3.1





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang terdapat pada penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang nilainya ditentukan peneliti yang kondisinya dapat diubah-ubah dengan menggunakan metode tertentu sehingga menghasilkan variabel terikat dari objek penelitian, dan dapat diperoleh korelasi antar keduanya. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah waktu deposisi dan temperatur substrat.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilai dan kondisinya bergantung pada variabel bebas yang telah ditentukan. Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah:

1. Nilai transmitansi (%)
2. Nilai resistivitas (Ω .cm)
3. Morfologi lapisan

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya dibatasi atau selalu dijaga konstan oleh peneliti setiap melakukan penelitian. Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah:

1. Pelarut menggunakan metanol 99%

2. Pengadukan larutan dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit
3. Laju aliran pendeposisian yaitu 10 ml/menit.
4. Tekanan yang digunakan adalah 1 bar.

3.3 Prosedur Penelitian

Berikut adalah prosedur penelitian yang akan dilakukan peneliti, diantaranya:

1. Preparasi Alat dan Bahan

- a. Persiapan Alat *Spray Pyrolysis Deposition*

Alat *Spray Pyrolysis Deposition* terdiri dari kompressor untuk mengalirkan udara gas ke *nozzle*, botol lab yang merupakan tempat untuk larutan prekursor yang nantinya dialirkan juga ke *nozzle*, *nozzle* berfungsi sebagai tempat keluarnya uap air yang dialirkan dari kompressor dan botol lab. Uap air yang keluar berukuran diameter 0,016 inch. Kemudian *nozzle* diletakkan dalam posisi mengarah vertikal ke bawah dengan ditahan oleh 2 statif dan klem di kedua ujung saluran udara dan cairan dengan jarak 15 cm dari *heater*. *Heater* sendiri berfungsi sebagai tempat untuk memanaskan substrat kaca dengan variasi temperatur operasi yang sudah ditentukan. Jika sudah selesai dirakit, kemudian alat ditutup dengan *chamber* akrilik supaya panas yang dihasilkan oleh *heater* tidak menyebar ke seluruh ruangan. Untuk lebih jelasnya, rangkaian alat *spray pyrolysis deposition* dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Rangkaian Alat *Spray Pyrolysis Deposition*

b. Persiapan kaca

Kaca borosilikat dipotong dengan ukuran 25 x 75 x 2 mm kemudian dimasukkan ke dalam wadah yang sudah diisi metanol, setelah itu masukkan kaca kedalam *ultrasonic cleaner* selama 30 menit supaya kotoran yang tertempel pada kaca dapat hilang. Setelah itu kaca dikeluarkan dari *cleaner*, diusahakan jangan sampai tersentuh oleh tangan supaya meminimalisir kotoran yang dapat tertempel pada kaca. Menurut Hasanuzzaman, 2016, komposisi kimia Kaca Borosilikat dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Kaca Borosilikat
(Hasanuzzaman, et al., 2016)

Komposisi	Kadar (%)
SiO ₂	70-80
B ₂ O ₃	7-13
Na ₂ O	4-8
Al ₂ O ₃	2-8

2. Pembuatan Larutan Prekursor

Larutan prekursor dibuat dari pencampuran antara Zink Asetat Dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) (99,5%, MERCK) dengan Aluminium Klorida ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (99%, MERCK) yang dilarutkan dalam 100 ml metanol (99%, MERCK). 4,4 gram zink asetat dilarutkan dengan metanol kemudian diaduk dan dicampurkan dengan *magnetic stirrer* hingga homogen. Lalu timbang aluminium klorida dengan komposisi 2% wt atau setara dengan 0,088 gram. Larutkan aluminium klorida dalam 100 ml metanol kemudian diaduk dan dicampur dengan *magnetic stirrer* sampai homogen. Kemudian larutan zink asetat dan aluminium klorida dicampurkan kedalam gelas beker yang ditutup dengan aluminium foil supaya larutan prekursor tidak teroksidasi dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit dengan kecepatan sebesar 450 rpm pada temperatur 40°C . Setelah larutan prekursor siap proses deposisi siap dilakukan

3. Proses Deposisi *Spray Pyrolysis*

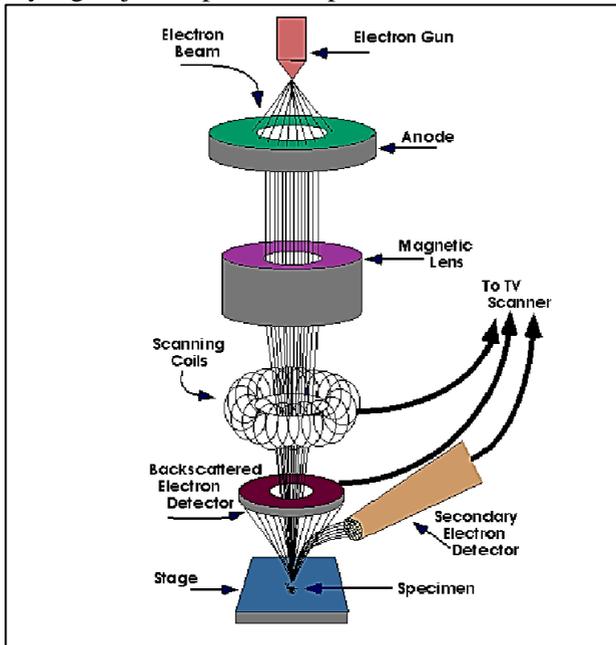
Letakkan kaca yang sudah dibersihkan pada heater kemudian nyalakan *heater* dan atur temperatur dengan variasi temperatur 225, 275, dan 325°C . Ketika temperatur pada *heater* sudah mencapai variasi yang ditentukan semprotkan dengan uap air dari larutan prekursor yang keluar dari *nozzle*. Untuk variasi temperatur, waktu yang diberlakukan untuk proses deposisi adalah 5, 10, dan 15 menit sehingga bisa diketahui pengaruh dari kedua variasi tersebut.

3.4 Pengujian

3.4.1 *Scanning Electron Microscope*

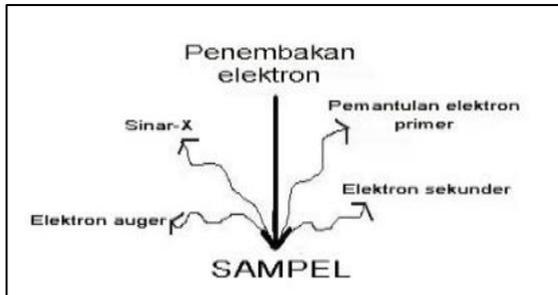
Scanning Electron Microscope adalah sebuah alat yang menampilkan Gambaran permukaan material. SEM menggunakan elektron sebagai sumber pembentukan Gambar tidak seperti mikroskop pada umumnya yang menggunakan sinar tampak. Maka dari itu dibutuhkan resolusi yang besar supaya Gambar dari

permukaan material dapat terlihat dengan jelas. Pola penembakan elektron yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Cara Kerja SEM (Maksum, 2018)

Cara kerja dari mikroskop ini adalah sinar dari lampu dipancarkan pada lensa kondensor, sebelum masuk pada lensa kondensor ada pengatur dari pancaran sinar elektron yang ditembakkan. Sinar yang melewati lensa kondensor diteruskan lensa objektif yang dapat diatur maju mundurnya. Sinar yang melewati lensa objektif diteruskan pada spesimen yang diatur miring pada pencekamnya, spesimen kemudian disinari oleh deteksi *x-ray* yang menghasilkan sebuah Gambar yang diteruskan pada layar monitor (Respati, 2008). Penghamburan elektron yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 3.4

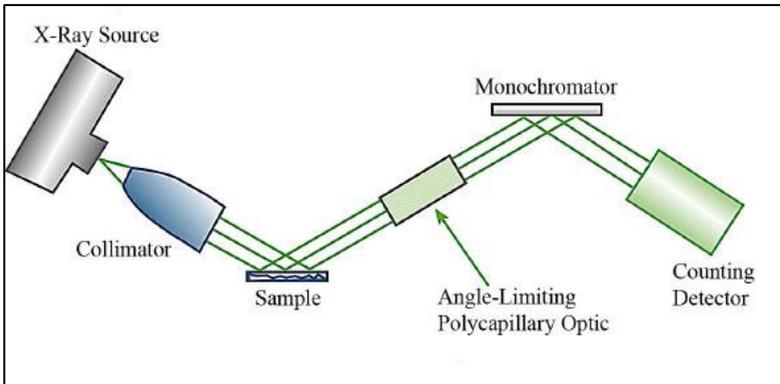


Gambar 3. 4 Penghamburan Elektron Dan Sinar-X (Maksum, 2018)

3.4.2 *X-ray Diffractometer (XRD)*

X-ray Diffractometer menggunakan prinsip difraksi sinar-X untuk mengetahui struktur kristal, fasa, dan derajat kristalinitas, parameter kisi, kualitas suatu bahan, serta dapat mengetahui jenis unsur dan senyawa yang terkandung dalam material secara kualitatif. Prinsip kerja XRD yaitu ketika sinar-x ditembakkan pada material akan terjadi interaksi antara elektron dalam atom. Beberapa foton hasil tumbukan akan mengalami pembelokkan dari arah datang awal ketika foton sinar-x bertumbukan dengan elektron

Difraksi sinar-x oleh atom-atom yang tersusun didalam kristal akan menghasilkan pola yang berbeda tergantung pada konfigurasi atom-atom pembentuk kristal dan akan diperoleh informasi berupa posisi puncak pada sudut 2θ dari 10° hingga 80° . Pengaturan sudut goniometer atau pendeteksi sinar pada XRD akan menghasilkan grafik hubungan antara sudut 2θ dan intensitas sinar-x. Grafik hasil XRD kemudian akan secara otomatis dicocokkan dengan grafik difraksi senyawa standarnya yang dimiliki *database Joint Committee on Powder Diffraction Standard (JCPDS)*. Untuk mengetahui skema difraksi sinar-X yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3. 5 Cara Kerja XRD (Prabaningtyas, 2015)

3.4.3 Spektrofotometri

Spektrofotometri UV-Vis adalah alat yang digunakan untuk mengukur serapan yang dihasilkan dari interaksi kimia antara radiasi elektromagnetik dengan molekul atau atom dari suatu zat kimia pada daerah UV-Vis (Dir. Jen. POM, 1995). Prinsip dari spektrofotometri UV-Vis adalah mengukur jumlah cahaya yang diabsorpsi atau ditransmisikan oleh molekul-molekul didalam larutan. Ketika panjang gelombang cahaya ditransmisikan melalui larutan, sebagian energi cahaya tersebut akan diserap (diabsorpsi). Besarnya kemampuan molekul-molekul zat terlarut untuk mengabsorpsi cahaya pada panjang gelombang tertentu dikenal dengan istilah absorbansi (A), yang setara dengan nilai konsentrasi larutan tersebut dan panjang berkas cahaya yang dilalui (biasanya 1 cm dalam spektrofotometri) ke suatu titik dimana persentase jumlah cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi diukur dengan *phototube* (Susanti, 2010). Untuk alat UV-Vis spektrofotometer dapat dilihat pada Gambar 3.6.

Untuk mengetahui hubungan antara absorbansi yang didapatkan dari alat ukur dengan nilai transmitansi yang akan digunakan sebagai analisa dapat dilihat pada Persamaan 3.1

$$T = 10^{2-A} \dots\dots\dots 3.1$$

Dengan T adalah nilai transmitansi (%) dan A adalah absorbansi. Selain itu, dari nilai absorbansi, dapat juga mengesetimasikan ketebalan dari lapisan tipis melalui metode *Swanepoel Envelope* seperti Persamaan 3.2 hingga Persamaan 3.3

$$n = [N + (N^2 - S^2)^{\frac{1}{2}}]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots 3.2$$

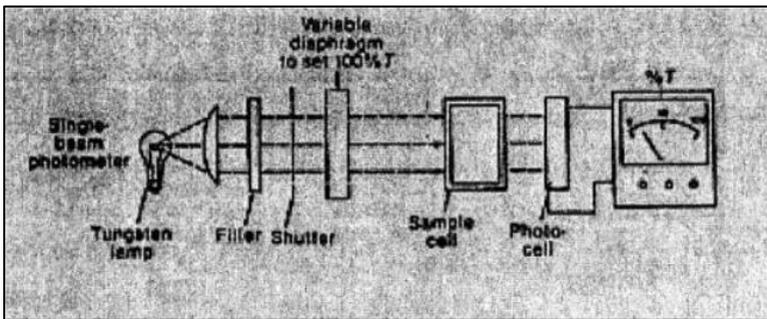
dimana

$$N = 2s \left(\frac{TM - Tm}{TM \times Tm} \right) + \left(\frac{s^2 + 1}{2} \right) \dots \dots \dots 3.3$$

Kemudian, kita dapat mengestimasi ketebalan dari lapisan tipis dengan Persamaan 3.4 seperti dibawah ini.

$$d = \frac{\lambda_1 \times \lambda_2}{2[(\lambda_1 \times n_2) - (\lambda_2 \times n_1)]} \dots \dots \dots 3.4$$

Dengan n adalah indeks bias, N adalah daerah transparan, s adalah konstanta (1,51), TM adalah trasmitansi maksimum (%), Tm adalah transmitansi minimum (%), λ adalah panjang gelombang (nm)

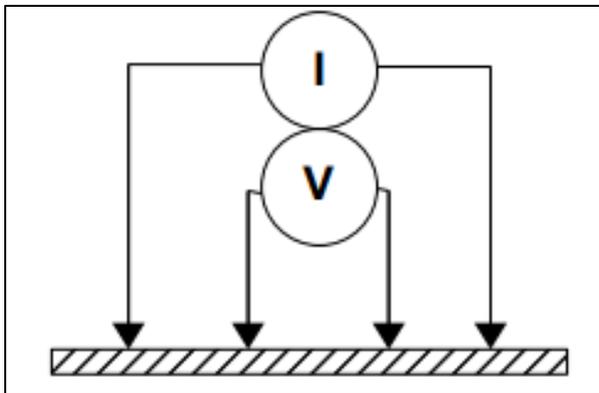


Gambar 3. 6 Alat Spektrofotometer
(Warono & Syamsudin, 2013)

3.4.4 Resistivitas

Resistivitas dari lapisan tipis dapat diukur dengan metode *four point probe* (FPP). FPP adalah salah satu metode yang biasa digunakan untuk mengukur nilai resistivitas suatu bahan semikonduktor dalam bentuk lapisan tipis. FPP didasarkan pada 4 buah probe dan 2 probe berfungsi mengalirkan arus listrik dan 2 probe lainnya mengukur tegangan listrik secara bersamaan pada sampel. Keempat probe tersebut dibuat berderet dalam satu garis lurus dengan jarak antar probe diatur sedemikian rupa sehingga memiliki jarak yang sama.

Arus listrik yang konstan dialirkan sepanjang permukaan sampel melalui dua probe terluar. Jika sampel mempunyai resistansi maka akan ada perubahan tegangan ketika arus mengalir sepanjang sampel tersebut. Perubahan tegangan tersebut diukur melalui dua probe bagian dalam. Untuk lebih jelas bagaimana rangkaian probe dari metode FPP ini dapat dilihat pada Gambar 3.7 (Wari, 2012).



Gambar 3. 7 Skema Metode Four Point Probe

Untuk menghitung nilai resistivitas dari lapisan tipis AZO dapat digunakan Persamaan 3.5

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \left(\frac{V}{I} \right) \dots \dots \dots 3.5$$

Dengan ρ adalah resistivitas ($\Omega \cdot \text{cm}$), t adalah ketebalan lapisan (cm) kemudian V adalah tegangan yang muncul dari multimeter 1, dan I adalah arus yang muncul dari multimeter 2.

3.5 Rancangan Penelitian

Untuk rancangan penelitian pengujian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Rancangan Penelitian Pengujian

Sampel	Uji SEM-EDX	Uji XRD	Uji Resistivitas	Uji UV-Vis
5AZO225	√	√	√	√
5AZO275	√	√	√	√
5AZO325	√	√	√	√
10AZO225	√	√	√	√
10AZO275	√	√	√	√
10AZO325	√	√	√	√
15AZO225	√	√	√	√
15AZO275	√	√	√	√
15AZO325	√	√	√	√

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian kali ini dilakukan pembuatan lapisan tipis *aluminium-doped zinc oxide* dengan menggunakan metode deposisi *spray pyrolysis* dengan variasi temperatur dan waktu deposisi. Zink oksida ini dibentuk dari senyawa zink asetat dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) yang dilarutkan dalam metanol 0,2 M. Substrat yang digunakan adalah kaca borosilikat seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Untuk mengetahui sampel dari lapisan tipis AZO yang telah dideposisi dapat dilihat pula pada Gambar 4.2. Kemudian untuk mengetahui karakteristik dari lapisan tipis yang terbentuk maka dianalisa dari berbagai sifat yang dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 4. 1 Spesimen Kaca Borosilikat

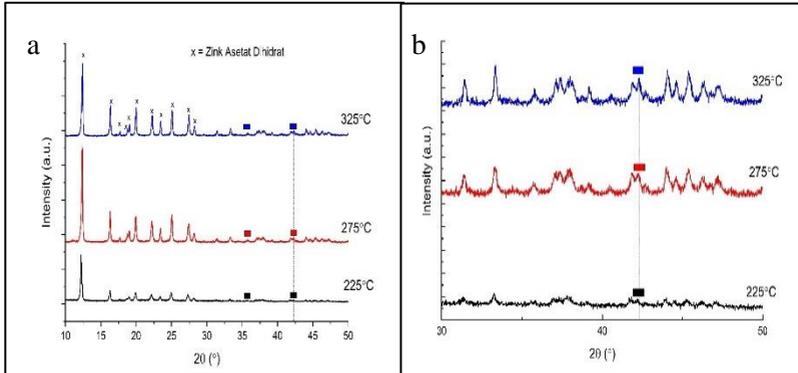


Gambar 4. 2 Spesimen Kaca Borosilikat yang Telah Dideposisi

4.1 Analisa Struktural

Untuk mengetahui pengaruh temperatur dan waktu deposisi terhadap struktur kristal dari lapisan tipis AZO maka perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan mesin *X-Ray Diffraction* (XRD). Untuk mengetahui hasil dari pengujian XRD

maka grafik dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4. Setelah didapatkan grafik maka perlu dianalisa kembali dengan perangkat lunak X'Pert HighScore Plus untuk mengetahui struktur kristal, fasa, kandungan unsur yang ada dari lapisan tipis tersebut.



Gambar 4. 3 Pola Difraksi Sinar-X Dari Lapisan Tipis AZO Dengan Variasi Temperatur Dengan Waktu Deposisi 10 Menit. (a) Rentang 2θ dari 10° - 90° ; (b) Rentang 2θ dari 30° - 50°

Dalam menganalisa pengaruh variasi temperatur dan waktu deposisi terhadap analisa struktural lapisan tipis AZO digunakan *database* ICDD 03-065-0682. Dari Gambar diatas setelah dianalisa dengan *database*. memperlihatkan bahwa pada temperatur 225°C , sudah terbentuk material ZnO namun masih dengan intensitas yang rendah. Seiring meningkatnya temperatur, terjadi kenaikan pada intensitas pada bidang kristal dari material ZnO ini. Dari kenaikan intensitas akibat meningkatnya temperatur substrat maka menyebabkan penyempitan panjang *full-width half maximum* (FWHM) yang mempengaruhi kristalinitas dari lapisan tipis tersebut yang dapat diukur menggunakan persamaan *Debye-Scherrer* seperti yang terlihat pada persamaan 4.1 kemudian data yang didapatkan dirangkum dalam Tabel 4.1.

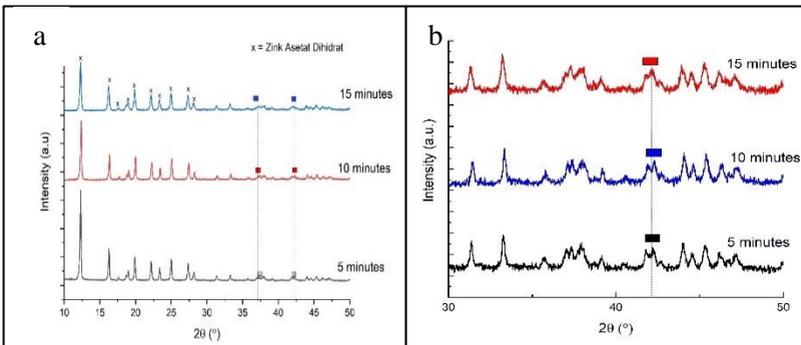
$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos\theta} \dots\dots\dots 4.1$$

dimana, D adalah ukuran kristalit (nm), β adalah *full-width half-maximum* (rad), Θ adalah sudut Bragg, dan λ adalah panjang gelombang sinar-X (1,5406 Å untuk katoda Cu)

Tabel 4.1 Analisa Struktural Lapisan Tipis AZO Terhadap Variasi Temperatur Pada Waktu Deposisi 10 menit

Temp (°C)	d (Å)	2Θ (°)	FWHM (°)	Ukuran kristalit (nm)
225	2,14156	42,1990	0,2007	42,4274
275	2,13975	42,2363	0,2007	42,4327
325	2,13759	42,2811	0,1004	84,8360

Dari Tabel 4.1 memperlihatkan beberapa parameter terhadap variasi temperatur terhadap struktural dari lapisan tipis AZO. Kristalinitas dari lapisan tipis semakin baik seiring meningkatnya temperatur. Hal tersebut dapat dilihat dari semakin kecilnya FWHM yang membuat kristalit semakin besar yang dapat mempengaruhi ke sifat listrik dan sifat optikal dari lapisan tipis AZO. Selain itu, terjadi pergeseran dari puncak sudut 2Θ seiring meningkatnya temperatur.



Gambar 4.4 Pola Difraksi Sinar-X Dari Lapisan Tipis AZO Dengan Variasi Waktu Deposisi Dengan Temperatur Substrat 325°C (a) Rentang 2Θ dari 10°-90° ; (b) Rentang 2Θ dari 30°-50°

Dari Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 terlihat bahwa masih terdapat banyak pengotor dari lapisan tipis yang terbentuk. Hal ini terlihat dari banyaknya puncak sudut 2θ diantara 10° sampai 30° . Berdasarkan ICDD 00-033-1464. Hal ini terjadi dikarenakan bahwa zink asetat dihidrat yang digunakan bahan untuk membentuk zink oksida belum terdekomposisi sepenuhnya.

Beberapa faktor yang menyebabkan belum terdekomposisi sepenuhnya dikarenakan waktu *stirring* yang masih belum cukup untuk mendekomposisikan dan temperatur yang diberlakukan saat *stirring* belum cukup tinggi sehingga energi panas tidak mencukupi untuk mendekomposisikan senyawa tersebut (Krunks dan Mollinov, 1995). Selain itu, dari kedua Gambar tersebut terlihat bahwa kenaikan temperatur dan kenaikan waktu deposisi dapat menurunkan intensitas pengotor dari lapisan tipis AZO.

Tabel 4.2 memperlihatkan beberapa parameter terhadap variasi waktu deposisi yang diberlakukan pada pendeposisian lapisan tipis. Dari Tabel 4.2 memperlihatkan bahwa waktu deposisi memberikan pengaruh terhadap pergeseran puncak sudut 2θ dan memperbesar ukuran kristalit dari kristal yang terbentuk. Akan tetapi, pada waktu deposisi 15 menit, terlihat bahwa kristalinitas lapisan tipis menurun. Menurut El Manouni, dkk. Kristalinitas lapisan tersebut bisa menurun dikarenakan adanya tegangan pada kristal yang disebabkan adanya perbedaan ukuran ion Zn^{2+} ($r_{Zn^{2+}} = 0,074$ nm) dan ion Al^{3+} ($r_{Al^{3+}} = 0,054$ nm) yang sudah melebihi batas dari kelarutan pada kisi ZnO.

Tabel 4. 2 Analisa Struktural Lapisan Tipis AZO Terhadap Variasi Waktu Deposisi Pada Temperatur $325^\circ C$

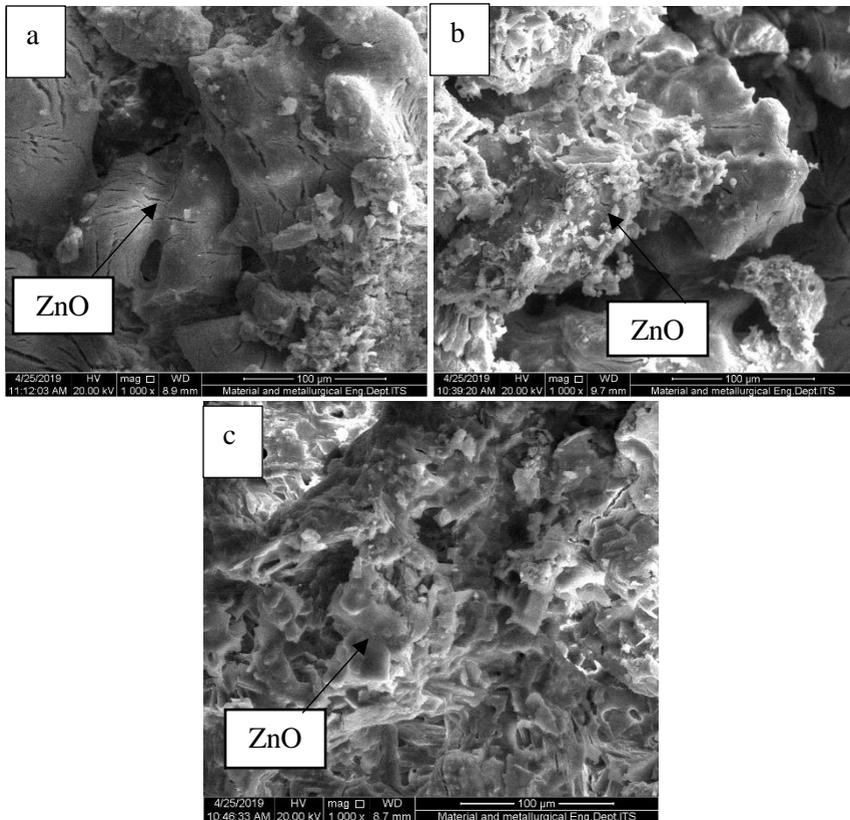
Waktu (menit)	d (Å)	2θ (°)	FWHM (°)	Ukuran kristalit (nm)
5	2,13759	42,2810	0,2342	36,3686
10	2,13975	42,2363	0,2007	42,4327
15	2,14107	42,1726	0,2448	34,7811

4.2 Analisa Morfologi

Setelah dilakukan pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dari lapisan tipis *Aluminium-Doped Zinc Oxide* (AZO), didapatkan hasil morfologi seperti yang terlihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6

Gambar 4.5 memperlihatkan morfologi dari lapisan tipis AZO pada waktu deposisi 10 menit terhadap variasi temperatur dari 225, 275, 325°C. Dari Gambar tersebut memperlihatkan bahwa larutan yang di-*spray* sudah mengenai seluruh permukaan dari substrat kaca dengan membentuk lapisan dengan berbentuk partikel-partikel bulat dan tidak teratur.

Dapat dilihat, bahwa terjadi perbedaan morfologi di setiap variasi temperturnya. Pada temperatur yang rendah, 225°C, memperlihatkan struktur lapisan yang masih padat dengan adanya butiran-butiran yang menutupi permukaan substrat. Hal ini bisa terjadi dikarenakan mekanisme penguapan larutan yang belum terjadi. Selama proses pertumbuhan, dekomposisi zink asetat menjadi zink oksida terjadi dalam lapisan. Namun, sepertinya film tersebut terdiri dari zink asetat karena energi panas yang tidak mencukupi untuk dekomposisi zink asetat menjadi zink oksida. (Krunks dan Mollinov, 1995). Pada temperatur yang lebih tinggi, prekursor menguap sebelum droplet mencapai substrat sehingga prekursor yang mencapai substrat dalam bentuk padatan dikarenakan pada temperatur tinggi, dekomposisi zink asetat terjadi dalam bentuk gas.

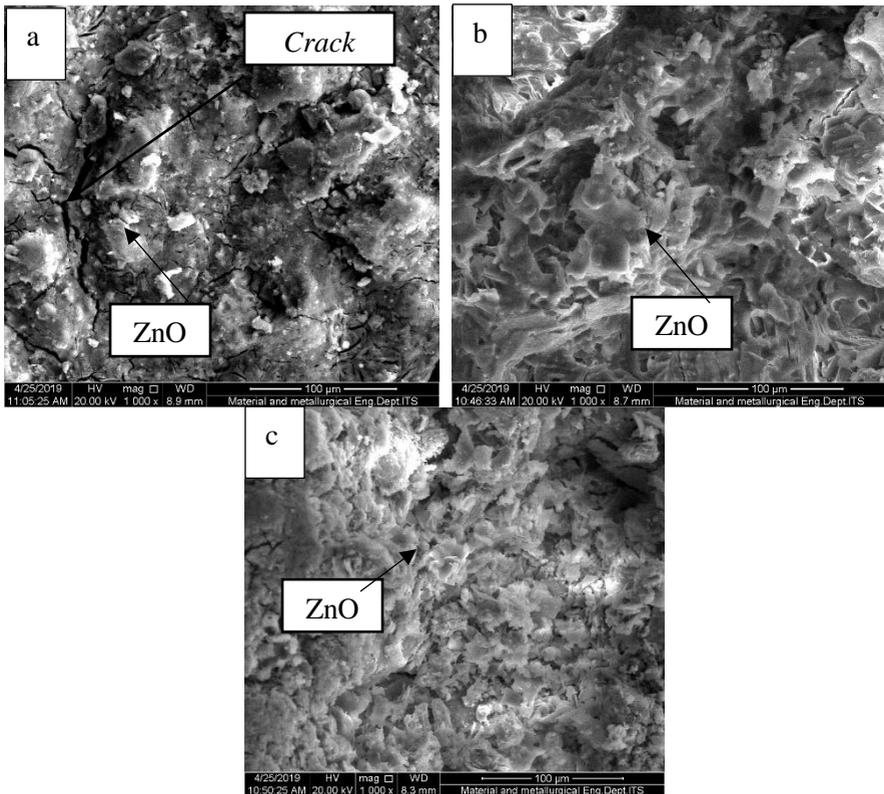


Gambar 4. 5 Morfologi Lapisan Tipis AZO Dengan Variasi Waktu Deposisi 10 Menit Dengan Variasi Temperatur (a) 225°C, (b) 275°C, (C) 325°C

Kemudian, pada Tabel 4.3 memperlihatkan persentase atomik dari setiap unsur yang terdapat pada lapisan tipis AZO yang terbentuk. Unsur yang terbentuk terdapat Zn, O, dan Al

Tabel 4. 3. Analisis SEM-EDX Lapisan Tipis Kaca Konduktif dengan Variasi Temperatur dengan Waktu Deposisi 10 Menit

Elemen	Komposisi (% At)		
	225°C	275°C	325°C
Zn	45,16	41,96	43,87
O	49,11	51,55	49,45
Al	01,97	02,14	02,26



Gambar 4. 6 Morfologi Lapisan Tipis AZO dengan Variasi Temperatur Substrat 325°C dengan Variasi Waktu Deposisi (a) 5 Menit, (b) 10 Menit, dan (c) 15 Menit.

Gambar 4.6 memperlihatkan morfologi permukaan dari lapisan tipis AZO pada temperatur 325°C dengan variasi waktu deposisi selama 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Terlihat pada Gambar bahwa larutan sudah dapat menjangkau seluruh permukaan substrat. Pada variasi waktu 5 menit terlihat bahwa lapisan belum terdeposisi sepenuhnya sehingga masih ada retakan dan void dari lapisan tersebut dan dapat dilihat juga bahwa masih terdapat gumpalan-gumpalan yang masih terpusat di beberapa wilayah lapisan, Pada penelitian yang sama yang dilakukan Tri Arini, dkk pada tahun 2017, menyatakan hal ini kemungkinan disebabkan waktu deposisi yang berlangsung singkat, dan *droplet* dari larutan tidak mampu terdispersi secara merata ke permukaan substrat. Akibatnya *droplet* masih berbentuk tetesan dan diiringi dengan penguapan dari pelarut saat mengenai substrat. Semakin lama waktu deposisi akan membuat partikel menjadi lebih kompak dan saling berhubungan satu sama lain sehingga membuat void dan retakan yang ada menjadi berkurang secara signifikan. Kemudian persentase atomik tiap unsur yang terdapat pada lapisan tipis AZO akibat pengaruh dari variasi waktu deposisi dapat dilihat pada Tabel 4.4

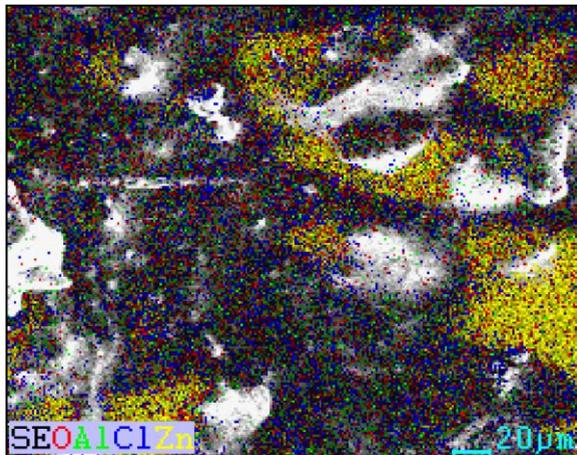
Tabel 4. 4 Analisis SEM-EDX Lapisan Tipis Kaca Konduktif dengan Variasi Waktu Deposisi pada Temperatur 325°C

Elemen	Komposisi (%At)		
	5 menit	10 menit	15 menit
Zn	38,80	43,87	37,36
O	54,00	49,45	56,87
Al	02,80	02,26	01,61

Pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 memperlihatkan perbandingan persentase atomik dari setiap unsur yang dominan muncul pada lapisan tipis AZO terhadap variasi waktu deposisi dan temperatur substrat yang diberlakukan. Pada penelitian ini, doping Aluminium yang diberlakukan adalah sebesar 2% at. dari ZnO dan hal tersebut terlihat pada Tabel diatas bahwa persentase atomik yang masuk

terhadap kisi dari zink oksida. Tetapi pada analisa XRD dapat dilihat bahwa ternyata masih banyak zink asetat dihidrat yang belum terdekomposisi sepenuhnya sehingga dari menyebabkan persentase atomik yang terdapat pada unsur Zn dan O masih belum dapat diketahui dengan jelas berasal dari zink asetat dihidrat atau berasal dari zink asetat dikarenakan dari masing-masing kedua senyawa tersebut terdapat unsur Zn dan unsur O. Secara keseluruhan dari kedua Tabel tersebut, memperlihatkan tren bahwa persentase atomik dari unsur O selalu lebih besar dibandingkan unsur Zn. Hal tersebut bisa terjadi dikarenakan atom O secara keseluruhan lebih besar berkat senyawa zink asetat dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) dan zink oksida (ZnO) itu sendiri.

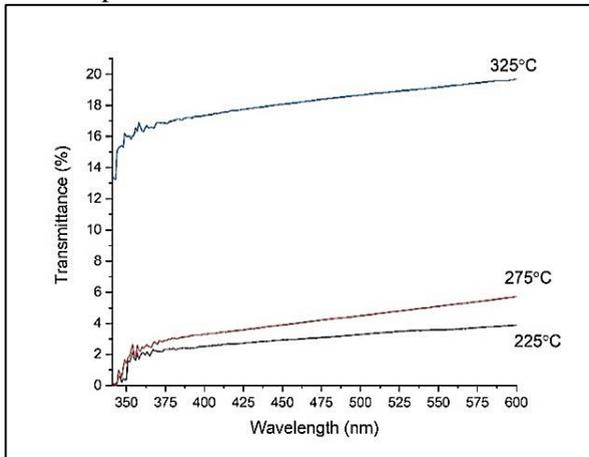
Dari hasil pengujian EDX pun dapat diketahui persebaran dari tiap unsur (*Elemental Mapping*) yang terdapat pada lapisan tipis AZO tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Persebaran Tiap Unsur yang Ada dari Lapisan Tipis AZO (Zn, O, Al)

4.3 Analisa Sifat Optik

Sifat optikal yang dianalisa dari lapisan tipis AZO yaitu nilai transmitansi. Transmitansi merupakan kemampuan suatu material untuk meneruskan cahaya pada gelombang tertentu. Untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap nilai transmitansi lapisan tipis AZO maka perlu dilakukan pengujian transmitansi dengan alat UV-Vis *Spectrophotometer* dengan panjang gelombang yang digunakan yaitu 275-650 nm atau rentang panjang gelombang sinar ultraviolet hingga sinar tampak yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.10 Nilai transmitansi yang didapatkan dari persamaan 3.1.

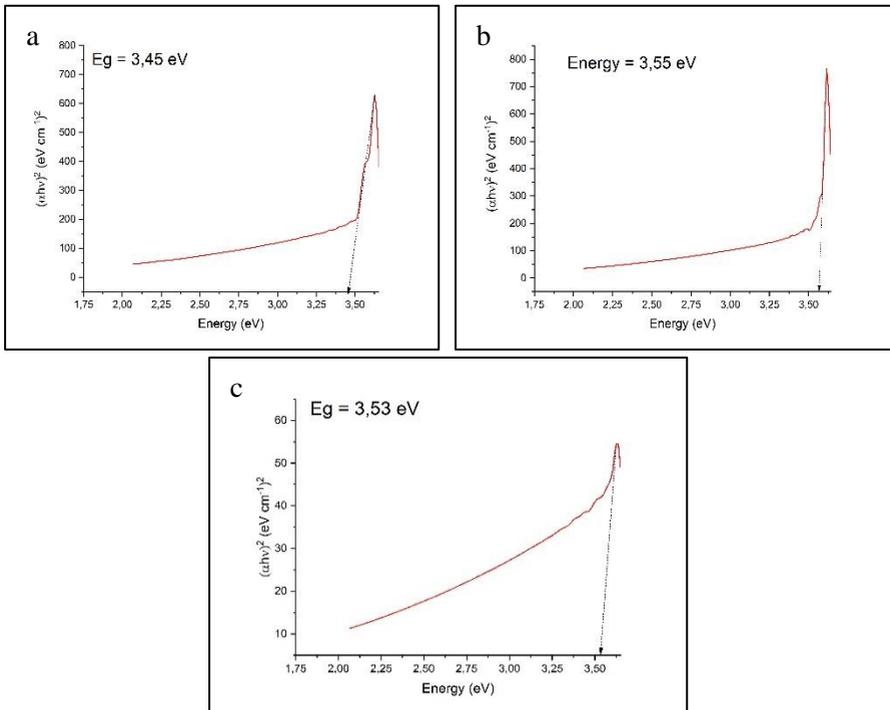


Gambar 4. 8 Spektrum Transmittansi Lapisan Tipis AZO dengan Variasi Temperatur pada Waktu Deposisi 10 Menit.

Pada Gambar 4.8. menunjukkan bahwa nilai transmitansi tertinggi yaitu pada temperatur 325°C dengan nilai sebesar 30,5%. Pada temperatur substrat 275°C dan 225°C, nilai transmitansinya selalu menurun dengan nilai masing-masing sebesar 20,1% dan 12, 4% pada panjang gelombang 650nm. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur maka ukuran *droplet* yang terbentuk akan semakin kecil atau semakin mudah menguap sebelum mencapai permukaan substrat. Karena droplet yang mudah

menguap menyebabkan larutan prekursor yang menempel pada substrat akan semakin sedikit sehingga ketebalan dari lapisan yang terbentuk pun akan semakin kecil. Hasil ini juga dibuktikan dengan menggunakan metode swanepoel yang digunakan untuk mengestimasi ketebalan dari setiap variasi temperatur yang dioperasikan. Berdasarkan metode Swanepoel, ketebalan untuk variasi 225C, 275, dan 325°C masing-masing adalah sebesar 4,21; 3,82; 2,66 μm .

Selain itu, dari nilai absorbansi yang didapatkan, dapat diketahui estimasi nilai energi *band gap* dari lapisan tipis AZO. seperti yang tertera pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.11



Gambar 4. 9 Nilai Energi Pita Celah Dari Lapisan Tipis AZO Dengan Variasi Temperatur Pada Waktu Deposisi 10 Menit (a) 225°C; (b) 275°C; (c) 325°C

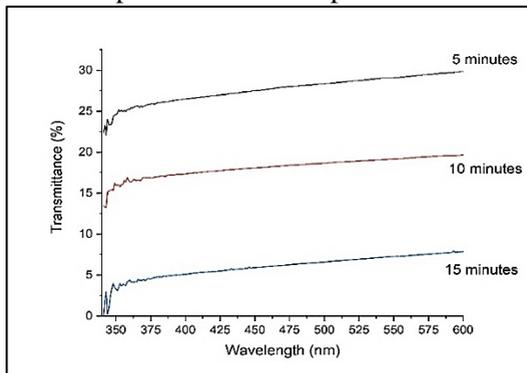
Untuk membuat Tauc's plot, digunakan persamaan 4.2 seperti dibawah ini.

$$(\alpha hv) = A(hv - E_g)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots 4.2$$

dengan h adalah konstanta Planck, ν adalah frekuensi dengan ν adalah c/λ , E_g adalah pita celah (eV), A adalah konstanta proporsional dan α adalah koefisien absorpsi. Nilai eksponen n sendiri menunjukkan sifat dari transisi sampel. Untuk transisi *direct allowed* n adalah $\frac{1}{2}$, transisi *indirect allowed* adalah 2. Kemudian, dibuat grafik hubungan (α) dengan energi foton ($h\nu$) dan ditarik garis yang bersinggungan dengan titik belok pada kurva hingga menyentuh sumbu X yang menjelaskan energi pita celah. (Daniyati, et al., 2015)

Pada Gambar 4.9. didapatkan tren bahwa semakin tinggi temperatur maka nilai energi pita celah yang didapatkan akan semakin besar meskipun kenaikan yang didapatkan tidak signifikan. Pada temperatur 225°C didapatkan nilai pita celah sebesar 3,45 eV, pada temperatur 275°C, didapatkan nilai 3,52 eV, dan pada temperatur 325°C, didapatkan nilai sebesar 3,53 eV.

Pada Gambar 4.10 memperlihatkan nilai transmitansi lapisan tipis terhadap variasi waktu deposisi

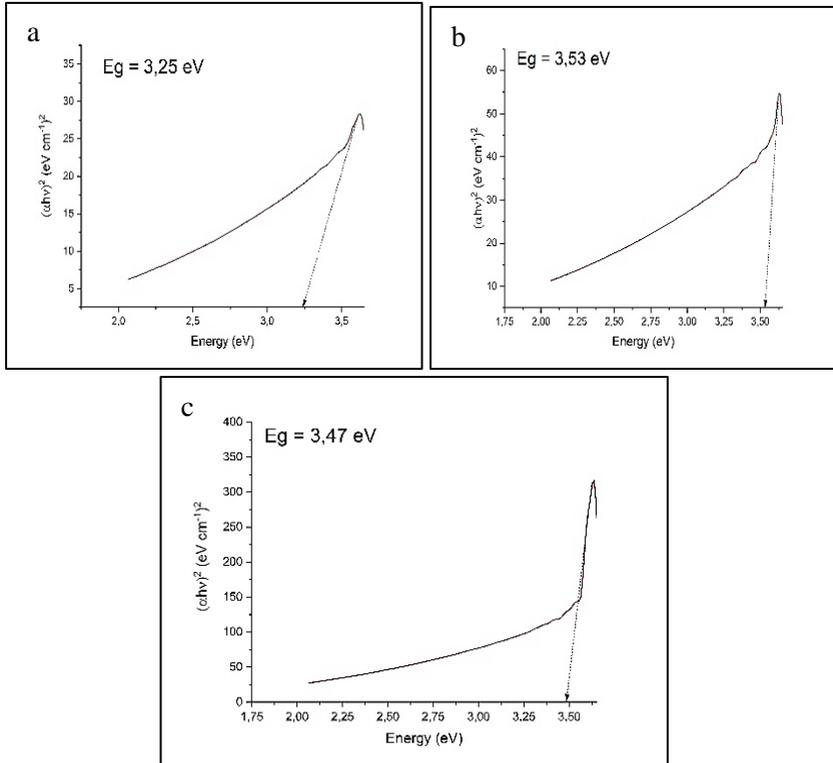


Gambar 4. 10 Spektrum Transmittansi Lapisan Tipis AZO dengan Variasi Waktu Deposisi pada Temperatur 325°C.

Pada Gambar 4.10. menunjukkan bahwa nilai transmitansi dari lapisan AZO dengan variasi waktu deposisi selama 5 menit, 10 menit, dan 15 menit pada temperatur substrat yaitu 325°C. Didapatkan bahwa selama 5 menit waktu deposisi didapatkan rentang nilai transmitansi sebesar 23,3% hingga 29,7% pada rentang panjang gelombang 340-600 nm. Semakin lama waktu deposisi, didapatkan nilai transmitansi yang terus menurun. Pada waktu deposisi 10 menit didapatkan nilai transmitansi antara 13,2% hingga 19,7% pada rentang panjang gelombang 340-600nm. Pada waktu deposisi 15 menit didapatkan nilai transmitansi antara 0,1% hingga 7,8% pada rentang panjang gelombang yang sama.

Hal ini dikarenakan semakin lama waktu deposisi maka akan membuat butiran butiran prekursor menjadi lebih kompak dan menyatu satu sama lain sehingga membuat ketebalan dari lapisan yang terbentuk pun akan menjadi semakin tebal didukung dengan metode swanoepoel dimana nilai untuk variasi waktu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit pada temperatur substrat 325°C adalah 2,17 μm ; 2,66 μm ; 3,49 μm .

Pada Gambar 4.11 diketahui nilai energi pita celah lapisan tipis AZO pada variasi waktu deposisi saat temperatur substrat 325°C. Didapatkan nilai 3,25 eV ketika waktu deposisi 5 menit, ketika waktu deposisi mencapai 10 menit, nilai energi pita celah mencapai 3,53 eV. Ketika waktu deposisi 15 menit, nilai energi pita celah turun menjadi 3,47 eV.

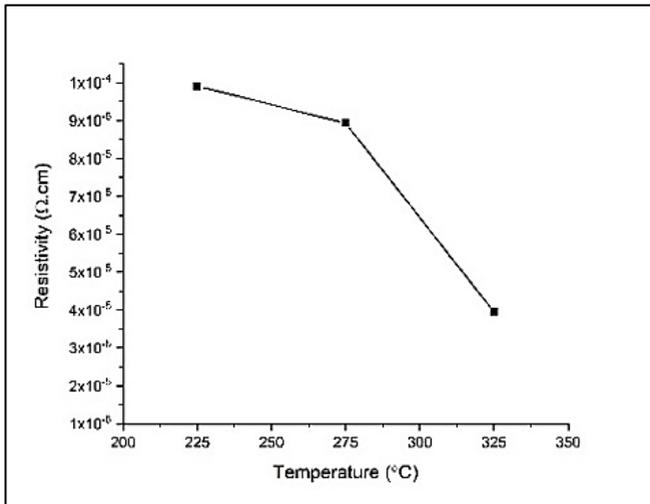


Gambar 4. 11 Nilai energi pita celah lapisan tipis AZO dengan variasi waktu deposisi pada temperatur 325°C (a) 5 menit; (b) 10 menit; (c) 15 menit

Dari Gambar 4.9. dan Gambar 4.11. menunjukkan tren yang berbeda. Menurut Kumar, nilai energi pita celah ditentukan dari pertumbuhan kristalinitas dari material yang terbentuk, maka semakin baik kristalinitas yang terbentuk maka energi pita celah yang dapat dihasilkan maka akan semakin besar karena semakin teratur struktur material yang dihasilkan maka akan berpengaruh terhadap penyerapan foton yang lebih sedikit.

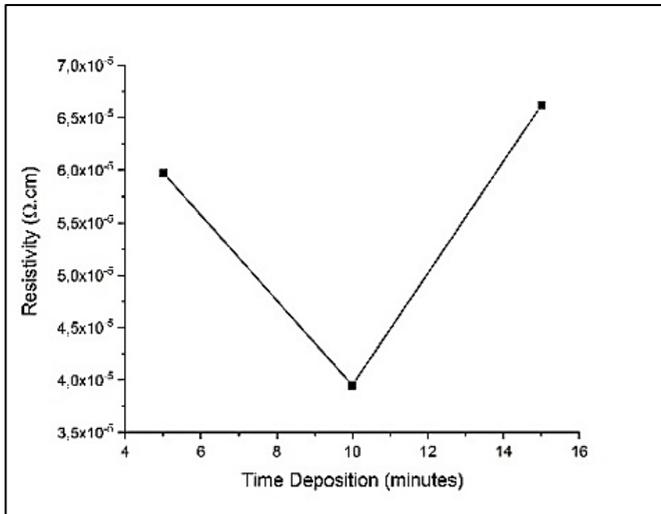
4.4 Analisa Sifat Listrik

Resistivitas adalah besarnya daya hambat suatu material dalam mengalirkan elektron terhadap satuan panjang. Untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap nilai resistivitas lapisan tipis AZO maka diperlukan pengujian untuk mengetahui besar nilai resistivitas di setiap temperaturnya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *four point probe*. Setelah dilakukan pengujian, menunjukkan grafik seperti yang tertera pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.



Gambar 4. 12 Nilai Resistivitas dari Lapisan Tipis AZO pada Terhadap Variasi Temperatur

Pada Gambar 4.12. memperlihatkan tren nilai resistivitas lapisan tipis AZO terhadap variasi temperatur pada waktu deposisi 10 menit. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa semakin tinggi temperatur maka menyebabkan resistivitas dari lapisan tipis AZO semakin turun. Didapatkan nilai resistivitas sebesar $0,99 \times 10^{-4} \Omega.cm$ pada temperatur $225^{\circ}C$; $0,893 \times 10^{-4} \Omega.cm$ pada temperatur $275^{\circ}C$ sedangkan pada temperatur $325^{\circ}C$ sebesar $0,39 \times 10^{-4} \Omega.cm$.



Gambar 4. 13. Nilai Resistivitas Lapisan Tipis AZO Terhadap Variasi Waktu Deposisi

Gambar 4.13. memperlihatkan nilai resistivitas lapisan tipis AZO terhadap variasi waktu deposisi pada temperatur 325°C . Didapatkan nilai resistivitas sebesar $0,59 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ pada waktu deposisi 5 menit sedangkan pada waktu deposisi 10 menit sebesar $0,39 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ dan pada waktu deposisi 15 menit sebesar $0,66 \times 10^{-4} \Omega$.

Nilai dari resistivitas lapisan tipis AZO sangat bergantung dari kristalinitas yang terbentuk. Struktur yang lebih padat menyebabkan beberapa pori, yang berperilaku sebagai perangkap untuk elektron bebas dan hambatan untuk transpor elektron dalam lapisan. Oleh karena itu, penurunan porositas yang terkait dengan peningkatan ukuran butir memungkinkan penurunan hambatan pemilihan, yang mengarah pada peningkatan konduktivitas. (Zhang, et al., 2011)

Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Tri Arini, dkk bahwa ketika proses deposisi selama 5 menit menghasilkan lapisan tipis yang masih terdapat void dan

banyaknya retakan di lapisan tersebut. Void tersebut bertindak sebagai *sink* untuk jalan elektron sehingga resistivitasnya masih tinggi. Setelah waktu deposisi meningkat maka akan menciptakan lapisan yang lebih padat dan mengurangi void dan retakan yang sehingga transfer elektron menjadi lebih sehingga resistivitas dapat berkurang.

Tetapi terlihat bahwa ketika waktu deposisi melebihi 10 menit, resistivitas dari lapisan tipis menjadi meningkat. Hal ini kemungkinan dikarenakan zink oksida telah melebihi batas kelarutannya sehingga tidak mampu menampung ion Al^{3+} yang masuk ke dalam kisi dari zink oksida itu sendiri sehingga menyebabkan penurunan dari mobilitas elektron sehingga resistivitas dapat meningkat seperti yang dijelaskan oleh Majumder, dkk, 2003. Beberapa peneliti juga menyatakan bahwa ketika kisi zink oksida sudah tidak mampu menampung ion Al^{3+} maka dari ion tersebut akan membentuk Al_2O_3 non konduktif yang mampu menimbulkan cacat pada kristal. (El Manouni, dkk, 2006).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian terkait pengaruh temperatur substrat dan waktu deposisi terhadap karakteristik lapisan tipis *Aluminium-Doped Zinc Oxide*, dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya.

1. Pengaruh temperatur substrat dan waktu deposisi terhadap struktur lapisan tipis *Aluminium-Doped Zinc Oxide* adalah semakin tinggi temperatur akan meningkatkan kristalinitas dari lapisan tipis yang terbentuk sedangkan semakin lama waktu deposisi yang diterapkan akan meningkatkan kristalinitas hingga waktu tertentu sebelum akhirnya kristalinitas lapisan yang terbentuk turun dikarenakan adanya tegangan yang disebabkan dari batas kelarutan yang melebihi batas.
2. Pengaruh temperatur substrat dan waktu deposisi terhadap sifat optik dan sifat listrik dari lapisan tipis *Aluminium-Doped Zinc Oxide* adalah semakin tinggi temperatur maka akan menyebabkan resistivitas yang dihasilkan lapisan tipis menurun dan menyebabkan transmitansinya semakin tinggi. Semakin lama waktu deposisi maka akan menyebabkan transmitansi menurun disebabkan bertambahnya ketebalan lapisan tipis yang terbentuk dan resistivitas yang dihasilkan menurun hingga batas waktu tertentu kemudian naik akibat pengaruh dari kristalinitas yang terbentuk.

5.2 Saran

Agar penelitian ini dapat menjadi lebih baik kedepannya, maka dapat disarankan:

1. Waktu *stirring* yang diberlakukan untuk melarutkan prekursor agar lebih lama lagi (>1 jam) dan temperatur *stirringnya* dapat ditingkatkan kembali (> 40°C) supaya

- senyawa zink asetat dihidrat dapat terdekomposisi sepenuhnya menjadi zink oksida.
2. Agar penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi temperatur yang lebih tinggi lagi agar didapatkan hasil yang lebih optimal dari segi sifat optik dan sifat listrik.
 3. Dalam penelitian selanjutnya, agar dapat menggunakan alat pendeposisian yang dapat mengontrol laju alir dari prekursor.
 4. Agar dapat menggunakan variasi yang lain seperti jarak nozzle

DAFTAR PUSTAKA

- Afre, R. A., Sharma, N., Sharon, M. & Sharon, M., 2017. "Transparent Conducting Oxide Films For Various Applications: A Review". **Journal of Advanced Materials Science**, 79-89.
- Akshay, K. & Zhou, C., 2010. "The Race to Replace Tin-Doped Indium Oxide: Which Material Will Win". **ACS Nano** **4**, 11-14.
- Arini, T. et al., 2017. "Pengaruh Waktu Deposisi dan Temperatur Substrat Terhadap Pembuatan Kaca Konduktif FTO (Fluorine-Doped Tin Oxide)". **Metalurgi**, 1-8.
- Ashrafi, A. & Jagadish, C., 2007. "Review of Zincblende ZnO : Stability of metastable ZnO Phases". **Journal of Applied Physics**.
- Atmanand, M. A. & Kumar, J. V., 1997. "Microcontroller based LCR Meter". **Technical Application**, 297-301.
- Balkenende, A. R. et al., 1996. "Thin MgO Layers For Effective Hopping Transport Of Electrons". **Philips Journal of Research**, 365-373.
- Daniyati, R. et al., 2015. **Penentuan Energi Celah Pita Optik Film TiO₂ Menggunakan Metode Tauc Plot**. Malang, Proseding Seminar Nasional dan Teknologi.
- Dir. Jen. POM, 1995. **Farmakope Indonesia Edisi IV**. Jakarta: Departemen Kesehatan RI.
- Ellmer, K., Klein, A. & Rech, B., 2007. **Transparent Conductive Zinc Oxide: Basics and Applications in Thin Film Solar Cells**. Berlin: Springer.

-
- Elmer, T. H., 1992. "Porous and Reconstructef Glass". **Jorunal of Engineered Materials Handbook**, 427-432.
- Fortunato, E., Ginley, D., Hosno, H. & Paine, D. C., 2007. "Transparent Conducting Oxides for Photovoltaics". **Journal of Advanced Inorganic Materials for Photovoltaics**, 242-247.
- Ginley, D. S., 2010. **Handbook of Transparent Conductors**. Berlin: Springer.
- Guo, L. et al., 2011. "Influence of Al Doping on The Properties of ZnO Thin Films Grown By Atomic Layer Deposition". **Journal of Physical Chemistry**, 12317-12321.
- Hao, X.-T., Tan, L.-W., Ong, K.-S. & Zhu, F., 2006. "High-Performance Low-Temperature Transparent Conducting Aluminium-Doped ZnO Thin Films and Applications". **Journal of Crystal Growth**, 44-47.
- Hasanuzzaman, M., Rafferty, A., Sajjia, M. & Olabi, A.-G., 2016. **Properties of Glass Materials**, s.l.: Elsevier.
- Hotim, 2015. "Physic, Technology and Use Photovoltaics in Indonesia". **Teaching Journal Science and Mathematics**.
- Jang, M. S. et al., 2009. "A Study on the Raman Spectra of Al-Doped and Ga-Doped ZnO Ceramics". **Current Applied Physics**, 651-657.
- Jiaping, H., Mantas, P. Q. & Senos, A. M. R., 2001. "Effect of Al and Mn Conductivity of ZnO". **Journal of the European Ceramic Society**, 1883-1886.
- Kim, D. H. et al., 2008. "Comparison of The Optical Properties of Undoped and Ga-Doped ZnO THin Films Deposited Using RF Magnetron Sputtering at Room Temperature". **Optics Communication 281 (8)**, 2120-2125
-

-
- Konijnendijk, W. L., 1975. **The Structure of Borosilicate Glass**. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.
- Krunk, M. & Mellikov, E., 1995. "Zinc Oxide Thin Films by The Spray Pyrolysis Method". **Thin Solid Films** **270**, 33-36.
- Kumar, R., Sharma, N. & Arora, N., 2015. "Structural and Optical Analysis of Spray Deposited Zinc Oxide Films". **Journal of Ovonic Research** **11(1)**, 41-48.
- Lefebvre, A. H. & McDonell, V. G., 2017. **Atomization and Sprays**. New York: CRC Press.
- Litton, C. W., Reynolds, D. C. & Collins, T. C., 2011. **Zinc Oxide Materials for Electronic and Optoelectronic Device Applications**. United Kingdom: Wiley.
- Liu, Y., Li, Y. & Zeng, H., 2013. "ZnO-Based Transparent Conductive Thin Films: Doping, Performance, and Processing". **Journal of Nanomaterials**, 1-9.
- Majumder, S. B., Jain, M., Dobal, P. S. & Katiyar, R. S., 2003. "Investigations on solution derived aluminium doped zinc oxide thin films". **Material Science and Engineering B103**, 16-25.
- Maksum, I. M., 2018. **Pengaruh Temperatur dan Rasio Massa Doping dalam Pembuatan Thin Film Fluoride Doped Tin Oxide**, Malang: Universitas Brawijaya.
- Manouni, A. E. et al., 2006. "Effect of Aluminium Doping on Zinc Oxide Thin Films Grown by Spray Pyrolysis". **Superlattices and Microstructures** **39**, 185-192.
- Marouf, S. et al., 2017. "Low-Temperature Spray-Coating of High-Performing ZnO:Al Films for Transaprent Electronics". **Journal of Analytical and Applied Physics** **127**, 299-308.
- Mochel, J. M., 1951. **United States of America, Paten No. 2,564,707**.
-

-
- Morkoc, H. & Ozgur, U., 2009. **Zinc Oxide : Fundamentals, Materials, and Device Technology**. Weihem: Wiley-VCH.
- Muiva, C. M., Sathiaraj, T. S. & Maabong, K., 2011. "Effect of Doping Concentration on The Properties of Aluminium Doped Zinc Oxide Thin Films Prepared by Spray Pyrolysis for Transparent Electrode Applications". **Journal of Ceramics International**, 555-560.
- Murthy, H., Miya, S. S. & Krumdjeck, S., 2016. "A Study on The Growth Mechanism and The Process Parameters Controlling Aluminium Oxide Thin Films Deposition by Pulsed Pressure MOCVD".
- Muruganatham, G. et al., 2011. "Effect of Solvent Volume on The Physical Properties of Undoped and Fluorine Doped Tin Oxide Films Deposited Using A Low-Cost Spray Technique". **Journal of Superlattices and Microstructures** **50**, 722-733.
- Nakaruk, A. & Sorrel, C., 2010. "Conceptual Model For Spray Pyrolysis Mechanism : Fabrication and Annealing of Titania Thin Films". **Journal of Coatings Technology and Research** **7(5)**, 665-676.
- Neamen, D. A., 2003. **Semiconductor Physics and Devices: Basic Principle 3rd edition**. North America: McGraw-Hill.
- Park, S.-M., Ikegami, T. & Ebihara, K., 2006. "Effects of Substrate Temperature on The Properties of Ga-Doped ZnO By Pulsed Laser Deposition". **Journal of Thin Solid Films**, 90-94.
- Patel, K. J., Desai, M. S. & Pancal, C., 2011. "Properties of RF Magnetron Sputtered Indium Tin Oxide Thin Films on Externally Unheated Glass Substrate". **Mater Electron**, 959-965.
- Perednis, D. d. L. J. G., 2003. "Thin Film Deposition Using Spray Pyrolysis". **Journal of Electroceramics**, 103-111.
-

- Prabaningtyas, R. A. J. M. S., 2015. **Karakterisasi Hidroksiapatit dari Kalsit (PT. Dwi Selo Giri Mas Sidoarjo) Sebagai Bone Graft Sintetis Menggunakan X-Ray Diffractometer (XRD) dan Fourier Transform Infrared (FTIR)**, Jember: Universitas Jember.
- Quinones-Galvan, J. G. et al., 2013. "Effect of Precursor Solution and Annealing Temperature on the Physical Properties of Sol-Gel Deposited Thin Films". **Journal of Results in Physics**, 248-253.
- Ramos, N. M. M., Simoes, M. L., Delgado, J. M. P. Q. & de Freitas, V. P., 2012. "Reliability of the Pull-Off Test for In Situ Evaluation of Adhesion Strength". **Construction and Building Materials**, 86-93.
- Respati, S. M. B., 2008. "Macam-Macam Mikroskop dan Cara Penggunaan". **Jurnal Momentum**, 42-44.
- Seshan, K., 2002. **Handbook of Thin Film Deposition Processes and Techniques : Principles, Methods, Equipment, and Application**. New York: William Andrew Publishing.
- Shinde, V. R., Gujar, T. P. & Lokhande, C. D., 2007. "Studies on growth of ZnO thin films by a Novel Chemical Method". **Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells**, 1055-1061.
- Sim, K. U. et al., 2010. "Effect of Dopant (Al, Ga, and In) on the Characteristics of ZnO Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering System". **Current Applied Physics**, 5463-5467.
- Sinaga, P., 2009. "Pengaruh Temperatur Annealing, Terhadap Struktur Mikro, Sifat Listrik, dan Sifat Optik dari Film Tipis Oksida Konduktif Transparen". **Jurnal Pengajaran MIPA**, 51-59.
-

-
- Smith, D. L., 1995. **Thin Film Deposition: Principles and Practice**. United States of America: McGraw-Hill, Inc..
- Sunipa, R. & Sekar, C. K., 2016. **MEMS and Nanotechnology for Gas Sensors**. Boca Raton: CRC Press.
- Surono, A. T. & Sutanto, H., 2014. "Sifat Optik Zinc Oxide (ZnO) yang Dideposisi Diatas Substrat Kaca Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition (CSD) dan Aplikasinya Untuk Degradasi Zat Warna Methylene Blue". **Youngster Physics Journal**, 7-14.
- Susanti, S., 2010. **Penetapan Kadar Formaldehid pada Tahu yang Dijual di Pasar Ciputat dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis Diserati Kolorimetri Menggunakan Pereaksi Nash**, Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Ukoba, K. O., Eloka-Eboka, A. C. & Inambao, F. L., 2018. Review of Nanostructured NiO Thin Film Deposition Using The Spray Pyrolysis Technique. **Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2900-2915.
- Wari, W. N., 2012. "Mengenal Sifat Listrik Material Serta Menentukan Nilai Resistivitas dan Konduktivitas Batu Arang dan Batu Kapur Dengan Metode Four Point Probe". **Jurnal Fisika POMITS 1(1)**, 1-4.
- Warono, D. & Syamsudin, 2013. Unjuk Kerja Spektrofotometer untuk Analisa Zat Aktif Ketoprofen. **Konversi**, 57-65.
- Yu, P. Y. & Cardona, M., 2010. **Fundamentals of Semiconductors**. New York: Springer.
- Zhang, Z. et al., 2011. "Influence of Deposition Temperature on The Crystallinity of Al-Doped ZnO Thin Films at Glass Substrates Prepared by RF Magnetron Sputtering Method". **Superlattices and Microstructures 49(6)**, 644-653.
-

LAMPIRAN

A. ICDD

Name and formula

Reference code:	00-033-1464
Compound name:	Zinc Acetate Hydrate
PDF index name:	Zinc Acetate Hydrate
Empirical formula:	$C_4H_{10}O_6Zn$
Chemical formula:	$C_4H_6O_4Zn \cdot 2H_2O$
Second chemical formula:	$Zn (C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$

Crystallographic parameters

Crystal system:	Monoclinic
Space group:	$C2/c$
Space group number:	15
a (Å):	14,4310
b (Å):	5,3400
c (Å):	10,9810
Alpha (°):	90,0000
Beta (°):	99,8800
Gamma (°):	90,0000
Calculated density (g/cm ³):	1,75
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	833,66
Z:	4,00
RIR:	-

Subfiles and quality

Subfiles:	Common Phase Forensic Inorganic NBS pattern Organic Star (S)
Quality:	

Comments

Color:	Colorless
Creation Date:	01/01/1970
Modification Date:	01/01/1970
Color:	Colorless
Sample Source or Locality:	The sample was obtained from J.T.

Temperature of Data Collection: Baker Chemical Company,
Additional Patterns: Phillipsburg, New Jersey, USA
To replace 00-014-0902.

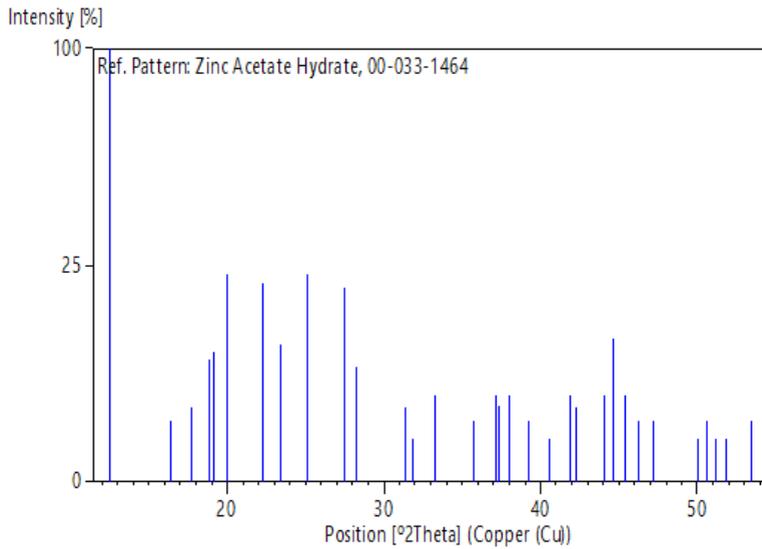
References

Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U.S.) Monogr. 25, 18, 78, (1981)*

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	2	0	0	7,10000	12,457	100,0
2	0	0	2	5,41100	16,369	2,0
3	1	1	0	5,00400	17,710	3,0
4	-2	0	2	4,71400	18,809	8,0
5	-1	1	1	4,64500	19,091	9,0
6	1	1	1	4,43600	20,000	23,0
7	2	0	2	3,98700	22,280	21,0
8	-1	1	2	3,78900	23,460	10,0
9	3	1	0	3,54500	25,100	23,0
10	3	1	1	3,24500	27,464	20,0
11	-3	1	2	3,15800	28,236	7,0
12	1	1	3	2,84600	31,407	3,0
13	3	1	2	2,80500	31,878	1,0
14	-2	0	4	2,68800	33,305	4,0
15	5	1	0	2,50900	35,759	2,0
16	-5	1	2	2,42100	37,105	4,0
17	2	2	1	2,40300	37,393	3,0
18	5	1	1	2,36600	38,000	4,0
19	-3	1	4	2,29600	39,205	2,0
20	-5	1	3	2,22300	40,548	1,0
21	5	1	2	2,15500	41,887	4,0
22	-4	2	1	2,13700	42,257	3,0
23	4	2	1	2,05400	44,052	4,0
24	-1	1	5	2,03000	44,600	11,0
25	2	2	3	1,99700	45,378	4,0
26	-3	1	5	1,96100	46,259	2,0
27	-7	1	1	1,92400	47,202	2,0
28	7	1	1	1,82030	50,070	1,0
29	-7	1	3	1,80380	50,560	2,0
30	2	2	4	1,78270	51,201	1,0
31	4	2	3	1,76000	51,911	1,0
32	6	2	1	1,71350	53,429	2,0

Stick Pattern



Name and formula

Reference code:	03-065-0682
Compound name:	Zinc Oxide
PDF index name:	Zinc Oxide
Empirical formula:	OZn
Chemical formula:	ZnO

Crystallographic parameters

Crystal system:	Cubic
Space group:	Fm-3m
Space group number:	225
a (Å):	4,2700
b (Å):	4,2700
c (Å):	4,2700
Alpha (°):	90,0000
Beta (°):	90,0000
Gamma (°):	90,0000
Calculated density (g/cm ³):	6,94
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	77,85
Z:	4,00
RIR:	5,83

Subfiles and quality

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Inorganic NIST Pattern
Quality:	Calculated (C)

Comments

Creation Date:	01/01/1970
Modification Date:	01/01/1970
N 61008 36073. Temperature Factor:	No TF given for entry, B=1.0 assumed.

References

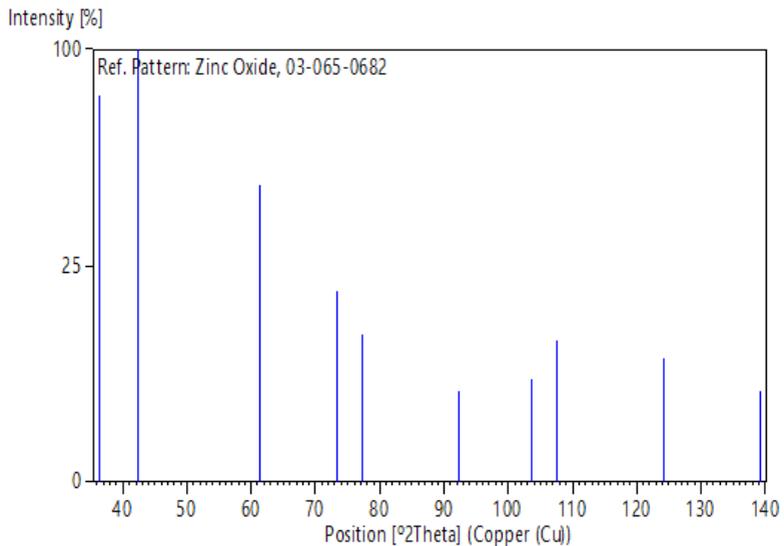
Primary reference:	<i>Calculated from NIST using POWD-12++</i>
Structure:	H.Karzel, U.Potzel, W.Potzel, J.Moser, C.Schaf er, M.Steiner, M.Petr, A.Kratzer & G.M.Kalvius, <i>Materials Science Forum</i> , 79- , 419-

4, (1991)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	2,46529	36,415	79,8
2	2	0	0	2,13500	42,298	100,0
3	2	2	0	1,50967	61,360	47,1
4	3	1	1	1,28745	73,499	19,6
5	2	2	2	1,23264	77,352	11,7
6	4	0	0	1,06750	92,372	4,3
7	3	3	1	0,97961	103,689	5,7
8	4	2	0	0,95480	107,562	10,8
9	4	2	2	0,87161	124,200	8,2
10	5	1	1	0,82176	139,231	4,4

Stick Pattern



B. Hasil Pengujian *Swanepoel's Envelope* untuk mengestimasi ketebalan lapisan tipis *Aluminium-Doped Zinc Oxide* dapat dilihat pada Tabel dibawah ini

$$d = \frac{\lambda_1 \times \lambda_2}{2[(\lambda_2 \times n_1) - (\lambda_1 \times n_2)]}$$

Dimana,

1. d = ketebalan lapisan tipis (nm)
2. λ_1, λ_2 = panjang gelombang (nm)
3. n_1, n_2 = indeks bias pada panjang gelombang tertentu

Sampel	λ_1	λ_2	n_1	n_2	d	d rata-rata
225-5	373	381	1,54	1,53	3804,52	3413,21
	406	421	1,51	1,52	4327,40	
	385	407	1,52	1,51	2107,70	
225-10	376	382	1,64	1,61	3229,13	4027,03
	391	410	1,47	1,5	3985,59	
	392	408	1,46	1,48	4866,36	
225-15	374	378	1,66	1,63	3962,22	4304,19
	404	416	1,53	1,53	4492,83	
	397	409	1,54	1,54	4458,19	
275-5	395	416	1,52	1,53	2937,43	3319,15
	390	408	1,49	1,51	4182,96	
	398	420	1,52	1,53	2837,06	
275-10	390	401	1,53	1,53	4492,80	3823,04
	381	397	1,54	1,53	3181,90	
	389	402	1,54	1,53	3794,40	
275-15	394	405	1,54	1,53	3821,12	4018,45
	408	412	1,56	1,53	4548,05	
	385	396	1,53	1,52	3686,17	
325-5	396	415	1,51	1,51	2734,11	2403,01

Sampel	λ_1	λ_2	n_1	n_2	d	d rata-rata
	387	410	1,51	1,51	2232,16	
	390	413	1,51	1,51	2242,74	
325-10	358	373	1,52	1,51	2620,62	2665,95
	373	392	1,51	1,51	2477,28	
	366	382	1,51	1,51	2899,94	
325-15	391	405	1,51	1,51	3921,49	3554,25
	393	409	1,51	1,51	3570,29	
	401	415	1,51	1,51	3170,98	

C. Hasil pengujian *Four Point Probe* untuk mengetahui nilai resistivitas dari tiap lapisan tipis AZO yang difabrikasi. Untuk mengukur nilai resistivitas, digunakan persamaan

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \left(\frac{V}{I} \right)$$

Dimana,

1. t = ketebalan lapisan tipis (cm)
2. V = tegangan yang dihasilkan (mV)
3. I = arus yang dihasilkan (mA)

Hasil dari resistivas dari tiap lapisan dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

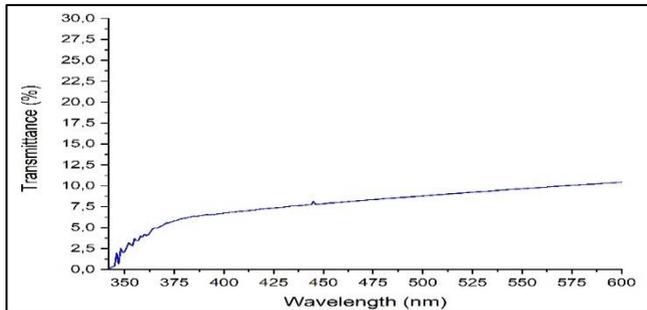
Sampe l	V (mV)	V rata-rata (mV)	A (mA)	A rata-rata (mA)	R ($\times 10^3 \Omega$)	t ($\times 10^{-4}$ cm)	ρ ($\times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$)
225-5	50,1	54,20	0,67	0,75	0,072	3,478	1,13918
	58,3		0,6				
	54,2		0,98				
225-10	29,3	38,10	0,58	0,6966 67	0,055	0,0004	0,99
	37,2		0,97				

Sampe I	V (mV)	V rata-rata (mV)	A (mA)	A rata-rata (mA)	R ($\times 10^3 \Omega$)	t ($\times 10^{-4}$ cm)	ρ ($\times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$)
	47,8		0,54				
225-15	10,2	18,03	0,53	0,5733 33	0,031	0,000430 4	0,61
	19,2		0,61				
	24,7		0,58				
275-5	30,3	31,17	0,43	0,4233 33	0,074	0,000315 2	1,05
	27,1		0,36				
	36,1		0,48				
275-10	26,4	27,93	0,5	0,53	0,053	0,000373 8	0,893
	25,2		0,52				
	32,2		0,57				
275-15	22,3	23,30	0,67	0,6133 33	0,038	0,000388 1	0,67
	28,7		0,63				
	18,9		0,54				
325-5	19,8	24,10	0,45	0,3966 67	0,061	0,000217	0,59
	24,7		0,38				
	27,8		0,36				
325-10	15,3	17,67	0,6	0,54	0,033	0,000266 5	0,39
	20,6		0,54				
	17,1		0,48				
325-15	20,3	23,83	0,58	0,57	0,042	0,000349 5	0,66
	23,8		0,56				
	27,4		0,57				

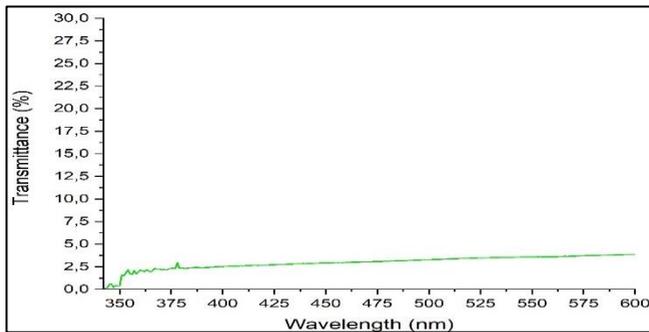
D. Hasil Pengujian UV-Visible

Berikut merupakan hasil pengujian transmansi dengan menggunakan UV-Visible Spectroscopy dari lapisan tipis AZO tiap sampel variasi

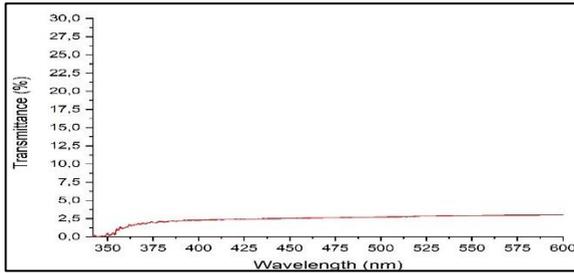
- 225°C – 5 menit



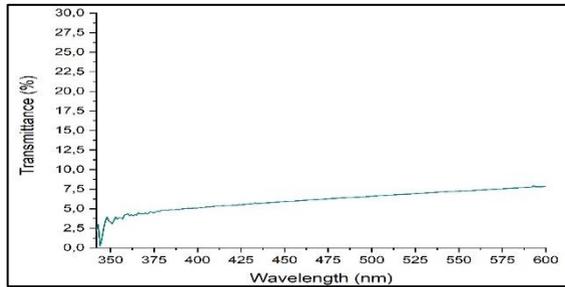
- 225°C – 10 menit



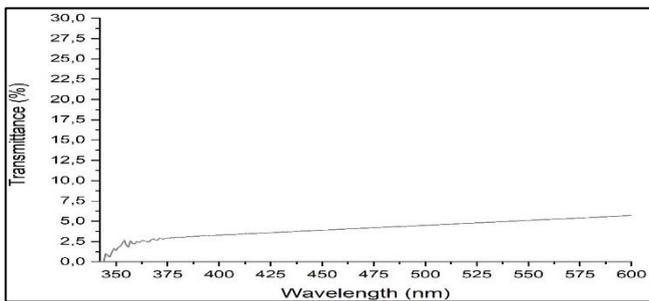
- 225°C – 15 menit



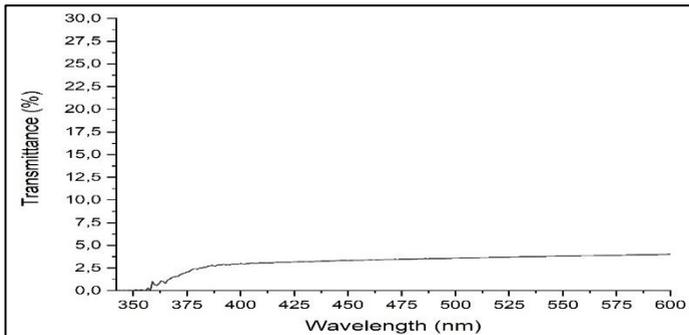
- 275°C – 5 menit



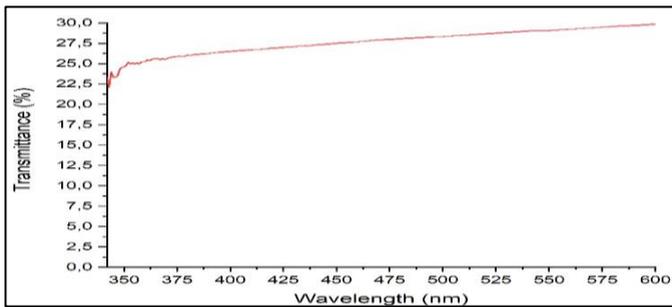
- 275°C – 10 menit



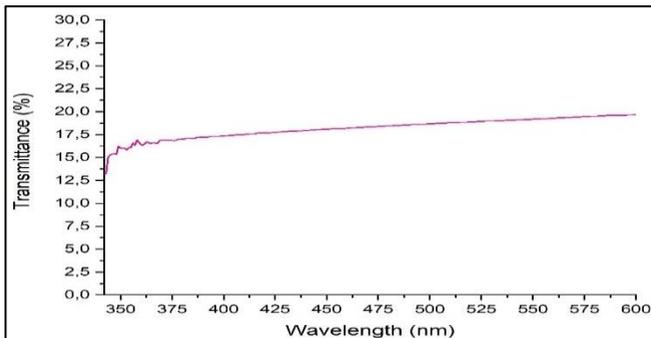
- 275°C – 15 menit



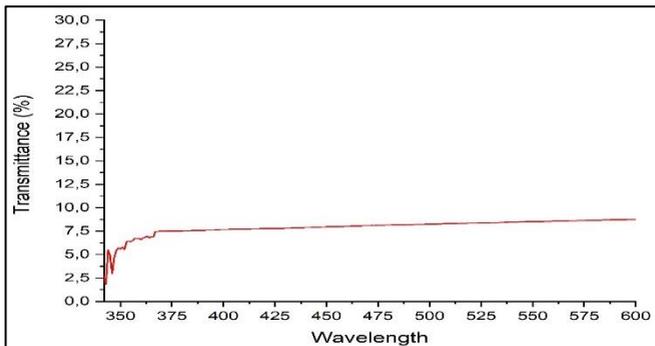
- 325°C – 5 menit



- 325°C – 10 menit



- 325°C – 15 menit



E. Hasil Pengukuran *Band Gap*

Untuk mengetahui nilai energi pita celah (*band gap*) dari lapisan tipis AZO tiap variasi sampel dibentuk grafik antara koefisien absorpsi (α) dengan energi foton ($h\nu$) melalui persamaan

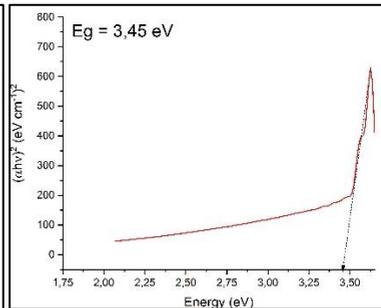
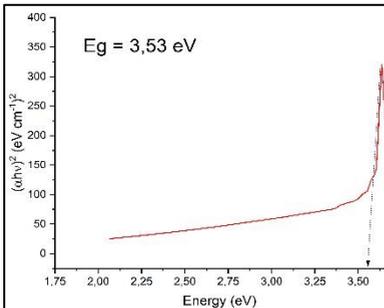
$$(\alpha h\nu) = A(h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}}$$

Dimana,

- $h\nu$ adalah energi foton,
- E_g adalah energi pita celah

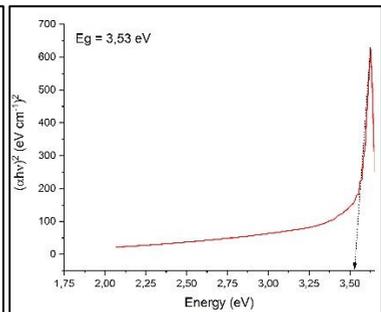
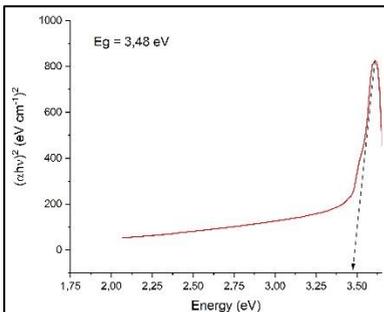
225°C – 5 menit

225°C – 10 menit



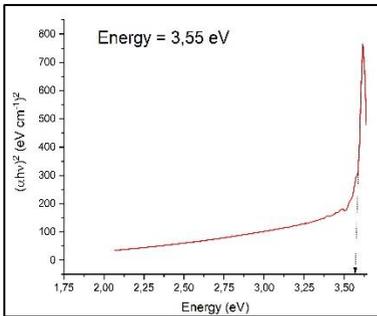
225°C – 15 menit

275°C – 5 menit

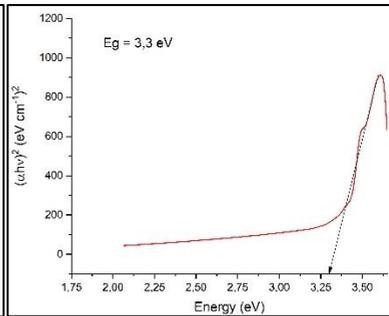


275°C – 10 menit

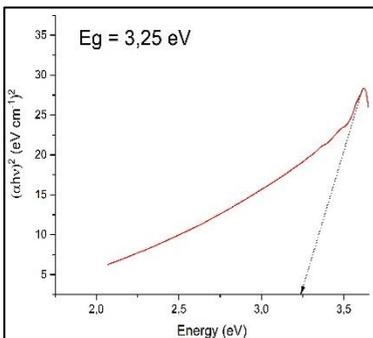
275°C – 15 menit



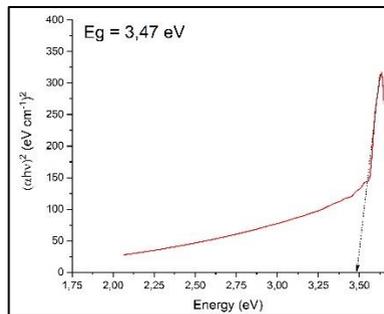
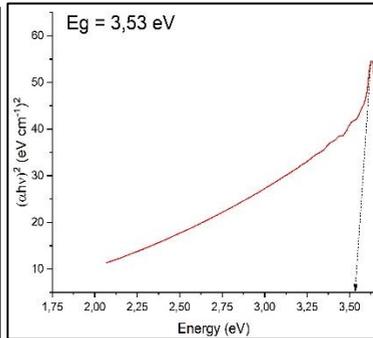
325°C – 5 menit



325°C – 10 menit



325°C – 15 menit



UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terbentuknya laporan tugas akhir ini, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama rangkaian penyelesaian tugas akhir, diantaranya kepada:

1. Heru Adi Susilo, Nur Eka Fatmawati, dan Zahra Savira selaku kedua orang tua dan adik penulis yang selalu mendoakan, memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini
2. Rizki Kurniawati Munawaroh, S.T., yang selalu memberikan motivasi, mendengarkan keluh kesah, dan mengingatkan penulis agar selalu semangat dalam melakukan penelitian tugas akhir.
3. MT17 yang telah menemani penulis dalam menjalani masa perkuliahan selama kurang lebih 4 tahun di kampus.
4. TFC yang selalu menghibur penulis ketika sedang jenuh selama proses penelitian berlangsung yang memberikan warna tersendiri saat berkuliah.
5. Keluarga Sosial Masyarakat BEM ITS Wahana Juang dan Gelora Aksi terutama Fara, Kasih, Veronica, Bagas, Saili, Zahid, Idfy, dan Mas Nizar yang telah memberikan wadah pengembangan softskill terbaik bagi penulis.
6. Faradhyba R. R. Yang sudah menjadi rekan kerja penulis dalam BEM ITS yang mau bersama-sama membimbing dan belajar bersama Shafa, Upik, Trisna, Enggar, Taufiqi, dan Rozan dalam Pengmas
7. Keluarga BEM ITS Kolaborapi terutama BPH, Kabinet, Kemenkoan, Staff terutama Luthfi, Dadang, Citra, Nissa, Atikah, Marisa, Wildan, Vicario, Wawan, Idfy, Alam, Rachman, Anne, Albert, Rima, Zahid, Kasih yang telah mengisi kehidupan perkuliahan tahun ke-4 dan teman diskusi penulis saat pengerjaan tugas akhir.
8. Knalpots Family yang membawa suasana Kota Pekalongan ke Surabaya.

9. Shahnaz Fauziah selaku teman penulis yang menemani penulis untuk mengikuti short program di Kumamoto University disela-sela penelitian dan memberi motivasi dan sudut pandang baru selama penelitian.
10. Firdos Nur Fadillah selaku rekan kerja penulis dalam pengambilan data tugas akhir yang tak henti-hentinya selalu memberikan semangat kepada penulis.
11. Mahasiswa bimbingan Bapak Agung diantaranya Firdos, Bagas, Taufiq, Ihsan, Rafiandy, Fikri, dan Gabriel yang sudah berbagi keluh kesah selama pengerjaan tugas akhir.
12. Seluruh pihak terkait yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Diaz Perdana, Penulis merupakan anak dari pasangan Heru Adi Susilo dan Nur Eka Fatmawati, Lahir di Pekalongan pada tanggal 28 November 1997. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD Muhammadiyah 02 Bendan. Kemudian dilanjutkan ke jenjang pertama di SMPN 2 Pekalongan. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang atas di SMAN 1 Pekalongan. Kemudian penulis melanjutkan bidang pendidikannya di perguruan tinggi negeri yaitu di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Selama menjalani perkuliahan, penulis sudah aktif mengikuti berbagai kegiatan kemahasiswaan seperti aktif sebagai Pemandu LKMM ITS dengan nama forkom “Andalas”. Penulis juga aktif dalam organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember dari tahun 2016-2019 baik sebagai staff, direktorat jenderal, dan menteri koordinator. Selain itu, penulis juga aktif dalam beberapa volunteering project seperti 1000 Guru Surabaya. Penulis pernah menjalankan kerja praktek selama 1 bulan di PT. Pupuk Sriwidjaja, Palembang di departemen Inspeksi Teknik.

Jika ada saran dan kritik yang membangun terkait tugas akhr ini, penulis memiliki email yang dapat dihubungi yakni perdanadiaz@gmail.com, dan nomor telepon 085640214000.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)