



**PENGARUH SUHU *ANNEALING* TERHADAP SIFAT OPTIK
DAN SIFAT LISTRIK FILM TIPIS *ZINC OXIDE* (ZnO)
DOPING *GALLIUM* (Ga) DENGAN METODE *DC*
*MAGNETRON SPUTTERING***

Skripsi

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

Oleh

Vivian Aida Carieta

4211415016

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

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul “Pengaruh Suhu *Annealing* Terhadap Sifat Optik dan Sifat Listrik Film Tipis *Zinc Oxide* (ZnO) Doping *Gallium* (Ga) dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*” telah di setujui oleh pembimbing untuk diujikan dalam sidang panitia ujian skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

Hari : Rabu
Tanggal : 30 Oktober 2019

Semarang, 30 Oktober 2019



Dr. Sulhadi M.Si.
NIP. 197108161998021001

PERNYATAAN

Dengan ini, saya

Nama : Vivian Aida Carieta

NIM : 4211415016

Program studi : Fisika

menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Suhu *Annealing* terhadap Sifat Optik dan Sifat Listrik Film Tipis *Zinc Oxide* (ZnO) Doping *Gallium* (Ga) dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*” 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, 26 November

2019



Vivian Aida Carieta

NIM. 4211415016

PENGESAHAN

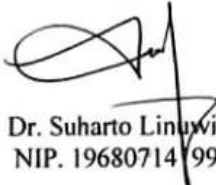
Skripsi yang berjudul **Pengaruh Suhu *Annealing* Terhadap Sifat Optik dan Sifat Listrik Film Tipis *Zinc Oxide (ZnO)* Doping *Gallium (Ga)* dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*** disusun oleh

Vivian Aida Carieta
4211415016

Panitia:



Sekretaris



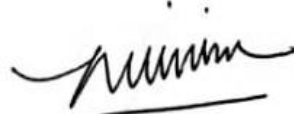
Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP. 196807141996031005

Penguji I




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

Penguji II



Prof. Dr. Putut Marwoto, M.S.
NIP. 196308211988031004

Pembimbing



Dr. Sulhadi M.Si.
NIP. 197108161998021001

MOTO DAN PERSEMBAHAN

“Semuanya akan baik-baik saja”.

PERSEMBAHAN

Orang Tuaku, terima kasih telah menjadi Orang Tua terbaik.

Adik Gusti Moeldy Hernanda, yang melengkapi kebahagiaan keluarga meski sering memalaki kakaknya .

Seluruh orang terkasih yang selalu menemani dan memberikan motivasi.

Almamaterku.

Kamu

PRAKATA

Alhamdulillahirobbi'alamin. Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, petunjuk, dan perlindungan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Suhu *Annealing* Terhadap Sifat Optik Dan Sifat Listrik Film Tipis *Zinc Oxide* (ZnO) Doping *Gallium* (Ga) Dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*” dalam rangka menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana di Universitas Negeri Semarang. terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Sugianto, M.Si., Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang yang telah memberi izin untuk melaksanakan penelitian.
2. Dr. Suharto Linuwih, M. Si.. Ketua Jurusan Fisika yang telah memberikan kemudahan penulis untuk melakukan penelitian dalam menyusun skripsi.
3. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si, Ketua Program Studi Fisika yang selalu mendukung untuk menulis skripsi.
4. Dr. Sulhadi, M.Si.. dosen pembimbing yang senantiasa memberikan petunjuk, bimbingan, dan dukungan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Fianti, Ph.D., dosen wali yang selalu memberikan dukungan mulai awal perkuliahan.
6. Dr. Budi Astuti, M.Sc. selaku dosen penguji pertama yang banyak membantu dalam penyusunan skripsi.
7. Prof. Dr. Putut Marwoto, M.S., selaku dosen penguji kedua yang banyak membantu dalam penyusunan skripsi.
8. Didik Aryanto M.Sc., yang banyak membantu dalam hal menunjang penyusunan skripsi.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan bekal dalam penyusunan skripsi ini.
10. Kedua orang tua dan kedua adikku yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dan dukungan yang tak pernah putus.

11. Sahabatku Indah, Kiki, Endah, Ani, Azizah, Nuril, Deska, Rosi dan Wening, yang selalu memberi semangat ketika aku membutuhkan dukungan.
12. Sahabatku anak-anak magnetik, terima kasih telah memberikan tempat persinggahan.
13. Sahabatku seluruh Mahasiswa Fisika Unnes angkatan 2015 (Sughoi) yang menemani masa-masa penyesuaianku di Universitas Negeri Semarang.
14. Teman-teman Unch-unch (Anis, Nisa, Ima, Jihan, Anita, Andita, Ilhami dan Fira) yang telah menemani cerita hidupku suka dan duka.
15. Teman-teman Ubur-ubur (Aryo, Oki, Angga, Mas Heng, Mbak Ana, Wisnu, Nita, Mbak lily, Mas Jo dan Yona) yang telah menemani menjelajahi gunung sehingga membuat pikiran tetap dingin sehingga tetap semangat mengerjakan skripsi.
16. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih telah membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini. Doa yang tulus kupanjatkan untukmu.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada siapapun yang telah membacanya.

Semarang, 26 November

2019

Penulis

Vivian Aida Carieta

ABSTRAK

Carieta, Vivian Aida. 2019. Pengaruh Suhu *Annealing* terhadap Sifat Optik dan Sifat Listrik Film Tipis *Zinc Oxide (ZnO)* Doping *Gallium (Ga)* dengan Metode *DC Magnetron Sputtering*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Dr. Sulhadi, M.Si..
Kata Kunci: Film tipis, ZnO doping Ga, Suhu *Annealing*, *Sputtering*

Film tipis ZnO doping Ga telah ditumbuhkan di atas substrat *corning glass* dengan metode *DC magnetron sputtering*. Deposisi dilakukan dengan daya plasma 30 W, tekanan gas Argon 500 mTorr, dan suhu substrat 300 °C selama 60 menit. *Treatment annealing* dilakukan selama 40 menit dengan variasi suhu 250 °C, 350 °C dan 450 °C. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh suhu *annealing* terhadap struktur kristal, sifat optik dan sifat listrik dari film tipis. Berdasarkan hasil analisis *X-ray Diffraction (XRD)* menunjukkan bahwa film tipis memiliki bentuk kristal heksagonal *wurtzite* yang bersifat polikristalin pada orientasi puncak dominan (002) dan optimal pada suhu *annealing* 250 °C. Sifat optik dari hasil karakterisasi Spektrometer UV-Vis memiliki nilai transmitansi hingga 88,2% dengan nilai energi *band gap* tinggi mencapai 3,72 eV pada suhu *annealing* 450 °C. Sifat listrik dari I-V meter pada suhu *annealing* 250 °C menunjukkan nilai resistivitas $2,58 \times 10^4 \Omega\text{cm}$ yang tergolong rendah dibanding suhu lain.

DAFTAR ISI

JUDUL PENELITIAN.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN	iv
MOTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Manfaat.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Sel Surya.....	7
2.2 <i>Transparent Conductive Oxide (TCO)</i>	9
2.3 <i>Material Zinc Oxide</i>	9
2.4 <i>Material Ga₂O₃</i>	11
2.5 <i>ZnO doping Ga₂O₃</i>	12
2.6 <i>Sputtering</i>	13
2.7 <i>DC Magnetron Sputtering</i>	14
2.8 <i>Annealing</i>	16
2.9 Struktur Film Tipis	17
2.10 Sifat Optik	18

2.11	Sifat Listrik.....	18
BAB III		20
METODE PENELITIAN.....		20
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	20
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	20
3.3	Prosedur Penelitian	20
3.3.1	Pembuatan Target.....	20
3.3.2	Preparasi Substrat.....	21
3.3.3	Deposisi Film Tipis	21
3.3.4	<i>Treatment Annealing</i>	22
3.4	Karakterisasi Sampel	23
3.4.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	23
3.4.2	Spektrometer UV-Vis.....	26
3.4.3	I-V Meter.....	29
3.5	Alur Penelitian.....	30
BAB IV		32
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		32
4.1	Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	32
4.2	Karakterisasi Spektrometer UV-Vis.....	36
4.3	Karakterisasi I-V meter	40
BAB V.....		43
PENUTUP.....		43
5.1	Simpulan.....	43
5.2	Saran.....	43
Lampiran		55

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2. 1 Struktur sel surya film tipis	8
2. 2 Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya	8
2. 3 Struktur kristal (a) <i>rockzalt</i> , (b) <i>zinc blende</i> dan (c) <i>wurtzite</i>	10
2. 4 Mekanisme pada proses sputtering	14
2. 5 Skema Reaksi dalam DC <i>Magnetron Sputtering</i>	14
2. 6 Sistem Reaktor DC <i>Magnetron Sputtering</i>	15
3. 1 Proses difraksi sinar-x oleh kristal	24
3. 2 Skema kerja pengukuran UV-Vis	26
3. 3 Alat Karakterisasi Uv-Vis	29
3. 4 Pengukuran resistansi film tipis dengan metode <i>two-probe</i>	30
3. 5 Diagram alir penelitian.....	31
4.1 Spektrum XRD Film Tipis Zno doping Ga variasi suhu <i>annealing</i>	32
4.2 Transmittansi Optik Film Tipis ZnO doping Ga dengan variasi suhu <i>annealing</i>	37
4.3 Absorbansi Optik Film Tipis ZnO doping Ga dengan variasi suhu <i>annealing</i>	39
4.4 <i>Band gap</i> Film Tipis ZnO:Ga dengan variasi suhu <i>annealing</i>	40
4.5 Grafik Hasil Karakterisasi Film Tipis Dengan I-V Meter variasi suhu <i>annealing</i>	42

DAFTAR TABEL

Tabel`	Halaman
4. 1 Parameter karakteristik $2P$, FWHM, Intensitas, d-spacing dan parameter kisi c film tipis ZnO doping Ga variasi suhu annealing pada arah orientasi bidang (002).....	33
4. 2 Parameter karakteristik nilai FWHM, ukuran kristal (D), regangan kisi (ϵ), tegangan kisi (σ), kerapatan dislokasi (ρ) dan panjang ikatan Zn-O (L) film tipis ZnO doping Ga variasi suhu annealing pada puncak orientasi bidang (002).....	35
4. 3 Nilai transmitansi dari hasil karakterisasi spektrometer Uv-Vis pada rentang panjang gelombang cahaya tampak.....	37
4. 4 Nilai transmitansi dari hasil karakterisasi spektrometer Uv-Vis pada rentang panjang gelombang cahaya inframerah dekat	38
4. 5 Hasil karkaterisasi film tipis ZnO doping Ga dengan metode two point probe berdasarkan variasi Suhu Annealing	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan utama yang berperan penting bagi kelangsungan hidup manusia di seluruh dunia. Kebutuhan dan keberadaan energi yang tidak seimbang dapat menimbulkan permasalahan. Salah satu permasalahan yang terjadi adalah sumber utama energi di dunia saat ini masih bergantung pada sumber energi yang tidak dapat diperbaharui seperti minyak, gas bumi dan berbagai sumber bahan bakar fosil lainnya yang memiliki dampak signifikan terhadap lingkungan.

Upaya pencarian energi yang dapat diperbaharui (*renewable*), murah dan ramah lingkungan menjadi fokus utama dalam mengatasi permasalahan energi dunia saat ini. Dari sekian banyak sumber energi yang dapat diperbaharui seperti angin, biomassa dan *hydro power*, penggunaan energi alternatif yang berpotensi sangat besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal adalah energi matahari atau sel surya (*photovoltaic*). Matahari merupakan sumber energi alam paling besar yang dapat diperbaharui, sehingga munculah ide pembuatan energi alternatif berbahan surya (sinar matahari).

Sel surya (*photovoltaic*) merupakan teknologi semikonduktor yang mampu mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik (Abdussamad *et al.*, 2017). Perkembangan teknologi menyebabkan divais yang dibuat menjadi berukuran lebih kecil, praktis dan canggih. Perkembangan teknologi dapat ditingkatkan dengan sebuah material yang mampu mendukung hal tersebut. Salah satu material pendukung yang banyak diteliti dan dikembangkan adalah material film tipis (Supriyanto *et al.*, 2019).

Film tipis merupakan suatu lapisan yang terbentuk dari fraksi suatu material dengan ketebalan berkisar pada orde nanometer hingga mikrometer (Irawan *et al.*, 2019). Film tipis biasanya ditumbuhkan pada

sebuah permukaan substrat. Selain dikembangkan dalam fabrikasi pada komponen elektronik, tampilan peralatan elektronik (seperti LCD, LED, dan lain-lain), peralatan penyimpan data berbasis optik maupun magnetik, film tipis juga dimanfaatkan pada *optical coating* (Spinelli *et al.*, 2017). Pembuatan *Optical coating* dapat dibuat dengan mendeposisikan satu atau lebih lapisan tipis yang dikombinasikan dengan tujuan mengubah sifat fisis, sifat listrik dan sifat optik material tersebut sesuai dengan kebutuhan (Ma *et al.*, 2007). Salah satu material yang dimaksud adalah *Transparent Conducting Oxide* (TCO).

TCO merupakan material dengan karakteristik konduktivitas listrik yang tinggi dan transparansi yang baik pada spektrum cahaya tampak dan daerah mendekati infra merah (Ikhmayies, 2017) sehingga dapat dimanfaatkan untuk teknologi *window layer* dalam sel surya. Bahan TCO yang saat ini banyak dimanfaatkan adalah *Indium thin oxide* (ITO). ITO mempunyai *band gap* (*bandgap*) yang lebar yaitu $\sim 3,7$ eV dan konduktivitas listrik yang tinggi $\sim 10^4$ (Ωcm)⁻¹ (Sim *et al.*, 2010; Tuna *et al.*, 2010). Namun ITO merupakan bahan yang relatif mahal dan cukup langka. Oleh karena itu diperlukan material alternatif pengganti ITO dengan karakteristik yang hampir mirip dengan ITO yaitu *Zinc Oxide* (ZnO) (Jen *et al.*, 2016).

ZnO merupakan material yang bersifat tidak beracun (Sali *et al.*, 2008) dan membutuhkan biaya fabrikasi yang relatif rendah. ZnO memiliki nilai *band gap* lebar $\sim 3,37$ eV, yang masuk dalam kategori nilai *band gap* untuk *window layer* sel surya (Young *et al.*, 2017). Selain itu, ZnO memiliki transparansi optik dalam cahaya tampak (Kim *et al.*, 2007). Kekurangan dari material ini yaitu bersifat kurang stabil pada lingkungan korosif dan memiliki sifat listrik yang kurang baik dengan resistivitas sebesar $0,78$ Ωcm (Sim, *et al.*, 2010) serta nilai konduktivitas sekitar $\sim 2,10 \times 10^{-4}$ (Ωcm)⁻¹ (Sulhadi *et al.*, 2015). Kekurangan ZnO lain yaitu struktur unit pada ZnO kurang bagus. Perbaikan sifat ZnO dapat dilakukan dengan cara diberi doping (Kim *et al.*, 2010).

Doping merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan intensitas puncak pada struktur kristal, konduktivitas, mobilitas elektron, transparansi, dan stabilitas pada material (Novita *et al.*, 2017) sehingga dapat memperluas penerapan pada aplikasi material tersebut dari sifat dasarnya (Li *et al.* 2014). Film Tipis ZnO yang didoping unsur-unsur golongan IIIA seperti Boron (B), Indium (In), Aluminium (Al) dan Galium (Ga) menjadi alternatif yang baik dari indium-tin-oxide (ITO) (Appani *et al.*, 2017). Film tipis ZnO yang didoping tipe-n ini sedang dipelajari secara ekstensif karena rendah biaya, tidak beracun dan mudah dalam hal proses pendopingan. Selain itu pendopingan akan meningkatkan stabilitas dan konduktivitas listrik hingga berorde $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ (Mahadik *et al.*, 2014). Alasan galium digunakan sebagai dopan karena kedekatan dalam jari-jari atom dengan ZnO yaitu Zn^{2+} dan Ga^{3+} masing-masing 0,074 nm dan 0,062 nm (Morkoc *et al.*, 2007) serta panjang ikatan kovalen Zn - O dan Ga - O yang tidak berbeda jauh diperkirakan nilainya 1,92 Å dan 1,97 Å (Ma *et al.*, 2008) sehingga memiliki sedikit kemungkinan untuk terjadi kecacatan dan regangan yang besar. Nilai konduktivitas listrik pada ZnO yang didoping dengan Ga juga meningkat. Hal tersebut dikarenakan ion Zn^{2+} disubstitusi oleh atom trivalent Ga dan setiap atom menghasilkan elektron bebas di pita konduksi, yang hal tersebut menghasilkan peningkatan konsentrasi pembawa (Aryanto, 2012).

Proses penumbuhan film tipis disebut dengan deposisi. Suhu deposisi berpengaruh terhadap sifat fisis, sifat optik serta sifat listrik pada film tipis ZnO doping Ga. Penelitian Sulhadi (2015) menunjukkan analisis FWHM suhu 325 °C memiliki nilai paling kecil sebesar $0,28^\circ$ pada puncak difraksi (002) dengan nilai *band gap* cukup lebar $\sim 3,33\text{eV}$ dan nilai konduktivitas paling tinggi mencapai $1,74 \times 10^{-3} (\Omega \text{cm})^{-1}$.

Proses deposisi lapisan film tipis ZnO doping dapat dilakukan dengan berbagai macam teknik deposisi, diantaranya yaitu teknik *spray pyrolysis* (Adamopoulos, G *et al.*, 2011), *magnetron sputtering* (Sulhadi *et al.*, 2015), *Chemical Vapour Deposition* (CVD) (An, H. R *et al.*, 2015),

sol-gel (Sbeta, M *et al.*, 2018), *Pulsed Laser Deposition* (PLD) (Bruncko, J *et al.*, 2019). dan elektrolisis (Saadon *et al.*, 2016). Pada penelitian ini digunakan teknik *sputtering*, karena teknik deposisi dengan menggunakan alat *DC Magnetron Sputtering* dapat dioperasikan dalam temperatur rendah dan menghasilkan film tipis yang lebih baik dibandingkan dengan Teknik lainnya. Selain itu *DC Magnetron Sputtering* memiliki proses deposisi yang sederhana dengan biaya yang relatif murah (Irawan *et al.*, 2019), serta alat tersebut tersedia di Laboratorium Fisika FMIPA UNNES.

Setelah deposisi selesai, terdapat proses *treatment* suhu yang disebut dengan *annealing*. *Annealing* adalah proses pengaturan suhu dilanjutkan dengan penurunan suhu secara perlahan. Suhu *annealing* yang semakin tinggi berpengaruh pada peningkatan intensitas orientasi pada puncak (002) (Sugianto *et al.*, 2016), peningkatan nilai transmitansi dan nilai *band gap* (Lim *et al.*, 2017), serta penurunan nilai resistivitas (Gromov *et al.*, 2013).

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan film tipis ZnO doping Ga (2%) dengan variasi suhu *annealing*. Waktu *annealing* pada penelitian ini adalah konstan selama 40 menit (Marwoto *et al.*, 2019). Penelitian dilakukan untuk mendapatkan pengaruh struktur kristal, sifat optik dan sifat listrik film tipis yang dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), Spektrometer UV-Vis dan I-V meter. Dengan demikian, diperoleh kondisi optimum untuk diaplikasikan sebagai *window layer* sel surya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dituliskan dalam penelitian ini terdapat permasalahan yang akan dikaji sebagai berikut.

- 1) Bagaimana pengaruh suhu *annealing* terhadap struktur kristal film tipis ZnO doping Ga yang ditumbuhkan dengan metode *DC Magnetron Sputtering* ?

- 2) Bagaimana pengaruh suhu *annealing* terhadap sifat optik film tipis ZnO doping Ga yang ditumbuhkan dengan metode *DC Magnetron Sputtering* ?
- 3) Bagaimana pengaruh suhu *annealing* terhadap sifat listrik film tipis ZnO doping Ga yang ditumbuhkan dengan metode *DC Magnetron Sputtering* ?

1.3 Batasan Masalah

- 1) Film tipis yang di-*annealing* hanya untuk perbandingan ZnO: 98 wt% dan Ga: 2 wt%.
- 2) *Treatment annealing* yang dilakukan pada penelitian ini hanya pada suhu 250 °C, 350 °C dan 450 °C.

1.4 Tujuan

Penelitian ini dibuat dengan tujuan sebagai berikut.

- 1) Mendeskripsikan pengaruh suhu *annealing* terhadap struktur kristal film tipis ZnO doping Ga.
- 2) Mendeskripsikan pengaruh suhu *annealing* terhadap sifat optik film tipis ZnO doping Ga.
- 3) Mendeskripsikan pengaruh suhu *annealing* terhadap sifat listrik film tipis ZnO doping Ga.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai pengaruh suhu *annealing* terhadap struktur kristal, sifat optik dan sifat listrik film tipis ZnO doping Ga yang ditumbuhkan dengan metode *DC Magnetron Sputtering* yang diharapkan dapat meningkatkan kualitas film tipis ZnO doping Ga.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penyusunan skripsi terbagi menjadi tiga bagian yaitu bagian awal, bagian tengah dan bagian akhir. Pada bagian awal memuat beberapa halaman yang terdiri dari halaman judul, lembar persetujuan

pembimbing, halaman pengesahan, pernyataan, motto dan persembahan, kata pengantar, abstrak, daftar isi, daftar tabel, serta daftar lampiran. Bagian tengah terdiri dari lima bab yang meliputi pendahuluan, tinjauan pustaka, metode penelitian, hasil dan pembahasan dan penutup. Pendahuluan berisi tentang alasan pemilihan judul, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi. Tinjauan Pustaka memuat landasan teori yang mendasari penelitian. Metode penelitian berisi waktu dan lokasi penelitian, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian serta karakteristik sampel yang akan digunakan Hasil dan pembahasan menunukkan hasil penelitian dan pembahasannya. Penutup berisi simpulan hasil penelitian dan saran. Bagian akhir berisi tentang daftar pustaka dan lampiran.

BAB II

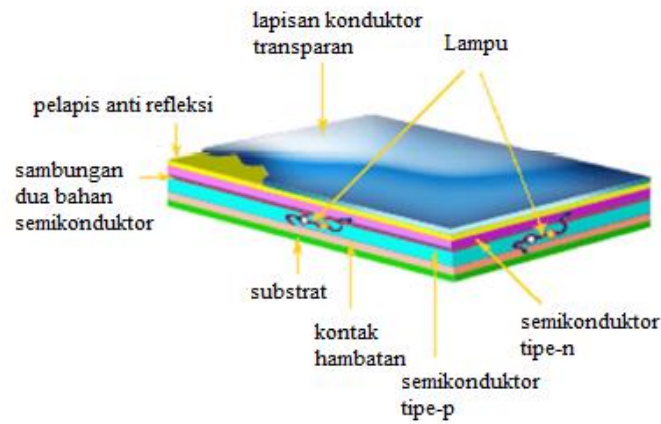
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama manusia. Bahan baku yang terbatas dan tidak ramah lingkungan seperti minyak bumi serta batu bara membuat pengetahuan mengenai piranti penghasil energi berkembang. Perkembangan yang terjadi ditandai dengan adanya piranti berbahan baku melimpah serta ramah lingkungan seperti sinar matahari yang disebut dengan sel surya. Sel surya merupakan teknologi yang memanfaatkan energi matahari menjadi energi listrik. Generasi pertama sel surya terbuat dari wafer silikon. Namun silikon yang mahal dan biaya fabrikasinya besar mendorong penelitian menuju generasi berikutnya yaitu *thin film solar cell* (Setyawan, 2018).

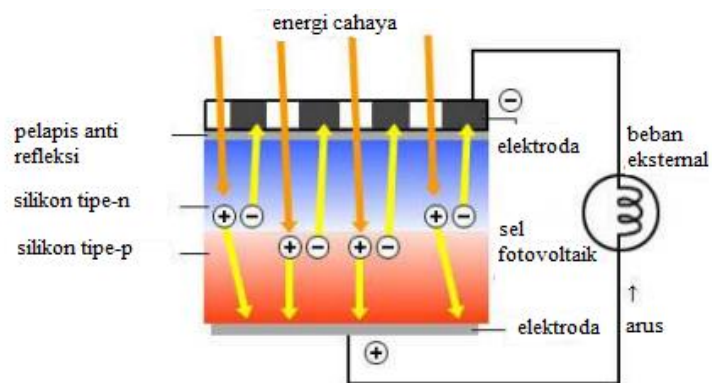
Pada sel surya, film tipis diaplikasikan untuk *Transparent Conductive Oxide* (TCO) sebagai *window layer*. TCO adalah semikonduktor yang memiliki lebar celah pita energi antara 2,5 - 4,5 eV (Sinaga, 2009). TCO harus memiliki *band gap* yang lebih besar dari energi foton agar transparan pada cahaya tampak. Selain itu, TCO juga harus memiliki konsentrasi pembawa muatan yang memadai agar dapat bersifat konduktif. TCO banyak digunakan sebagai lapisan luar pada sel surya. TCO memiliki karakteristik resistivitas listrik yang rendah dan transparansi yang tinggi pada panjang gelombang tampak (Sinaga, 2009; Sugianto, 2015). Struktur lapisan film tipis pada sel surya ditunjukkan pada Gambar 2.1

Sel surya bekerja dengan prinsip efek fotolistrik (*photovoltaic*) yang mengindikasikan bahwa cahaya merupakan suatu partikel kuantum. Gambar 2.2 menunjukkan proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya.



Gambar 2. 1 Struktur sel surya film tipis (Bagher *et al.*, 2015)

Sel surya bekerja dengan prinsip efek fotolistrik (*photovoltaic*) yang mengindikasikan bahwa cahaya merupakan suatu partikel kuanta. Pada gambar 2.2 berikut merupakan proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya.



Gambar 2. 2 Proses perubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya (Sidopekso *et al.*, 2010)

Ketika energi matahari yang terdiri dari foton jatuh pada permukaan bahan sel surya, sebagian akan diserap. Pada saat permukaan bahan sel surya terkena cahaya dengan energi gap lebih dari 1 eV membuat adanya hubungan elektron dan *hole* melalui bahan semikonduktor. Elektron akan

mengalir pada satu arah dan juga timbul aliran *hole* pada satu arah yang berlawanan sehingga timbul aliran arus yang bila dihubungkan pada suatu beban akan menimbulkan tenaga listrik (Sidopekso, 2010).

Sel surya didesain dengan mempertimbangkan pengaruh dari parameter-parameter lain untuk mengoptimalkan kinerja dari sel surya. Parameter yang dimaksud seperti ketebalan lapisan, konsentrasi pengotor, temperatur operasional, serta parameter-parameter devais lainnya (Fatma, 2016).

2.2 *Transparent Conductive Oxide (TCO)*

Transparent Conductive Oxide (TCO) merupakan material nanoteknologi yang banyak dimanfaatkan serta dikembangkan dalam berbagai penelitian karena lebih efisien dan ekonomis. TCO juga memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, transparansi tinggi pada spektrum cahaya tampak dan daerah mendekati infra merah (Ikhmayies, 2017).

TCO banyak digunakan diaplikasikan sebagai piranti optoelektronik misalnya pada TV LCD, TV Plasma, dan *organic electroluminescence (EL)* seperti *touch screen* monitor pada *authomatic tellermachine (ATM)*, ticket vending machines yang dipasang di stasiun kereta api, *organic light emitting diodes (OLEDs)* (Shaktivel *et al.*, 2018), *electrochromic windows* (jendela yang bisa diatur menjadi transparan gelap) dan lapisan pertama pada sel surya (Sinaga, 2009). Piranti TCO juga dikembangkan dalam aplikasi sensor gas yang dapat mendeteksi berbagai macam gas (Wahyuningsih *et al.*, 2013) contohnya yaitu: sensor Gas Dimetil Amin (DMA) yang terlarut pada gas Hidrogen, uap Etanol, dan gas-gas beracun hasil pembakaran dari transportasi darat (Mahmudah, 2016).

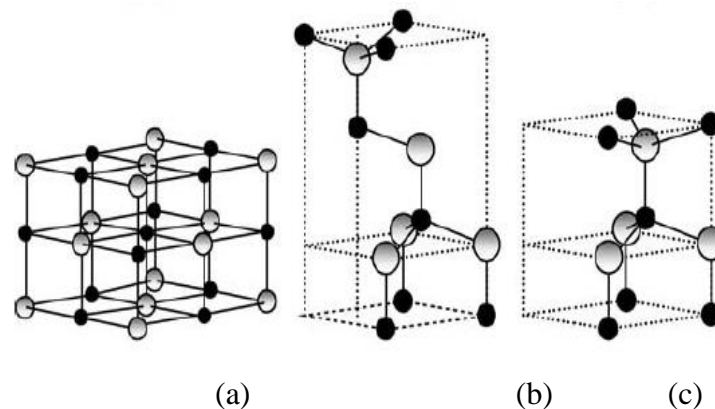
2.3 *Material Zinc Oxide*

Material *Zinc Oxide (ZnO)* adalah senyawa anorganik yang merupakan material semikonduktor tipe-n golongan II-IV antara logam dan oksida. Film tipis ZnO memiliki titik lebur sekitar 1975 °C dengan celah pita yang cukup lebar ~3,37 eV, stabilitas termal yang baik pada

plasma hydrogen, tahan terhadap radiasi dan konsentrasi pembawa muatan yang tinggi pada suhu kamar (Duan *et al.*, 2006). ZnO memiliki konduktivitas sekitar $6,24 \times 10^{-5} (\Omega\text{cm})^{-1}$ (Suprayogi, 2014) dan transmitansi mencapai 90% pada transparansi optik dalam cahaya tampak (Kim *et al.*, 2007). Sifat transparansi yang tinggi pada ZnO disebabkan karena adanya perbedaan antara energi foton dengan energi *gap* yang semakin besar (Firmahaya, 2018).

ZnO memiliki tiga macam bentuk kristal yaitu *wurtzite*, *zinc blende*, dan *rocksalt* (Mockoc *et al.*, 2009) seperti yang ditunjukkan pada Gambar

2.3.



Gambar 2. 3 Struktur kristal (a) *rocksalt*, (b) *zinc blende*, dan (c) *wurtzite* (Morkoc *et al.*, 2009)

Struktur *wurtzite* heksagonal tersusun atas ikatan tetrahedral antara atom seng dan oksida dengan nilai parameter kisi $a = 3,249 \text{ \AA}$ dan $c = 5,206 \text{ \AA}$ sehingga ZnO bersifat piezoelektronik, dan struktur tersebut merupakan struktur yang paling umum dijumpai karena lebih stabil pada kondisi lingkungan (Doyan & Humaini, 2017). Bentuk *zinc blende* dapat distabilkan dengan ZnO yang ditumbuhkan pada substrat dengan struktur kisi kubik, sementara struktur *rocksalt* akan terbentuk untuk fase metastabil pada tekanan tinggi (Khanifah, 2018). Struktur kristal pada material mempunyai peran penting dalam menentukan sifat-sifatnya, seperti *band gap* dan sifat optik lainnya.

2.4 Material Ga₂O₃

Galium Oksida (Ga₂O₃) merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistem periodik yang mempunyai konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan Aluminium (Al), Galium (Ga), Indium (In) dan memberikan pembawa muatan level yang tinggi (Sugianto *et al.*, 2016).

Material fosfor berbasis oksida seperti Ga₂O₃ lebih stabil daripada material sulfida baik secara fisis maupun kimia ketika diaplikasikan *flat panel display*. Fosfor oksida memiliki celah pita yang lebih lebar dibandingkan dengan fosfor sulfida (Widuri, 2007). Pada fosfor oksida unsur Ga₂O₃ memiliki energi *bandgap* 4,8 eV sedangkan *bandgap* galium sulfida (GaS) yaitu 3,05 eV (Shen *et al.*, 2009) sehingga Ga₂O₃ memiliki sifat optik dan listrik yang baik (Yu *et al.*, 2010) dan berpotensi untuk aplikasi devais elektronik dan optoelektronik (Marwoto *et al.*, 2009).

Sifat konduktivitas Ga₂O₃ dapat berubah bergantung pada atmosfer lingkungan, stabil pada temperatur tinggi (titik lebur 1740 °C) dan memiliki sensitivitas yang tinggi sehingga sering diaplikasikan sebagai sensor gas (Hofer, U. *et al.*, 2001). Selain itu Ga₂O₃ dimanfaatkan sebagai *Thin Film Electroluminescent (TFEL)* untuk display di ruang terbuka karena memiliki sifat luminesensi yang baik (Minami, *et al.*, 2003), Sifat *luminesence* senyawa Ga₂O₃ tanpa doping pada spektrum warna UV adalah sebesar 3,40 eV; warna biru sebesar 2,59 eV; dan warna hijau sebesar 2,48 eV sehingga diaplikasikan sebagai *luminescent phosphor* (Marwoto *et al.*, 2012) , dan aplikasi devais optoelektronik Ga₂O₃ dapat digunakan sebagai *Transparent Conductive Oxide (TCO)* karena menunjukkan sifat transparan pada daerah panjang gelombang UV hingga 280 nm (Hosono *et al.*, 2002).

2.5 ZnO doping Ga₂O₃

Seng oksida (ZnO) merupakan senyawa anorganik yang bersifat semikonduktor. ZnO memiliki potensi sebagai pengganti TCO. Namun ZnO memiliki kelemahan bersifat kurang stabil pada lingkungan korosif dan sifat listrik yang hasilkan kurang baik karena memiliki konsentrasi pembawa muatan yang rendah (Buyanova *et al.*, 2009) serta nilai resistivitasnya cukup besar. Selain itu sifat optik serta struktur unit pada ZnO kurang bagus sehingga perlu diperbaiki dengan cara diberi doping (Kim *et al.*, 2010).

Doping merupakan metode yang efektif untuk meningkatkan sifat konduktivitas, mobilitas elektron, transparansi, dan stabilitas pada material (Novita *et al.*, 2017) sehingga dapat memperluas aplikasi/penerapan material tersebut dari sifat dasarnya (Li *et al.* 2014). Film Tipis ZnO yang didoping unsur-unsur golongan IIIA seperti Boron (B), Indium (In), Aluminium (Al) dan Galium (Ga) menjadi alternatif yang baik dari indium-tin-oxide (ITO) (Appani *et al.*, 2017). Selain itu pendopingan akan meningkatkan stabilitas dan konduktivitas listrik hingga berorde $10^5 \Omega\text{cm}$ (Mahadik *et al.*, 2014). Doping juga dapat meningkatkan sifat optik film seperti transmitansi cahaya lebih dari 80% (Chen *et al.*, 2015).

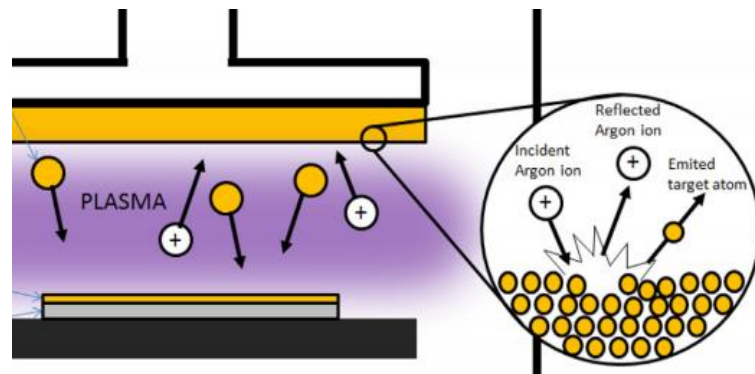
Galium digunakan sebagai dopan karena kedekatan dalam jari-jari atom dengan ZnO yaitu Zn^{2+} dan Ga^{3+} masing-masing 0,074 nm dan 0,062 nm (Morkoc *et al.*, 2007) serta panjang ikatan kovalen Zn - O dan Ga - O yang tidak berbeda jauh diperkirakan nilainya 1.92 Å and 1.97 Å (Ma *et al.*, 2008) sehingga memiliki sedikit kemungkinan untuk terjadi kecacatan dan regangan yang besar. Nilai konduktivitas listrik pada ZnO yang didoping dengan Ga juga meningkat. Hal tersebut dikarenakan ion Zn^{2+} disubstitusi oleh atom trivalent Ga dan setiap atom menghasilkan elektron bebas di pita konduksi, yang hal tersebut menghasilkan peningkatan konsentrasi pembawa (Aryanto *et al.*, 2012).

2.6 Sputtering

Sputtering merupakan proses penembakan partikel pada sebuah permukaan target berbentuk benda padat atau cair melalui proses pertukaran momentum dengan cara ditembakannya permukaan target tersebut dengan partikel berenergi tinggi sehingga atom-atom pada permukaan target yang dikenai sasaran dapat terlontar (Mitayani, 2013). Material berupa atom-atom yang terlontar atau ter-*sputter* akan terhambur ke segala arah kemudian difokuskan pada substrat agar terbentuk lapisan tipis. Sistem *sputtering* pada umumnya berupa tabung lucutan pijar (*chamber*) yang di dalamnya terpasang elektroda (anoda dan katoda) dengan target dipasang pada katoda sehingga bermuatan negatif dan substrat diletakkan pada anoda sehingga bermuatan positif. Selain elektroda, *sputtering* dilengkapi juga dengan sistem vakum, sistem aliran gas, sistem pendingin target dan sistem pemanas substrat (Astuti, 2011). Proses *sputtering* terjadi ketika *chamber* yang dilengkapi dengan sistem vakum dialiri gas sebagai pembentuk plasma dan diberi beda potensial untuk menciptakan partikel berenergi tinggi yang akan digunakan untuk menembak permukaan target (Suhail & Hadi, 2011).

Teknik *sputtering* memiliki beberapa kelebihan, diantaranya yaitu film yang terbentuk mempunyai komposisi yang serupa dengan bahan target, kualitas, struktur dan keseragaman hasil film dikendalikan oleh tingkat homogenitas target, lapisan yang terbentuk mempunyai kekuatan rekat yang tinggi terhadap permukaan substrat, mempunyai laju deposisi yang tinggi, biaya lebih murah, dan proses deposisi yang stabil (Mitayani, 2013).

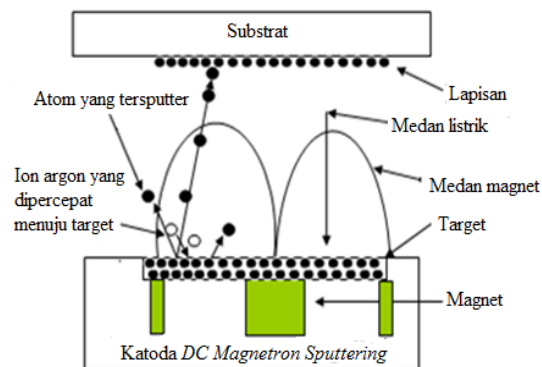
Mekanisme terlepasnya atom pada target hingga terdeposisi pada substrat ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Mekanisme pada proses *sputtering* (Pessoa *et al.*, 2015)

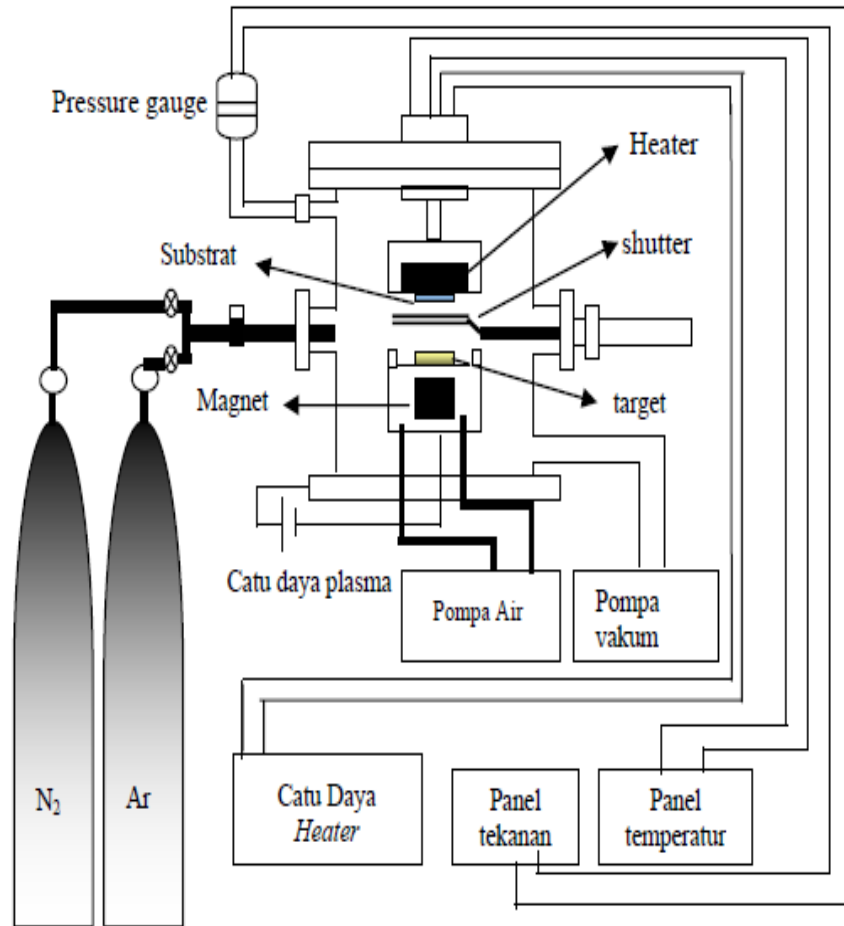
2.7 DC Magnetron Sputtering

Sistem *dc magnetron sputtering* merupakan modifikasi dari sistem *dc sputtering* yang dilengkapi dengan sistem magnet. Sistem magnet tersebut digunakan sebagai perangkat elektron agar atom-atom terhambur dari permukaan target dapat terfokus pada substrat. Gambar 2.5 (Joshi, 2003) menunjukkan skema reaksi dalam *DC magnetron sputtering*



Gambar 2. 5 Skema Reaksi dalam *DC Magnetron Sputtering* (Joshi, 2003)

Sistem *dc magnetron sputtering* terdiri dari tabung plasma berbentuk silinder, sumber tegangan tinggi, sepasang elektroda, sistem pendingin target, sistem pemanas substrat, sistem vakum, sistem masukan gas *sputter* dan sistem magnet yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 (Aryani, 2011).



Gambar 2. 6 Sistem Reaktor *DC Magnetron Sputtering* (Marwoto *et al.*, 2009)

Pemasangan sumber tegangan tinggi bertujuan agar atom/partikel pada permukaan target dapat terlontar. Tegangan tinggi yang muncul diantara katoda dan anoda pada ruang vakum akan menghasilkan plasma. Proses ketika tegangan dan arus yang menghasilkan daya plasma dihidupkan dikenal sebagai proses deposisi. Proses deposisi diberikan dalam waktu tertentu karena akan mempengaruhi ketebalan dari film tipis yang dihasilkan.

Sepasang elektroda yang terdapat dalam *DC magnetron sputtering* terdiri dari katoda sebagai tempat target yang dilengkapi dengan sistem magnet serta pendingin dan anoda sebagai tempat penempelan substrat

dilengkapi dengan sistem pemanas. Sistem pendingin pada katoda berguna untuk mendinginkan *chamber* agar tumbukan atom-atom pada *chamber* semakin sedikit. Sistem tersebut juga bertujuan agar sifat kemagnetan pada sistem magnet tidak hilang jika terkena panas terus menerus. Sistem pemanas memiliki fungsi untuk memanaskan substrat pada proses deposisi agar atom-atom terdifusi (menempel) pada substrat dan proses *annealing* untuk re-kristalisasi film tipis agar mendapatkan sifat yang lebih baik.

Sistem vakum digunakan untuk mengurangi efek tumbukan dengan atom-atom oksigen yang dapat mengganggu hasil dari proses pelapisan. Sistem masukan gas sputter pada *DC magnetron sputtering* berisi gas argon karena merupakan golongan gas inert. Ketika ion gas argon yang memiliki energi tinggi bergerak ke katoda dan menembak target, maka atom-atom bahan target akan terpercik keluar. Hasil percikannya ke segala arah akan membentuk lapisan di permukaan substrat.

Metode deposisi dengan *DC magnetron sputtering* memiliki kelebihan yaitu dapat menghasilkan film tipis dari bahan dengan titik leleh tinggi, ketebalan lapisan dapat dikontrol, temperatur deposisi yang rendah, dan kecepatan deposisi yang tinggi (Sugianto *et. al.*, 2016). Gambar 2.6 menunjukkan skematik sistem reaktor *DC magnetron sputtering* yang ada di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang (Raharjo, 2019).

2.8 Annealing

Proses *annealing* yaitu proses *treatment* melalui pengaturan panas terhadap material pada waktu tertentu dilanjutkan dengan pendinginan secara perlahan dalam tungku. *Treatment annealing* biasanya dilakukan setelah proses deposisi. Temperatur *annealing* dapat mempengaruhi struktur kristal (Sugianto *et al.*, 2016), sifat optik (Ma *et al.*, 2018; Lim *et al.*, 2017) dan resistivitas listrik suatu bahan (Gromov *et al.*, 2013). Pengaturan temperatur *annealing* yang tepat selain membuat pelarut yang

terdapat dalam film tipis menguap juga dapat menurunkan kekerasan dan memperbaiki sifat mekanik (Mahmudah *et al.*, 2016).

2.9 Struktur Film Tipis

Struktur mikro dari suatu film tipis dapat ditunjukkan dengan besar butiran-butiran kristal (*grain size*) yang terbentuk dan tebal tipisnya lapisan yang terbentuk. Susunan atom pada film tipis memiliki struktur kristal. Kristal merupakan zat padat yang memiliki susunan atom teratur secara periodik dalam tiga dimensi pada tiap kisi. Periodik berarti partikel kristal tersusun secara berulang dan teratur dengan rentang perulangannya panjang. Struktur kristal terdapat pada hampir semua logam dan mineral. Struktur kristal meliputi ukuran kristal, regangan kisi (*lattice strain*), tegangan kisi (*lattice stress*), kerapatan dislokasi, panjang ikatan partikel dan volume unit sel sistem heksagonal. Hal tersebut dipengaruhi oleh nilai *Full Width Half Maximum* (FWHM), parameter kisi, panjang gelombang sinar-X, sudut difraksi Bragg pada puncak dan jarak antar bidang atom kristal.

Tinggi rendahnya nilai FWHM digunakan untuk mengidentifikasi kualitas kristal. Nilai FWHM didapatkan dengan cara mencari dua titik setengah dari intensitas puncak difraktogram XRD. Semakin kecil nilai FWHM, maka derajat kekristalan semakin baik dan struktur kristalnya homogen. Nilai FWHM yang semakin kecil menunjukkan bahwa atom-atom yang berdekatan semakin mudah mengatur arah dan panjang ikatannya sendiri (Wahyuningsih *et al.*, 2013). Jarak antar kristal (*d-spacing*) dipengaruhi oleh ukuran kristal. Ukuran kristal yang membesar menyebabkan jarak antar kristal atau bidang-bidang atom menyempit. Panjang ikatan Zn-O (L) dipengaruhi oleh parameter kisi a dan parameter kisi c.

Nilai regangan kisi menyatakan ukuran keregangannya suatu kisi sedangkan nilai tegangan kisi menyatakan ukuran ketegangan suatu kisi. Kerapatan dislokasi menyatakan banyaknya cacat kristal pada struktur

kristal ZnO:Ga yaitu dengan menentukan lebar garis dislokasi per satuan volume. Nilai regangan kisi dan kerapatan dislokasi pada lapisan film tipis ZnO:Ga berbanding lurus dengan nilai FWHM (Raharjo, 2009) sedangkan nilai tegangan kisi berbanding terbalik dengan nilai FWHM.

Struktur dan simetri zat padat menentukan sifat-sifatnya, seperti struktur pita energi dan sifat optiknya. Struktur lapisan film juga bergantung pada perlakuan penumbuhan, seperti temperatur, target dan energi dopan, topografi substrat dan tekanan aliran gas dalam proses penumbuhan film tipis. Parameter tersebut mempengaruhi mobilitas permukaan atom yang terabsorpsi. Butiran yang besar pada film tipis terbentuk pada temperatur tinggi yang diakibatkan mobilitas permukaan yang tinggi (Mahmudah, 2016).

2.10 Sifat Optik

Sifat optik dari lapisan film tipis suatu bahan dapat ditunjukkan melalui interaksi film dengan cahaya (Raharjo, 2009). Ketika cahaya mengenai suatu bahan maka sebagian akan diserap, dipantulkan dan ditransmisikan. Spektrum transmitansi menunjukkan fungsi transmisi terhadap panjang gelombang, sedangkan spektrum absorpsi menunjukkan fungsi koefisien absorpsi terhadap energi foton cahaya. Nilai transmitansi film tipis diperoleh dalam bentuk transmitansi (%) terhadap panjang gelombang (λ) (Raharjo, 2009). Nilai absorbansi digunakan untuk mencari koefisien absorbansi untuk mengetahui nilai *band gap*. Berdasarkan nilai transmitansi dan *band gap* dapat diketahui bagaimana kemampuan material atau bahan tersebut dalam mentransmisikan cahaya. Pada aplikasi sel surya, nilai transmitansi dan *band gap* berpengaruh terhadap performa sel surya.

2.11 Sifat Listrik

Sifat listrik film tipis dapat diketahui dari resistivitas, konduktivitas dan jenis pembawa muatannya. Konduktivitas merupakan kemampuan suatu material dalam mengalirkan panas atau listrik (Zannah, 2016).

Bahan semikonduktor mempunyai dua jenis pembawa muatan yaitu elektron dan hole (Raharjo, 2009). Pada bahan semikonduktor tipe-p (positif) memiliki atom pengotor yang disebut akseptor dengan pembawa muatan yang disebut *hole*. Jumlah *hole* yang lebih banyak dibandingkan dengan elektron bebas membuat *hole* disebut pembawa muatan mayoritas sedangkan elektron bebas merupakan pembawa muatan minoritas.

Ketika medan listrik diberikan pada suatu material, elektron dalam material tersebut akan mengalir berlawanan dengan arah medan dan membawa arus listrik, sedangkan *hole* mengalir searah dengan medan. Karakteristik yang menonjol dari material oksida konduktif transparan (TCO) adalah resistivitas listrik yang rendah dan transparansi yang tinggi pada panjang gelombang cahaya tampak atau panjang gelombang visibel.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada tanggal 26 Januari 2019 sampai 16 Februari 2019 di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Karakterisasi hasil film tipis ZnO doping Ga menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan Spektrometer UV-Vis yang dilakukan di Pusat Penelitian Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Serpong dan I-V meter yang dilakukan di Laboratorium Fisika FMIPA UNNES.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu satu set *crucible*, mortar, sistem pompa hidrolik, *furnice*, *pen cutter*, gelas beker, pinset, *utrasonic bath*, dan *dc magnetron sputtering*. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain serbuk *Zinc Oxide* (ZnO), Serbuk *Galium (III) Oxide* (Ga_2O_3), aseton, metanol, aquades, dan pengering sampel.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Pembuatan Target

Dalam penelitian ini digunakan target ZnO doping Ga yang telah dibuat oleh Suprayogi (2014) menggunakan bahan serbuk ZnO 99,999% dan serbuk Ga_2O_3 99,999% dengan massa total 10 gram. Target dibuat dengan perbandingan ZnO: 98 wt% dan Ga: 2 wt%. Perbandingan konsentrasi tersebut digunakan karena memiliki struktur kristal, sifat optik dan sifat listrik yang cukup baik (Marwoto *et al.*, 2014). Mekanisme pembuatan target meliputi pencampuran bahan lalu penggerusan serbuk menggunakan mortar selama 3 jam kemudian dilanjutkan dengan pepadatan atau

pengepresan menggunakan sistem pompa hidrolik sehingga terbentuk pelet dengan diameter 2,5 cm. Pelet tersebut disintering pada suhu 750 °C selama 2,5 jam kemudian didinginkan. Pelet ZnO doping Ga₂O₃ digunakan sebagai target dalam proses deposisi film tipis.

3.3.2 Preparasi Substrat

Substrat merupakan tempat untuk deposisi film tipis. Pemilihan Corning glass sebagai substrat karena memiliki parameter kisi dan koefisien termal yang hampir sama dengan material yang digunakan sebagai film tipis yaitu ZnO. Substrat *corning glass* dipotong dengan ukuran (1×1) cm². Substrat kemudian dicuci dengan cara direndam dengan metanol untuk menghilangkan kotoran (minyak dan lemak) yang menempel pada permukaan substrat selama 10 menit lalu aseton selama 5 menit menggunakan *ultrasonic bath*. Setelah melalui proses pencucian, kemudian dilanjutkan dengan proses pengeringan. Pengeringan substrat dilakukan dengan permukaan substrat disemprot menggunakan gas nitrogen agar kering dan bersih.

3.3.3 Deposisi Film Tipis

Deposisi film tipis ZnO doping Ga dilakukan dengan metode *DC Magnetron Sputtering*. Tahap-tahap dalam proses deposisi yaitu memastikan bahwa *chamber* dalam keadaan bersih. Kemudian menghidupkan catu daya heater pada tegangan 15 volt dan mengatur panel kontrol suhu. Tahap selanjutnya memanaskan *chamber* dengan mengatur suhu sekitar 100 °C. Hal tersebut berfungsi untuk memanaskan anoda agar substrat dapat menempel dengan baik. Selanjutnya, memasang target ZnO doping Ga pada katoda dan substrat *corning glass* pada anoda dengan perekat pasta perak. Setelah itu pasta perak ditunggu hingga mengering kemudian menutup kembali *chamber*. *Chamber* divakumkan

hingga tekanan mendekati 0 mTorr dengan menghidupkan pompa rotari. Setelah *chamber* vakum, kemudian mengatur kembali suhu *chamber* sebagai suhu deposisi yaitu sebesar 300 °C. Apabila suhu dan tekanan *chamber* telah stabil, kemudian mengalirkan gas argon ke dalam *chamber* dengan cara memutar kran saluran gas argon hingga tekanan pada *chamber* mencapai 500 mTorr. Kemudian, memastikan kembali bahwa suhu dan tekanan telah stabil.

Deposisi dilakukan pada daya plasma 30 W dengan mengatur tegangan (volt) dan arus (ampere) pada catu daya. Proses deposisi film tipis dimulai ketika *shutter* dibuka dan saat *shutter* ditutup proses tersebut terhenti. Setelah dilakukan deposisi selama 60 menit, kemudian mematikan daya plasma dengan menurunkan tegangan pada catu daya hingga 0 volt dan menutup kran saluran gas argon kemudian memvakumkan *chamber*-nya sampai 0 mTorr. Setelah *chamber* vakum kembali kemudian menurunkan suhu menjadi 100 °C dan menutup *shutter* sehingga proses deposisi berhenti.

3.3.4 *Treatment Annealing*

Proses *annealing* merupakan proses pengaturan suhu setelah deposisi pada substrat yang telah ditumbuhi film dengan suhu dan waktu tertentu kemudian didinginkan secara perlahan-lahan dalam *chamber*. Suhu *annealing* yang meningkat cukup berpengaruh pada peningkatan nilai konduktivitas listrik, penurunan nilai resistivitas listrik (Gromov *et al.*, 2013), peningkatan intensitas orientasi pada puncak (002) (Sugianto *et al.*, 2016) serta peningkatan ukuran butir sehingga bersifat lebih homogen karena butir satu dengan butir yang lain dapat bersinggungan dan menyebabkan berkurangnya daerah *amorf* (Sinaga *et al.*, 2009).

Proses *annealing* dilakukan selama 40 menit dalam *chamber* yang telah divakumkan dengan memvariasi suhu *annealing*-nya

yaitu pada suhu 250 °C, 350 °C, dan 450 °C untuk masing-masing sampel. Setelah mencapai suhu yang ditentukan, kemudian mengatur ulang suhu *chamber* hingga suhu ruang sebelum kemudian sampel dapat diambil dari *chamber*.

3.4 Karakterisasi Sampel

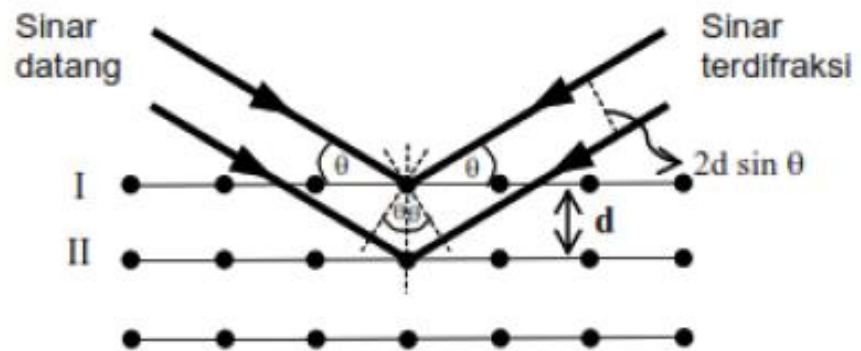
3.4.1 *X-Ray Diffraction* (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan alat karakterisasi yang menggunakan metode hamburan sinar-X dari suatu elektroda logam yang ditembakkan dengan elektron-elektron berkecepatan tinggi dalam tabung vakum. Data XRD menunjukkan suatu struktur dan orientasi bidang kristal film tipis (Mahmudah, 2016). Material berupa kristal akan memunculkan puncak-puncak yang spesifik ketika dianalisa menggunakan XRD. Kelemahan alat ini tidak dapat mengkarakterisasi bahan yang bersifat *amorf*.

XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu (a) tabung sinar-X (tempat terbentuknya sinar-X) dimana mempunyai empat komponen utama, yakni filamen (katoda) yang berperan sebagai sumber elektron, ruang vakum sebagai pembebas hambatan, target sebagai anoda, dan sumber tegangan listrik, (b) sampel holder (tempat objek yang diteliti), yaitu tempat sampel yang akan dianalisis oleh XRD. Sampel dapat berupa padatan, serbuk (kristal-kristal kecil), atau dalam bentuk kumparan, dan (c) detektor sinar-X berfungsi untuk merekam dan memproses sinyal sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik.

XRD memanfaatkan sifat difraksi sinar-X oleh kristal. Hal ini dikarenakan hasil difraksi oleh kristal menghasilkan pola gelap terang dimana pada terang pusat memiliki intensitas paling tinggi. Berdasarkan pola difraksi, maka dapat diukur jarak atom dalam kristal dimana susunan atom dalam kristal berperan sebagai kisi difraksi. Hasil difraksi yang dialami sinar-X oleh kristal

menghasilkan interferensi maksimum yang akan diterima oleh detektor. Proses difraksi sinar-X oleh kristal ditunjukkan pada Gambar 3.1 (Alfarisa *et al.*, 2018) dan dapat dijelaskan dengan hukum Bragg.



Gambar 3.1 Proses difraksi sinar-X oleh kristal (Alfarisa *et al.*, 2018)

Persamaan 3.1 Hukum Bragg:

$$2d_{(hkl)} \sin \theta = n\lambda \quad (3.1)$$

dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat sebagai orde refleksi Bragg. Parameter kisi- a dan parameter kisi- c dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (3.2) dan (3.3) (Aryanto *et al.*, 2017).

$$a = \frac{\lambda}{\sqrt{3} \sin \theta} \sqrt{h^2 + hk + k^2} \quad (3.2)$$

$$c = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} l \quad (3.3)$$

Sedangkan Panjang ikatan Zn-O (L) dinyatakan dalam persamaan (3.4) (Aryanto *et al.*, 2017).

$$L = \sqrt{\frac{a^2}{3} + \left(\frac{1}{2} - u\right)^2 c^2} \quad (3.4)$$

dengan u adalah parameter potensial yang dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$u = \left(\frac{a^2}{3c^2} \right) + 0,25$$

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal akan memantulkan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dipantulkan akan ditangkap oleh detektor dan diterjemahkan sebagai puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal, maka semakin kuat intensitas difraksi yang dihasilkan (Zannah, 2016). Puncak-puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang mewakili orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi, kemudian dibandingkan dengan standar difraksi sinar-X yaitu *Joint Committee on Powder Diffraction Standard* (JCPDS). Hasil lain yang diperoleh dari karakterisasi XRD adalah nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM), parameter kisi-*c*, ukuran kristal serta dimensi kisi dalam struktur kristal. Ukuran kristal film ZnO:Ga ditentukan dengan menggunakan persamaan Debye Scherrer (3.5) (Kahouli *et. al.*, 2015).

$$D = \frac{0,9 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3.5)$$

D merupakan ukuran kristal, λ merupakan panjang gelombang sinar-X, β merupakan nilai FWHM, dan θ merupakan sudut puncak difraksi.

Nilai *lattice strain* pada lapisan film tipis ZnO:Ga dapat ditentukan dengan menggunakan formula tangen pada persamaan (3.5) (Kahouli *et. al.*, 2015) dan persamaan (3.6) untuk nilai *stress* filmnya (Chen *et. al.*, 2001).

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta} \quad (3.6)$$

$$\sigma = -233 \cdot \varepsilon \text{ (GPa)} \quad (3.7)$$

ε adalah *lattice strain*, β adalah nilai FWHM, θ adalah sudut difraksi, dan σ adalah *stress* film tipis.

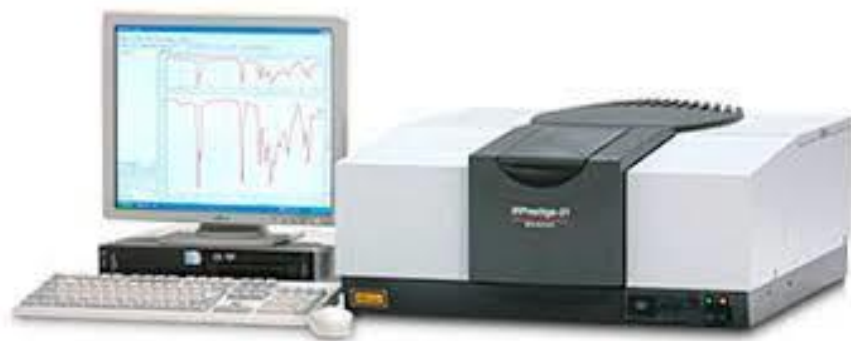
Kerapatan dislokasi menyatakan banyaknya cacat kristal pada struktur kristal ZnO:Ga yaitu dengan menentukan lebar garis dislokasi per satuan volume. Kerapatan dislokasi ini ditentukan dengan persamaan (3.7) (Kumarasinghe *et. al.*, 2017; Asikuzun *et. al.*, 2016)

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (3.8)$$

dengan δ merupakan nilai kerapatan dislokasi dan D merupakan ukuran kristalit.

3.4.2 Spektrometer UV-Vis

Spektrometer UV-Vis merupakan alat karakterisasi yang menghasilkan data berupa spektrum untuk mengetahui nilai transmitansi. Alat spektrometer UV-Vis yang digunakan untuk karakterisasi terdiri dari layer spektrometer dan komputer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Hasil karakterisasi berupa nilai transmitansi pada panjang gelombang tertentu. Nilai transmitansi yang diperoleh dapat digunakan untuk menghitung nilai absorbansi dan *band gap*.



Gambar 3. 2 Alat Karakterisasi Uv-Vis

Nilai absorbansi dapat diperoleh dengan persamaan (3.9) (Hardesty *et al.*, 2010).

$$A = -2 \log \frac{I_2}{I_1} \quad (3.9)$$

dengan I_2 merupakan intensitas cahaya setelah melewati materi dan I_1 merupakan intensitas cahaya sebelum melewati materi. Pengukuran sifat optik menggunakan gelombang elektromagnetik dari ultraviolet sampai inframerah. Parameternya adalah panjang gelombang (λ), energi ($h\nu$). Hubungan antara energi dan panjang gelombang ditunjukkan pada persamaan (3.10) (Schroder, 2006).

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.10)$$

dengan E adalah energi gelombang cahaya (*Joule*), h adalah konstanta *planck* yang besarnya $6,62 \times 10^{-34}$ J.s, c adalah kecepatan cahaya dalam ruang hampa yang besarnya 3×10^8 m/s dan λ adalah panjang gelombang cahaya (m)). Material semikonduktor dengan *direct band gap* memiliki hubungan sederhana antara h dan ν , khususnya pada energi foton yang hampir setara dengan nilai celah pita energi semikonduktor. Pada jangkauan energi tersebut koefisien absorpsi memenuhi persamaan (3.11) (Cleveland *et al.*, 1990).

$$\alpha = \frac{2,303 \log A}{b} \quad (3.11)$$

dengan b adalah tebal film. Tebal film dapat diketahui menggunakan metode *swaneopoel*. Metode *swaneopoel* merupakan salah satu metode untuk menentukan tebal film melalui bentuk gelombang pada grafik transmitansi. Salah satu aplikasi untuk menggunakan metode *swaneopoel* yaitu origin. Karakterisasi spektrometer UV-Vis menghasilkan data transmitansi pada panjang gelombang tertentu. Data transmitansi tersebut kemudian diplotkan sehingga menjadi grafik. Grafik tersebut dibuat bertujuan untuk mendapatkan data T_M (transmitansi maksimum) dan T_m (transmitansi minimum). T_M dan T_m didapatkan dengan cara gelombang dominan yang terbentuk pada grafik tersebut di-*envelope* untuk memfokuskan nilai T_M dan T_m hanya pada nilai panjang gelombang di posisi tersebut. Setelah didapatkan nilai T_M

dan T_m maka data dapat diolah dengan persamaan 3.12 dan 3.13 (Dorrnian *et al.*, 2012).

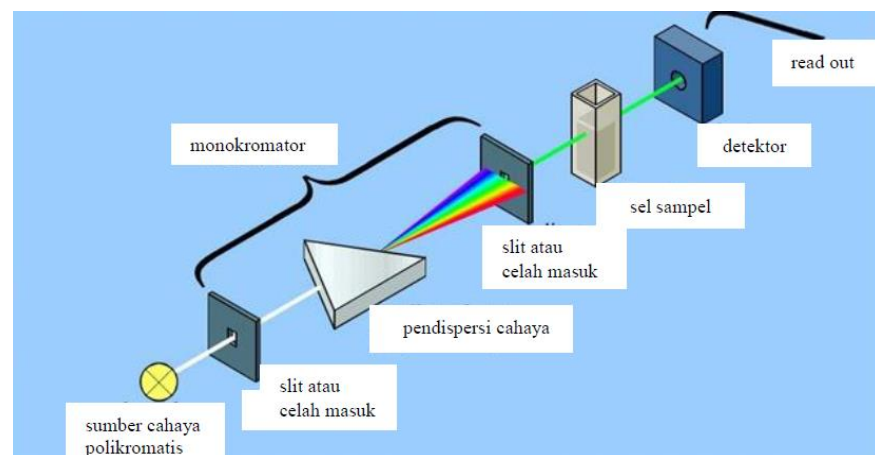
$$N = 2s \left(\frac{T_M - T_m}{T_M \cdot T_m} \right) + \frac{s^2 + 1}{2} \quad (3.12)$$

$$n = \sqrt{\left(N + \sqrt{N^2 - s^2} \right)} \quad (3.13)$$

dengan nilai N adalah wilayah transparansi (*transparent region*), n adalah *reactive index* dan s merupakan konstanta dengan nilai 1,51. Sedangkan ketebalan film dapat dihitung menggunakan persamaan 3.14 berikut.

$$b = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2 (\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \quad (3.14)$$

dengan b merupakan tebal film, λ_1 merupakan puncak dominan pertama, λ_2 puncak dominan kedua, n_1 adalah *reactive index* λ_1 dan n_2 adalah *reactive index* λ_2 . Setelah tebal film diketahui dan didapatkan nilai koefisien absorpsi, *band gap* dapat diketahui menggunakan metode *tauc* plot dengan cara memplot $(\alpha h\nu)^2$ terhadap $h\nu$. Skema pengukuran spektrometer UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Skema kerja spektrometer UV-Vis (Andriyani, 2019)

Skema kerja dari spektrometer UV-Vis yaitu sumber cahaya yang berupa lampu *tungsten* dan *deuterium* menyala lalu melewati

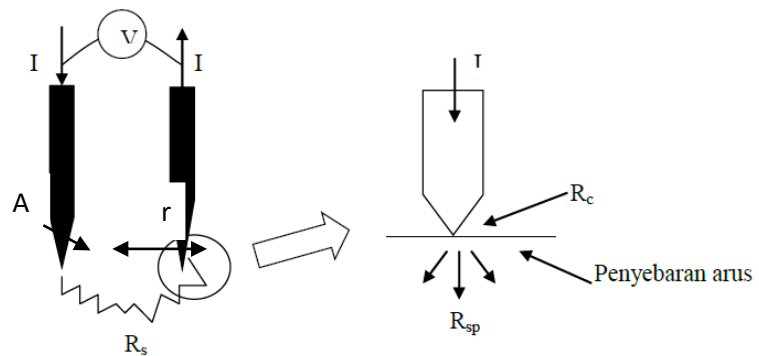
penyeleksi dan dipantulkan melewati *slit in* atau celah masuk. Cahaya kemudian akan masuk ke daerah monokromator yang berisi bidang prisma. Cahaya yang masuk ke daerah monokromator akan menjadikan cahaya terdispersi. Pemilihan gelombang dengan panjang yang sesuai akan dilakukan untuk kemudian di lewatkan ke *slit out* atau celah keluar. Cahaya yang keluar akan melewati lensa kemudian sampel yang telah ditentukan. Nilai sampel akan ditangkap oleh detektor dan diproses untuk kemudian ditampilkan baik dalam layar spektrofotometer maupun komputer

3.4.3 I-V Meter

I-V Meter merupakan suatu alat yang memberi data berupa hubungan fisis antara arus dan tegangan. Pengukuran I-V dilakukan untuk mengetahui adanya sifat listrik material yang terkandung di dalam film tipis. Pada karakterisasi sifat listrik digunakan I-V meter (NACHRIEBE-101) dengan metode *two-probe* merupakan teknik pengukuran untuk mengetahui resistivitas pada bahan semikonduktor. Tampak pada gambar, *probe* dialiri arus kemudian diukur tegangannya. Total resistansi diantara *two-probe* dapat dinyatakan sesuai persamaan (3.11) berikut ini.

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.11)$$

dengan V merupakan tegangan (volt), I adalah arus (ampere). Gambar 3.4 menunjukkan pengukuran resistansi film tipis dengan metode *two-probe*.



Gambar 3. 4 Pengukuran resistansi film tipis dengan metode *two-probe* (Schroder,1990)

Pada pengukuran hambatan sampel, R_c dan R_{sp} diabaikan karena terlalu kecil. Resistansi tersebut menunjukkan kemampuan suatu bahan dapat menahan kuat arus listrik. Sedangkan resistivitas adalah resistansi pada penghantar dengan panjang tertentu. Besarnya resistivitas film dihitung menggunakan persamaan (3.13) dan Konduktivitas listrik film dapat diperoleh menggunakan persamaan (3.14) (Firmahaya, 2018).

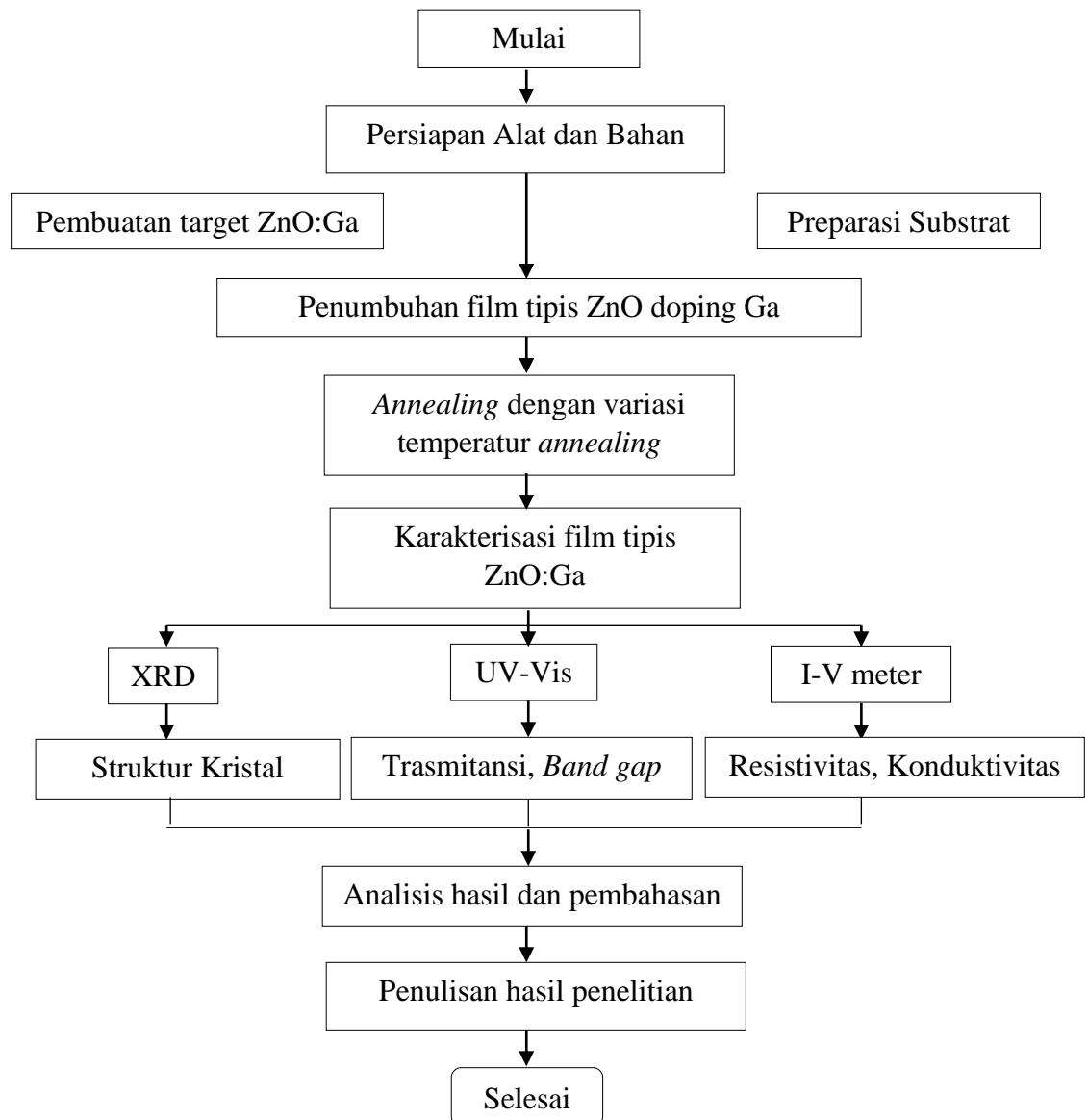
$$\rho = \frac{2\pi rV}{I} \quad (3.13)$$

$$\sigma = \frac{r}{R A} \quad (3.14)$$

dengan V adalah tegangan (volt), π adalah 3,14, r adalah jarak antar *probe* (cm), I merupakan arus (ampere), R_t adalah resistansi dan A merupakan luas penampang (cm^2).

3.5 Alur Penelitian

Deposisi film tipis ZnO doping Ga dengan metode *DC Magnetron Sputtering* dapat ditunjukkan dengan diagram alir penelitian pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

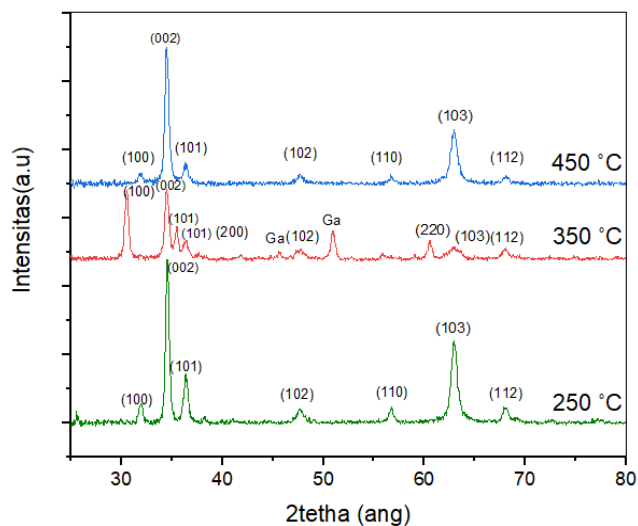
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penumbuhan film tipis ZnO doping Ga pada permukaan substrat *corning glass* telah dilakukan dalam tekanan gas Argon 500 mTorr, suhu deposisi 300 °C, dan daya plasma 30 W selama 60 menit dengan metode *DC Magnetron Sputtering*. *Treatment annealing* dilakukan dalam keadaan vakum dengan waktu 40 menit dengan variasi suhu *annealing* 250 °C, 350 °C dan 450 °C. Selanjutnya dilakukan analisis mengenai pengaruh suhu *annealing* terhadap struktur kristal, sifat optik dan sifat listrik film tipis ZnO doping Ga. Sampel yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), Spektrometer UV-Vis, dan I-V meter.

4.1 Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi XRD pada film tipis ZnO doping Ga dengan variasi suhu *annealing* ini menggunakan sumber radiasi $\text{CuK}\alpha$ dengan panjang gelombang 1,541862 Å pada tegangan generator 40 kV dan arus 30 mA.



Gambar 4. 1 Spektrum XRD film tipis ZnO doping Ga variasi suhu *annealing*

Data grafik XRD menunjukkan bahwa film tipis yang ditumbuhkan bersifat polikristalin sebab terdapat beberapa puncak yang muncul. Suatu kristal meskipun homogen tetapi tetap bersifat anisotropi yang berarti memiliki sifat fisika maupun sifat kimia ke berbagai arah yang berbeda. Hal tersebut berarti bahwa beberapa orientasi bidang kristal mempunyai sifat yang berbeda. Data *Joint Committee On Powder Diffraction Standart* (JCPDS) nomor 00-005-00664 merupakan referensi untuk variasi suhu *annealing* 250 °C. JCPDS nomor 01-075-1533, 00-036-1451 dan 04-003-6680 adalah referensi milik variasi suhu *annealing* 350 °C. JCPDS nomor 00-005-00664 ditujukan untuk suhu *annealing* 450 °C. Dari data JCPDS tersebut menunjukkan bahwa film tipis ZnO doping Ga memiliki struktur berbentuk heksagonal *wurtzite*. Ketiga sampel film tipis memiliki kesamaan yaitu terdapat puncak intensitas dominan pada arah orientasi bidang (002). Orientasi bidang (002) dapat diaplikasikan sebagai *window layer* sel surya (Astuti *et.al.*, 2018). Pada orientasi bidang (002), puncak difraksi yang muncul merupakan milik ZnO. Hal tersebut berarti bahwa atom Ga berhasil menempati kisi ZnO (Akin *et al.*, 2017).

Tabel 4.1 Parameter karakteristik 2θ , FWHM, Intensitas, *d-spacing* dan parameter kisi c film tipis ZnO doping Ga variasi suhu *annealing* pada arah orientasi bidang (002).

$T_{annealing}$ (°C)	2θ (°)	FWHM(°)	Int (a.u)	<i>d-spacing</i> (Å)	c (Å)
250	34,56	0,41	1194,8	2,597	5,1907
350	34,50	0,46	516,15	2,601	5,1995
450	34,43	0,43	1002,0	2,603	5,2103

Berdasarkan posisi puncak difraksi pada sampel, Tabel 4.1 menunjukkan hasil analisis variasi *annealing* pada puncak orientasi (002). Tabel tersebut menunjukkan bahwa film tipis yang dihasilkan berada di 2θ pada orde yang sama. Meskipun berada pada orde yang sama, tetap terdapat

pergeseran ke arah $2P$ yang semakin kecil. Pergeseran ke arah $2P$ yang semakin kecil tersebut disebabkan adanya pengaruh dari tegangan kisi yang mengecil (Mishra *et. al.*, 2016). Pergeseran $2P$ juga disebabkan jarak antar bidang atom kristal (*d-spacing*) semakin besar. Sesuai dengan Hukum Bragg tentang persamaan difraksi yang menyatakan bahwa sudut difraksi (P) berbanding terbalik dengan *d-spacing* (Sugianto *et. al.*, 2016).

Tabel 4.1 juga menunjukkan adanya perbedaan tinggi intensitas yang cukup besar pada masing-masing film tipis. Tinggi intensitas dipengaruhi oleh banyaknya bidang-bidang pemantul yang sama pada susunan atom sampel tersebut. Semakin banyak bidang-bidang pemantul yang sama, interferensi dari gelombang terdifraksi akan saling menguatkan sehingga intensitas puncak menjadi lebih tinggi. Film tipis dengan variasi suhu *annealing* 250 °C diindikasikan banyak memiliki bidang pemantul yang sama sehingga susunan atomnya menjadi lebih rapi. Pada variasi suhu *annealing* 350 °C memiliki tinggi puncak yang cukup rendah. Selain menunjukkan banyaknya bidang atom yang berbeda, hal tersebut disebabkan oleh kemunculan dua puncak baru milik Ga. Tinggi intensitas pada suhu *annealing* 450 °C memiliki tinggi yang tidak jauh berbeda dengan tinggi intensitas pada suhu *annealing* 250 °C. Hal tersebut disebabkan kedua film tipis sama-sama tidak terdapat puncak Ga.

Pertambahan suhu *annealing* juga menyebabkan nilai *d-spacing* dan parameter kisi menjadi semakin besar, meski nilainya tidak terlalu jauh berbeda. Nilai FWHM pada suhu *annealing* 250 °C memiliki nilai yang kecil. Nilai FWHM yang kecil diasumsikan bahwa kristal memiliki *grain boundary* yang kecil sehingga membuat kualitas film menjadi baik. *Grain boundary* merupakan daerah yang membatasi antar kristal tunggal (Astuti *et al.*, 2018). Kristal pada suhu *annealing* 350 °C memiliki nilai FWHM yang cukup besar. Pada suhu *annealing* 450 °C, nilai FWHM kembali menurun. Hal tersebut menunjukkan suhu *annealing* yang berbeda dapat mempengaruhi kualitas kristal. Akan tetapi, nilai FWHM tersebut memiliki

nilai yang masih lebih besar dibandingkan dengan film tipis tanpa *treatment annealing* (Sulhadi *et al.*, 2015).

Tabel 4. 2 Parameter karakteristik nilai FWHM, ukuran kristal (D), regangan kisi (ϵ), tegangan kisi (σ), kerapatan dislokasi (ρ) dan panjang ikatan Zn-O (L) film tipis ZnO doping Ga variasi suhu *annealing* pada puncak orientasi bidang (002).

T <i>annealing</i> (°C)	FWHM (°)	D (nm)	ϵ (%)	σ (Gpa)	ρ (garis.nm ⁻²)	L (Å)
250	0,41	65,77	5,71 x10 ⁻³	-1,330	1,16x10 ⁻³	1,298
350	0,46	58,41	6,45 x10 ⁻³	-1,502	1,47 x10 ⁻³	1,299
450	0,43	62,19	6,08 x10 ⁻³	-1,418	1,30 x10 ⁻³	1,302

. Tabel 4.2 menunjukkan hasil analisis dari pengaruh suhu *annealing* terhadap keadaan kristal film tipis pada orientasi puncak (002). Pertambahan suhu *annealing* menyebabkan perbedaan terhadap nilai FWHM. Nilai FWHM dapat berpengaruh terhadap ukuran kristal. Nilai FWHM yang kecil menyebabkan ukuran kristal menjadi lebih besar. Ukuran kristal yang lebih besar menyebabkan regangan kisi menjadi lebih kecil. Nilai ukuran kristal berbanding terbalik dengan regangan kisi sebab penambahan ukuran kristal menyebabkan jarak antar bidang atom (*d-spacing*) menjadi lebih pendek dan membuat kisi menjadi lebih rapat/ *stress* sehingga nilai regangan kisi menurun. Hal tersebut secara tidak langsung menyatakan bahwa regangan kisi berbanding terbalik dengan tegangan kisi. Regangan kisi dan tegangan kisi mempengaruhi kerapatan dislokasi. Kerapatan dislokasi dinyatakan dalam panjang garis dislokasi per satuan luas kristal. Dislokasi menunjukkan adanya ketimpangan orientasi pada kristal yang tumbuh sehingga terdapat suatu deretan atom tambahan ataupun deretan yang kurang. Keadaan tersebut dapat merusak susunan atom-atom yang ada dalam kristal. Tabel 4.2 menunjukkan nilai kerapatan dislokasi

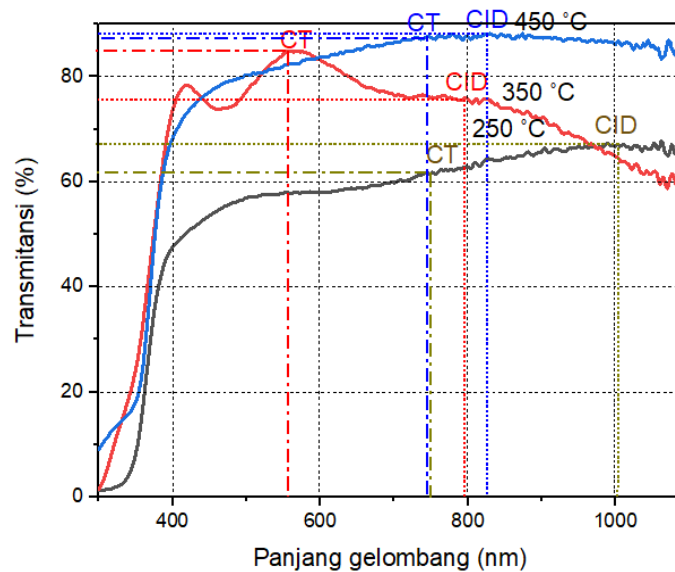
yang cukup kecil. Nilai tersebut berarti bahwa ketimpangan atom yang terjadi hanya sedikit sekali yaitu sepanjang 0,00130 baris - 0,00147 baris dalam setiap nm^2 luasan kristal. Dengan kata lain, setiap 1 nm^2 pada luasan kristal hanya terjadi dislokasi sepanjang 0,00130 baris - 0,00147 baris.

Panjang ikatan Zn-O meningkat dengan meningkatnya suhu *annealing*. Nilai tersebut memiliki panjang lebih pendek jika dibandingkan dengan hasil penelitian Aryanto (2017) dan Ilichan (2008) yang melaporkan bahwa panjang ikatan Zn-O adalah $1,97 \text{ \AA}$ dalam sel satuan ZnO dan atom tetangga. Karya lainnya oleh (Fang *et. al.*, 2014) juga melaporkan Zn-O memiliki panjang ikatan $1,97 \text{ \AA}$. Panjang ikatan Zn-O yang kecil dapat disebabkan kuantitas substitusi atom Ga yang menggantikan posisi Zn-O menjadi semakin banyak.

Perbedaan struktur kristal dari hasil karakterisasi XRD disebabkan oleh atom-atom yang telah terdeposisi mengalami *re*-kristalisasi sehingga membuat atom-atom memiliki peluang untuk berubah pada keadaan suhu tertentu (Sugianto *et al.*, 2016).

4.2 Karakterisasi Spektrometer UV-Vis

Nilai transmitansi dari film yang dihasilkan dikarakterisasi dengan menggunakan Spektrometer UV-Vis. Pengukuran dilakukan pada rentang panjang gelombang 300 - 1000 nm. Dari hasil pengukuran diperoleh grafik transmitansi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Transmittansi optik film tipis ZnO doping Ga dengan variasi Suhu *Annealing*

Gambar 4.2 menunjukkan grafik pengaruh suhu *annealing* terhadap nilai transmittansi. Suhu *annealing* yang semakin tinggi menyebabkan nilai transmittansi menjadi meningkat. Nilai transmittansi yang tinggi muncul pada rentang panjang gelombang cahaya tampak (CT) dan panjang gelombang inframerah dekat (CID). Transmittansi yang cukup tinggi pada panjang gelombang tersebut membuat film tipis ini dapat diaplikasikan *window layers* pada sel surya (Parthiban *et al.*, 2009; Ma *et al.*, 2008). Nilai transmittansi pada panjang gelombang cahaya tampak ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan nilai transmittansi pada panjang gelombang inframerah dekat ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Nilai transmittansi dari hasil karakterisasi spektrometer Uv-Vis pada rentang panjang gelombang cahaya tampak.

T <i>annealing</i> (°C)	λ (nm)	Trans _{CT} (%)
250	744	61,7
350	560	84,9
450	746	87,7

Tabel 4. 4 Nilai transmitansi dari hasil karakterisasi spektrometer Uv-Vis pada rentang panjang gelombang cahaya inframerah dekat.

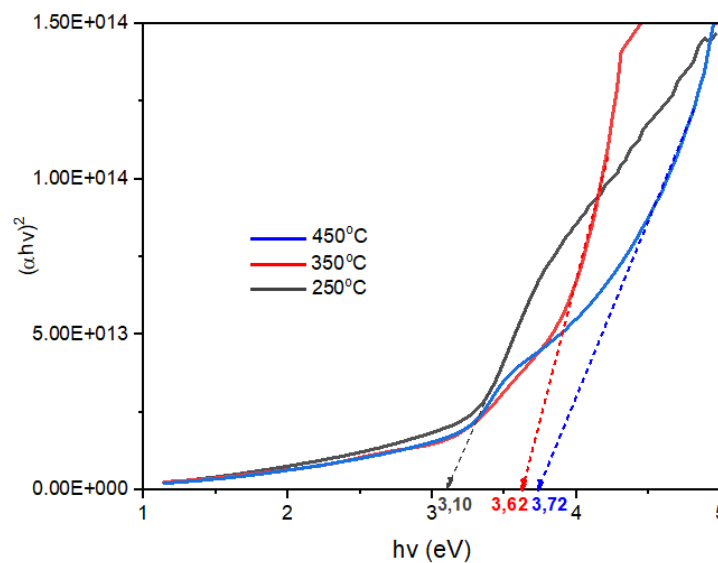
T <i>annealing</i> (°C)	λ (nm)	TransCID (%)
250	1,062	67,8
350	798	75,9
450	830	88,2

Tabel 4.3 dan 4.3 menunjukkan pengaruh suhu *annealing* terhadap nilai transmitansi pada panjang gelombang yang berbeda. Variasi suhu *annealing* 250 °C memiliki nilai transmitansi yang cukup rendah. Nilai transmitansi yang rendah disebabkan oleh permukaan film yang tidak rata atau tidak homogen sehingga banyak bidang pemantul yang membuat banyak sinar datang tereflektasikan dan sedikit ditransmisikan (Muchuwani *et al.*, 2018). Meskipun memiliki transmitansi yang rendah, film tipis pada suhu *annealing* tersebut tetap dapat meneruskan cahaya tampak dan cahaya inframerah dekat. Hal tersebut disebabkan oleh nilai transmitansi yang mulai naik pada panjang gelombang cahaya tampak dan terus naik pada panjang gelombang inframerah dekat.

Pada suhu *annealing* 350 °C, nilai transmitansi mulai tinggi. Nilai transmitansi mulai tinggi pada panjang gelombang cahaya tampak namun mulai turun pada panjang gelombang inframerah dekat. Nilai transmitansi tersebut mengindikasikan bahwa film tipis yang dihasilkan dapat meneruskan cahaya tampak dan memantulkan sinar inframerah dekat.

Nilai transmitansi yang dihasilkan pada suhu *annealing* 450 °C memiliki nilai yang tergolong tinggi. Selain itu, film tipis dengan variasi suhu *annealing* 450 °C dapat meneruskan cahaya tampak dan cahaya inframerah.

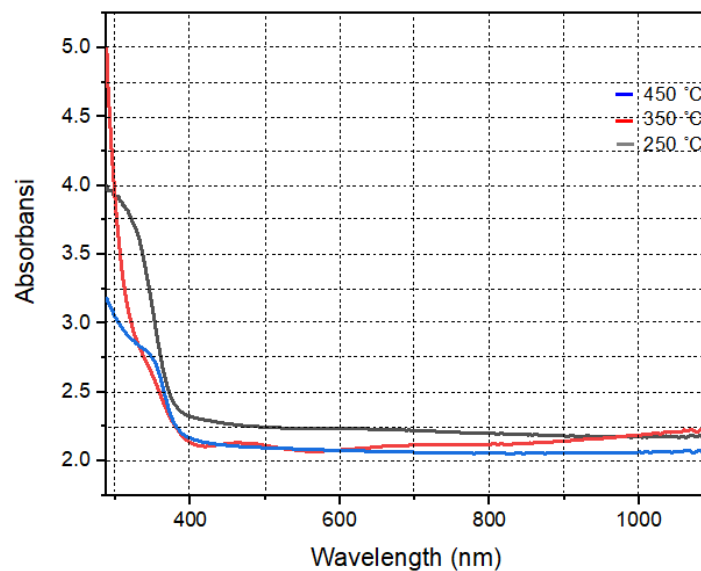
Film tipis penelitian ini memiliki tebal film $5,84 \times 10^{-7}$ m.. Perhitungan secara rinci dapat dilihat pada lampiran 7. Selanjutnya, panjang tebal film tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai koefisien absorpsi. Koefisien absorpsi digunakan sebagai parameter untuk memperoleh nilai *band gap*. *Band gap* diperoleh dengan metode *tauc* plot yaitu dengan memplotkan grafik antara $(\alpha h\nu)^2$ terhadap $h\nu$.



Gambar 4.3 *Band gap* film tipis ZnO doping Ga dengan variasi suhu *annealing*

Gambar 4.3 merupakan plot grafik untuk memperoleh energi *band gap*. Dari plot grafik tersebut dihasilkan nilai *band gap* pada variasi suhu *annealing* 250 °C, 350 °C dan 450 °C berturut-turut 3,10 eV, 3,62 eV dan 3,72 eV. Menurut Sinaga (2009), film tipis yang dapat diaplikasikan sebagai *window layer* memiliki *band gap* antara 2,5 – 4,5 eV. Nilai energi *band gap* yang diperoleh pada penelitian ini dirasa dapat memenuhi rentang tersebut bahkan memiliki nilai yang masih tergolong besar. Film tipis dengan energi *band gap* yang besar menunjukkan bahwa cahaya lebih leluasa untuk diteruskan dan menguntungkan jika digunakan sebagai *window layer* sebab akan lebih banyak cahaya yang ditransmisikan pada

film tipis yang dibuat. Nilai energi *band gap* pada penelitian ini memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan film tipis tanpa *treatment annealing* (Sulhadi *et al.*,2015). Hal tersebut menunjukkan bahwa *treatment annealing* berhasil untuk memperbaiki sifat optik pada film tipis.



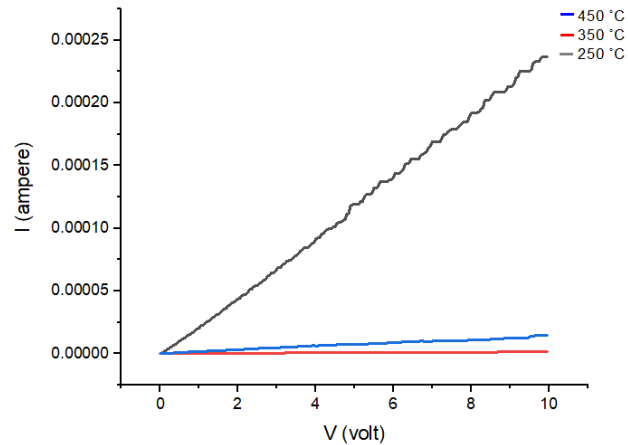
Gambar 4.4 Absorbansi Optik Film Tipis ZnO doping Ga dengan Variasi Suhu *Annealing*

. Gambar 4.4 merupakan grafik absorbansi optik dengan variasi suhu *annealing* pada rentang panjang gelombang 300 – 1000 nm. Pada grafik tersebut menunjukkan bahwa pada panjang gelombang <400 nm merupakan daerah penyerapan cahaya. Pada panjang gelombang tersebut menunjukkan bahwa cahaya ultraviolet dan cahaya tampak yang melewati film tipis akan banyak yang diserap. Pada panjang gelombang >400 nm, daerah penyerapan mulai turun secara kontinu yang menunjukkan bahwa sedikit sekali cahaya tampak dan cahaya inframerah dekat yang diserap dan lebih banyak cahaya yang ditransmisikan oleh film tipis.

4.3 Karakterisasi I-V meter

Sifat listrik film tipis ZnO doping Ga dapat diketahui dengan karakterisasi menggunakan I-V meter dengan metode *two-probe* yang

terangkai dengan PC. Hasil pengukuran yang dilakukan dengan metode *two point probe*, selanjutnya diplotkan antara nilai arus (I) terhadap (V) sehingga menjadi grafik seperti Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Grafik hasil karakterisasi film tipis dengan I-V meter variasi suhu *annealing*

Gambar 4.5 menunjukkan grafik hubungan arus dan tegangan. Nilai konduktivitas dan resistivitas film tipis ZnO doping Ga ditentukan berdasarkan kemiringan plot linier dari grafik I-V meter. Kemiringan dengan sudut maksimal 45° memiliki nilai konduktivitas yang besar. Nilai konduktivitas yang besar dapat berpengaruh terhadap penurunan nilai resistivitas.

Tabel 4. 5 Hasil karkaterisasi film tipis ZnO doping Ga dengan metode *two point probe* berdasarkan variasi Suhu *Annealing*

$T_{annealing}$ (°C)	ρ (Ωcm)	σ (Ωcm) ⁻¹
250	$2,58 \times 10^4$	$3,04 \times 10^{-5}$
350	$4,40 \times 10^6$	$1,79 \times 10^{-7}$
450	$3,54 \times 10^5$	$2,22 \times 10^{-6}$

Dari Tabel 4.3 menunjukkan hubungan suhu *annealing* terhadap nilai resistivitas dan nilai konduktivitas. *Treatment annealing* pada suhu 250 °C didapatkan nilai resistivitas yang rendah. Resistivitas dapat dipengaruhi oleh dislokasi. Hal ini didukung oleh data hasil karakterisasi XRD pada Tabel 4.2. Penurunan resistivitas dapat dikaitkan dengan perbesaran ukuran kristal. Ukuran kristal yang semakin besar membuat jarak antar *grain* menjadi lebih dekat sehingga potensi penghalang antar *grain* semakin kecil. Hal tersebut menyebabkan proses transfer elektron menjadi lebih cepat (Widyaswari *et al.*, 2016).

Nilai resistivitas film tipis yang *diannealing* pada suhu 350 °C memiliki nilai resistivitas yang besar. Peningkatan resistivitas tersebut dapat disebabkan oleh oksidasi yang berlebih (Sinaga *et al.* 2009).

Pada suhu *annealing* 450 °C, nilai resistivitas kembali turun. Dari penurunan resistivitas tersebut dapat ditunjukkan bahwa kondisi *treatment* panas tertentu dapat mempengaruhi sifat listrik dari film tipis. Penurunan nilai resistivitas yang cukup besar seiring pertambahan suhu *annealing* mengkonfirmasi sifat semikonduktor pada film tipis (Anita *et.al.*, 2019). Dibandingkan dengan film tipis ZnO doping Ga tanpa *treatment annealing*, nilai konduktivitas pada penelitian ini masih tergolong lebih kecil (Sulhadi *et al.*, 2015).

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa pemberian *treatment* suhu *annealing* yang berbeda dapat mempengaruhi struktur kristal, sifat optik dan sifat listrik pada film tipis ZnO:Ga. Variasi *treatment annealing* pada suhu rendah mempengaruhi struktur kristal dan sifat listrik film tipis ZnO doping Ga. Perbaikan struktur kristal ditandai dengan kemunculan puncak dominan pada orientasi *hkl* (002) yang dapat diaplikasikan sebagai *window layers* pada sel surya disertai dengan perbesaran ukuran kristal dan pengecilan nilai FWHM, *d-spacing*, panjang ikatan Zn-O(L), *lattice strain*(ϵ), serta kerapatan dislokasi(ρ). Sifat listrik ditunjukkan melalui nilai resistivitas yang kecil $2,58 \times 10^4 \Omega\text{cm}$. Variasi *annealing* pada suhu tinggi membuat sifat optik pada energi *band gap* menjadi lebih besar hingga mencapai 3,72 eV. Dibandingkan dengan penelitian tanpa *treatment annealing*, pada penelitian ini hanya dapat memperbaiki sifat optik pada nilai *band gap* dan belum dapat memperbaiki struktur kristal dan sifat listrik.

5.2 Saran

Penelitian lebih lanjut perlu dikembangkan pada film tipis ZnO doping Ga (2%) dengan parameter suhu *annealing* 450°C untuk diaplikasikan sebagai bahan *window layer* sel surya dan *Transparent Conducting Oxide* (TCO).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdussamad, S., & Abdullah, R. K. (2017). Rancang Bangun Solar Tracking Berbasis Arduino Uno. *Jurnal Cosphi*, 1(2).
- Adamopoulos, G., Bashir, A., Gillin, W. P., Georgakopoulos, S., Shkunov, M., Baklar, M. A., ... & Anthopoulos, T. D. (2011). Structural and electrical characterization of ZnO films grown by spray pyrolysis and their application in thin-film transistors. *Advanced Functional Materials*, 21(3), 525-531.
- Akhmal Saadon, S., Sathishkumar, P., Mohd Yusoff, A. R., Hakim Wirzal, M. D., Rahmalan, M. T., & Nur, H. (2016). Photocatalytic activity and reusability of ZnO layer synthesised by electrolysis, hydrogen peroxide and heat treatment. *Environmental technology*, 37(15), 1875-1882.
- Akin, N., Kinaci, B., Ozen, Y., & Ozcelik, S. (2017). Influence of RF power on the opto-electrical and structural properties of gallium-doped zinc oxide thin films. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(10), 7376-7384.
- Alfarisa, S., Rifai, D. A., & Toruan, P. L. (2018). Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO). *Risalah Fisika*, 2(2), 53-57.
- An, H. R., Ahn, H. J., & Park, J. W. (2015). High-quality, conductive, and transparent Ga-doped ZnO films grown by atmospheric-pressure chemical-vapor deposition. *Ceramics International*, 41(2), 2253-2259.
- Andriyani, m. (2019). *Penggunaan Teknologi Uv-Vis Spectroscopy dan Metode Simca untuk Diskriminasi Tiga Kopi Robusta Lampung berdasarkan Jenis Pupuk*. Skripsi. Bandar Lampung: Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
- Anitha, M., Saravanakumar, K., Anitha, N., Kulandaisamy, I., & Amalraj, L. (2019). Influence of annealing temperature on physical properties of Sn-doped CdO thin films by nebulized spray pyrolysis technique. *Materials Science and Engineering: B*, 243, 54-64.

- Aryani, N. P. (2011). *Pengaruh Doping Cu terhadap Struktur dan Sifat Optik Film Tipis CdTe yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Semarang).
- Aryanto, D., Husniya, N., Sudiro, T., & Hastuti, E. (2017). Perlakuan Panas Ganda pada Fabrikasi Film Tipis AZO Nanokristal dengan Teknik Spray: Studi XRD [Double Heat Treatments On The Fabrication Of Nanocrystalline Azo Thin Films By Spray Technique: XRD Studies]. *Metalurgi*, 32(2), 45-52.
- Aryanto, D., Jannah, W. N., Sudiro, T., Wismogroho, A. S., Sebayang, P., & Marwoto, P. (2017). Preparation and structural characterization of ZnO thin films by sol-gel method. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 817, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
- Aryanto, D., Sugianto, S., Marwoto, P., & Sulhadi, S. (2018). Karakterisasi Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis Zinc Oxide Didoping Gallium dan Aluminium. *Jusami/ Indonesian Journal of Materials Science*, 15(3), 129-132.
- Astuti, B., Mahmudah, S. N., Marwoto, P., Ariyanto, D., & Wibowo, E. (2018). Oxygen Effect in Annealing Process of Aluminium Doped Zinc Oxide Films. *EDUCATUM Journal of Science, Mathematics and Technology (EJSMT)*, 5(2), 33-39.
- Astuti, S. Y. (2011). *Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis CdTe:Cu yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Appani, S. K., Rayapati, S. V., Sutar, D. S., & Major, S. S. (2018). Study of transparent conducting Ga-doped ZnO films grown by reactive co-sputtering of Zn and GaAs. In *AIP Conference Proceedings* 1942(1),120009.
- Bagher, A. M., Vahid, M. M. A., & Mohsen, M. (2015). Types of solar cells and application. *American Journal of optics and Photonics*, 3(5), 94-113.

- Benramache, S., B. Benhaoua, & H. Bentrach. (2013). Preparation of Transparent, Conductive ZnO:Co and ZnO:In Thin Films by Ultrasonic Spray Method. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 3(54), 2-7.
- Bruncko, J., Šutta, P., Netrvalová, M., Michalka, M., & Vincze, A. (2019). Pulsed laser deposition of Ga doped ZnO films-Influence of deposition temperature and laser pulse frequency on structural, optical and electrical properties. *Vacuum*, 159, 134-140.
- Buyanova, I. A., Wang, X.J., Wang, W. M., Tu, C. W., & Chen, W. M.. (2009). Superlattices and Microstructure Effect of Ga Doping on Optical and Structural Properties of ZnO Epilayers. *Superlattices and Microstructures*. 45 : 4-5.
- Chen, J. T., J. Wang, R. F. Zhuo, D. Yan, J. J. Feng, F. Zhang, & P. X. Yan. (2009). The Effect of Al Doping on the Morphology and Optical Property of ZnO Nanostructures Prepared by Hydrothermal Process. *Applied Surface Science*, 255 : 3959 - 3964.
- Cleveland, J. S., Pope, R. M., & Fry, E. S. (1990). Spectral Absorbance Coefficients Measured with An Integrating Cavity Absorption Meter. *In Ocean Optics X. Vol. 1302, pp.176-178*.
- Coleman, V. A., & Jagadish, C. (2006). Basic properties and applications of ZnO. *In Zinc oxide bulk, thin films and nanostructures* (pp. 1-20).
- Dorranian, D., Dejam, L., & Mosayebian, G. (2012) Optical characterization of Cu₂N thin film with Swanepoel method. *Journal of Theoretical and Applied Physics*. 6(1), 13.
- Doyan, A., & Humaini, H. (2017). Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 3(1), 34-39
- Fang, D., Lin, K., Xue, T., Cui, C., Chen, X., Yao, P., & Li, H. (2014). Influence of Al doping on structural and optical properties of Mg–Al co-doped ZnO thin films prepared by sol–gel method. *Journal of Alloys and Compounds*, 589, 346-352.

- Fatiatun. (2015). *Pengaruh Suhu Deposisi terhadap Sifat Fisis Film Tipis Seng Oksida Doping Galium Oksida dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Firmahaya, N.A. (2018). *Pengaruh Waktu Annealing Terhadap Struktur Morfologi, Sifat Optik, dan Sifat Listrik Film Tipis ZnO:Al dengan Metode Dc Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Gromov, D. G., Koz'min, A. M., Shulyat'ev, A. S., Polomoshnov, S. A., Bogolyubova, D. N., & Shamanaev, S. V. (2013). Effect of the formation conditions on the properties of ZnO: Ga thin films deposited by magnetron-assisted sputtering onto a cold substrate. *Semiconductors*, 47(13), 1687-1691.
- Hardesty, J. H., & Attili, B. (2010). Spectrophotometry and the Beer-Lambert Law: An Important Analytical Technique in Chemistry. *Collin College, Department of Chemistry*.
- Hoefler, M. A., & Weinstein, M. I. (2011). Defect modes and homogenization of periodic Schrödinger operators. *SIAM Journal on Mathematical Analysis*, 43(2), 971-996.
- Hosono, H., Ohta, H., Orita, M., Ueda, K., & Hirano, M. (2002). Frontier of transparent conductive oxide thin films. *Vacuum*, 66(3-4), 419-425.
- Ikhmayies, S. J. (2017). Transparent Conducting Oxides for Solar Cell Applications. A. Sayigh (ed.), *Mediterranean Green Buildings & Renewable Energy*, DOI 10.1007/978-3-319-30746-6_70.
- Ilican, S., Caglar, Y., Caglar, M., & Yakuphanoglu, F. (2008). Structural, optical and electrical properties of F-doped ZnO nanorod semiconductor thin films deposited by sol-gel process. *Applied Surface Science*, 255(5), 2353-2359.
- Irawan, E. N., Muntini, M. S., Putra, A. M., Seetawan, T., Singsoog, K., Thawankaew, S., ... & Vora-Ud, A. (2019). Penggunaan Metode DC Magnetron Sputtering dalam Pembuatan Lapisan Tipis Tipe N (AZO) Sebagai Modul Termoelektrik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8(1), 1-6.

- Jen, S. U., Sun, H., Chiang, H. P., Chen, S. C., Chen, J. Y., & Wang, X. (2016). Optoelectronic properties and the electrical stability of Ga-doped ZnO Thin Films prepared via radio frequency sputtering. *Materials*, 9(12), 987.
- Joshi, C. (2003). *Characterization and Corrosion of BCC-Tantalum Coating Deposited on Aluminium and Steel Substrat by DC Magnetron Sputtering (thesis)*. New jersey: new jersey institute of Technology Press.
- Kahouli, M., Barhoumi, A., Bouzid, A., Al-Hajry, A., & Guermazi, S. (2015). Structural and optical properties of ZnO nanoparticles prepared by direct precipitation method. *superlattices and Microstructures*, 85, 7-23.
- Khanifah, L. (2018). *Pengaruh Waktu Annealing terhadap Struktur Kristal dan Morfologi Film Tipis Zinc Oxide Doping Gallium dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Kumarasinghe, P. K. K., Dissanayake, A., Pemasiri, B. M. K., & Dassanayake, B. S. (2017). Effect of post deposition heat treatment on microstructure parameters, optical constants and composition of thermally evaporated CdTe thin films. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 58, 51-60.
- Li, Y., Meng, J., (2014). Al-doping effects on structure and optical properties of ZnO nanostructures. *Materials Letters*, pp. 260-262.
- Lim, W. Q., Sim, L. K., Fazrina, N., & Maryam, W. (2017, May). Effect of post annealing temperature on photonic bandgap of ZnO nanorods grown by chemical bath deposition. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1838, No. 1, p. 020002). AIP Publishing.
- Ma, Q. B., Ye, Z. Z., He, H. P., Wang, J. R., Zhu, L. P., & Zhao, B. H. (2007). Substrate temperature dependence of the properties of Ga-doped ZnO films deposited by DC reactive magnetron sputtering. *Vacuum*, 82(1), 9-14.
- Ma, Q. B., Ye, Z. Z., He, H. P., Zhu, L. P., Huang, J. Y., Zhang, Y. Z., & Zhao, B. H. (2008). Influence of annealing temperature on the properties of transparent conductive and near-infrared reflective ZnO: Ga films. *Scripta Materialia*, 58(1), 21-24.

- Mahadik, M. A., S. S. Shinde, Y. M. Hunge, V. S. Mohite, S. S. Khumbhar, A. V. Moholkar, K. Y. Rajpure, & C. H. Bhosale. (2014). UV Assisted Photoelectrocatalytic Oxidation of Phthalic Acid Using Spray Deposition Al Doped Zinc Oxide Thin Films. *Journal of Alloys and Compounds an Interdisciplinary Journal of Materials Science and Solid-State Chemistry and Physics*. ISSN : 0925 - 8398.
- Mahmudah, S. N. (2016). *Pengaruh Tekanan Oksigen pada Proses Annealing Film Tipis Zinc Oksida (ZnO) Doping Aluminium (Al)*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Mahmudah, S. N., B. Astuti, Sugianto, & P. Marwoto. (2016). Pengaruh Tekanan Oksigen pada Proses Annealing terhadap Struktur dan Sifat Listrik Film Tipis Zinc Oksida Doping Aluminium (ZnO:Al). *Prosiding Seminar Nasional Quantum*. ISSN : 2477 - 1511.
- Marwoto, P. Struktur Morfologi dan Fotoluminisensi Film Tipis Ga₂O₃:Mn. (2009). *Prosiding Seminar Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. (Vol.299).
- Marwoto, P., Fatiatun, Sulhadi, Sugianto, & Aryanto, D. (2016). Effects of argon pressure on the properties of ZnO: Ga thin films deposited by DC magnetron sputtering. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1719, No. 1, p. 030016). AIP Publishing.
- Marwoto, P., Khanifah, L., Astuti, B., & Wibowo, E. (2019, October). Influence of annealing time on the morphology and oxygen content of ZnO: Ga thin films. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1321, No. 2, p. 022020). IOP Publishing.
- Marwoto, P., N. M. Darmaputra, Sugianto, Z. Othaman, E. Wibowo, & S. Y. Astuti. (2012). Peningkatan Kualitas Film Tipis CdTe sebagai Absorber Sel Surya dengan Menggunakan Doping Tembaga (Cu). *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 8 : 215 - 221.
- Marwoto, P., Sulhadi, Sugianto, D. Aryanto, E. Wibowo, & K. Wahyuningsih. (2014). Room-Temperature Deposition of ZnO Thin Films by Using DC Magnetron Sputtering. *Advanced Materials Research*, 896 : 237 - 240.

- Marwoto, P., Suprayogi, D., Wibowo, E., & Aryanto, D. (2014). Influence of the Concentration of Ga-doped on the Structural and Optical Properties of ZnO Thin Films.
- Mishra, A., Mohapatra, S., Gouda, H. S., & Singh, U. P. (2016, May). Fabrication and characterization of pristine and annealed Ga doped ZnO thin films using sputtering. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1728, No. 1, p. 020495). AIP Publishing.
- Mitayani, M. (2013). *Struktur dan sifat optik film tipis CdS Doping Zn yang ditumbuhkan dengan DC Magnetron sputtering* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Semarang).
- Morkoc. H & U. Ozgur. (2009). *Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ISBN: 978-3-527-40813-9.
- Muchuwani, E., Sathiaraj, T. S., & Nyakoty, H. (2018). Effect of annealing on the microstructural, optical and electrical properties of ZnO nanowires by hydrothermal synthesis for transparent electrode fabrication. *Materials Science and Engineering: B*, 227, 68-73.
- Nafees, M., W. Liaqut, S. Ali, & M. A. Shafique. (2013). Synthesis of ZnO/Al:ZnO Nanomaterial: Structural and Band Gap Variation in ZnO Nanomaterial by Al Doping. *Appl Nanosci*, 3 : 49 - 55.
- Novita, S., Iwantono, I., & Awidrus, A. (2017). Karakterisasi Sifat Optik Dan Morfologi Nanorod Zno Yang Didoping Galium (ZnO; Ga). *Komunikasi Fisika Indonesia*, 14(1), 939-944.
- Özgür, Ü., Alivov, Y. I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. A., Doğan, S., ... & Morkoç, H. (2005). A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Journal of applied physics*, 98(4), 11.
- Panigrahi, M. R., & Devi, M. (2019, March). Variation of Optical and Electrical Properties of Zr Doped TiO₂ Thin Films with Different Annealing Temperatures. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1172, No. 1, p. 012046). IOP Publishing.

- Park, S. M., Ikegami, T., & Ebihara, K. (2006). Effects of substrate temperature on the properties of Ga-doped ZnO by pulsed laser deposition. *Thin Solid Films*, 513(1-2), 90-94.
- Parthiban, S., Gokulakrishnan, V., Ramamurthi, K., Elangovan, E., Martins, R., Fortunato, E., & Ganesan, R. (2009). High near-infrared transparent molybdenum-doped indium oxide thin films for nanocrystalline silicon solar cell applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93(1), 92-97.
- Pessoa, R. S., Fraga, M. A., Santos, L. V., Galvão, N. K. A. M., Maciel, H. S., & Massi, M. (2015). Plasma-assisted techniques for growing hard nanostructured coatings: An overview. In *Anti-Abrasive Nanocoatings* (pp. 455-479). Woodhead Publishing.
- Raharjo, M. (2009). *Struktur Kristal, Sifat Listrik (Resistivitas), dan Sifat Optik Film Tipis ZnO dengan Doping Al yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Saadon, S., Gaillard, L., Giroux-Julien, S., & Ménézo, C. (2016). Simulation study of a naturally-ventilated building integrated photovoltaic/thermal (BIPV/T) envelope. *Renewable Energy*, 87, 517-531.
- Sali, S., Boumaour, M., & Tala-Ighil, R. (2008). Preparation and characteristic of low resistive zinc oxide thin films using chemical spray technique for solar cells application The effect of thickness and temperature substrate. *Revue des Energies Renouvelables CICME*, 8, 201-207.
- Saragih, H., Hasniah, E. Sustini, & Sukirno. (2010). Studi Sifat Termal Prekursor In(TMHD)₃ untuk Menumbuhkan Lapisan Tipis In₂O₃ dengan Teknik MOCVD. *Berkala Fisika*, Vol.13 (1) : 19 - 26.
- Sakthivel, P., Murugan, R., Asaithambi, S., Karuppaiah, M., Rajendran, S., & Ravi, G. (2018). Influence of radiofrequency power on structural, morphological, optical and electrical properties of magnetron sputtered CdO: Sm thin films as alternative TCO for optoelectronic applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 765, 146-157.

- Sbeta, M., Atilgan, A., Atli, A., & Yildiz, A. (2018). Influence of the spin acceleration time on the properties of ZnO: Ga thin films deposited by sol-gel method. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 86(2), 513-520.
- Schoder, K.D.(1990). *Semiconductor Material and Device Characterization*. Canada: Jhon wiley & sons, inc.
- Schroder, K.D.(2006).*Semiconductor material and device characterization*. Canada: John Wiley & Sons, inc.
- Setyawan, L. B. (2018). Perkembangan dan Prospek Sel Fotovoltaik Organik: Sebuah Telaah Ilmiah. *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, 17(02), 93-100.
- Shi, L., Sordillo, L. A., Rodríguez-Contreras, A., & Alfano, R. (2016). Transmission in near-infrared optical windows for deep brain imaging. *Journal of biophotonics*, 9(1-2), 38-43.
- Sidopekso, S., & Febtiwiyanti, A. E. (2010). Studi peningkatan output modul surya dengan menggunakan reflektor. *Berkala Fisika*, 12(3), 101-104.
- Sim, K. U., S. W. Shin, A. V. Moholkar, J. H. Yun, J. H. Moon, & J. H Kim. (2010). Effects of Dopant (Al, Ga, and In) on the Characteristics of ZnO Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering System. *Current Applied Physics*, Vol.10 : 5463-5467.
- Sinaga, P. (2009). Pengaruh Temperatur Annealing terhadap Struktur Mikro, Sifat Listrik dan Sifat Optik dari Film Tipis Oksida Konduktif Transparan ZnO:Al yang Dibuat dengan Teknik Screen Printing. *Jurnal Pengajaran MIPA*, 14:2.
- Spinelli, P., Newman, B. K., & Polman, A. (2017). Photovoltaics: Light-Trapping in Crystalline Silicon and Thin-Film Solar Cells by Nanostructured Optical Coatings. *Nanotechnology for Energy Sustainability*, 163-180.
- Sugianto, S., Zannah, R., Mahmudah, S. N., Astuti, B., Wibowo, A. A., Marwoto, P., ... & Wibowo, E. (2016). Pengaruh Temperatur Annealing Pada Sifat Listrik Film Tipis Zinc Oksida Doping Aluminium Oksida. *Jurnal Mipa*, 39(2), 115-122.

- Suhail, M. H., & Hadi, F. Y. (2011). Design of DC planer magnetron sputter for preparing copper-oxide thin films. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(12), 1704-1709.
- Sulhadi, S., Fatiatun, F., Marwoto, P., Sugianto, S., & Wibowo, E. (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.
- Suprayogi, D. (2014). *Pengaruh Doping Galium Oksida pada Karakteristik Film Tipis Seng Oksida Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Supriyanto, E., Wiranto, G., Hermida, I. D. P., Budiman, M., Arifin, P., Sukirno, S., & Barmawi, M. (2019). Pengaruh Kandungan Co Terhadap Sifat Optik Film Tipis Tio₂-Co Yang Ditumbuhkan Dengan Metode Mocvd. *Jusami/ Indonesian Journal of Materials Science*, 227-231.
- Syamsul Hadi. (2013). *Deposisi Dan Karakterisasi Film Tipis Cds/Cdte:Cu Yang Ditumbuhkan Dengan Metode Dc Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Wahyuningsih, K. (2013). *Konduktivitas dan Transmittansi Film Tipis Zinc Oxide yang Dideposisikan pada Temperatur Ruang*. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Wahyuningsih, K., P. Marwoto, & Sulhadi. (2013). Konduktivitas dan Transmittansi Film Tipis Zinc Oxide yang Dideposisikan pada Temperatur Ruang. *Unnes Physics Journal*, Vol.2 (1).
- Wibowo, A. A., P. Marwoto, & Sulhadi. (2013). Analisis Struktur dan Sifat Optik Film Tipis Galium Oksida Doping Seng Oksida yang Dideposisikan Menggunakan Metode DC Magnetron Sputtering. *Unnes Physics Journal*, Vol.2 (2).
- Widuri, U. (2007). *Pengaruh Tekanan Gas Argon pada Penumbuhan Film Tipis Ga₂O₃ Doping Mn dengan Menggunakan Meode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang : FMIPA Unnes.

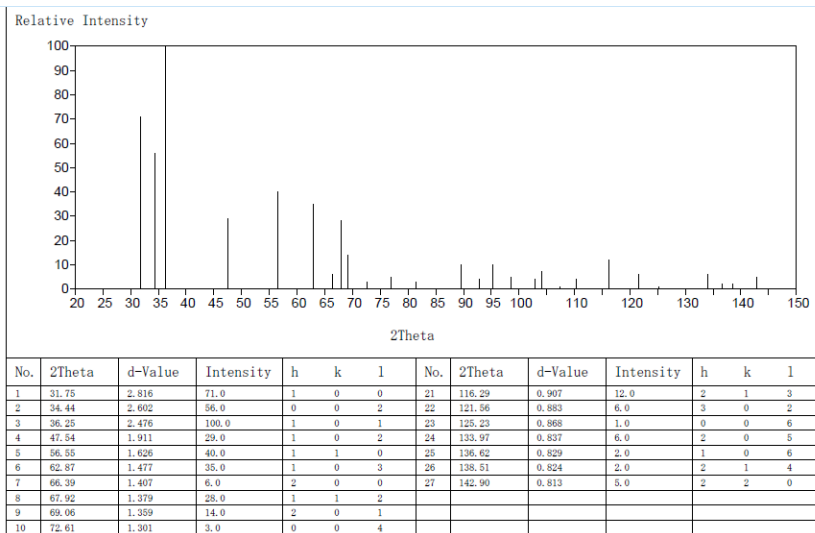
- Young, S. J., C.C. Yang, & L. T. Laia. (2017). Review : Growth of Al-, Ga-, and In-Doped ZnO Nanostructures via a Low-Temperature Process and Their Application to Field Emission Devices and Ultraviolet Photosensors. *Journal of The Electrochemical Society*, 164 (5) B3013-B3028.
- Yu, X., Ma, J., Ji, F., Wang, Y., Zhang, X., & Ma, H. (2005). Influence of annealing on the properties of ZnO: Ga films prepared by radio frequency magnetron sputtering. *Thin solid films*, 483(1-2), 296-300.
- Zannah, R. (2016). *Pengaruh Temperatur Annealing terhadap Struktur, Sifat Listrik, dan Sifat Optik Film Tipis Zinc Oxide Doping Aluminium (ZnO:Al) dengan Metode DC Magnetron Sputtering*. Skripsi. Semarang:FMIPA Unnes.

Lampiran 1

Data profil dan daftar puncak (*peak list*) karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) suhu *annealing* 250°C

No.	2-theta (deg)	Phase name	Chemical formula	DB card number
1	31.59(2)	Zincite_syn(1.0.0)	ZnO	00-005-0664
2	34.504(10)	Zincite_syn(0.0.2)	ZnO	00-005-0664
3	36.46(3)	Zincite_syn(1.0.1)	ZnO	00-005-0664
4	47.08(6)	Zincite_syn(1.0.2)	ZnO	00-005-0664
5	56.55(6)	Zincite_syn(1.1.0)	ZnO	00-005-0664
6	62.83(3)	Zincite_syn(1.0.3)	ZnO	00-005-0664
7	67.94(7)	Zincite_syn(1.1.2)	ZnO	00-005-0664

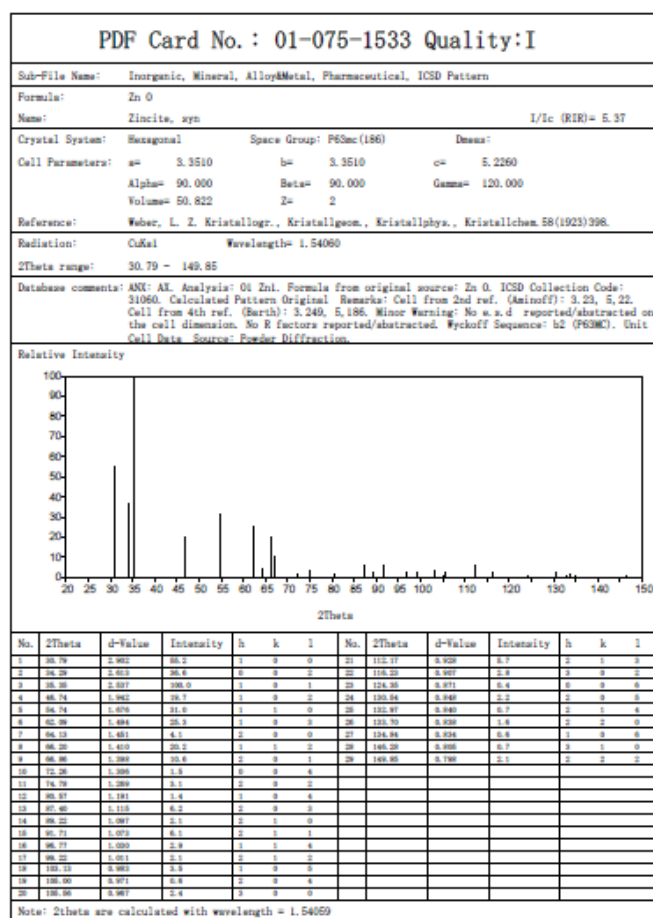
PDF Card No. : 00-005-0664 Quality:I			
Sub-File Name:	Inorganic, Mineral, Alloy&Metal, Ceramic, Common Phase, Forensic, NBS Pattern, Pharmace...		
Formula:	Zn O		
Name:	Zincite, syn	I/Ic (RIR) = 4.50	
Crystal System:	Hexagonal	Space Group: P63mc(186)	Dmeas: 5.660
Cell Parameters:	a= 3.2490	b= 3.2490	c= 5.2050
	Alpha= 90.000	Beta= 90.000	Gamma= 120.000
	Volume= 47.583	Z= 2	
Reference:	Swanson, Fuyat. Natl. Bur. Stand. (U. S.), Circ. 5392(1953)25.		
Radiation:	CuK α	Wavelength= 1.54050	
2Theta range:	31.75 - 142.90		
Database comments:	Additional Patterns: See PDF 00-036-1451. Analysis: Spectroscopic analysis: <0.001% each of Mg, Si and Ca. Melting Point: 1943(10) K. Reflectance: Opaque mineral optical data on specimen from Sterling Hill, New Jersey, USA: R3R%=11.8, Disp.=Std. Sample Source or Locality: Sample from New Jersey Zinc Company, Sterling Hill, New Jersey, USA. Temperature of Data Collection: 299 K. Vickers Hardness Number: VHN100=190-219. Warning: Lines with abs(delta 2Theta)>0.06 DEG. Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.		



Lampiran 2

Data profil dan daftar puncak (*peak list*) karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) suhu *annealing* 350°C

No.	2-theta (deg)	Phase name	Chemical formula	DB card number
1	30.47(16)	Zincite, syn(1.0.0)	Zn O	01-075-1533
2	34.448(17)	Zincite, syn(0.2.1;Zincite, syn(0.0.2)	Zn O,Zn O	01-075-1533,00-036-14
3	35.418(15)	Zincite, syn(1.0.1)	Zn O	01-075-1533
4	35.35(3)	Zincite, syn(1.0.1);Zinc Oxide(1.1.1)	Zn O,Zn O	00-036-1451,04-003-99
5	41.31(4)	Zinc Oxide(2.0.0)	Zn O	04-003-9980
6	45.52(3)	Unknown	Unknown	0
7	47.57(9)	Zincite, syn(1.0.2);Zincite, syn(1.0.2)	Zn O,Zn O	01-075-1533,00-036-14
8	50.26(3)	Unknown	Unknown	0
9	60.54(3)	Zinc Oxide(2.2.0)	Zn O	04-003-9980
10	63.06(5)	Zincite, syn(1.0.3);Zincite, syn(1.0.3)	Zn O,Zn O	01-075-1533,00-036-14
11	97.27(8)	Zincite, syn(1.1.2)	Zn O	00-036-1451

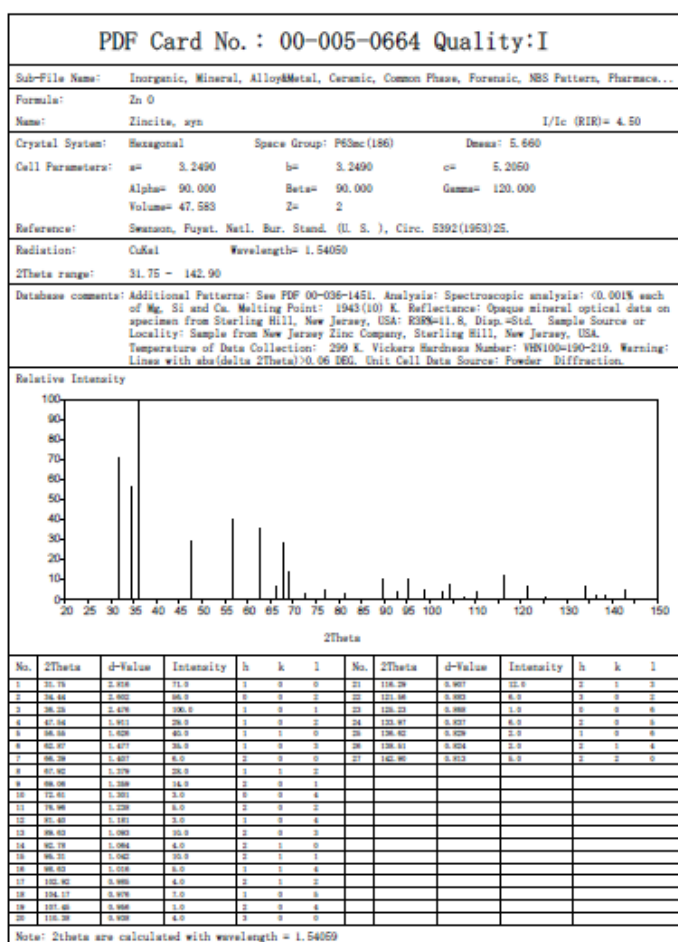


PDF Card No. : 00-036-1451 Quality:S													
Sub-File Name: Inorganic, Mineral, Alloy/Metal, Ceramic, Common Phase, Educational Pattern, Forensic, ...													
Formula: Zn O													
Name: Zincite, syn I/Ic (RIR)= ---													
Crystal System: Hexagonal Space Group: P63mc(186) Dmass:													
Cell Parameters: a= 3.2498 b= 3.2498 c= 5.2066													
Alpha= 90.000 Beta= 90.000 Gamma= 120.000													
Volume= 47.622 Z= 2													
Reference: McMurdie, H., Morris, M., Evans, E., Paratzkin, E., Wong-Ng, W., Ettlinger, L., Hubbard...													
Radiation: CuK α Wavelength= 1.54060													
2Theta range: 31.77 - 142.92													
Database comments: Additional Patterns: To replace 00-005-0664 (5). See PDF 01-075-1526. General Comments: The structure was determined by Bragg (1) and refined by Abraham, Bernstein (2). A high pressure cubic NaCl-type of ZnO is reported by Bates et al. (3) and a cubic, sphalerite type is reported by Radziszewski, Schicht (4). Powder Data: References to other early patterns may be found in reference (5). Sample Source or Locality: The sample was obtained from the New Jersey Zinc Co., Bethlehem, Pennsylvania, USA. Temperature of Data													
Relative Intensity													
No.	2Theta	d-Value	Intensity	h	k	l	No.	2Theta	d-Value	Intensity	h	k	l
1	31.77	2.914	97.0	1	0	0	21	116.29	0.907	3.0	2	1	2
2	36.42	2.603	44.0	0	0	2	22	121.97	0.893	4.0	3	0	2
3	38.25	2.476	39.0	1	0	1	23	123.18	0.889	1.0	0	0	0
4	47.04	1.913	23.0	1	0	2	24	123.93	0.827	3.0	2	0	0
5	56.90	1.623	32.0	1	1	0	25	126.32	0.829	1.0	1	0	0
6	62.98	1.477	26.0	1	0	2	26	128.51	0.824	2.0	2	1	0
7	66.29	1.407	4.0	2	0	0	27	132.92	0.812	3.0	2	2	0
8	67.66	1.379	23.0	1	1	2							
9	68.12	1.368	11.0	2	0	1							
10	72.68	1.262	2.0	0	0	4							
11	76.96	1.228	4.0	2	0	2							
12	87.37	1.102	1.0	1	2	4							
13	89.81	1.083	1.0	2	2	2							
14	92.78	1.064	3.0	2	1	0							
15	96.30	1.042	6.0	2	1	1							
16	96.81	1.038	4.0	1	1	4							
17	102.96	0.986	2.0	2	1	2							
18	104.12	0.977	3.0	1	0	4							
19	107.42	0.958	1.0	2	0	4							
20	115.38	0.939	3.0	3	0	0							
Note: 2theta are calculated with wavelength = 1.54059													

Lampiran 3

Data profil dan daftar puncak (*peak list*) karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) suhu *annealing* 450°C

No.	2-theta (deg)	Phase name	Chemical formula	DB card number
1	31.86(2)	Zincite, sym(1.0.0)	ZnO	00-005-0664
2	34.426(12)	Zincite, sym(0.0.2)	ZnO	00-005-0664
3	35.246(3)	Zincite, sym(1.0.1)	ZnO	00-005-0664
4	47.65(3)	Zincite, sym(1.0.2)	ZnO	00-005-0664
5	56.68(5)	Zincite, sym(1.1.0)	ZnO	00-005-0664
6	62.33(3)	Zincite, sym(1.0.3)	ZnO	00-005-0664
7	68.13(4)	Zincite, sym(1.1.2)	ZnO	00-005-0664



Lampiran 4

Menentukan struktur kristal film tipis ZnO:Ga puncak 002 (250°C)

1. Menentukan *d-spacing*

$$2d_{(hkl)} \sin \theta = n\lambda$$

$$d_{(hkl)} = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$d_{(hkl)} = \frac{1,1,541862}{2 \sin 17,28}$$

$$d_{(hkl)} = 2,597 \text{ \AA}$$

2. Menentukan parameter kekisi c

$$c = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

$$c (002) = \frac{1,541862}{\sin 17,28} = 5,190728 \text{ \AA}$$

3. Menentukan panjang ikatan Zn-O

$$L = \sqrt{\left(\frac{a^2}{3}\right) + \left\{\left(\frac{1}{2}\right) - u\right\}^2 c^2}; \quad u = \left(\frac{a^2}{3c^2}\right) + 0,25$$

$$L (002) = \sqrt{\left(\frac{0^2}{3}\right) + \left\{\left(\frac{1}{2}\right) - 0,25\right\}^2 5,190728^2}$$

$$L = 1,297682 \text{ \AA} = 0,1297682 \text{ nm}$$

4. Menentukan ukuran kristal

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

$$D (002) = \frac{0,9 \cdot 1,541862}{0,0071 \cos 17,28} = 657,6563 \text{ \AA} = 65,76563 \text{ nm}$$

5. Menentukan *lattice strain*

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta}$$

$$\varepsilon (002) = \frac{0,0071}{4 \tan 17,28} = 0,005709$$

6. Menentukan *lattice stress*

$$\sigma = -233 \text{ GPa} \times \varepsilon$$

$$\sigma (002) = -233 \times 0,005709 = -1,33012 \text{ GPa}$$

7. Menentukan kerapatan dislokasi

$$\rho = \frac{\sqrt{12}\varepsilon}{Dd}$$

$$\rho (002) = \frac{\sqrt{12} \cdot 0,005709}{65,76563 \cdot 2,5973} = 1,16 \times 10^{-3} \text{ line/nm}^2$$

Lampiran 5

Menentukan struktur kristal film tipis ZnO:Ga puncak 002 (350°C)

1. Menentukan Menentukan *d-spacing*

$$2d_{(hkl)} \sin \theta = n\lambda$$

$$d_{(hkl)} = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$d_{(hkl)} = \frac{1,1541862}{2 \sin 17,28}$$

$$d_{(hkl)} = 2,597 \text{ \AA}$$

2. Menentukan parameter kekisi c

$$c = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

$$c (002) = \frac{1,541862}{\sin 17,25} = 5,19948 \text{ \AA}$$

3. Menentukan panjang ikatan Zn-O

$$L = \sqrt{\left(\frac{a^2}{3}\right) + \left\{\left(\frac{1}{2}\right) - u\right\}^2 c^2}; \quad u = \left(\frac{a^2}{3c^2}\right) + 0,25$$

$$L (002) = \sqrt{\left(\frac{0^2}{3}\right) + \left\{\left(\frac{1}{2}\right) - 0,25\right\}^2 5,19948^2}$$

$$L = 1,29987 \text{ \AA} = 0,129987 \text{ nm}$$

4. Menentukan ukuran kristal

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

$$D(002) = \frac{0,9 \cdot 1,541862}{0,008011 \cos 17,25} = 584,1338 \text{ \AA} = 58,41338 \text{ nm}$$

5. Menentukan *Lattice Strain*

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta}$$

$$\varepsilon(002) = \frac{0,008011}{4 \tan 17,25} = 0,00645$$

6. Menentukan *Lattice Stress*

$$\sigma = -233 \text{ GPa} \times \varepsilon$$

$$\sigma(002) = -233 \times 0,00645 = -1,50284 \text{ GPa}$$

7. Menentukan Kerapatan Dislokasi

$$\rho = \frac{\sqrt{12}\varepsilon}{Dd}$$

$$\rho(002) = \frac{\sqrt{12} \cdot 0,00645}{58,41338 \cdot 2,6014} = 1,47 \times 10^{-3} \text{ line/nm}^2$$

Lampiran 6

Menentukan struktur kristal film tipis ZnO:Ga puncak 002 (450°C)

1. Menentukan *d-spacing*

$$2d_{(hkl)} \sin \theta = n\lambda$$

$$d_{(hkl)} = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$d_{(hkl)} = \frac{1,1,541862}{2 \sin 17,21}$$

$$d_{(hkl)} = 2,603 \text{ \AA}$$

2. Menentukan parameter kekisi c

$$c = \frac{\lambda}{\sin \theta}$$

$$c (002) = \frac{1,541862}{\sin 17,21} = 5,210317 \text{ \AA}$$

3. Menentukan panjang ikatan Zn-O

$$L = \sqrt{\left(\frac{a^2}{3}\right) + \left\{\left(\frac{1}{2}\right) - u\right\}^2 c^2}; \quad u = \left(\frac{a^2}{3c^2}\right) + 0,25$$

$$L (002) = \sqrt{\left(\frac{0^2}{3}\right) + \left\{\left(\frac{1}{2}\right) - 0,25\right\}^2 5,210317^2}$$

$$L = 1,302579 \text{ \AA} = 0,1302579 \text{ nm}$$

4. Menentukan ukuran kristal

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

$$D(002) = \frac{0,9 \cdot 1,541862 \text{ \AA}}{0,00754 \cos 17,21} = 621,9357975 \text{ \AA} = 62,9357975 \text{ nm}$$

5. Menentukan *lattice strain*

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4 \tan \theta}$$

$$\varepsilon(002) = \frac{0,00754}{4 \tan 17,21} = 0,006084$$

6. Menentukan *stress*

$$\sigma = -233 \text{ GPa} \times \varepsilon$$

$$\sigma(002) = -233 \times 0,006084 = -1,41767 \text{ GPa}$$

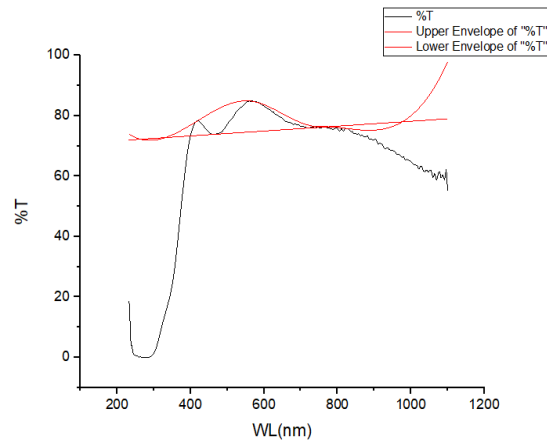
7. Menentukan kerapatan dislokasi

$$\rho = \frac{\sqrt{12} \varepsilon}{Dd}$$

$$\rho(002) = \frac{\sqrt{12} \cdot 0,006084}{62,19357975 \cdot 2,603} = 1,3 \times 10^{-3} \text{ line/nm}^2$$

Lampiran 7

Menghitung Ketebalan Film



$$\begin{aligned}
 b &= \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2 (\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1)} \\
 &= \frac{552.420}{2 (552.1,513031921 - 420.1,515805877)} \\
 &= 583,8176 \text{ nm} \\
 &= 5,838176 \times 10^{-7} \text{ m}
 \end{aligned}$$