



**STUDI STRUKTUR KRISTAL, MORFOLOGI, DAN SIFAT  
OPTIK FILM TIPIS ZnO DOPING Mg YANG  
DIDEPOSISIKAN DENGAN METODE SOL-GEL SPIN  
COATING**

Skripsi

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

oleh

Azizah Zhafirah

4211415024

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

**2019**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

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

Semarang, November 2019

Pembimbing I



**Dr. Budi Astuti, M.Sc.**  
**NIP. 197902162005012001**

Pembimbing II



**Didik Aryanto, M.Sc.**  
**NIP. 198307092014011001**

## PERNYATAAN

Dengan ini, saya

nama : Azizah Zhafirah

NIM : 4211415024

program studi : Fisika S1

menyatakan bahwa skripsi berjudul *Studi Struktur Kristal, Morfologi, dan Sifat Optik Film Tipis ZnO Doping Mg yang Dideposisikan dengan Metode Sol-Gel Spin Coating* ini benar-benar karya saya sendiri bukan jiplakan dari karya orang lain atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang atau pihak lain yang terdapat dalam skripsi ini telah dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah. Atas pernyataan ini, saya secara pribadi siap menanggung resiko/sanksi hukum yang dijatuhkan apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya ini.

Semarang, November 2019

Penulis,



Azizah Zhafirah

4211415024

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul *Studi Struktur Kristal, Morfologi, dan Sifat Optik Film Tipis ZnO Doping Mg yang Dideposisikan dengan Metode Sol-Gel Spin Coating* karya Azizah Zhafirah 4211415024 ini telah dipertahankan dalam Ujian Skripsi Universitas Negeri Semarang pada tanggal 27 November 2019 dan disahkan oleh Panitia Ujian.

Panitia  
Ketua  
  
**FMBA Sugianto, M.Si.**  
NIP. 19610219 199303 1001

Sekretaris,

  
**Dr. Suharto Linuwih, M.Si.**  
NIP. 19680714 199603 1005


Penguji I,

  
**Prof. Dr. Putut Marwoto, M.S.**  
NIP. 19630821 198803 1004

Penguji II,

  
**Dr. Sugianto, M.Si.**  
NIP. 191610219 199303 1001

Pembimbing I,

  
**Dr. Budi Astuti, M.Sc.**  
NIP. 19790216 200501 2001

Pembimbing II,

  
**Didik Aryanto, M.Sc.**  
NIP. 19830709 201401 1001

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

- Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga (HR. Muslim no. 2699).
- Don't be trapped in someone else's dream ( V BTS).
- No matter who you are, where you're from, you're skin colour, you're gender identity, just speak yourself (RM BTS).

### **PERSEMBAHAN**

Untuk kedua orang tua penulis, Ibu Renny dan Pak Supairman  
Serta untuk kakak dan kedua adik penulis, kak Nisa, Fauzie, dan Adit

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang sudah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Studi Struktur Kristal, Morfologi, dan Sifat Optik Film Tipis ZnO Doping Mg yang Dideposisikan dengan Metode Sol-Gel *Spin Coating*”.

Penulisan skripsi ini ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat Program Strata 1 pada Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.

Dalam penyajian skripsi ini penulis menyadari masih belum mendekati kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan koreksi dan saran yang sifatnya membangun sebagai bahan masukan yang bermanfaat demi perbaikan dan peningkatan diri dalam bidang ilmu pengetahuan.

Penulis menyadari, berhasilnya studi dan penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan semangat dan do’a kepada penulis dalam menghadapi setiap tantangan, sehingga sepatutnya pada kesempatan ini penulis menghaturkan rasa terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Sugianto, M.Si., Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si., Ketua Prodi Fisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
5. Prof. Dr. Putut Marwoto, M.S. dan Dr. Sugianto, M.Si. selaku penguji I dan II.
6. Dr. Budi Astuti, M.Sc. selaku pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran kepada penulis selama penelitian dan penyusunan skripsi.
7. Didik Aryanto, M.Sc. selaku pembimbing kedua yang telah membantu pembuatan sampel serta karakterisasi sampel.

8. Bapak Supairman dan Ibu Renny Yashinta selaku kedua orang tua penulis yang selalu memberikan semangat, dukungan, serta doa yang terbaik untuk anaknya.
9. Kak Nisa, Fauzie, dan Adit yang selalu jadi saudara terbaik dan telah memberikan waktunya untuk saling mengasihi, saling menghormati, dan memberikan motivasi untuk terus berkembang.
10. Anak alay (Sifa, Eva, Rosi, Wening, Zunita, dan Kukuh) yang selalu menemani penulis saat suka maupun duka semenjak awal perkuliahan.
11. Ani, Deska, Nuril, dan Vivian sebagai partner di Laboratorium Fisika Material Film Tipis Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
12. Keluarga Fisika 2015 (Sughoi) yang selalu bersama dari awal melangkah di kampus tercinta sampai detik ini.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk selalu memberikan bantuan dan dukungan moral dan spiritual.

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

Semarang, November 2019

Penulis  
Azizah Zhafirah

## ABSTRAK

Zhafirah, Azizah (2019). *Studi Struktur Kristal, Morfologi, dan Sifat Optik Film Tipis ZnO Doping Mg yang Dideposisikan dengan Metode Sol-Gel Spin Coating*. Skripsi, Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I Dr. Budi Astuti, M.Sc. Pembimbing II Didik Aryanto, M.Sc.

**Kata Kunci:** film tipis, ZnO doping Mg, sol-gel, spin coating

Film tipis ZnO doping Mg dengan variasi konsentrasi Mg telah berhasil dideposisikan dengan metode sol-gel *spin coating* di atas substrat *corning glass*. Karakterisasi struktur, morfologi, dan sifat optik film tipis ZnO doping Mg menggunakan XRD, FESEM, EDX, dan spektrofotometer UV-VIS. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa film tipis ZnO doping Mg adalah polikristalin dengan tiga puncak dominan pada bidang (100), (002), dan (101) dan memiliki struktur hexagonal *wurtzite*. Penambahan konsentrasi doping Mg mengakibatkan peningkatan ukuran kristal pada film tipis ZnO doping Mg. Hasil FESEM menunjukkan pada film tipis ZnO doping Mg 5% butirannya lebih padat dan tidak berongga dibanding yang lainnya. Selanjutnya, hasil analisis dengan UV-VIS menunjukkan nilai absorpsi paling tinggi berada pada Panjang gelombang 360-370 nm. Nilai band gap film tipis ZnO mengalami peningkatan pada sampel doping Mg 1% dan 3%, namun mengalami penurunan pada doping Mg 5% yang diasumsikan terjadi karena adanya kelebihan oksigen pada sampel film tipis ZnO doping Mg 5%.



## DAFTAR ISI

	Halaman
PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>BAB</b>	
<b>PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Zinc Oxide (ZnO) .....	6
2.2 Material Magnesium .....	7
2.3 ZnO Doping Mg .....	9
2.4 Metode Sol-Gel .....	11
2.5 <i>Spin Coating</i> .....	12
2.6 Struktur Kristal .....	13
2.7 Sifat Optik .....	15
<b>METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Pendahuluan .....	18
3.2 Pelaksanaan Penelitian.....	18
3.3 Prosedur Penelitian .....	18
3.3.1 Persiapan Substrat.....	18
3.3.2 Persiapan Larutan Sol-Gel .....	18
3.3.3 Deposisi Film pada Substrat.....	19
3.4 Karakterisasi Film Tipis.....	20

3.4.1 XRD (X-Ray Diffraction) .....	20
3.4.2 SEM (Scanning Electron Microscopy) .....	23
3.4.3 Spektrofotometer UV-VIS .....	24
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Struktur Film Tipis ZnO doping Mg .....	26
4.2 Morfologi Film Tipis ZnO doping Mg .....	32
4.3 Sifat Optik Film Tipis ZnO Doping Mg .....	34
<b>PENUTUP</b>	
5. 1 Kesimpulan.....	38
5. 2 Saran .....	39
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>40</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
2.1	Sifat Fisik Magnesium .....	8
2.2	Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais .....	15
3.1	Konsentrasi Mg .....	19
4.1	Koefisien Tekstur Film Tipis ZnO Doping Mg .....	28
4.2	Parameter FWHM, ukuran kristal, parameter kisi a dan c .....	29
4.3	Parameter d-spacing, regangan, dan kerapatan dislokasi .....	31
4.4	Komposisi rasio film tipis ZnO doping Mg .....	33
4.5	Nilai band gap film tipis ZnO doping Mg .....	36

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur Kristal ZnO: (a) rocksalt, (b) zincblende, (c) wurtzite .....	7
2.2 Piringan berputar spin coating .....	13
2.3 Skema tahapan spin coating .....	13
2.4 Plot $\alpha^2$ vs Band Gap Film Tipis ZnO:Al .....	17
3.1 XRD Smartlab Rigaku .....	20
3.2 Komponen-komponen X-Ray Diffraction.....	21
3.3 Skema dasar SEM .....	24
4.1 Pola XRD film tipis ZnO doping Mg .....	27
4.2 Grafik hubungan antara ukuran kristal, parameter kisi c, dan konsentrasi doping Mg .....	30
4.3 Hasil FESEM film tipis ZnO:Mg dengan variasi konsentrasi Mg (a) 0% (b) 1% (c) 3% (d) 5% .....	32
4.4 Spektrum UV-VIS film tipis ZnO tanpa doping dan doping Mg ....	34
4.5 Energi band gap film tipis ZnO tanpa doping dan doping Mg .....	35

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran		Halaman
1	Perhitungan konsentrasi ZnO dan Mg .....	39
2	ICDD ( <i>International Center for Diffraction Data</i> ) No. 01-078-3315 .....	42

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Film tipis atau lapisan tipis merupakan material dengan ketebalan tidak lebih dari 10  $\mu\text{m}$  yang melapisi suatu substrat (Amanati & Sutanto, 2015). Lapisan tipis didefinisikan sebagai material berdimensi rendah yang terbentuk melalui proses kondensasi ion/molekul/atom suatu materi (Sutanto & Wibowo, 2015). Pada saat ini, teknologi film tipis sudah mengalami banyak perkembangan, baik dari segi material yang digunakan, cara pembuatan, dan aplikasinya dalam kehidupan masyarakat.

Material yang biasa digunakan dalam membuat film tipis adalah InO (Kim *et al.*, 2012),  $\text{WO}_3$  (Dalavi *et al.*, 2013),  $\text{SnO}_2$  (Sharma *et al.*, 2011),  $\text{TiO}_2$  (Behpour *et al.*, 2015), ZnO (Bhadane *et al.*, 2014), ITO (Vaishnav *et al.*, 2015) dan masih banyak lagi bahan lainnya. Material ITO (*Indium Tin Oxide*) banyak dimanfaatkan dalam beberapa bidang seperti pembuatan *liquid crystal display* (LCD) (Xia & Gerhardt, 2016), *plasma display panels* (PDPs) (Hori & Mizuno, 2012), *organic light emitting diodes* (OLEDs) (Xiang *et al.*, 2015), serta *window layer* dalam sel surya (Chung *et al.*, 2012). Hal ini dikarenakan film tipis ITO mempunyai konduktivitas sekitar  $10^4 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  dan transmitansi sekitar 85% dengan bandgap 3,7 eV (Sugianto *et al.*, 2015). Namun demikian, ITO juga memiliki kelemahan, yaitu bahan Indium yang mahal dan relatif langka (Al-ghamdi *et al.*, 2014), sehingga dibutuhkan suatu material baru yang dapat menggantikan kelemahan ITO.

Semikonduktor oksida seng (ZnO) dapat menggantikan ITO karena memiliki keuntungan utama yaitu murah dan tidak beracun (Zhao *et al.*, 2011), memiliki energi band gap yang lebar sebesar 3,37 eV (Aryanto *et al.*, 2016) dan energi ikat yang tinggi 60 MeV pada suhu ruang (Fang *et al.*, 2014). Akan tetapi, film tipis ZnO tanpa doping (ZnO murni) memiliki karakteristik sifat listrik yang kurang baik, yaitu nilai konduktivitasnya rendah sebesar  $6,24 \times 10^{-7} (\Omega\text{cm})^{-1}$  (Sugianto *et al.*, 2015). Dengan kata lain, nilai resistivitasnya

tinggi sebesar  $0,78 \Omega\text{cm}$  (Sim *et al.*, 2010). Kekurangan ZnO murni dapat diperbaiki dengan memberikan doping. Material doping yang biasanya digunakan adalah aluminium (Astuti *et al.*, 2018), gallium (Sulhadi *et al.*, 2015), mangan (Cao *et al.*, 2018), copper (Aryanto *et al.*, 2017), magnesium (Karthikeyan & Pandiyarajan, 2010), dan masih banyak lagi.

Ketika material doping dipilih, jari-jari material doping perlu dipertimbangkan karena atom doping dengan radius yang sama direkomendasikan untuk menghasilkan bahan senyawa dengan distorsi kisi yang lebih sedikit (Mia *et al.*, 2017). Material magnesium (Mg) dipilih sebagai doping karena ion  $\text{Mg}^{2+}$  mempunyai jari-jari ionik sebesar  $0,65 \text{ \AA}$  (Ghosh *et al.*, 2009). Nilai tersebut hampir sama dengan jari-jari ion  $\text{Zn}^{2+}$  sebesar  $0,74 \text{ \AA}$  (Klingshirn *et al.*, 2010). Dengan demikian, penambahan  $\text{Mg}^{2+}$  di dalam ZnO tidak menimbulkan perubahan yang cukup besar pada ukuran kisi kristal ZnO wurtzite (Li *et al.*, 2008). Hal yang tidak kalah penting adalah sejumlah besar laporan menunjukkan bahwa penggabungan magnesium ke dalam ZnO merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan energi band gap ZnO (Ravichandran *et al.*, 2011). Peningkatan band gap dapat terjadi karena MgO adalah semikonduktor senyawa ionik dengan celah pita lebar  $7,8 \text{ eV}$  (Verma *et al.*, 2017). Penggabungan MgO dengan ZnO dapat meningkatkan nilai band gap dari  $3,37$  sampai  $6,7 \text{ eV}$  (Kılınç *et al.*, 2010). Di sisi lain, Mg memiliki kelarutan padatan tinggi dalam ZnO karena magnesium adalah logam transisi yang dapat memodulasi nilai celah pita ZnO dan meningkatkan intensitas pendaran ultravioletnya. Oleh karena itu, dapat diharapkan bahwa ion  $\text{Mg}^{2+}$  yang menggantikan ion Zn dalam kisi ZnO akan meningkatkan sifat optisnya (Hashim *et al.*, 2017). Menurut Zhang *et al.* (2011), apabila ZnO didoping Mg bukan hanya nilai band gap saja yang meningkat dari ZnO tanpa doping, nilai konduktivitasnya juga meningkat. Selain itu, Kulandaisamy *et al.* (2016) juga melaporkan bahwa dengan peningkatan konsentrasi Mg akan menurunkan nilai resistivitas film tipis ZnO.

Metode untuk menumbuhkan film tipis ZnO doping Mg ada beberapa cara, yaitu *molecular beam epitaxy* (MBE) (Suja *et al.*, 2015), *metal-organic*

*chemical vapor deposition* (MOCVD) (Ma *et al.*, 2013), *chemical solution deposition* (CSD) (Surono & Sutanto, 2014), *pulsed-laser deposition* (PLD) (Shewale *et al.*, 2019), *magnetron sputtering* (Aryanto *et al.*, 2016), *electron beam evaporation* (Iqbal *et al.*, 2013), dan metode sol-gel dengan teknik *spray coating* (Durri & Sutanto, 2015) dan *spin coating* (Fang *et al.*, 2014). Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode sol-gel. Hal tersebut karena metode sol-gel mempunyai beberapa keunggulan dalam mengontrol komposisi film, homogenitas yang tinggi, kemampuan *coating* pada area yang luas dan biaya penumbuhan yang murah. Namun demikian, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan terkait penumbuhan film tipis ZnO dengan metode sol-gel. Faktor-faktor tersebut termasuk konsentrasi larutan, substrat, suhu annealing, pelarut dan ketebalan film (Gahtar *et al.*, 2014). Pengaruh konsentrasi larutan sejauh ini belum banyak dikembangkan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipelajari pengaruh konsentrasi larutan terhadap struktur kristal, morfologi, dan sifat optik dari film tipis ZnO doping Mg.

Pendeposisian dengan metode sol-gel dibagi menjadi beberapa teknik, salah satunya adalah *spin coating*. Teknik *spin coating* memiliki beberapa keunggulan, diantaranya yaitu tergolong sederhana, mudah dalam pengoperasiannya dan biaya relatif murah. Selain itu, jika dibandingkan dengan teknik pelapisan film tipis lainnya, teknik *spin coating* dapat memberikan homogenitas yang lebih baik dan ketebalan dapat diatur yang sulit didapatkan ketika menggunakan metode pelapisan sederhana lainnya, seperti metode *spray* maupun *screen printing* (Hidayat *et al.*, 2014). Oleh karena itu, pada penelitian ini pembuatan film tipis ZnO doping Mg dibuat dengan metode sol-gel *spin coating*.



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka permasalahan yang dikaji adalah :

- 1) Bagaimana pengaruh konsentrasi doping Mg terhadap struktur kristal film tipis ZnO doping Mg ?
- 2) Bagaimana pengaruh konsentrasi doping Mg terhadap morfologi film tipis ZnO doping Mg ?
- 3) Bagaimana pengaruh konsentrasi doping Mg terhadap sifat optik film tipis ZnO doping Mg ?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

- 1) Mengetahui pengaruh konsentrasi doping Mg terhadap struktur kristal film tipis ZnO doping Mg.
- 2) Mengetahui pengaruh konsentrasi doping Mg terhadap morfologi film tipis ZnO doping Mg.
- 3) Mengetahui pengaruh konsentrasi doping Mg terhadap sifat optik film tipis ZnO doping Mg.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh konsentrasi doping Mg terhadap struktur kristal, morfologi, dan sifat optik film tipis ZnO doping Mg.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini terdiri atas tiga bagian. Bagian pertama diawali dengan halaman judul, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan daftar lampiran. Bagian kedua merupakan isi yang terdiri atas lima bab. Bab I berisi latar belakang masalah penelitian, rumus permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan. Bab II membahas kajian pustaka yang merupakan landasan teoritis dalam penelitian. Kajian pustaka berisi penjelasan mengenai material ZnO, magnesium, ZnO doping Mg, metode sol-gel, *spin coating*, struktur kristal,

dan sifat optik. Bab III membahas metode penelitian yang dilakukan meliputi: persiapan substrat, pembuatan larutan sol-gel, deposisi film pada substrat, dan karakterisasi film tipis (XRD, FESEM, EDX, dan UV-VIS). Bab IV membahas tentang hasil akhir karakterisasi. Bab V penutup yang berisikan kesimpulan dan saran. Bagian akhir skripsi ini adalah bagian penutup yang berisi daftar pustaka bahan kajian pustaka dan lampiran penelitian.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

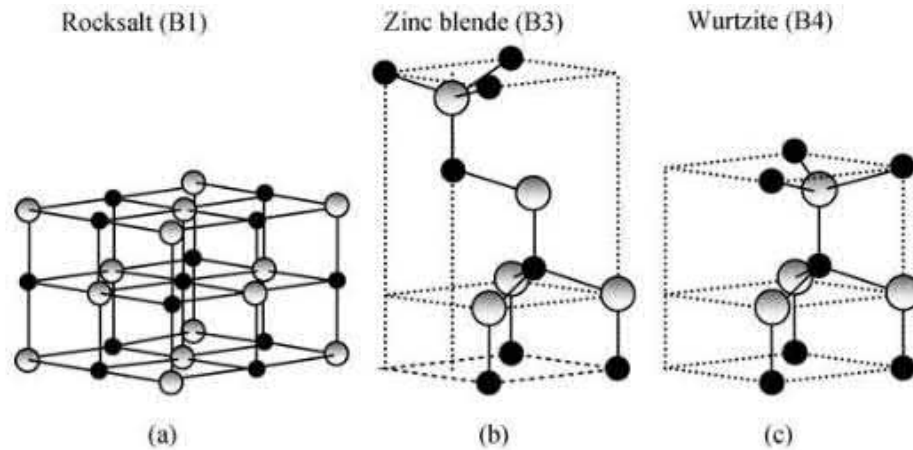
#### 2.1 Zinc Oxide (ZnO)

Zinc Oxide (ZnO) merupakan zat padat berupa serbuk heksagon/amorf yang mempunyai warna yang berbeda pada temperatur yang bervariasi. Serbuk ZnO akan berwarna putih jika dingin (di bawah temperatur ruang) dan akan berwarna kuning jika dipanaskan (pada temperatur tinggi). Selain itu, serbuk ZnO berasa pahit dan tidak berbau (Arsyad, 2001). ZnO memiliki struktur kristal wurtzite dengan *space group* P6<sub>3</sub>mc. Ikatan pada ZnO sangat bersifat ionik (Zn<sup>2+</sup> - O<sup>2-</sup>), dimana kation Zn terikat dengan empat anion oksigen dalam konfigurasi tetrahedral. Konstanta kisi ZnO adalah  $a = 3.249 \text{ \AA}$  dan  $c = 5.2042 \text{ \AA}$  (Klingshirn *et al.*, 2010). Celah pita energi ZnO pada temperatur ruang adalah 3,37 eV dan sifat ini membuatnya transparan terhadap cahaya tampak (Yadav *et al.*, 2007). Celah energi dari material campuran berbasis ZnO dapat ditingkatkan dari 3,0 eV (Ohtomo *et al.*, 1998) hingga mencapai 4,5 eV (Jun *et al.*, 2009).

ZnO yang memiliki celah pita lebar, mengakibatkan ZnO dapat diaplikasikan secara luas di bidang elektronik dan optoelektronik dengan energi ikat tinggi (Fang *et al.*, 2014). Selain itu, material ZnO berharga murah dan non-toksik (Duan *et al.*, 2015). Akan tetapi, ZnO mempunyai kelemahan, yaitu dapat mengalami penurunan konduktivitas listrik yang disebabkan terjadinya proses resapan kimia (*chemisorption*) gas oksigen pada permukaan film tipis ZnO. ZnO juga kurang stabil pada lingkungan korosif dan memiliki sifat listrik yang kurang baik dikarenakan konsentrasi pembawa yang rendah (Sulhadi *et al.*, 2015).

Struktur kristal ZnO terdiri atas tiga bentuk yaitu: *wurtzite*, *zinc blende*, dan *rocksalt* yang dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1. Struktur *wurtzite* terbentuk pada kondisi tekanan normal dan fase termodinamika yang stabil,

struktur ZnO *zinc blende* terbentuk pada substrat kubik, dan struktur *rocksalt* terbentuk pada kondisi dengan tekanan tinggi (Sutanto & Wibowo, 2015).



**Gambar 2. 1** Struktur Kristal ZnO: (a) *rocksalt*, (b) *zincblende*, (c) *wurtzite*

Material ZnO dapat disintesis menggunakan metode seperti *Spray Pyrolysis*, *Chemical Vapor Deposition*, dekomposisi termal elektrodeposisi, *solution process* termasuk metode sol-gel. Di antara metode yang telah disebutkan, metode sol-gel merupakan metode yang menarik, karena dapat menghasilkan lapisan kecil maupun luas yang bagus, sederhana, dan biaya rendah (Durri & Sutanto, 2015).

## 2.2 Material Magnesium

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dan nomor atom 12 serta berat atom 24,31. Magnesium termasuk golongan II (alkali tanah) dalam tabel periodik. Semua unsur golongan II memiliki konfigurasi elektron yang sama pada kelopak elektron terluar dan struktur kristal yang serupa. Magnesium selalu memiliki tingkat oksidasi +2. Magnesium memiliki jari-jari ionik sebesar 0,65 Å (Ansari *et al.*, 2015), jari-jari tersebut seorde dengan jari-jari ionik Zn, yaitu 0,74 Å (Klingshirn *et al.*, 2010). Dengan demikian, penambahan material magnesium pada film tipis ZnO tidak akan mengubah struktur dari film tipis ZnO. Magnesium oksida memiliki nilai band gap sebesar 7,8 eV dan memiliki struktur kristal kubik

(Kılınç *et al.*, 2010). Secara rinci sifat fisik dari material magnesium dirangkum pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Sifat Fisik Magnesium

<b>Sifat Fisik</b>	<b>Magnesium Paduan</b>
Titik cair, K	922 K
Titik didih, K	1380 K
Energi ionisasi 1	738 kJ/mol
Energi ionisasi 11	1450 kJ/mol
Kerapatan massa ( $\rho$ )	1,74 g/cm <sup>3</sup>
Jari-jari ionik	0,65 Å
Kapasitas panas	1,02 J/Gk
Potensial ionisasi	7,646 volt
Konduktivitas kalor	156 W/Mk
Entalpi penguapan	127,6 kJ/mol
Entalpi pembentukan	8,95 kJ/mol

Sumber : [www.digilib.its.com](http://www.digilib.its.com)

Magnesium dan paduannya merupakan salah satu jenis logam yang dikategorikan sebagai bahan logam ringan, di antara beberapa logam ringan yang biasa digunakan dalam industri manufaktur. Magnesium dan paduannya ini semakin banyak digunakan karena mempunyai kelebihan dibandingkan dengan logam ringan lainnya (Ibrahim, 2014). Magnesium adalah elemen terbanyak ke delapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut (Ansyori, 2015). Dalam bentuk serbuk, logam ini sangat reaktif dan bisa terbakar dengan nyala putih apabila udaranya lembab. Apabila pita logam magnesium dibakar lalu direndam dalam air, maka akan tetap terbakar hingga pita magnesiumnya habis.

Magnesium, ketika dibakar dalam udara, menghasilkan cahaya putih yang terang. Ini digunakan pada zaman awal fotografi sebagai sumber pencahayaan (serbuk kilat). Dengan perkembangan zaman, material magnesium banyak digunakan di antaranya sebagai : (a) material pelapis besi dan baja sebagai bahan pelindung terhadap korosi; (b) komponen elektronik karena magnesium mempunyai sifat penghantar yang baik; (c) sebagai bahan untuk membuat pesawat terbang dan rudal karena sifatnya yang ringan dan kekuatan yang relatif baik; (d) di bidang otomotif adalah sebagai bahan untuk blok mesin, yang memerlukan sifat ringan dan penghantar panas yang baik, serta berbagai macam manfaat lainnya (Ibrahim, 2014).

### 2.3 ZnO Doping Mg

Pemilihan doping Mg untuk film tipis ZnO dikarenakan jari-jari ionik dari  $Mg^{2+}$  (0,65 Å) tidak jauh berbeda dengan jari-jari ionik  $Zn^{2+}$  (0,74 Å) (Ansari *et al.*, 2015). Perbedaan ukuran jari-jari ionik yang tidak terlalu jauh ini, membuat ion  $Mg^{2+}$  dapat memsubstitusikan ion  $Zn^{2+}$  (Verma *et al.*, 2017). Mg juga merupakan logam transisi yang dapat memodulasi nilai celah pita ZnO dan meningkatkan intensitas pendaran UVnya (Hashim *et al.*, 2017).

Berikut merupakan kesimpulan dari beberapa penelitian mengenai pembuatan film tipis ZnO doping Mg dengan berbagai metode, antara lain metode sol-gel, Pechini, *spray pyrolysis*, *DC magnetron sputtering*, dan *RF magnetron sputtering*. Metode yang pertama adalah sol-gel. Metode sol-gel sudah banyak dilakukan dalam pembuatan film tipis ZnO doping Mg, salah satunya adalah penelitian yang dilakukan Verma *et al.* (2017). Penelitian yang mereka lakukan adalah pembuatan film tipis ZnO doping Mg dengan variasi konsentrasi Mg. Mereka melaporkan bahwa ukuran kristal berkurang setelah penambahan konsentrasi Mg sedangkan celah pita dan intensitas emisi tepi pita meningkat. Nilai transmitansi menurun secara bertahap dengan meningkatnya konsentrasi Mg. Nilai band gap meningkat dari 3,22 eV menjadi 3,29 eV dengan kenaikan konsentrasi Mg. Dengan demikian,

dimungkinkan untuk menyesuaikan celah pita film tipis ZnO dengan variasi konsentrasi Mg.

Fang *et al.* (2013) meneliti mengenai pembuatan film tipis ZnO doping Mg dengan menggunakan metode Pechini yang telah dimodifikasi. Pada penelitian ini variasi yang digunakan adalah konsentrasi Mg. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa nilai transmitansi dari semua sampel lebih dari 90% dalam rentang yang terlihat. Nilai band gap meningkat dari 3,36 eV menjadi 3,66 eV dengan meningkatnya konsentrasi Mg. Spektrum photoluminescence menunjukkan emisi UV dan hijau. Emisi UV berasal dari rekombinasi bebas-eksitasi. Emisi hijau dikaitkan dengan kekosongan oksigen atau pasangan donor-akseptor. Sebagai kesimpulan, Pechini yang dimodifikasi menyiapkan film tipis ZnO doping Mg dapat diterapkan pada perangkat optoelektronik seperti dioda pemancar cahaya dan sel surya.

Kulandaisamy *et al.* (2016) melakukan penumbuhan film tipis ZnO doping Mg dengan metode *spray pyrolysis*. Berdasarkan penelitian mereka, tepi serapan optik bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih rendah dengan peningkatan konsentrasi doping Mg yang menandakan terjadinya pergeseran biru. Film dengan konsentrasi Mg yang lebih rendah menunjukkan respons maksimum terhadap amonia pada suhu kamar dengan respons dan waktu pemulihan yang cepat. Oleh karena itu film tipis ZnO doping Mg dapat digunakan untuk mendeteksi amonia pada suhu kamar.

Asvarov *et al.* (2016) melaporkan penelitiannya mengenai pembuatan film tipis ZnO doping Mg dengan menggunakan metode DC *magnetron sputtering*. Hasil penelitian menunjukkan ketergantungan konsentrasi doping Mg dan komposisi gas kerja pada sifat struktural dan optik film tipis ZnO doping Mg. Pengukuran XRD mengungkapkan bahwa kristalinitas ZnO doping Mg secara signifikan dipengaruhi oleh tingkat doping Mg dan ambien gas kerja. Lebih lanjut, diperlihatkan bahwa komposisi gas yang bekerja memiliki pengaruh yang lebih besar pada transmitansi film tipis ZnO doping

Mg di daerah yang terlihat, sementara doping memungkinkan untuk secara efektif menyesuaikan band gap film tipis ZnO doping Mg. Terungkap bahwa energi band gap ZnO doping Mg film tipis meningkat hampir linier dengan meningkatnya konsentrasi dopan.

Chen *et al.* (2010) telah mempelajari mengenai pembuatan film tipis ZnO doping Mg dengan metode RF *magnetron sputtering*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kita dapat mengetahui bahwa spektrum transmitansi optik sampel, tepi serapan UV bergeser ke panjang gelombang yang lebih pendek setelah doping Mg dan bergeser ke panjang gelombang yang lebih panjang ketika tekanan oksigen meningkat. Selain itu, analisis menunjukkan bahwa puncak emisi violet berasal dari transisi elektron dari pita konduksi ke tingkat akseptor dangkal yang dibentuk oleh kekosongan Zn.

Film tipis ZnO doping Mg telah banyak diteliti untuk berbagai aplikasi seperti sebagai perangkat optoelektronik (Hashim *et al.*, 2017), fotodetektor (Wang & Zheng, 2016), sel surya (Shin *et al.*, 2011), fotokatalis (Abed *et al.*, 2015), biosensor (Ahmad *et al.*, 2014), gas sensor (Galstyan *et al.*, 2015), spintronic devices (Azam *et al.*, 2013), dan berbagai aplikasi lainnya.

## 2.4 Metode Sol-Gel

Proses sol-gel namanya berasal dari dua tahap yang dilibatkan, yaitu pembentukan sol dan gel. Sol adalah suspensi koloid partikel padat dalam fasa cair melalui reaksi hidrolisis dan polimerisasi dari prekursor tertentu. Dengan kata lain, sol merupakan dispersi stabil dari partikel koloid atau polimer dalam sebuah pelarut (Ningsih, 2016).

Gel adalah zat yang memiliki pori yang semirigid yang terdiri atas jaringan kontiniu dalam tiga dimensi. Gel dapat terbentuk dari rantai polimer. Interaksinya adalah memiliki sifat kovalen dan tidak dapat balik (*irreversible*). Kristalinitas produk akhir didapat setelah menghilangkan pelarut atau residual lainnya dari porinya melalui proses pengeringan (*drying*) dan *annealing* (kalsinasi). Hal itu tergantung pada kondisi eksperimen yang



digunakan. Proses sol-gel digunakan sebagai template untuk mendapatkan morfologi permukaan dalam skala mikro dan skala nano (Ningsih, 2016).

Prinsip dasar sol-gel adalah pembentukan larutan prekursor dari senyawa yang diharapkan dengan menggunakan pelarut organik, terjadinya polimerisasi larutan, terbentuknya, dan dibutuhkan proses pengeringan dan kalsinasi gel untuk menghilangkan senyawa organik serta membentuk material anorganik berupa oksida. Metode tersebut banyak diaplikasikan dalam bidang pembuatan komposit, keramik, polimer, lensa kontak, dan serat (*fiber*). Metode itu mampu menghasilkan bahan yang halus, seragam (*uniform*), homogen serta kemurniannya tinggi (Ningsih, 2016).

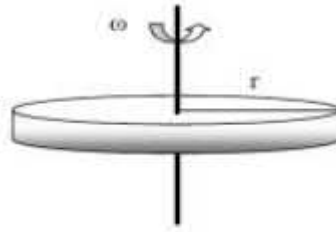
Metode sol gel cocok untuk preparasi thin film dan material berbentuk powder. Tujuan preparasi ini agar suatu material keramik dapat memiliki fungsional khusus (elektrik, optik, magnetik, dll). Metode sol gel memiliki keuntungan antara lain, mudah dalam kontrol komposisi (kehomogenan komposisi kimia baik), temperatur proses rendah, biaya murah (Phumying *et al.*, 2013).

## 2.5 *Spin Coating*

Metode *spin coating* merupakan metode yang paling mudah dan cepat dalam penumbuhan lapisan tipis. Lapisan tipis yang dihasilkan dengan metode ini memiliki tingkat kehomogenan yang cukup tinggi. Ketebalan lapisan yang diinginkan bisa dikontrol berdasarkan waktu dan kecepatan putaran dari alat spin coater (Luurtsema, 1997). Proses *spin coating* meliputi 4 tahapan yang terdiri dari deposisi, *spin up* dan *spin off* serta tahap evaporasi yang menentukan ketebalan akhir dari lapisan tipis (Hellstrom, 2007).

Bahan yang akan dibentuk lapisan tipis dibuat dalam bentuk larutan atau gel, yang kemudian diteteskan diatas suatu substrat dan disimpan diatas piringan, yang dapat berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi. Karena adanya gaya sentripetal ketika piringan tersebut berputar maka bahan tersebut akan tertarik ke pinggir substrat dan tersebar secara merata. Sketsa putaran

dan metode *spin coating* dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 (Hidayat *et al.*, 2014).



**Gambar 2. 2** Piringan berputar spin coating



**Gambar 2. 3** Skema tahapan spin coating

## 2.6 Struktur Kristal

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

Suatu struktur kristal dibangun oleh sel unit, sekumpulan atom, yang tersusun secara khusus, yang secara periodik berulang dalam tiga dimensi suatu kisi. Spasi antar sel unit dalam segala arah disebut parameter kisi. Periodesitas ini yang menentukan sifat-sifat khas suatu kristal, dengan perulangan pola yang terdapat di dalam seluruh tubuhnya disebut sebagai kristal tunggal, sedangkan kumpulan kristalit yang membentuk pola tertentu disebut sebagai polikristal. Struktur dan simetri suatu zat padat mempunyai peran penting dalam menentukan sifat-sifatnya, seperti struktur pita energi dan sifat optiknya.

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

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

Anggapan bravais, berdasarkan kisi bidang dan kisi ruang, kristal memiliki 14 macam kisi dan berdasarkan perbandingan sumbu-sumbu kristal dengan hubungan sudut satu dengan sudut lain, kristal dapat dikelompokkan dalam 7 sistem kristal. Tujuh sistem kristal dan keempat belas macam kisi Bravais ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2. 2** Tujuh Sistem Kristal dan Empat Belas Kisi Bravais

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

## 2.7 Sifat Optik

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

cahaya setelah dan sebelum melewati material semikonduktor yang dinyatakan dalam persamaan (2.1) :

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

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

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

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

Berdasarkan data energi cahaya dan besarnya koefisien absorpsi optik, dapat dibuat grafik hubungan antara energi cahaya terhadap kuadrat dari koefisien absorpsi ( $\alpha^2$ ), yang selanjutnya disebut sebagai grafik absorpsi, dengan kurva grafik absorpsi ini dapat ditentukan nilai band gap.

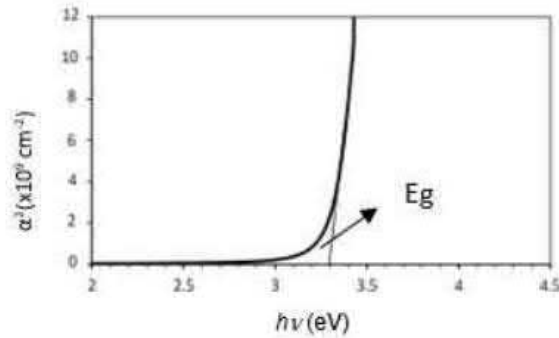
Material semikonduktor dengan celah pita energi langsung (direct band gap) memiliki hubungan sederhana antara  $\alpha$  dan  $h\nu$ , khususnya pada energi foton yang hampir setara dengan nilai celah pita energi semikonduktor. Pada jangkauan energi tersebut koefisien absorpsi memenuhi persamaan (2.3)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

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g) \quad (2.3)$$

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

Lebar celah pita energi dapat ditentukan menggunakan metode Tauc Plot yaitu dengan cara melakukan ekstrapolasi dari grafik hubungan energi foton,  $h\nu$  sebagai absis dan  $(\alpha h\nu)^2$  sebagai ordinat hingga memotong sumbu energi.

Perpotongan tersebut merupakan nilai celah pita energi. Gambar 2.4 adalah contoh penentuan celah pita energi film tipis ZnO:Al menggunakan metode Touc Plot (Sugianto *et al.*, 2015).



**Gambar 2. 4** Plot  $\alpha^2$  vs Band Gap Film Tipis ZnO:Al

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

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

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

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Film tipis ZnO doping Mg dengan variasi konsentrasi Mg telah dideposisikan dengan menggunakan metode sol-gel *spin coating*. Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan XRD, film tipis ZnO doping Mg memiliki struktur kristal hexagonal *wurtzite* dengan puncak dominan pada bidang orientasi (100), (002), dan (101). Bidang orientasi (002) dapat diaplikasikan sebagai window layer, dimana pada (002) memiliki nilai  $TC > 1$  dan menunjukkan orientasi preferensial pada sumbu-*c*. Hasil karakterisasi XRD juga menunjukkan bahwa ukuran kristal meningkat dengan meningkatnya konsentrasi Mg pada film tipis ZnO.

Hasil karakterisasi menggunakan FESEM menunjukkan bahwa pada film tipis ZnO dengan doping Mg 0%, 1%, dan 3%, morfologi permukaan film tampak seragam dan terdapat rongga antar butirnya, sedangkan pada doping Mg 5% butirannya tampak lebih padat atau tidak berongga dibandingkan yang lainnya. Hasil karakterisasi EDX menunjukkan persentase komposisi Zn menurun dengan bertambahnya unsur Mg dalam setiap sampel, sedangkan kandungan O semakin meningkat dengan ditambahkan unsur Mg dalam film tipis ZnO doping Mg.

Hasil karakterisasi sifat optik dengan UV-VIS menunjukkan bahwa nilai absorpsi tertinggi pada film tipis ZnO tanpa doping dan doping Mg berada pada kisaran panjang gelombang 360-370 nm. Selain itu, nilai band gap pada film tipis ZnO mengalami peningkatan pada doping Mg 1% dan 3% namun mengalami penurunan pada doping Mg 5% yang diasumsikan terjadi karena adanya kelebihan oksigen pada doping Mg 5%. Nilai band gap berada pada kisaran 3,11-3,17 eV, nilai band gap tersebut sudah sesuai untuk pengaplikasian pada bidang optoelektronik.

## 5.2 Saran

Dari hasil karakterisasi menggunakan UV-VIS pada sampel film tipis ZnO doping Mg 5%, nilai band gap mengalami penurunan sedangkan pada penelitian lainnya menunjukkan peningkatan nilai band gap, hal ini perlu diteliti lebih lanjut dengan penambahan nilai konsentrasi Mg lainnya untuk mengetahui nilai optimum dari konsentrasi Mg agar dapat membuat film tipis ZnO doping Mg dengan struktur, morfologi, dan sifat optik yang lebih baik.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abed, C., C. Bouzidi, H. Elhouichet, B. Gelloz, and M. Ferid. 2015. "Mg Doping Induced High Structural Quality of Sol-Gel ZnO Nanocrystals: Application in Photocatalysis." *Applied Surface Science* 349:1–19.
- Ahmad, R., N. Tripathy, S. H. Kim, A. Umar, A. Al-Hajry, and Y. B. Hahn. 2014. "High Performance Cholesterol Sensor Based on ZnO Nanotubes Grown on Si/Ag Electrodes." *Electrochemistry Communications* 38:4–7.
- Al-ghamdi, A. A., O. A. Al-hartomy, M. El-Okr, A. M. Nawar, S. El-gazzar, F. El-tantawy, and F. Yakuphanoglu. 2014. "Semiconducting Properties of Al Doped ZnO Thin Films." *Spectrochimica Acta Part a: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 131:512–17.
- Amanati, W. and H. Sutanto. 2015. "Analisis Sifat Optis Lapisan Tipis ZnO, TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>:ZnO, dengan dan tanpa Lapisan Penyangga yang Dideposisikan Menggunakan Metode Sol-Gel Spray Coating." *Jurnal Fisika Indonesia* XIX(55):41–44.
- Anggaraeni, N. D. 2008. "Analisa SEM ( Scanning Electron Microscopy ) dalam Pemantauan Proses Oksidasi Magnetite Menjadi Hematite." *Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin Di Industri* VII:50–56.
- Ansari, M. M., M. Arshad, and P. Tripathi. 2015. "Study of ZnO and Mg Doped ZnO Nanoparticles by Sol-Gel Process." *Solid State Physics* 1665:050123.
- Ansyori, A. 2015. "Pengaruh Kecepatan Potong dan Makan Terhadap Umur Pahat pada Pemesinan Paduan Magnesium." *Jurnal Mechanical* 6(1):28–35.
- Aryanto, D., N. Husniya, T. Sudiro, and E. Hastuti. 2017. "Perlakuan Panas Ganda pada Fabrikasi Film Tipis AZO Nanokristal dengan Teknik Spray: Studi XRD." *Metallurgi* 2:45–52.
- Aryanto, D., W. N. Jannah, Masturi, T. Sudiro, A. S. Wismogroho, P. Sebayang, Sugianto, and P. Marwoto. 2017. "Preparation and Structural Characterization

- of ZnO Thin Films by Sol-Gel Method.” *Journal of Physics: Conference Series* 817:1–7.
- Aryanto, D., C. Kurniawan, A. Subhan, T. Sudiro, P. Sebayang, M. Ginting, S. M. K. Siregar, and M. N. Nasruddin. 2017. “Effect of Cu-Dopant on the Structural, Magnetic and Electrical Properties of ZnO.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 202(1):1–6.
- Aryanto, D., P. Marwoto, T. Sudiro, M. D. Birowosuto, Sugianto, and Sulhadi. 2016. “Structure Evolution of Zinc Oxide Thin Films Deposited by Unbalance DC Magnetron Sputtering.” *AIP Conference Proceedings* 1729(020039):1–5.
- Aryanto, D., Sugianto, P. Marwoto, and Sulhadi. 2014. “Karakterisasi Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis Zinc Oxide Didoping Gallium dan Aluminium.” *Jurnal Sains Materi Indonesia* 15(3):129–32.
- Astuti, B., Sugianto, S. N. Mahmudah, R. Zannah, N. M. D. Putra, P. Marwoto, D. Aryanto, and E. Wibowo. 2018. “Structural and Morphological Study on ZnO : Al Thin Films Grown Using DC Magnetron Sputtering.” *Journal of Physics: Conference Series* 983:1–6.
- Asvarov, A. Sh, S. Sh Makhmudov, A. Kh Abduev, A. K. Akhmedov, M. A. Aliev, and B. A. Bilalov. 2016. “Structural and Optical Properties of Mg Doped ZnO Thin Films Deposited by DC Magnetron Sputtering.” *Journal of Nano- and Electronic Physics* 8(4):1–4.
- Azam, A., F. Ahmed, S. S. Habib, Z. H. Khan, and N. A. Salah. 2013. “Fabrication of Co-Doped ZnO Nanorods for Spintronic Devices.” *Metals and Materials International* 19(4):845–50.
- Behpour, M., M. Mehrzad, and S. M. Hosseinpour. 2015. “TiO<sub>2</sub> Thin Film: Preparation, Characterization, and Its Photocatalytic Degradation of Basic Yellow 28 Dye.” *Journal of Nanostructures* 5(2):183–87.
- Bhadane, H., E. Samuel, and D. K. Gautam. 2014. “Influence of Post Annealing on Sol-Gel Deposited ZnO Thin Films.” *The European Physical Journal* 21(4):1–

6.

- Cao, Renping, Xing Liu, Kailei Bai, Ting Chen, Siling Guo, Zuofu Hu, and Fen Xiao. 2018. "Photoluminescence Properties of Red-Emitting  $\text{Li}_2\text{ZnSn}_2\text{O}_6$ :  $\text{Mn}^{4+}$  Phosphor for Solid-State Lighting." *Journal of Luminescence* 197(January):169–74.
- Chen, H., J. Ding, and S. Ma. 2010. "Structural and Optical Properties of ZnO:Mg Thin Films Grown under Different Oxygen Partial Pressures." *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures* 42(5):1487–91.
- Chung, C. H., T. B. Song, B. Bob, R. Zhu, H. S. Duan, and Y. Yang. 2012. "Silver Nanowire Composite Window Layers for Fully Solution-Deposited Thin-Film Photovoltaic Devices." *Advanced Materials* 24(40):5499–5504.
- Dalavi, D. S., R. S. Devan, R. A. Patil, R. S. Patil, Y. R. Ma, S. B. Sadale, I. Y. Kim, J. H. Kim, and P. S. Patil. 2013. "Efficient Electrochromic Performance of Nanoparticulate  $\text{WO}_3$  Thin Films." *Journal of Materials Chemistry C* 1(23):3722–28.
- Dong, L., R. Jia, B. Xin, B. Peng, and Y. Zhang. 2017. "Effects of Oxygen Vacancies on the Structural and Optical Properties of  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ." *Scientific Reports* 7:1–12.
- Duan, L., X. Zhao, Z. Zheng, Y. Wang, W. Geng, and F. Zhang. 2015. "Structural, Optical and Photocatalytic Properties of (Mg,Al)-Codoped ZnO Powders Prepared by Sol-Gel Method." *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 76:88–93.
- Durri, S. and H. Sutanto. 2015. "Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO Doping Al yang Dideposisi di Atas Kaca dengan Metode Sol-Gel Teknik Spray-Coating." *Jurnal Fisika Indonesia* XIX(55):38–40.
- Fang, D., C. Li, N. Wang, P. Li, and P. Yao. 2013. "Structural and Optical Properties of Mg-Doped ZnO Thin Films Prepared by a Modified Pechini Method." *Crystal Research and Technology* 48(5):265–72.

- Fang, D., P. Yao, and H. Li. 2014. "Influence of Annealing Temperature on the Structural and Optical Properties of Mg-Al Co-Doped ZnO Thin Films Prepared via Sol-Gel Method." *Ceramics International* 40(4):5873–80.
- Farikhin, F., Ngafwan, and J. Sedyono. 2016. "Analisa Scanning Electron Microscope Komposit Polyester dengan Filler Karbon Aktif dan Karbon Non Aktif." Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Gahtar, A., A. Rahal, B. Benhaoua, and S. Benramache. 2014. "A Comparative Study on Structural and Optical Properties of ZnO and Al-Doped ZnO Thin Films Obtained by Ultrasonic Spray Method Using Different Solvents." *Optik* 125(14):3674–78.
- Galstyan, V., E. Comini, C. Baratto, G. Faglia, and G. Sberveglieri. 2015. "Nanostructured ZnO Chemical Gas Sensors." *Ceramics International* 41(10PartB):14239–44.
- Ghosh, M., N. Dilawar, A. K. Bandyopadhyay, and A. K. Raychaudhuri. 2009. "Phonon Dynamics of Zn(Mg,Cd)O Alloy Nanostructures and Their Phase Segregation." *Journal of Applied Physics* 106(8):0843061–66.
- Hammad, T. M. and J. K. Salem. 2011. "Synthesis and Characterization of Mg-Doped ZnO Hollow Spheres." *Journal of Nanoparticle Research* 13(5):2205–12.
- Hashim, N. H., S. Subramani, M. Devarajan, and A. R. Ibrahim. 2017. "Properties of Undoped ZnO and Mg Doped ZnO Thin Films by Sol-Gel Method for Optoelectronic Applications." *Journal of the Australian Ceramic Society* 53(2):421–31.
- Hellstrom, S. L. 2007. "Basic Models of Spin Coating." *Submitted as Coursework for Physics* 210.
- Hidayat, A. S., M. Rokhmat, and A. Qurthobi. 2014. "Pengaruh Suhu dan Kecepatan Putar Spin Coating Terhadap Kinerja Sel Surya Organik Berbahan Dasar TiO<sub>2</sub>." *E-Proceeding of Engineering* 1(1):497–510.

- Hori, S. and K. Mizuno. 2012. "Plasma Display Panel." *United States Patent Application Publication* 1(19):1–8.
- Huang, K., J. Lü, X. Chen, J. Zhu, X. Song, and Z. Sun. 2011. "Preparation and Characterization of Mg-Doped ZnO Thin Films by Sol–Gel Method." *Applied Surface Science* 258(15):3710–13.
- Husna, J., M. M. Aliyu, M. A. Islam, P. Chelvanathan, N. R. Hamzah, M. S. Hossain, M. R. Karim, and N. Amin. 2012. "Influence of Annealing Temperature on the Properties of ZnO Thin Films Grown by Sputtering." *Energy Procedia* 25:55–61.
- Ibrahim, G. A. 2014. "Identifikasi Nilai Kekasaran Permukaan pada Pemesinan Paduan Magnesium." *Jurnal Mechanical* 5(1):11–15.
- Iqbal, A., A. Mahmood, T. M. Khan, and E. Ahmed. 2013. "Structural and Optical Properties of Cr Doped ZnO Crystalline Thin Films Deposited by Reactive Electron Beam Evaporation Technique." *Progress in Natural Science: Materials International* 23(1):64–69.
- Jun, Z., W. Sen, T. Peng, and X. Jincheng. 2009. "Luminescence Properties of Nanostructure MgZnO Prepared by Thermal Oxidation." *Journal of Alloys and Compounds* 476(1–2):60–63.
- Kanyal, S. S., D. S. Jensen, Z. Zhu, and M. R. Linford. 2015. "Silicon (100)/SiO<sub>2</sub> by ToF-SIMS." *Surface Science Spectra* 22(1):1–6.
- Karthikeyan, B. and T. Pandiyarajan. 2010. "Simple Room Temperature Synthesis and Optical Studies on Mg Doped ZnO Nanostructures." *Journal of Luminescence* 130(12):2317–21.
- Khan, Z. R., M. S. Khan, M. Zulfequar, and M. S. Khan. 2011. "Optical and Structural Properties of ZnO Thin Films Fabricated by Sol-Gel Method." *Materials Sciences and Applications* 2:340–45.
- Kim, J. H., D. H. Son, S. N. Park, D. H. Kim, S. J. Sung, E. A. Jung, K. Ha, and J.

- K. Kang. 2012. "Effects of Ti Addition on Sol-Gel Derived InO and InZnO Thin Film Transistors." *Current Applied Physics* 12:24–28.
- Kılınc, N., L. Arda, S. Öztürk, and Z. Z. Öztürk. 2010. "Structure and Electrical Properties of Mg-Doped ZnO Nanoparticles." *Crystal Research and Technology* 45(5):529–38.
- Klingshirn, C. F., B. K. Meyer, A. Hoffman, and J. Geurts. 2010. *Zinc Oxide : From Fundamental Properties Towards Novel Applications*. Berlin: Springer.
- Kulandaisamy, A. J., J. R. Reddy, P. Srinivasan, K. J. Babu, G. K. Mani, P. Shankar, and J. B. B. Rayappan. 2016. "Room Temperature Ammonia Sensing Properties of ZnO Thin Films Grown by Spray Pyrolysis: Effect of Mg Doping." *Journal of Alloys and Compounds* 688:422–29.
- Latupeirissa, J., M. F. J. D. P. Tanasale, and K. Dade. 2016. "Carbon Characterization from Candlenut Shells (Aleurites Moluccana (L) Willd) with XRD." *Indonesian Journal of Chemical Research* 3(2):324–28.
- Li, Z., W. Shen, S. Xue, and X. Zu. 2008. "Effect of Annealing Temperature on the Structural and Optical Properties of  $Zn_{1-x}Mg_xO$  Particles Prepared by Oxalate Precursor." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 320(1–3):156–60.
- Luurtsma, G. A. 1997. "Spin Coating for Rectangular Substrates." University of California.
- Ma, Y., Q. Gao, G. G. Wu, W. C. Li, F. B. Gao, J. Z. Yin, B. L. Zhang, and G. T. Du. 2013. "Growth and Conduction Mechanism of As-Doped p-Type ZnO Thin Films Deposited by MOCVD." *Materials Research Bulletin* 48(3):1239–43.
- Mia, M. N. H., M. F. Pervez, M. Khalid Hossain, M. R. Rahman, M. J. Uddin, M. A. Al Mashud, H. K. Ghosh, and M. Hoq. 2017. "Influence of Mg Content on Tailoring Optical Bandgap of Mg-Doped ZnO Thin Film Prepared by Sol-Gel Method." *Results in Physics* 7:2683–91.

- Ningsih, S. K. W. 2016. *Sintesis Anorganik*. edited by T. E. U. Press. Padang: UNP PRESS Padang.
- Ohtomo, A., M. Kawasaki, Y. Sakurai, I. Ohkubo, R. Shiroki, and Y. Yoshida. 1998. "Fabrication of Alloys and Superlattices Based on ZnO towards Ultraviolet Laser." *Material Science and Engineering* 56(B):263–66.
- Phumying, S., S. Labuayai, E. Swatsitang, V. Amornkitbamrung, and S. Maensiri. 2013. "Nanocrystalline Spinel Ferrite ( $MFe_2O_4$ , M = Ni, Co, Mn, Mg, Zn) Powders Prepared by a Simple Aloe Vera Plant-Extracted Solution Hydrothermal Route." *Materials Research Bulletin* 48(6):2060–65.
- Pradeev raj, K., K. Sadaiyandi, A. Kennedy, S. Sagadevan, Z. Z. Chowdhury, M. R. Johan, F. A. Aziz, R. F. Rafique, R. T. Selvi, and R. Rathina. 2018. "Influence of Mg Doping on ZnO Nanoparticles for Enhanced Photocatalytic Evaluation and Antibacterial Analysis." *Nanoscale Research Letters* 13(229):1–13.
- Rahman, Reza. 2008. "Pengaruh Proses Pengeringan, Anil dan Hidrotermal Terhadap Kristalinitas Nanopartikel  $TiO_2$  Hasil Proses Sol-Gel." *Skripsi Depok : Universitas Indonesia*.
- Ravichandran, C., G. Srinivasan, C. Lennon, S. Sivananthan, and J. Kumar. 2011. "Influence of Post-Deposition Annealing on the Structural, Optical and Electrical Properties of Li and Mg Co-Doped ZnO Thin Films Deposited by Sol-Gel Technique." *Superlattices and Microstructures* 49(5):527–36.
- Romero, R., D. Leinen, E. A. Dalchiele, J. R. Ramos-Barrado, and F. Martín. 2006. "The Effects of Zinc Acetate and Zinc Chloride Precursors on the Preferred Crystalline Orientation of ZnO and Al-Doped ZnO Thin Films Obtained by Spray Pyrolysis." *Thin Solid Films* 515(4):1942–49.
- Sharma, A., M. Tomar, and V. Gupta. 2011. "SnO<sub>2</sub> Thin Film Sensor with Enhanced Response for NO<sub>2</sub> Gas at Lower Temperatures." *Sensors and Actuators, B: Chemical* 156:743–52.

- Shewale, P. S., S. H. Lee, and Y. S. Yu. 2019. "Effects of Annealing Temperature of Spin-Coated ZnO Seed-Layer on UV Photo-Sensing Properties of PLD Grown ZnO: Mg Thin Films." *Journal of Alloys and Compounds* 774:1–36.
- Shin, S. W., I. Y. Kim, G. H. Lee, G. L. Agawane, A. V. Mohokar, G. S. Heo, J. H. Kim, and J. Y. Lee. 2011. "Design and Growth of Quaternary Mg and Ga Codoped ZnO Thin Films with Transparent Conductive Characteristics." *Crystal Growth and Design* 11(11):4819–24.
- Sidebang, Elfariska and Nurdin Bukit. 2018. "Analisis Sifat Mekanik Komponen Karet." *Jurnal Einstein* 6(2):45–50.
- Sim, K. U., S. W. Shin, A. V. Moholkar, J. H. Yun, J. H. Moon, and J. H. Kim. 2010. "Effects of Dopant (Al, Ga, and In) on the Characteristics of ZnO Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering System." *Current Applied Physics* 10(SUPPL. 3):S463–67.
- Sugianto, P. Marwoto, B. Astuti, R. Zannah, and Yanti. 2015. "Pengaruh Temperatur Deposisi Terhadap Struktur dan Sifat Optik Film Tipis ZnO : Al dengan Metode DC Magnetron Sputtering." *Jurnal Fisika* 5(2).
- Sugihartono, I., E. Handoko, V. Fauzia, A. Arkundato, and L. P. Sari. 2018. "Structural and Photoluminescence Properties of ZnO Thin Films Deposited by Ultrasonic Spray Pyrolysis." *Makara J. Technol* 22(1):13–16.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-VIS dan Spektrometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Bandar Lampung.
- Suja, M., S. B. Bashar, M. M. Morshed, and J. Liu. 2015. "Realization of Cu-Doped p-Type ZnO Thin Films by Molecular Beam Epitaxy." *ACS Applied Materials and Interfaces* 7(16):8894–99.
- Sulhadi, Fatiatun, P. Marwoto, Sugianto, and E. Wibowo. 2015. "Variasi Suhu Deposisi pada Struktur, Sifat Optik dan Listrik Film Tipis Seng Oksida dengan Doping Galium ( ZnO : Ga )." *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia* 11(1):93–99.



- Surono, A. T. and H. Sutanto. 2014. "Sifat Optik Zinc Oxide ( ZnO ) yang Dideposisi Di Atas Substrat Kaca Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition ( CSD ) dan Aplikasinya untuk Degradasi Zat Warna Methylene Blue." *Youngster Physics Journal* 2(1):7–14.
- Susanti, M., Dachriyanus, and D. P. Putra. 2012. "Aktivitas Perlindungan Sinar UV Kulit Buah Garcinia Mangostana Linn Secara In Vitro." *Jurnal Farmasi Indonesia* 13(2):61–64.
- Sutanto, H. and S. Wibowo. 2015. *Semikonduktor Fotokatalis Seng Oksida Dan Titania ( Sintesis , Deposisi Dan Aplikasi )*. Semarang: Telescope.
- Syukron, A., D. D. Risanti, and D. Sawitri. 2012. "Pengaruh Preparasi Pasta dan Temperatur Annealing pada Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopartikel ZnO." *Jurnal Sains Dan Seni POMITS* 1(1):1–6.
- Vaishnav, V. S., S. G. Patel, and J. N. Panchal. 2015. "Development of ITO Thin Film Sensor for Detection of Benzene." *Sensors and Actuators, B: Chemical* 206:381–88.
- Verma, K., B. Chaudhary, V. Kumar, V. Sharma, and M. Kumar. 2017. "Investigation of Structural, Morphological and Optical Properties of Mg: ZnO Thin Films Prepared by Sol-Gel Spin Coating Method." *Vacuum* 146:524–29.
- Wang, H. and S. Zheng. 2016. "Comment on 'Exact Explicit Travelling Wave Solutions for (N+1)-Dimensional Klein-Gordon-Zakharov Equations' [Chaos, Solitons and Fractals 34(2007) 867-871]." *Chaos, Solitons and Fractals* 82:83–86.
- Xia, N. and R. A. Gerhardt. 2016. "Fabrication and Characterization of Highly Transparent and Conductive Indium Tin Oxide Films Made with Different Solution-Based Methods." *Materials Research Express* 3(11):0–23.
- Xiang, H. Y., Y. Q. Li, L. Zhou, H. J. Xie, C. Li, Q. D. Ou, L. S. Chen, C. S. Lee, S. T. Lee, and J. X. Tang. 2015. "Outcoupling-Enhanced Flexible Organic

Light-Emitting Diodes on Ameliorated Plastic Substrate with Built-in Indium-Tin-Oxide-Free Transparent Electrode.” *ACS Nano* 9(7):7553–62.

Yadav, M. K., M. Ghosh, R. Biswas, A. K. Raychaudhuri, A. Mookerjee, and S. Datta. 2007. “Band-Gap Variation in Mg- and Cd-Doped ZnO Nanostructures and Molecular Clusters.” *Physical Review B - Condensed Matter and Materials Physics* 76(19):1954501–9.

Zhang, L. Q., Z. Z. Ye, J. Y. Huang, B. Lu, H. P. He, J. G. Lu, Y. Z. Zhang, J. Jiang, J. Zhang, K. W. Wu, and W. G. Zhang. 2011. “Fabrication and Properties of p-Type K Doped  $Zn_{1-x}Mg_xO$  Thin Film.” *Journal of Alloys and Compounds* 509(27):7405–9.

Zhao, L., G. Shao, S. Song, X. Qin, and S. Han. 2011. “Development on Transparent Conductive ZnO Thin Films Doped with Various Impurity Elements.” *Rare Metals* 30(2):175–82.