

**PENGARUH KONSENTRASI PENAMBAHAN UNSUR Cu-AI
TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT OPTIK DARI
NANOSTRUKTUR ZnO**

SKRIPSI

Disusun untuk melengkapi syarat-syarat guna memperoleh gelar sarjana
sains



Mega Lialita Maharani

3225122056

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2016**

PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

"PENGARUH KONSENTRASI PENAMBAHAN UNSUR Cu-AI
TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT OPTIK DARI
NANOSTRUKTUR ZnO"

Nama : Mega Lialita Maharani
No Reg. : 3225122056

Nama Tanda Tangan Tanggal

Penanggung Jawab

Dekan : Prof. Dr. Suyono, M.Si
NIP. 19671218 199303 1 005



5/8-16

Wakil Penanggung Jawab

Pembantu Dekan I : Dr. Muktiningsih, M.Si
NIP. 19640511 198903 2 001

1/8-16

Ketua : Dr. rer.nat Bambang Heru Iswanto, M.Si
NIP. 19680401 199403 1 002

3/8-16

Sekretaris : Riser Fahdiran, M.Si
NIP. 19830717 200912 1 008

1/8-16

Anggota

Pembimbing I : Dr. Iwan Sugihartono, M.Si
NIP. 19791010 200801 1 018

29/7-16

Pembimbing II : Dr. Vivi Fauzia, M.Si
NIP. 19720118 199512 2 001

1/8-16

Penguji : Dr. Erfan Handoko, M.Si
NIP. 19730201 200312 1 002

28/7-16

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal : 25 Juli 2016

HALAMAN PERSEMBAHAN

Seluruh perjuangan untuk menyelesaikan karya tulis ini saya persembahkan untuk:

“Papa Djoko Triono (Alm) dan Mama Endang Sulastri. Terimakasih atas doa dan supportnya serta kasih sayang yang telah diberikan. Begitu besar kesabaran dan doa yang diberikan, sehingga saya dapat menyelesaikan studi ini. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan yang telah diberikan”

“Seluruh keluarga besar (Oktaviandry, Titah Handayani, Septy Triana Putri, M. Syaiful Huda) Terimakasih atas segala dukungan, doa dan hiburan yang telah diberikan.”

“Seluruh keluarga besar S.Siwopranoto. Terimakasih atas segala dukungan.”

“Seluruh keluarga Bapak Dr. H. Suryono dan Ibu H. Suryono. Terimakasih atas segala dukungan yang diberikan.”

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini, saya yang bertandatangan dibawah ini, mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta:

Nama : Mega Lialita Maharani

No. Reg. : 3225122056

Jurusan : Fisika

Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang saya buat dengan judul "PENGARUH KONSENTRASI PENAMBAHAN UNSUR Cu-AI TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN SIFAT OPTIK DARI NANOSTRUKTUR ZnO", adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan oleh saya sendiri, berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian pada bulan Januari – Mei 2016.
2. Bukan merupakan duplikat skripsi yang pernah dibuat oleh orang lain atau jiplakan karya tulis orang lain dan bukan terjemahan karya tulis orang lain.

Pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan saya bersedia menanggung segala akibat yang timbul jika pernyataan saya ini tidak benar

Jakarta, Juli 2016

Yang membuat pernyataan


Mega Lialita Maharani

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT berkat limpahan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, penyusunan proposal seminar skripsi yang berjudul “Pengaruh Konsentrasi Penambahan Unsur Cu-Al Terhadap Struktur Kristal Dan Sifat Optik Dari Nanostruktur ZnO” dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan proposal ini bertujuan untuk memenuhi syarat untuk melaksanakan Seminar Skripsi di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini tidak lepas dari adanya bimbingan, bantuan, dan kerjasama dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Iwan Sugihartono, M.Si selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, motivasi, nasehat, saran, dan kritik kepada penulis.
2. Dr. Vivi Fauzia M.Si selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, motivasi, saran, dan kritik kepada penulis.
3. Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta.
4. Umiatin, M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan, motivasi, saran, dan kritik kepada penulis.
5. Orang tua penulis (Djoko Triono dan Endang Sulastri) yang telah memberikan doa, nasehat, dukungan baik moril maupun materil kepada penulis.
6. Team penelitian ZnO (Upik Rahma, M.Pd, Ratih, Ayu, Endah, Lara).

7. Seluruh keluarga (Titah Handayani, Andri, Rini, Andre, Septy, Rajuan, M.Syaiful Huda) yang telah memberikan semangat kepada penulis.
8. Keluarga besar S.Siswopranoto yang telah memotivasi penulis.
9. Teman-teman seperjuangan Fisika 2012 yang telah memberikan motivasi dan dorongan semangat dan sekaligus doa kepada penulis.

Demikian beberapa ucapan terima kasih untuk memulai pembuatan proposal skripsi ini. Berharap kekurangan baik dalam penyajian materi dan teknik penulisan yang ada nantinya, dapat dijadikan bahan evaluasi kedepan, sehingga proposal ini dapat lebih baik dan lebih inovatif serta dapat dikembangkan.

Jakarta, Juli 2016

Penulis

ABSTRAK

MEGA LIALITA MAHARANI. Pengaruh Konsentrasi Penambahan Unsur Cu-Al terhadap Struktur Kristal dan Sifat Optik dari Nanostruktur ZnO. Skripsi, Jakarta: Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Jakarta. 2016

Telah dilakukan penumbuhan nanostruktur ZnO dengan dua tahapan yaitu tahap pendeposisian lapisan benih di atas substrat *Indium Tin Oxide* (ITO) menggunakan metode *Ultrasonic Spray Pyrolysis* dan tahap penumbuhan nanostruktur ZnO menggunakan metode hidrotermal. Nanostruktur ZnO disintesis dengan variasi penambahan unsur Cu (4 % dan 7 %) dan Al 4%. Karakterisasi nanostruktur ZnO berupa morfologi permukaan oleh *Scanning Electron Microscopy* (SEM), struktur kristal oleh *X-Ray Diffraction* (XRD), dan sifat optik oleh *Ultraviolet-Visible Spectroscopy* (UV-Vis) dan Fotoluminisen (PL). Hasil dari penelitian ini menunjukkan penambahan konsentrasi unsur Cu - Al membuat ukuran kristal dan densitas nanostruktur ZnO semakin besar. Penambahan konsentrasi unsur Cu-Al meningkatkan nilai *bandgap* nanostruktur ZnO. Hasil luminisen menjelaskan bahwa penambahan konsentrasi unsur Cu – Al menurunkan cacat alamiah yang ada di nanostruktur ZnO.

ABSTRACT

MEGA LIALITA MAHARANI. *Concentration Effect of Increasing Cu-Al on Crystal Structure and Optic Charateristic of ZnO Nanostructure.* Skripsi, Jakarta: Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Jakarta. 2016

Synthesis of ZnO nanostructure has done by two phases, they are deposition of layers on IndiumTin Oxide (ITO) substrat using UltrasonicSpray Pyrolysis(USP) method and synthesis of ZnO using hydrothermal method. ZnO nanostructure synthesized by doping variation of Cu (4% and 7%) and Al 4%. The characterization of ZnO nanostructure are structure morphology by Scanning ElectronMicroscop (SEM), crystal structure by X-Ray Diffraction (XRD) and optic characteristic by Ultraviolet-VisibleSpectroscopy UV-Vis and PL. The result shows increasing concentration doping Cu-Al make the size of crystal and density of ZnO nanostructure bigger. Increasing concentration doping Cu-Al increase band gap value ZnO nanostructure. Result of PL describes that increasing concentration doping Cu-Al decrease native defect of ZnO nanostructure.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	4
1.4 Perumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Seng Oksida (ZnO)	6
2.2 Struktur Nano ZnO.....	8
2.2.1 Metode Sintesis Struktur Nano ZnO.....	9
2.2.2 Struktur Kristal ZnO.....	13
2.3 Sifat Optik.....	14
2.4 Karakterisasi Nanostruktur.....	17
2.4.1 <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	17

2.4.2	XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>).....	18
2.4.3	Spectrometer <i>UV-VIS</i>	20
2.4.4	Fotoluminiesen (PL).....	21
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1	Tujuan Penelitian	23
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.3	Metode Penelitian.....	24
3.4	Prosedur Penelitian	24
3.4.1	Alat dan Bahan.....	24
3.4.2	Cara Kerja	26
3.5	Diagram Alir Penelitian	29
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1	Pengaruh Penambahan Unsur Cu–Al terhadap Struktur Morfologi Nanostruktur ZnO	30
4.2	Pengaruh Penambahan Unsur Cu – Al terhadap Struktur Kristal Nanoflake ZnO.....	32
4.3	Pengaruh Penambahan Unsur Cu – Al terhadap Sifat Optik Nanoflake ZnO..	35
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran.....	44
	DAFTAR PUSTAKA.....	45
	LAMPIRAN.....	50
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skematik metode <i>ultrasonic spray pyrolysis</i>	11
Gambar 2.2 Struktur Wurtzite dari ZnO	13
Gambar 2.3 Struktur kristal ZnO : (a) rocksalt, (b) zinc blends (c) wurtzite.....	14
Gambar 2.4 Ilustrasi pita celah.....	15
Gambar 2.5 Diagram hubungan % transmitansi dengan absorban	16
Gambar 2.6 Pantulan elastis dan pantulan non-elastis.....	18
Gambar 2.7 Difraksi Sinar-x	18
Gambar 2.8 Skema dasar proses alat spektrofotometer UV –Vis <i>diffuse reflectance</i>	20
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	29
Gambar 4.1 Gambar Hasil Uji SEM nanostruktur ZnO dengan variasi konsentrasi penambahan unsur Cu 4% - Al 4% dan Cu 7% - Al 4%.....	30
Gambar 4.2 Gambar Grafik Hasil Uji XRD nanoflake ZnO dengan variasi konsentrasi penambahan unsur Cu 4% - Al 4% dan Cu 7% - Al 4%.....	32
Gambar 4.3 Spektrum Absorbansi nanoflake ZnO dengan variasi penambahan unsur Cu – Al.....	35
Gambar 4.4 Spektrum Transmitansi nanoflake ZnO dengan variasi penambahan unsur Cu-Al	36
Gambar 4.5 Grafik hubungan F(R) dan panjang gelombang dengan variasi penambahan unsur Cu - Al.....	37
Gambar 4.6 Spektrum Reflektansi nanoflake ZnO dengan variasi penambahan unsur Cu – Al.....	38
Gambar 4.7 Grafik hasil perhitungan Tauc-Plot dari nanoflake dengan variasi penambahan unsur Cu-Al.....	39

Gambar 4.8 Spektrum fotoluminisen nanoflake ZnO dengan variasi penambahan unsur Cu – Al.....41

DAFTAR TABEL

<u>Tabel. 1</u> Sifat Umum ZnO.....	5
<u>Tabel. 2</u> Waktu dan Tempat Penelitian.....	19
<u>Tabel. 3</u> Alat yang di perlukan Alat yang di perlukan.....	20
<u>Tabel. 4</u> Bahan habis pakai.....	20
<u>Tabel. 5</u> Komposisi masing-masing larutan.....	22
<u>Tabel. 6</u> Data ukuran kristal nanoflake ZnO dengan variasi penambahan konsentrasi unsur Cu4% - Al4%.....	26
<u>Tabel. 7</u> Data ukuran kristal nanoflake ZnO dengan variasi penambahan konsentrasi unsur Cu7% - Al4%.....	26

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	50
Lampiran 2. Hasil Karakterisasi EDX	51
Lampiran 3. Hasil Karakterisasi XRD	52
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi <i>UV-VIS</i>	53
Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Fotoluminiesen (PL).....	55
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian.....	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanomaterial merupakan material yang mempunyai ukuran dalam skala nanometer, yaitu berkisar 1-100 nm^[1]. Nanomaterial menjadi material yang sangat menarik, karena material ini mempunyai keunggulan baik sifat kimia maupun sifat fisiknya dibandingkan dengan material yang berukuran mikro, selain itu material ini memiliki potensi yang besar dalam aplikasi *nanodevice*^[2]. Nanomaterial dengan orde satu dimensi diantaranya adalah *nanowire*, *nanotube*, dan *nanorods*^[3].

Nanostruktur adalah struktur berbentuk silinder seperti kawat, yang memiliki diameter kurang dari ratusan nanometer^[4]. Beberapa benang nano (*nanowire*) yang telah berhasil dibuat adalah *Si Nanowire*, *MgO Nanowire*, *ZnO Nanowire*, *InP Nanowire*, *GaS Nanowire*, dan *Ge Nanowire*^[5].

Di dalam teknik penumbuhan nanostruktur ada beberapa jenis material semikonduktor yang dapat digunakan, seperti GaN, Si, MgO, ZnO, InP, GaS, Ge^[6]. Diantara material tersebut, material ZnO mempunyai beberapa kelebihan. ZnO merupakan senyawa semikonduktor golongan II-VI yang mempunyai sifat elektronik dan fotonik penting karena memiliki stabilitas termal dan kimia yang baik, celah pita energi yang lebar (3,37 eV) pada suhu kamar dan energi ikat eksiton yang besar (60 meV), jika dibandingkan dengan GaN yang memiliki energi ikat eksiton (21 meV)^[7]. Besar energi *band gap*

atau celah pita energi ini adalah energi yang harus dimiliki elektron agar dapat bereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Semakin besar energi *band gap* membuat material ini semakin transparan di dalam daerah spektrum cahaya tampak. Jika energi gelombang cahaya tampak lebih kecil daripada *band gap* material ZnO, maka material ZnO ini akan tampak transparan. Material ZnO memiliki potensi cukup besar untuk diaplikasikan menjadi detector cahaya ultraviolet, sel surya, dan Light Emitting Diode (LED).

Beberapa teknik penumbuhan nanostruktur ZnO yang telah dilakukan diantaranya *high temperature chemical vapor deposition*, *low temperature chemical vapor deposition*, *chemical bath deposition (hydrothermal)*, *laser ablation*, *ultrasonic spray pyrolysis*, dan *physical vapour deposition*^[8]. Teknik penumbuhan nanostruktur yang telah dilakukan biasanya menggunakan sistem ruang hampa (*vacuum system*), dengan peralatan canggih, dan suhu yang tinggi (di atas 100°C). Pada penelitian ini akan digunakan metode *ultrasonic spray pyrolysis* dan *chemical bath deposition (hydrothermal)*, hal ini dikarenakan metode tersebut memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan metode yang lainnya yaitu: lebih mudah dilakukan, ekonomis, dan temperatur yang digunakan relatif rendah^[9]. Selain itu kita dapat mengatur kehomogenitas penumbuhan dengan Seng oksida (ZnO) dapat dimodifikasi karakteristiknya dengan cara penambahan unsur. Penelitian yang sebelumnya sudah dilakukan yaitu penambahan unsur tembaga (Cu) dilaporkan mempengaruhi orientasi pertumbuhan kristal^[12], menghasilkan luminisensi yang lebih kuat pada daerah biru dan ultraviolet^[13], mempengaruhi aktivitas fotokatalitik^[14], mengubah sifat feromagnetik dan

meningkatkan konstanta dielektrik serta menurunkan sifat antibakteri^[15]. Penambahan unsur Al dapat meningkatkan celah pita energy^[18], meningkatkan transmitansi cahaya pada daerah cahaya tampak^[19], dapat meningkatkan responsivitas dan *photocurrent* devais detektor UV^[20], meningkatkan *photocurrent* dalam devais sel surya^[21], dan menurunkan resistansi dan meningkatkan kecepatan transpor elektron^[22]. Selain menggunakan penambahan unsur tunggal, beberapa penelitian juga telah menggunakan penambahan unsur ganda pada ZnO, misalnya doping Mg dan Al^[16], doping Co dan Mn^[17], dan doping Cu dan Li^[12].

Berdasarkan kajian literatur tersebut, pada skripsi ini penulis menggunakan unsur Cu dan Al secara bersamaan dengan konsentrasi yang berbeda yaitu: Cu 4% - Al 4%, Cu 7% - Al 4%, yang diharapkan dapat menghasilkan sifat fisis unggul yaitu memiliki konduktivitas tinggi, optimalisasi emisi UV dan memiliki prefer orientasi yang optimal di 002.

Dalam skripsi ini, akan dilakukan studi nanostruktur ZnO yang akan ditumbuhkan pada substrat transparan konduktif Indium Tin Oxide (ITO) dengan metode *ultrasonic spray pyrolysis* untuk proses pembenihan dan metode *hydrothermal* untuk penumbuhan struktur nanostrukturnya. Selanjutnya, analisis terhadap struktur kristal, morfologi serta sifat optik dari nanostruktur ZnO.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka masalah yang dapat diidentifikasi diantaranya :

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi penambahan unsur Cu-Al terhadap morfologi, struktur kristal, dan sifat optik nanostruktur ZnO
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi penambahan unsur Cu-Al terhadap hasil karakteristik *scanning electron microscopy* (SEM), difraksi Sinar-X, *UV-VIS*, fotoluminesen (PL) nanostruktur ZnO.

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini penulis membatasi masalah pada hal-hal sebagai berikut :

1. Deposisi benih ZnO di atas permukaan substrat ITO dilakukan dengan metode *ultrasonic spray pyrolysis*, kemudian dilanjutkan dengan penumbuhan nanorod ZnO dengan metode *hydrothermal deposition*.
2. Eksperimen terdiri dari penumbuhan nanostruktur ZnO dengan variasi konsentrasi Cu 4%, 7% dan konsentrasi tunggal Al 4%.
3. Karakterisasi dibatasi pada tiga jenis karakterisasi, yaitu karakterisasi struktur kristal dilakukan dengan *X-Ray Diffraction (XRD)*, karakterisasi morfologi dengan *Scanning Electron (SEM)* dan karakterisasi sifat optik yang terdiri dari spektrum serapan, transmisi dan reflektansi optik dengan spektrometer UV-Vis serta spektrum emisi optiknya dengan *Photoluminesence*.

1.4 Perumusan Masalah

Penelitian penggunaan penambahan unsur tunggal pada nanostruktur ZnO telah banyak dilakukan dan menunjukkan bahwa penambahan unsur tersebut mempengaruhi sifat optik, sifat listrik dan sifat magnetnya. Namun penelitian menggunakan kedua unsur secara bersamaan sangat terbatas karena hanya

menggunakan satu jenis komposisi dan pengamatan pada sifat magnet saja. Untuk itu penelitian ini akan dilakukan eksperimen sintesis nanostruktur ZnO dengan berbagai variasi konsentrasi penambahan unsur Cu - Al dengan metode *ultrasonic spray pyrolysis* dan *hydrothermal*. Karakterisasi yang dilakukan mencakup karakterisasi morfologi dan sifat optik nanostruktur ZnO.

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah tersebut, didapatkan tujuan dari penelitian ini , diantaranya :

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi penambahan unsur Cu-Al terhadap morfologi, struktur kristal, dan sifat optik nanostruktur ZnO
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi penambahan unsur Cu-Al terhadap hasil karakteristik *scanning electron microscopy* (SEM), difraksi Sinar-X, *UV-VIS*, fotoluminesen (PL) pada nanostruktur ZnO.

1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian tersebut, adapun manfaat dari penelitian ini dapat mempengaruhi pengaruh dari penambahan unsur Cu-Al terhadap struktur kristal, morfologi dan sifat optik nanostruktur ZnO untuk dapat dimanfaatkan pada aplikasi yang sesuai dengan karakteristik material nanostruktur ZnO yang diperoleh.

BAB II

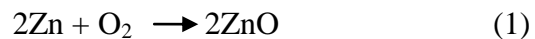
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Seng Oksida (ZnO)

Seng Oksida (ZnO) merupakan material semikonduktor II – VI, semikonduktor ini mempunyai sifat yang menguntungkan seperti transparansi yang baik, mobilitas elektron tinggi, dan memiliki energi gap sebesar 3,37 eV. ZnO memiliki rentang emisi yang lebar, dan bersifat piezoelektrik serta memiliki banyak potensi aplikasi, seperti teknologi sensor kimia, optik, katalis elektroda transparan untuk sel surya, persiapan film proteksi UV, material fotonik, sensor gas, spintronik, sel surya hybrid, dan LED^[18].

ZnO umumnya berbentuk bubuk putih yang dikenal sebagai seng putih atau sebagai *zincite mineral*. Mineral biasanya berisi sejumlah unsur mangan dan lainnya.

Seng oksida (ZnO) merupakan salah satu persenyawaan dari logam Zn yang tergolong senyawa oksida. Merupakan semikonduktor dengan struktur wurtzite yang stabil. Secara umum, ZnO dapat dibuat dengan mereaksikan logam Zn dan oksigen pada suhu tinggi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut^[23] :



Tabel 1. Sifat Umum ZnO^[23]

Nama Lain	<i>Zinc White Calamine</i>
Sifat Zno wurtzite	Nilai properti

Konstanta kisi (T=300 K)	a = 0,32469 nm (3.25Å)
	c - 0,52069 nm (5.2Å)
Ratio c/a	~ 1.60
Bidang epitaksial	(0001) (0001) (1120) (0001) (100)
Kisi tidak sepadan	0 1.9%, 0.08%, 5.5%, 18.6%
Kepadatan	5,606 g/cm ³
Titik leleh	2248 K
Konstanta dielektrik relatif	8,66
Energi Gap	3.4 eV
Konsentrasi pembawa intrinsik	<106cm ⁻³
Energi ikatan eksiton	60 MeV
Massa efektif elektron	0,24
Mobilitas elektron (T = 300 K)	200 cm ² / V s
Massa efektif hole	0,59
Mobilitas hole (T = 300 K)	5-50 cm ² /V s
Indeks bias (N _D)	2.0041

ZnO adalah suatu bahan yang secara relatif lembut dengan skala kekerasan mendekati 4.5 Mohs. Konstanta elastisitasnya lebih kecil bila dibandingkan dengan semua semi penghantar dari grup III-V, seperti GaN.

Di antara semi penghantar, ikatan tetrahedral ZnO telah dinyatakan mempunyai tensor piezoelektrik paling tinggi atau setidaknya dapat sebanding dengan GaN dan AlN. Sifat ini membuatnya sebagai suatu bahan yang secara teknologi penting untuk berbagai aplikasi piezoelektrik, yang memerlukan suatu penggabungan elektromekanikal yang besar^[15].

2.2 Struktur Nano ZnO

Struktur nano dari ZnO dapat disintesis menjadi berbagai morfologi termasuk kawat nano, nanorods, tetrapoda, nanobelts, nanoflowers, nanopartikel. Untuk menghasilkan material nanostruktur maka partikel-partikel penyusunnya harus diproteksi sehingga sifat individualnya dipertahankan. Sifat material nanostruktur sangat bergantung pada ukuran, bentuk, komponen kimiawi unsur-unsur penyusun material tersebut, keadaan antar muka (*grain boundary*) dan interaksi antar butir penyusun material nanostruktur. Material berukuran nanometer memiliki sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih unggul berbeda dengan sifat ketika material berukuran besar (*bulk*). Sifat tersebut dapat dengan mudah melalui pengontrolan ukuran material, pengaturan komposisi kimiawi, modifikasi permukaan, dan pengontrolan interaksi antar partikel

Struktur nano ZnO dapat diproduksi melalui metode sintesis, dikarenakan alasan berikut: biaya lebih ekonomis, tidak berbahaya, pertumbuhan terjadi pada suhu relatif rendah, kompatibel dengan substrat organik yang fleksibel, tidak ada kebutuhan untuk penggunaan katalis logam sehingga dapat diintegrasikan dengan teknologi silikon yang dapat berkembang dengan baik. Selain itu, ada berbagai parameter yang dapat di ubah secara efektif untuk

mengontrol sifat dan morfologi yang dihasilkan^[27]. Beberapa parameter dapat mempengaruhi struktur nano ZnO. Sam dkk menunjukkan bahwa densitas lapisan benih ZnO secara signifikan dapat mempengaruhi ukuran dan densitas nanorod yang tumbuh^[29]. Geon dkk menunjukkan bahwa kristalisasi, densitas, dan arah tumbuh nanorod ZnO berubah ketika lapisan benih didoping dengan logam lain^[30].

Metode kimia telah dibuktikan sebagai teknik yang sangat kuat dan serbaguna untuk penumbuhan satu dimensi struktur nano ZnO. Sintesis biasanya dilakukan pada suhu sekitar 90°C, dalam larutan prekursor. Morfologi struktur nano yang dihasilkan dapat diatur dengan mengubah parameter yang berhubungan dengan komposisi prekursor (seperti konsentrasi seng dan pH) atau perlakuan termal (seperti suhu dan kecepatan pemanasan).

Nanowires ZnO pada substrat silikon, kaca, dan galium nitrida substrat dapat tumbuh dalam larutan air garam dengan menggunakan larutan seng berair seperti Zinc nitrat dan Zinc asetat. Larutan prekursor substrat dengan ZnO akan menghasilkan nukleasi homogen dan ZnO akan membentuk kristal selama sintesis^[15].

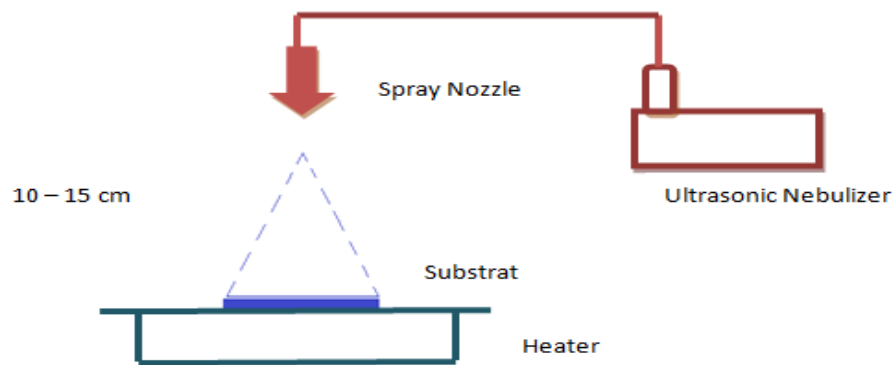
2.2.1 Metode sintesis struktur nano ZnO

Nanorod ZnO termasuk salah satu struktur nano yang banyak diteliti karena mudah untuk disintesis. Selain itu, nanorod ZnO sendiri dapat disintesis di atas banyak substrat, berbeda dengan Galium Nitride (GaN) yang hanya bisa disintesis di atas substrat tertentu seperti substrat Silikon Karbida^[22].

Sintesis nanopartikel dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu metode *top-down* adalah metode fisika yang memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran nanometer dan metode *bottom-up* adalah metode kimia yaitu memulai dari atom – atom atau molekul – molekul atau kluster-kluster yang disusun membentuk partikel berukuran nanometer^[23].

Proses penumbuhan nanorod ZnO secara kimiawi ada yang berlangsung dalam satu tahap dan dua tahap, yaitu pembuatan lapisan benih dan penumbuhan nanorod. Metode dua tahap ini biasanya ditujukan agar pembedahan dan penumbuhannya dapat dikontrol dengan lebih baik. Teknik penumbuhan nanorod ZnO diantaranya: *chemical vapour deposition* (CVD), *molecular beam epitaxy* (MBE), *magneton sputtering* dan *ultrasonic spray pyrolysis* dapat digolongkan ke dalam metode *top-down*, sementara teknik penumbuhan dengan metode *sol-gel* dan pengendapan tergolong ke dalam metode *bottom-up*. Pada proposal skripsi ini, untuk penumbuhan lapisan benih (*seeding*) menggunakan metode *ultrasonic spray pyrolysis* dan penumbuhan nanorod menggunakan metode *hydrothermal*.

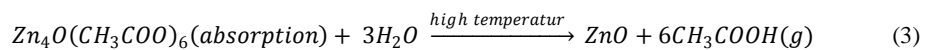
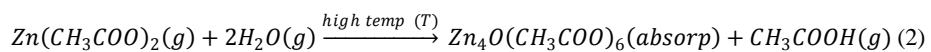
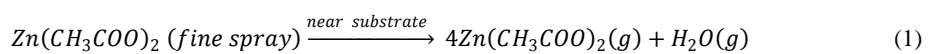
Metode *Ultrasonic Spray Pyrolysis* (USP) memiliki prinsip kerja yang menggabungkan teknologi fisika dan kimia untuk mengubah partikel gas atau cairan menjadi bentuk padatan. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi morfologi, konsentrasi, kristalografi, sifat kimia dan sifat fisik dari lapisan yang terbentuk yaitu: waktu proses, suhu substrat jarak antara corong (*nozzle*) dan substrat, geometri penyemprotan, laju uap, dan besarnya getaran yang digunakan untuk menggetarkan larutan^[24].



Gambar 2.1 Skematik metode *ultrasonic spray pyrolysis* ^[24].

Proses pembuatan lapisan benih (*seeding*) akan dijelaskan sebagai berikut: Tahap pertama yaitu larutan yang akan digetarkan hingga terjadi perubahan wujud cair ke wujud gas oleh *ultrasonic nebulizer*. Selanjutnya gas – gas tersebut di uapkan dan dibawa oleh gas pembawa melewati corong (*spray nozzle*) untuk ditembakkan ke substrat. Wujud gas yang keluar dari corong berbentuk kabut. Kemudian gas tersebut akan berubah menjadi padatan diatas substrat yang dipanaskan dengan temperatur tinggi.

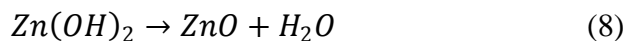
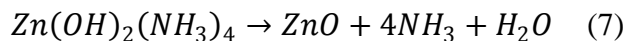
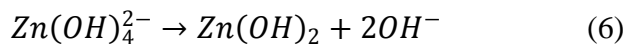
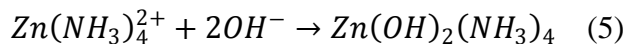
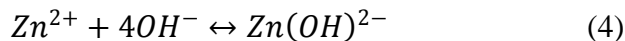
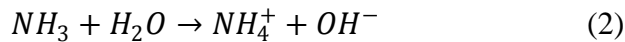
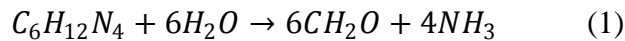
Seluruh proses penumbuhan lapisan benih (*seeding*) pada substrat memiliki urutan reaksi kimia sebagai berikut^[25] :



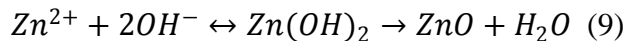
Dalam skripsi ini metode *hydrothermal* digunakan untuk menumbuhkan nanostruktur ZnO. *Hydrothermal depositon* dikenal luas sebagai salah satu dari metode yang mudah, sederhana dan murah untuk menumbuhkan nanostruktur ZnO,yaitu hanya membutuhkan pencelupan substrat ke dalam

wadah yang sebelumnya telah diisi oleh campuran prekursor dan surfaktan tertentu untuk kemudian dipanaskan dengan temperatur yang tergolong rendah ($<100^{\circ}\text{C}$)^[21]. Keunggulan dari metode ini adalah parameter pertumbuhan yang dapat dikontrol, seperti variasi temperatur penumbuhan, nilai pH, serta konsentrasi prekursor atau surfaktan, untuk mendapatkan struktur morfologi dan sifat-sifat fisis tertentu dari nanorod ZnO yang dikehendaki^[9].

Pada penelitian ini, larutan prekursor yang digunakan pada metode hidrotermal adalah *Zinc Nitrate Tetrahydrate* ($\text{N}_2\text{O}_6\text{Zn} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), surfaktan *Hexamethylenetetramine* ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$). Reaksi kimia pembentukan ZnO akan ditunjukkan sebagai berikut^[28] :



Sehingga persamaan-persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi :

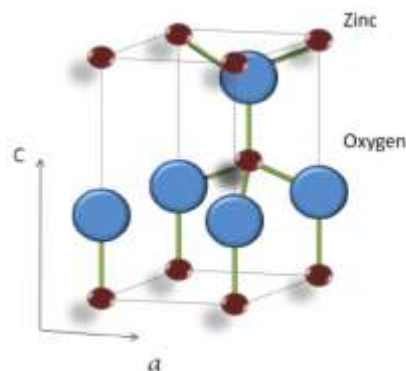


2.2.2 Struktur Kristal ZnO

Struktur dan simetri suatu zat padat memiliki peran penting dalam menentukan sifat-sifatnya, seperti struktur pita energi dan sifat optiknya. Kristal adalah zat padat yang susunan atom-atomnya atau molekulnya teratur. Partikel kristal tersusun secara berulang dan teratur serta perulangannya mempunyai rentang yang panjang. Struktur kristal terdapat pada hampir semua logam dan mineral. Suatu struktur kristal dibangun oleh sel unit, sekumpulan atom yang tersusun secara khusus, yang secara periodik berulang dalam tiga dimensi dalam suatu kisi. Spasi antar sel unit dalam segala arah disebut parameter kisi.

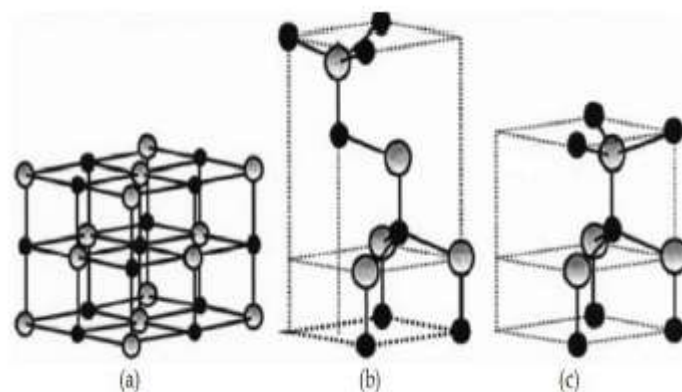
Senyawa ZnO diklasifikasikan sebagai senyawa bergolongan II b- VI, ZnO memiliki bentuk struktur kristal *cubic zinc blende*, *hexagonal wurtzite*, dan *rocksalt* dimana setiap anion dikelilingi oleh 4 kation dan susunannya teratur dan berulang (periodik)^[31], namun pada umumnya berstruktur *hexagonal wurtzite*, ini terjadi secara alami sebagai zincit dan biasanya mengandung beberapa unsur mangan, besi dan unsur lainnya.

Secara umum ZnO dapat dibuat dengan mereaksikan logam Zn dan oksigen pada suhu tinggi.



Gambar 2.2 Struktur Wurtzite dari ZnO^[26]

Struktur kristal *wurtzite* pada ZnO memiliki parameter kisi $a = 3,2495 \text{ \AA}$ dan $c = 5,2069 \text{ \AA}$ dengan densitas $5,605 \text{ g/cm}^3$ [26]. Nilai a mewakili bidang alas, sedangkan c arah basal. Nilai a dan c disebut juga dengan istilah parameter kisi yaitu spasi antar-sel dalam segala arah. Unit sel dari struktur kristalnya dibentuk oleh dua *Hexagonal Closed-Packed* (HCP) sub kisi, dimana atom Zn dikelilingi oleh empat atom O pada kondisi tetrahedral [26].

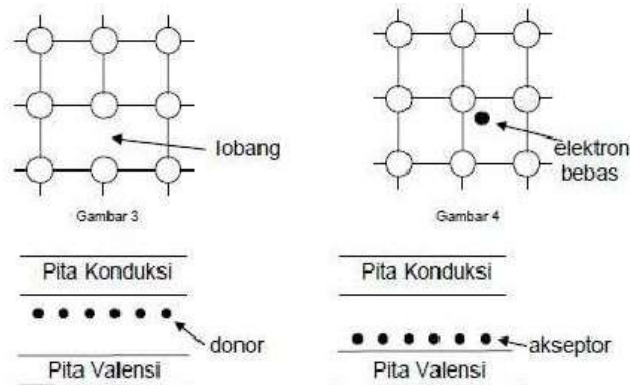


Gambar 2.3 Struktur kristal ZnO : (a) *rocksalt*, (b) *zinc blends* (c) *wurtzite* [28].

2.3 Sifat Optik

Semikonduktor adalah suatu material yang memiliki celah pita energi (*band gap*) antara pita valensi dengan pita konduksi. Semikonduktor terbagi atas dua jenis yaitu semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik. Dalam bahan semikonduktor murni (intrinsik), energi yang dimiliki elektron hanya mungkin berada pada salah satu pita energi, yaitu pita valensi atau pita konduksi. Dapat kita lihat pada Gambar 2.4 merupakan ilustrasi pita valensi dan konduksi dalam bahan semikonduktor. Pada suhu yang sangat rendah, elektron hanya menempati tingkat energi pada pita valensi. Antara pita valensi dan pita konduksi terdapat nilai-nilai energi yang tidak dapat dimiliki oleh elektron. Daerah tersebut disebut energi pita celah (*band gap*). Pada

semikonduktor ekstrinsik yang diberi pengotor (*doping*), keadaan energi pemberi elektron (donor) maupun penerima elektron (akseptor) berada didalam pita celah energi.



Gambar 2.4. Ilustrasi pita celah

Pengukuran sifat optik pada suatu semikonduktor umumnya bergantung kepada jenis kedua semikonduktor tersebut. Pengukuran sifat optik semikonduktor intrinsik lebih menitikberatkan pada transisi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi berikut *holes* yang ditimbulkannya, sementara pengukuran sifat optik semikonduktor ekstrinsik memfokuskan pada energi dopan atau cacat kristal yang secara fisis sangat mempengaruhi proses adsorpsi dan emisi optik.

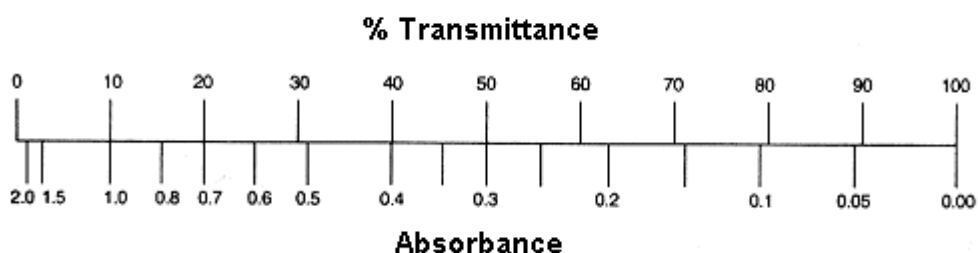
Sifat optik semikonduktor umumnya adalah transmitansi dan absorbansi. Transmitansi adalah besarnya cahaya yang ditransmisikan dan semakin besar cahaya yang berhasil melewati material tersebut maka semakin besar nilai transmitansi yang diperoleh. Transmitansi juga didefinisikan sebagai rasio dari cahaya masuk dengan cahaya yang ditransmisikan. Berikut adalah perumusannya^[29] :

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (1)$$

Dimana T adalah besar transmitansi biasanya dalam satuan persen (%), I adalah intensitas cahaya yang ditransmitasikan, I_0 adalah intensitas cahaya yang masuk. Absorban adalah besarnya intensitas cahaya yang diserap saat cahaya melewati material tersebut dan semakin besar nilai absorban mengartikan semakin besar pula nilai intensitas cahaya yang diserap. Besar nilai absorban dapat kita ketahui menggunakan perumusan sebagai berikut^[29]:

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I} \text{ atau } A = 2 - \log_{10} \%T \quad (2)$$

Dengan A adalah besar absorban, I_0 adalah intensitas cahaya yang masuk, (%), I adalah intensitas cahaya yang ditransmitasikan dan %T adalah persentasi besar transmittansi. Dari perumusan transmitansi dan perumusan absorbansi kita dapat mengetahui hubungannya. Berikut adalah diagram yang menjelaskan hubungan % transmitansi dengan absorban.



Gambar 2.5 Diagram hubungan % transmitansi dengan absorban^[29].

Namun untuk mengetahui total cahaya yang masuk tidak dapat diketahui dengan mengetahui besar transmitansi dan absorbansi saja namun perlu juga mengetahui faktor lain yaitu berupa reflektansi. Reflektansi adalah besar

cahaya yang dipantulkan kembali saat cahaya tersebut akan melewati material.

2.4 Karakterisasi Nanostruktur

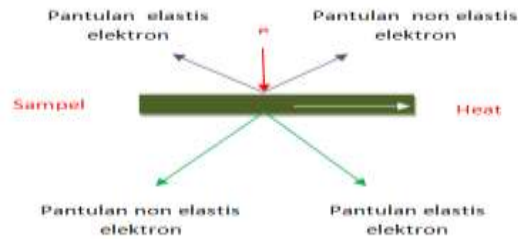
2.4.1 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Mikroskop elektron adalah sebuah mikroskop yang dapat melakukan pembesaran objek sampai 2 juta kali. Mikroskop ini menggunakan elektrostatik dan elektromagnetik untuk mengontrol pencahayaan dan tampilan gambar serta memiliki kemampuan pembesaran objek serta resolusi yang jauh lebih bagus daripada mikroskop cahaya. Mikroskop elektron menggunakan jauh lebih banyak energi dan radiasi elektromagnetik yang lebih pendek dibandingkan mikroskop cahaya^[18].

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri^[4]. SEM memfokuskan sinar elektron (electron beam) di permukaan obyek dan mengambil gambarnya dengan mendeteksi elektron yang muncul dari permukaan obyek^[10].

Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm, sedangkan elektron dapat mencapai resolusi hingga 0,1 – 0,2 nm^[4]. Dengan menggunakan elektron akan didapatkan beberapa jenis pantulannya yang berguna untuk keperluan karakterisasi. Jika elektron

mengenai suatu benda maka akan timbul dua jenis pantulan yaitu pantulan elastis dan pantulan non elastis seperti pada gambar dibawah ini^[7].

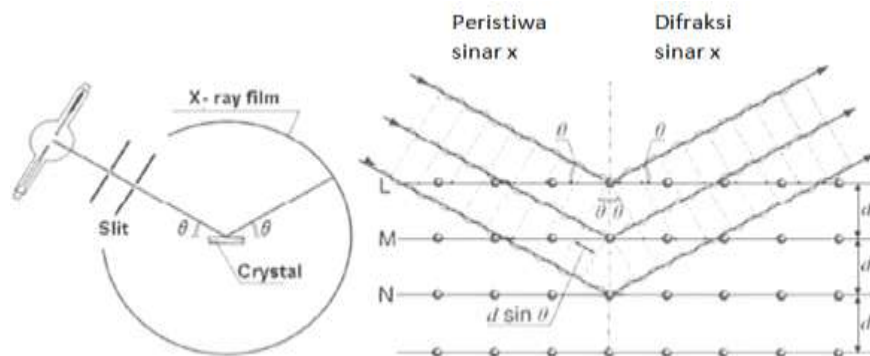


Gambar 2.6 Pantulan elastis dan pantulan non-elastis

2.4.2 XRD (X-Ray Diffraction)

X-ray diffraction (XRD) adalah suatu metode analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. XRD juga dapat memberikan data kualitatif dan semi kuantitatif pada padatan atau sampel^[4]. Difraksi sinar X ini digunakan untuk beberapa hal, diantaranya:

- Pengukuran jarak rata-rata antara lapisan atau baris atom
- Penentuan kristal tunggal
- Penentuan struktur kristal dari material yang tidak diketahui
- Mengukur bentuk, ukuran, dan tegangan dalam dari kristal kecil



Gambar 2.7 Difraksi Sinar-x^[26]

Difraksi sinar-X terjadi karena pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif. Penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg berikut ini^[8].

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3)$$

dimana 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 yang disebut sebagai orde pembiasan.

Ukuran butir kristal dari pola difraksi XRD bisa didapatkan dengan menerapkan persamaan^[16]:

$$D = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (4)$$

D adalah ukuran butir kristal, λ adalah panjang gelombang sumber sinar-X yaitu 1,54059 Å, β adalah lebar puncak setengah maksimum (FWHM) masing-masing puncak, dan θ adalah sudut difraksi.

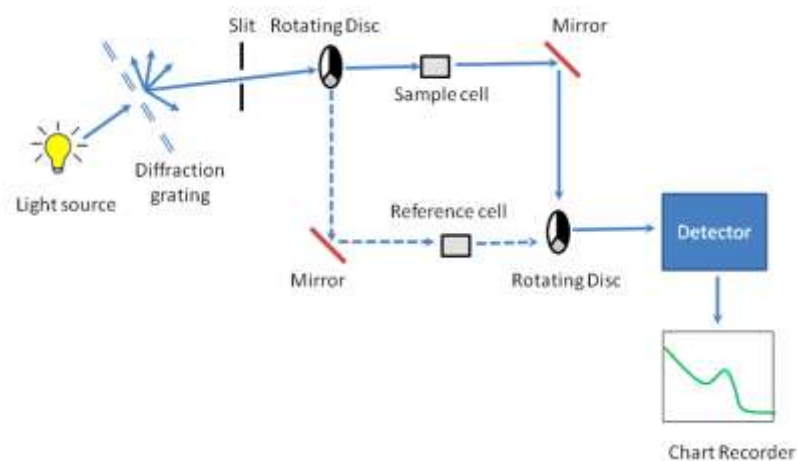
Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antara bidang pertama dan bidang kedua adalah d . Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi.

Di dalam kisi kristal, tempat kedudukan sederet ion dan atom disebut bidang kristal. Bidang kristal ini berfungsi sebagai cermin untuk indeks miller. Setiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang

memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, maka akan semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Setiap kristal memiliki bidang kristal dengan posisi dan arah yang khas, sehingga jika disinari dengan sinar-x pada analisis XRD akan memberikan pola yang khas juga^[12]. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material.

2.4.3 Spectrometer UV-Vis

Untuk mengetahui besar absorban dan transmitan, kita dapat mengetahuinya dengan uji menggunakan alat spektrofotometer UV –Vis *diffuse reflectance*. Prinsip dasar dari alat ini ialah menembakkan energi foton (dalam hal ini memiliki energi yang sama dengan energi pada gelombang Ultraviolet) ke suatu material sehingga terjadi reflektansi, transmitansi dan absorbansi. Dibawah ini adalah skema dasar proses alat spektrofotometer UV –Vis *diffuse reflectance*.



Gambar 2.8. Skema dasar proses alat spektrofotometer UV –Vis *diffuse reflectance*

Sumber cahaya akan akan dipancarkan kembali menjadi beberapa panjang gelombang oleh *diffraction grating*. Selanjutnya panjang gelombang tersebut akan diseleksi oleh *rotating disc* dan ditembakkan ke sel sampel dan sel referensi. Sumber cahaya ini yang melewati sel sampel dan sel referensi selanjutnya akan di terima oleh detektor dan diproses menjadi suatu grafik. Spektrum UV –Vis *diffuse reflectance* dapat digunakan untuk menentukan besar energi *band gap*. Untuk menentukan besar energi *band gap* dapat menggunakan hukum Kubelka-Munk, berikut adalah persamaan hukum Kubelka-Munk^[22]:

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (1)$$

Dimana R adalah reflektansi, F(R) adalah perbandingan antara intensitas refleksi cahaya material yang di uji dengan intensitas sampel referensi. Fungsi (R) dapat dimodifikasi dengan perkalian hv , dimana v adalah frekuensi cahaya dan n adalah koefisien transisi. Besar nilai n ini biasanya bernilai eksponensial $n=2$ untuk transisi *indirect band gap* dan $1/2$ untuk transisi *direct band gap*. Material ZnO menggunakan $n=1/2$ karena ZnO termasuk jenis semikonduktor yang memiliki *direct band gap*. Dibawah ini adalah persamaan yang telah dimodifikasi dengan menambahkan perkalian hv .

$$(F(R) * hv)^n \quad (2)$$

Penentuan energi *band gap* ditentukan dengan metode Tauc plot yaitu dengan cara mengekstrapolasi linear spektrum grafik tersebut ketika $F(R) = 0$ atau perpotongan kemiringan garis dengan sumbu x.

2.4.4 Fotoluminesen (PL)

Fotoluminesen yaitu peristiwa penyerapan energi radiasi yang diikuti dengan terjadinya pancaran cahaya tampak dari suatu material. Peristiwa ini terjadi disebabkan oleh adanya elektron-elektron yang menyerap energi radiasi dan berpindah ke kulit atom yang lebih tinggi, sehingga suatu material berada dalam keadaan tereksitasi. Atom akan melepaskan energi berupa cahaya ketika elektron-elektron tersebut kembali ke kulit atom yang lebih rendah.

Pada penelitian ini, kita akan menganalisis sifat optik dengan menggunakan spektrum fotoluminesen. Fotoluminesen adalah suatu metoda eksperimen yang paling banyak digunakan untuk mempelajari material semikonduktor khususnya yang memiliki celah energi yang lebar. PL terbagi atas dua kelompok utama yaitu luminesen intrinsik dan ekstrinsik^[25]. Seng Oksida (ZnO) memiliki sejumlah besar pengotor ekstrinsik tingkat dalam dan kompleks (kluster) yang dapat memancarkan cahaya dengan warna yang berbeda, misalnya violet, biru, hijau, kuning, oranye dan merah. Cacat kristal dalam semikonduktor diantaranya kekosongan atom pada kisi kristal, interstiti yaitu pengotor terisolasi dan menempati posisi pengganti, adanya kekosongan anion dan kation, adanya kekosongan oleh atom interstiti dari jenis yang sama umumnya menempati tingkat energi dalam pita celah energi yang dapat terlihat dari spektrum fotoluminesen. Untuk itu spektrum fotoluminesen sangat membantu menganalisis keadaan energi atom dopan atau cacat kristal suatu materi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan unsur Cu-Al terhadap morfologi, struktur kristal, dan sifat optik nanostruktur ZnO diatas lapisan benih.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Tabel 2. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu	Kegiatan	Tempat
Januari 2016	Preparasi Substrat	Laboratorium Sintesis Material, FMIPA Universitas Indonesia
Februari – Maret 2016	Penumbuhan nanostruktur ZnO	Laboratorium Fisika Material, FMIPA Universitas Negeri Jakarta
April 2016	Karakterisasi SEM	FT, UNJ
April 2016	Karakterisasi XRD	FTS, UIN
Mei 2016	Karakterisasi <i>Spectrometer UV-Vis</i> (absorbansi dan transmitansi)	FMIPA, UI
Mei 2016	Karakterisasi	IMEN, UKM

	<i>Spectrometer UV-Vis</i> (reflektansi dan fotoluminesen)	
--	--	--

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk memperoleh informasi terkait penumbuhan nanostruktur ZnO dan pengaruh penambahan unsur terhadap nanostruktur ZnO. Eksperimen dilakukan secara langsung yaitu proses pembenihan dengan teknik *Ultrasonic Spray Pyrolysis* (USP), kemudian proses penumbuhan nanostruktur ZnO dengan metode hidrotermal, setelah itu sampel dikarakterisasi menggunakan SEM, XRD, UV-VIS, dan Fotoluminesen untuk mengetahui morfologi, struktur kristal, dan sifat optik nanostruktur ZnO.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan penunjang yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Tabel.3 Alat yang di perlukan

Alat	Kuantitas
<i>Beaker glass</i>	1 buah
Pipet	1 buah
Oven	1 buah
Botol Pyrex	4 botol
Neraca Digital	1 buah

<i>Stirrer</i>	1 buah
<i>Nebulizer.</i>	1 buah
<i>Hot Plate</i>	1 buah
<i>Ultrasonic Cleaner</i>	1 buah
SEM	1 buah
XRD	1 buah
<i>UV-Vis</i>	1 buah
<i>PL</i>	1 buah

Tabel.4 Bahan habis pakai

Material	Kuantitas
<i>Zinc nitrate tetrahydrate</i> ($N_2O_6Zn \cdot 4H_2O$)	1 botol
<i>Hexamethylenetetramine</i> ($C_6H_{12}N_4$)	1 botol
<i>Copper(II) nitrate hemi(pentahydrate)</i> ($Cu(NO_3)_2 \cdot 2,5 H_2O$)	1 botol
<i>Aluminium nitrate nonahydrate</i> ($Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$)	1 botol
ITO	4 buah
<i>Aqua bidest</i>	1 botol
Air deionisasi	1 botol
Propanol	2 botol

3.4.2 Cara Kerja

a. Preparasi Sampel

- Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan untuk penelitian dan mencuci dengan propanol dan air deionisasi menggunakan *ultrasonic bath*.
- Melakukan pemotongan ITO berukuran 1 cm x 1 cm .

Khusus untuk substrat ITO, langkah pencuciannya adalah sebagai berikut:

- Menaruh substrat ITO ke dalam *beaker glass* yang telah diisi oleh *aquadest* kemudian ditaruh di dalam pembersih ultrasonik selama 10 menit.
- Mengganti *aquadest* dengan propanol kemudian ditaruh kembali di dalam pembersih ultrasonik selama 10 menit.
- Setelah itu substrat ITO dikeringkan.

b. Deposisi lapisan benih nanorod ZnO (*seeding*) dengan metode *ultrasonic spray pyrolysis*

- Larutan *seeding* dibuat dengan mencampur 0.2 M *zinc acetate dihydrate* ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dengan cairan *aqua bidest*.
- Selanjutnya campuran tersebut di-*stirring* selama 1 jam dengan kecepatan 400 rpm.
- Setelah selesai, sebanyak 10 mL larutan tersebut dipindahkan di dalam kontainer yang terdapat pada *ultrasonic nebulizer*.
- Kemudian menyemprotkan uap larutan di atas substrat ITO selama 10 menit dengan suhu 450°C hingga terbentuk lapisan benih .

c. Preparasi larutan *growth*

- Larutan *growth* dibagi menjadi 2 jenis yaitu larutan tanpa doping dan larutan dengan doping ganda Cu dan Al.
- Larutan tanpa doping dibuat dengan melarutkan 0,1 M *Zinc nitrate tetrahydrate* ($N_2O_6Zn \cdot 4H_2O$) dengan 0,1 M *Hexamethylenetetramine* ($C_6H_{12}N_4$) kedalam 20 ml *Deionized water (DI water)*.
- Untuk larutan doping ganda Cu dan Al menggunakan formulasi yang sama dengan larutan tanpa doping dan ditambah penambahan bahan *Copper(II) nitrate hemi(pentahydrate)* ($Cu(NO_3)_2 \cdot 2,5 H_2O$) 4%, 7% dan konsentrasi bahan *Aluminium nitrate nonahydrate* ($Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$) 4%, kedalam 40 ml *Deionized water (DI water)*. Larutan – larutan ini akan di *stirrer* dengan kecepatan putar 400 rpm dan dipanaskan diatas hotplate hingga suhu 60 °C.

Tabel 5. Komposisi masing-masing larutan

Konsentrasi Doping	Massa bubuk (gram)			
	HMT	ZNT	Al	Cu
4% Al – 4% Cu	0,14019	0,2405248	0,0150052	0,0093036
4% Al – 7% Cu	0,14019	0,2326816	0,0150052	0,0162813

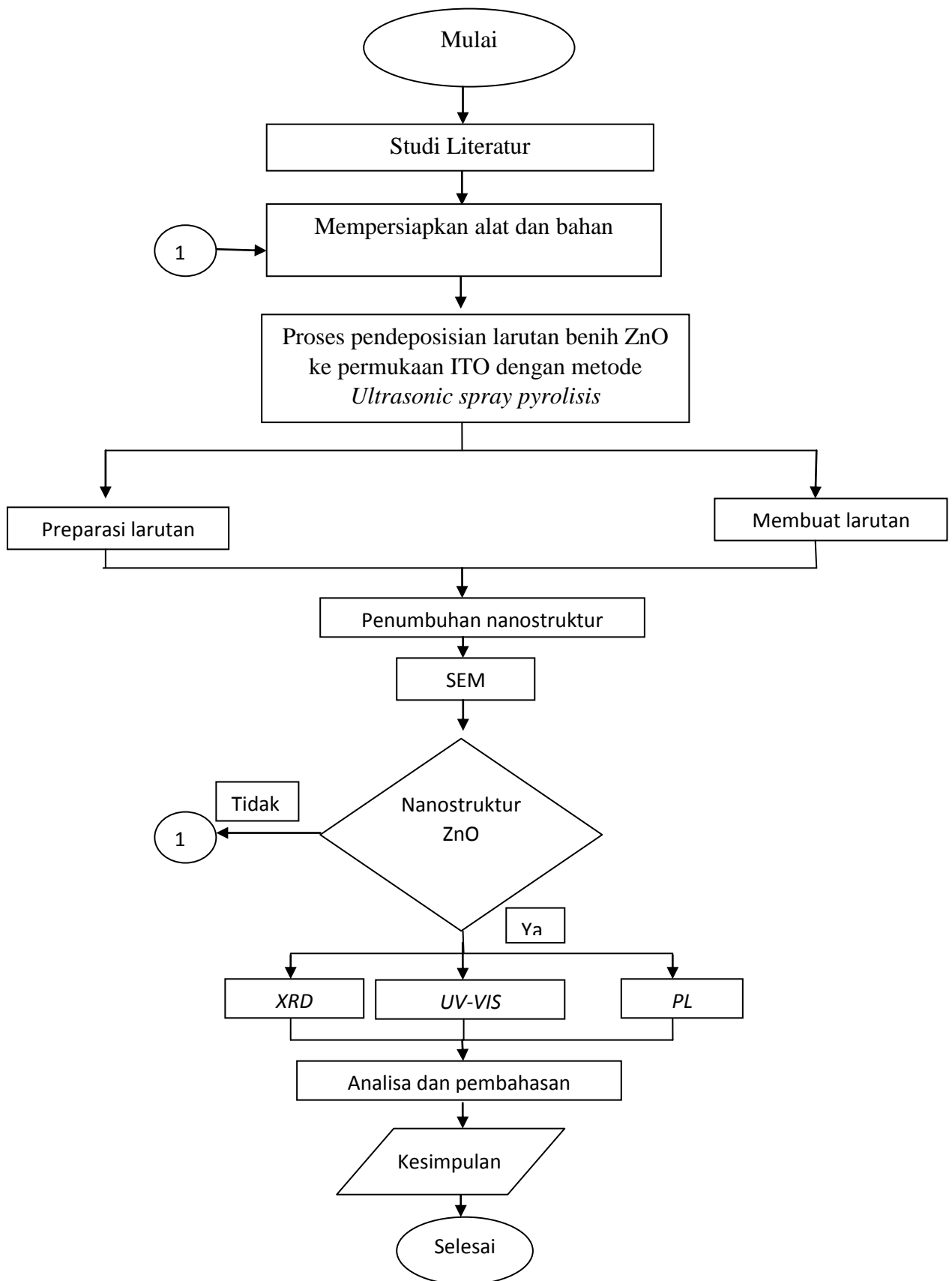
d. Penumbuhan nanorod ZnO

- Meletakkan ITO yang telah dicampurkan dengan larutan tanpa doping dan larutan dengan doping ganda kedalam oven dengan suhu 95°C selama 2 jam.
- Mengeringkan substrat ITO di dalam oven selama 30 menit dengan suhu 30°C.

e. Proses Pengujian

- Melakukan Uji *SEM*, *XRD*, *Photo Luminisem* (PL), *UV-VIS* untuk melihat pengaruh konsentrasi *doping* Cu-Al
- Analisis dan buat kesimpulan.

3.5 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

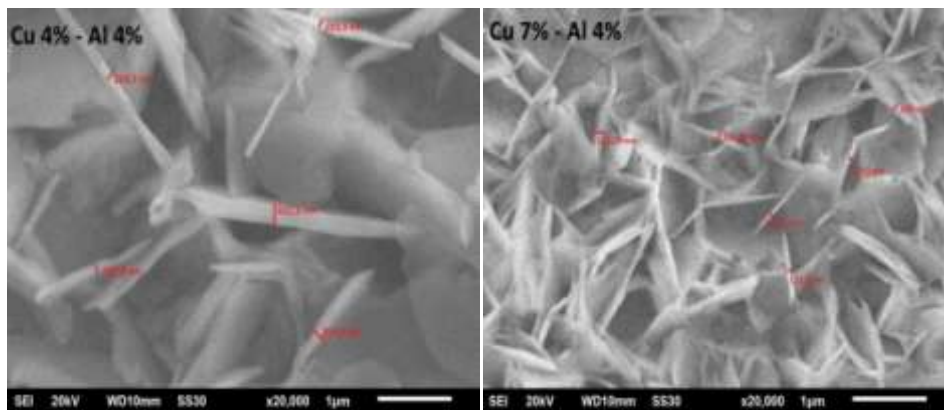
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dipaparkan hasil yang diperoleh selama penelitian yaitu nanostruktur ZnO dengan variasi penambahan unsur Cu-Al. Pengaruh penambahan unsur Cu-Al terhadap nanostruktur ZnO telah dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui struktur morfologi, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal, ukuran kristal dan bidang hkl, Spektrofotometer UV-Vis *diffuse reflectance* dan Spektometri Fotoluminesen untuk mengetahui sifat optik.

4.1 Pengaruh Penambahan Unsur Cu-Al terhadap Struktur Morfologi Nanostruktur

Pengujian SEM dilakukan untuk memperoleh gambar struktur morfologi nanostruktur dengan variasi konsentrasi penambahan unsur Cu-Al.



Gambar 4.1 Gambar Hasil Uji SEM nanostruktur dengan variasi konsentrasi penambahan unsur Cu 4% - Al 4% dan Cu 7% - Al 4%

Gambar 4.1 merupakan morfologi hasil uji SEM dari sampel nanostruktur dengan variasi konsentrasi penambahan unsur Cu-Al yaitu, Cu 4% - Al 4% dan Cu 7% - Al 4%, yang ditumbuhkan selama 2 jam dengan temperatur

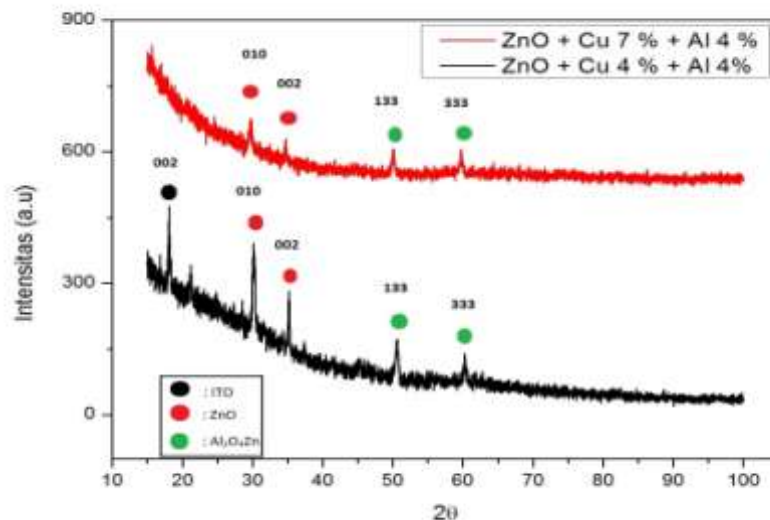
95°C. Berdasarkan hasil uji SEM tersebut terlihat bahwa morfologi nanostruktur yang terbentuk adalah *nanoflake* yang telah tumbuh diatas permukaan substrat ITO. Dapat kita lihat bahwa *nanoflake* yang tumbuh saling tumpang tindih, tidak homogen, dan arah orientasi yang tidak seragam atau relatif tegak lurus dengan substrat ITO. Namun kita belum dapat memastikan bahwa *nanoflake* yang terbentuk adalah ZnO, karena berdasarkan hasil XRD didapatkan bahwa fasa yang terbentuk bukan hanya ZnO, tetapi juga terdapat fasa $\text{Al}_2\text{O}_4\text{Zn}$. Oleh karena itu dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memastikan hal tersebut. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Prabudi 2016, penambahan unsur Mg 10% pada nanorod ZnO membuat morfologi nanorod ZnO mengalami perubahan menjadi *nanoflake* ZnO, selain itu Marselie Jefry 2016 juga mendapatkan hasil bahwa pada penambahan unsur Cu 10% pada nanorod ZnO membuat morfologi ZnO mengalami perubahan, yaitu terdapat gumpalan-gumpalan, dan diduga gumpalan tersebut adalah material CuO_2 yang berasal dari doping Cu

Pada *nanoflake* dengan konsentrasi penambahan unsur Cu 4% - Al 4%, didapatkan ukuran ketebalan *nanoflake* berkisar 193 nm – 354 nm, sedangkan pada *nanoflake* dengan konsentrasi penambahan unsur Cu 7% - Al 4% terjadi penurunan ukuran ketebalan, yaitu didapatkan ukuran ketebalan *nanoflake* ZnO berkisar 112 nm – 161 nm. Selain berkurangnya ukuran ketebalan *nanoflake*, terjadi peningkatan densitas *nanoflake* yang tumbuh. Hal ini dapat kita ketahui oleh jarak antara *nanoflake* yang semakin sempit. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh Babikier dkk, penambahan unsur Cu membuat nanorod semakin membentuk gumpalan yang

rapat antara salah satu nanorod dengan nanorod lainnya, selain itu penambahan unsur Cu juga menyebabkan ukuran diameter nanorod ZnO semakin berkurang^[26].

4.2 Pengaruh Penambahan Unsur Cu – Al terhadap Struktur Kristal Nanoflake

Pengujian XRD dilakukan untuk memperoleh data kualitatif dan data kuantitatif dari sampel nanoflake dengan variasi konsentrasi penambahan unsur Cu–Al.



Gambar 4.2 Gambar Grafik Hasil Uji XRD nanoflake dengan variasi konsentrasi penambahan unsur Cu 4% - Al 4% dan Cu 7% - Al 4%

Gambar 4.2 menunjukkan pola XRD nanoflake dengan variasi konsentrasi penambahan unsur Cu-Al. Pada setiap peak ditemukan fasa yang terbentuk dan ditandai dengan bulatan yang berbeda warna. Setiap bulatan berwarna pada peak mewakili fasa-fasa yang terbentuk yaitu, ITO (berwarna hitam) , ZnO (berwarna merah) , Al₂O₄Zn (berwarna hijau). Hasil pengukuran

tersebut dicocokkan dengan database *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD).

Pola puncak difraksi yang dihasilkan pada sampel Cu 4%- Al 4% dan Cu 7% - Al 4%, material ZnO terbentuk pada sudut (2θ) yaitu, $30,534^\circ$, $35,1667^\circ$ dan $32,3751^\circ$, $34,6672^\circ$ dengan masing-masing bidang hkl 010 dan 002. Berdasarkan grafik tersebut dapat kita lihat bahwa nilai hkl yang didapatkan beragam, hal ini mengartikan bahwa material nanoflake ZnO memiliki keberagaman arah sebagaimana gambar yang dihasilkan saat uji SEM. Namun pada sampel Cu 4%- Al 4% dan Cu 7% - Al 4% terlihat pemunculan fasa baru yaitu $\text{Al}_2\text{O}_4\text{Zn}$ pada sudut $50,4901^\circ$, $60,3241^\circ$ dan $49,1833^\circ$, $60,867^\circ$. Hal ini terjadi dimungkinkan karena penambahan konsentrasi doping Al membuat banyak atom Zn di unsur ZnO tersubstitusi oleh Al sehingga menambahkan unsur menjadi $\text{Al}_2\text{O}_4\text{Zn}$. Pola difraksi sinar X yang dihasilkan kemudian akan diolah menggunakan software *High Score Plus* untuk mencari ukuran kristal, parameter kisi, densitas, dan volume kristal.

Tabel 6. Data ukuran kristal nanoflake dengan variasi penambahan konsentrasi unsur Cu4% - Al4%.

Material	Sudut (2θ)	hkl	a(Å)	c(Å)	Ukuran Kristal (Å)	Densitas (g/cm^3)
ITO	$17,175^\circ$	002	10.15	10.15	223,5749	7,04
ZnO	$30,634^\circ$	010	3,33	5,23	1438,705	5,37
ZnO	$35,1667^\circ$	002	3,33	5,23	1449,083	5,37
$\text{Al}_2\text{O}_4\text{Zn}$	$50,4901^\circ$	133	7,92	7,92	296,8801	4,89

Al ₂ O ₄ Zn	60,3244°	333	7,92	7,92	243,3535	4,89
-----------------------------------	----------	-----	------	------	----------	------

Tabel 7. Data ukuran kristal nanoflake dengan variasi penambahan konsentrasi unsur Cu7% - Al4%.

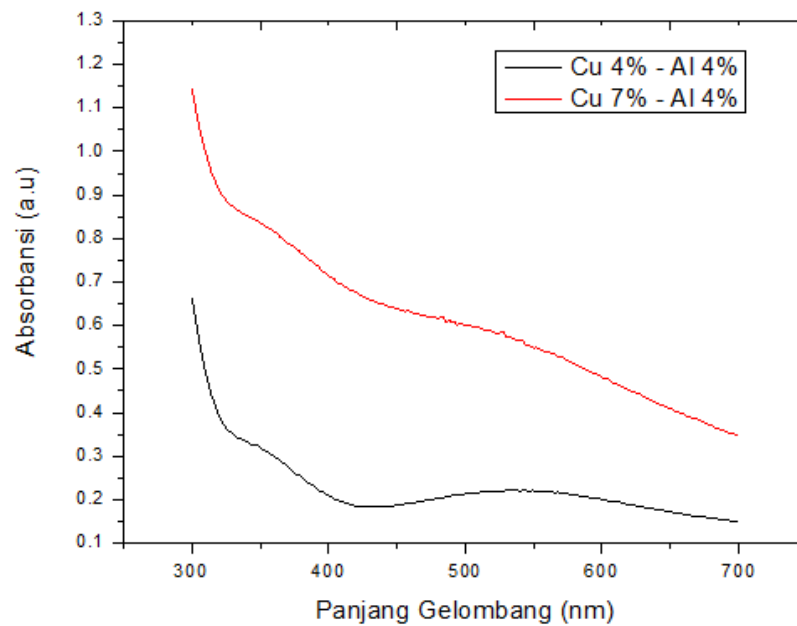
Material	Sudut (2θ)	Hkl	a(Å)	c(Å)	Ukuran	Densitas (g/cm ³)
					Kristal (Å)	
ZnO	32,3751°	010	3,19	5,17	2633,648	5,9
ZnO	34,6672°	002	3,19	5,17	3282,42	5,9
Al ₂ O ₄ Zn	49,1833°	133	8,96	8,96	1166,555	4,59
Al ₂ O ₄ Zn	60,867°	333	8,96	8,96	612,5687	4,59

Dapat kita lihat pada tabel 5 dan tabel 6 untuk material ZnO dengan penambahan unsur Cu-Al membuat ukuran kristal dari nanoflake ZnO semakin membesar. Pada sampel nanoflake dengan variasi penambahan konsentrasi unsur Cu4% - Al4% menghasilkan ukuran kristal 1438,705 Å , 1449,083 Å dan pada sampel nanoflake dengan variasi penambahan konsentrasi unsur Cu7% - Al4% menghasilkan ukuran kristal 2633,648 Å , 3282,42 Å. Pada tabel 5 dan tabel 6 ditunjukkan bahwa densitas nanoflake mengalami peningkatan seiring dengan penambahan konsentrasi unsur Cu. Hal ini sesuai dengan hasil uji SEM yang didapatkan. Namun volume dari nanoflake mengalami penurunan seiring dengan penambahan doping Cu, hal ini disebabkan besarnya nilai parameter kisi yang diakibatkan adanya penggantian atom Zn pada partikel ZnO dengan atom Cu. Pada sampel

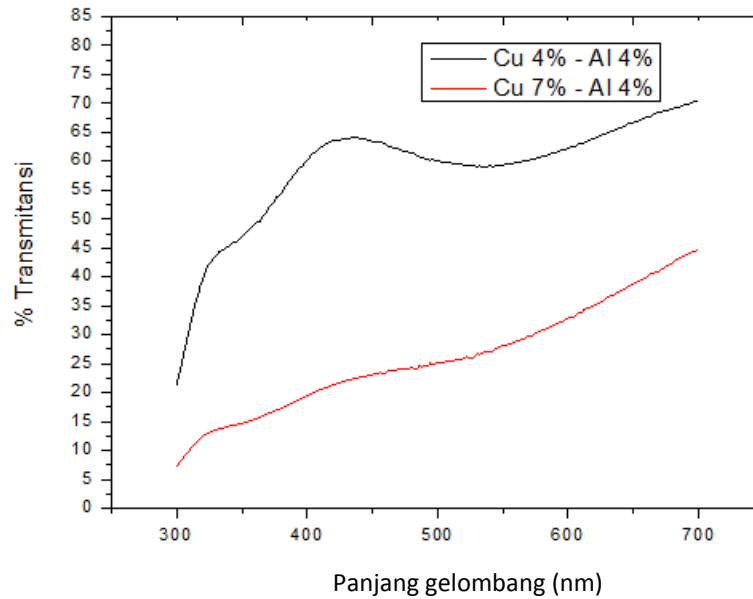
nanostruktur dengan variasi penambahan konsentrasi doping Cu4% - Al4% didapatkan nilai parameter kisi $a = 3,33 \text{ \AA}$ $c = 5,23 \text{ \AA}$ dan pada sampel nanostruktur dengan variasi penambahan konsentrasi doping Cu7% - Al4% didapatkan nilai parameter kisi $a = 3,19 \text{ \AA}$ $c = 5,17 \text{ \AA}$.

4.3 Pengaruh Penambahan Unsur Cu - Al terhadap Sifat Optik Nanoflake ZnO

Pengukuran spektrum absorbansi dan spektrum transmitansi nanoflake dengan variasi konsentrasi penambahan unsur Cu sebesar Cu 4% - Al 4% dan Cu 7% - Al 4% dapat kita lihat pada gambar 4.3 dan gambar 4.4.



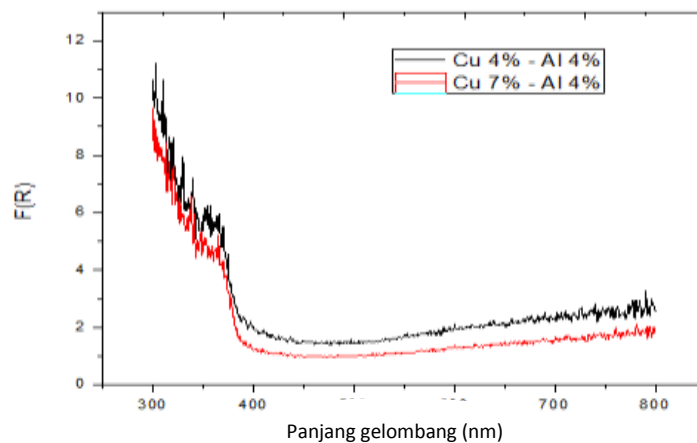
Gambar 4.3. Spektrum Absorbansi *nanoflake* dengan variasi penambahan unsur Cu - Al



Gambar 4.4. Spektrum Transmittansi *nanoflake* dengan variasi penambahan unsur Cu-Al

Berdasarkan gambar 4.3 dan 4.4 terlihat bahwa pada sampel nanoflake Cu 7% - Al 4% menghasilkan nilai absorbansi yang lebih tinggi dibandingkan sampel nanoflake Cu 4% - Al 4% , ataupun sebaliknya pada sampel nanoflake Cu 4% - Al 4% menghasilkan nilai transmittansi yang lebih tinggi dibandingkan sampel nanoflake Cu 7% - Al 4%. Grafik absorbansi tersebut menunjukkan bahwa pada sampel nanoflake Cu 7% - Al 4% memiliki daya serapan yang lebih tinggi dibandingkan sampel nanoflake Cu 4% - Al 4%, hal ini sesuai dengan Hukum Lambert Beer yang menyatakan bahwa hubungan linearitas antara absorban dengan konsentrasi larutan dan berbanding terbalik dengan transmittansi, maka semakin tinggi nilai absorbansi maka semakin tinggi pula konsentrasi larutan tersebut^[27]. Grafik absorbansi menunjukkan bahwa pada sampel nanoflake Cu-Al memiliki daya serapan tinggi pada panjang gelombang 300 nm – 400 nm dan menurun pada panjang gelombang 400 nm – 700 nm. Hal ini mengidentifikasi bahwa pada panjang

gelombang 300 nm – 400 nm adanya serapan lebih baik dibandingkan dengan panjang gelombang 400 nm - 700 nm. Penambahan konsentrasi doping Cu membuat besar energi serapan meningkat. Peningkatan ini dikarenakan adanya efek Moss – Burstein, dimana penambahan unsur Cu kedalam partikel ZnO membuat energi Fermi mengalami peningkatan mendekati pita konduksi. Pergeseran ini disebabkan penambahan elektron pada pita valensi dimana hal tersebut sesuai dengan pembuatan semikonduktor tipe n. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian yang sudah dilakukan oleh “Novita Ami Amalia, dkk”, pada konsentrasi prekursor 0,02 M , 0,05 M , dan 0,1 M , didapatkan nilai serapan cahaya paling tinggi saat konsentrasi prekursor 0,1 M^[29].

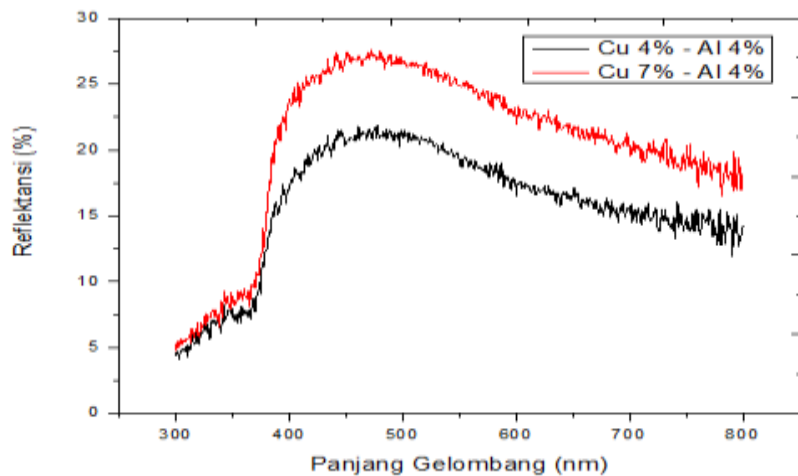


Gambar 4.5. Grafik hubungan F(R) dan panjang gelombang dengan variasi penambahan unsur Cu – Al

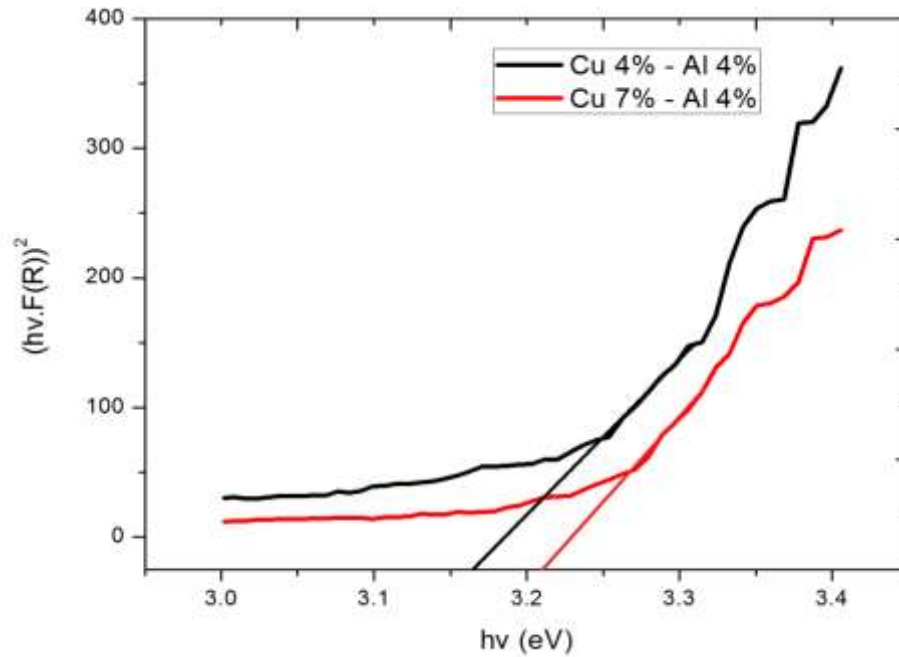
Berdasarkan gambar 4.5 terlihat grafik hubungan antara F(R) dengan panjang gelombang. F(R) merupakan koefisien absorpsi *nanoflake* dengan variasi penambahan unsur Cu – Al. Dapat kita lihat bahwa pada gambar 4.3 juga merupakan grafik hubungan antara absorpsi dan panjang gelombang, namun pada kedua gambar tersebut terdapat perbedaan hasil. Pada gambar 4.5

didapatkan hasil absorbansi *nanoflake* dengan penambahan unsur Cu 4%- Al 4% lebih tinggi dibandingkan *nanoflake* dengan penambahan unsur Cu 7% - Al 4%, sebaliknya pada gambar 4.3 didapatkan hasil absorbansi *nanoflake* dengan penambahan unsur Cu 7%- Al 4% lebih tinggi dibandingkan *nanoflake* dengan penambahan unsur Cu 4% - Al 4% . Hal ini dikarenakan kedua pengukuran absorbansi tersebut menggunakan alat yang berbeda, pada gambar 4.3 menggunakan alat *UV-Vis Spectral* sedangkan pada gambar 4.5 menggunakan alat *UV-Vis diffuse reflectance*.

Nilai pita celah energi suatu material dapat diketahui berdasarkan hasil pengolahan nilai reflektansi. Berikut adalah gambar grafik nilai reflektansi pada *nanoflake* ZnO dengan variasi penambahan unsur Cu-Al.



Gambar 4.6. Spektrum reflektansi *nanoflake* dengan variasi penambahan unsur Cu - Al

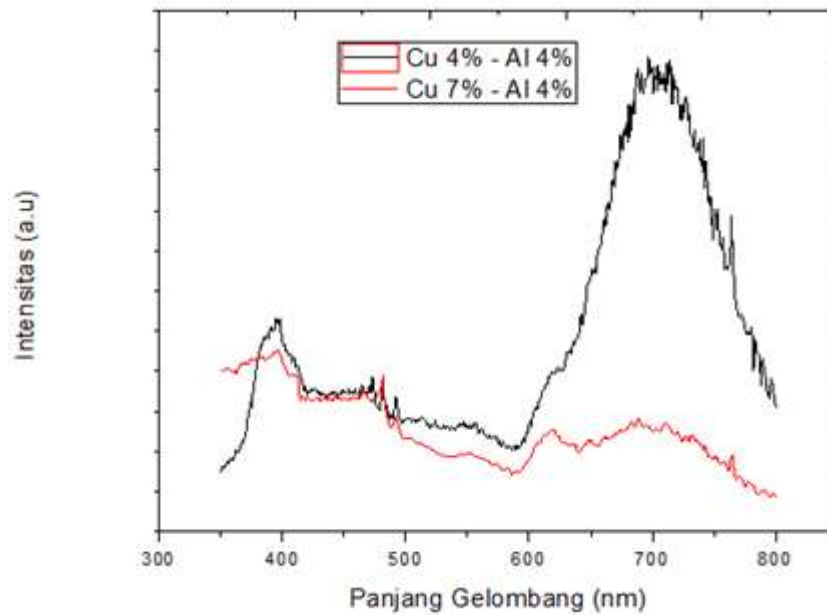


Gambar 4.7. Grafik hasil perhitungan Tauc-Plot dari *nanoflake* dengan variasi penambahan unsur Cu – Al

Berdasarkan gambar 4.6 terlihat bahwa pada sampel *nanoflake* Cu 7% - Al 4% menghasilkan nilai reflektansi yang lebih tinggi dibandingkan sampel *nanoflake* Cu 4% - Al 4%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai reflektansi mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai konsentrasi penambah unsur Cu-Al. Gambar 4.6 menunjukkan terjadi peningkatan pada panjang gelombang (375 nm – 400 nm) dan tertinggi pada panjang gelombang (400 nm – 800 nm) . Perbedaan nilai reflektansi optis yang berada pada daerah ultraviolet (300 nm - 400 nm) mengindikasikan terjadinya serapan cahaya (absorpsi). Adanya serapan pada daerah ultraviolet tersebut konsisten dengan tingginya tingkat penyerapan pada daerah ultraviolet seperti ditunjukkan gambar 4.3. Sementara itu, dari gambar spektrum reflektansi maupun absorpsi terlihat kurva tajam yang dikenal sebagai tepi absorpsi (*absorption edge*) yang berkaitan dengan kemiringannya mengindikasikan

besar pita celah energi. Perhitungan pita celah energi dilakukan dengan pengolahan spektrum *diffuse reflectance* menggunakan perhitungan Kubelka Munk dan selanjutnya data diolah dan di plot menggunakan metode Tauc-Plot seperti pada Gambar 4.7.

Berdasarkan hasil perhitungan dapat kita lihat penambahan konsentrasi doping unsur Cu membuat nilai celah pita energi mengalami kenaikan, pada doping Cu 4% - Al 4% didapatkan nilai celah pita energi 3,17 eV, dan pada doping Cu 7% - Al 4% didapatkan nilai celah pita energi 3,21 eV. Peningkatan ini dijelaskan sebelumnya dikarenakan adanya efek Moss – Burstein dimana penambahan unsur Cu kedalam partikel ZnO membuat energi Fermi mengalami peningkatan mendekati pita konduksi. Pergeseran ini disebabkan penambahan elektron pada pita valensi dimana hal ini sesuai saat pembuatan semikonduktor tipe n. Jika kita bandingkan dengan celah pita energi ZnO, 3.4 eV terjadi pengurangan lebar celah pita energi sebesar 0.2 - 0.3 eV ^[28]. Pengurangan celah pita energi tersebut sesuai dengan nilai serapan yang besar dan transmitansi optis yang rendah^[29]. Rendahnya nilai transmitansi diakibatkan adanya serapan energi oleh dominasi cacat alamiah (*native defect*). Hal ini sesuai apabila kita bandingkan dengan data grafik fotoluminisen. Berikut adalah hasil pengujian fotoluminisen material *nanoflake ZnO*.



Gambar 4.8. Spektrum fotoluminisen *nanoflake* dengan variasi penambahan unsur Cu – Al

Gambar 4.8 memperlihatkan spektrum fotoluminisen dari sampel *nanoflake*. Terdapat 2 puncak emisi, yaitu pada daerah ultraviolet (400 nm) dan pada daerah cahaya tampak (670 nm). Puncak pertama pada daerah luminisen ultraviolet sering disebut sebagai *near band gap emission* yang berkaitan dengan transisi eksitonik, yaitu transisi radiatif dari rekombinasi elektron yang tereksitasi ke pita konduksi dengan hole pada pita valensi. Berdasarkan gambar 4.3 dapat kita lihat bahwa pada sampel *nanoflake* Cu 7% - Al 4% memiliki puncak intensitas lebih tinggi jika dibandingkan dengan sampel *nanoflake* Cu 4% - Al 4%, hal ini menunjukkan bahwa penambahan unsur Cu mempengaruhi peningkatan intensitas. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel *nanoflake* dengan penambahan unsur Cu 7% - Al 4% ini dapat mengeksitasi elektron lebih efektif dan serapan cahayanya lebih tinggi (Gambar 4.3).

Puncak lainnya yaitu pada panjang gelombang 670 nm pada daerah cahaya tampak umumnya terjadi akibat adanya cacat alamiah (*native defect*) bahan ZnO seperti adanya kekosongan atom Zn, penyisipan atom Zn, kekosongan atom O, penyisipan atom O, dan faktor impuritas partikel ZnO dikarenakan adanya atom Cu. Pada puncak daerah cahaya tampak (670 nm) didapat puncak yang tinggi pada sampel dengan doping Cu 4% - Al 4%. Hal ini mengartikan bahwa sampel yang dengan doping Cu 4% - Al 4% memiliki jumlah cacat kristal yang banyak. Hal tersebut sesuai hasil absorbansi yang didapatkan sesuai gambar 4.3 . Pada nanoflake dengan penambahan unsur Cu 7%- Al 4% didapatkan nilai serapan cahaya lebih tinggi, dan nanoflake dengan penambahan unsur Cu 7%- Al 4% memiliki cacat kristal yang lebih sedikit berdasarkan hasil PL nya. Tingginya intensitas luminisen pada daerah cahaya tampak akibat peningkatan jumlah cacat kristal yang meningkatkan lebar pita valensi dan konduksi, yang berakibat turunnya lebar celah energi. Hal ini sesuai dengan data celah energi yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Dengan penambahan doping Cu didapatkan penurunan puncak pada daerah cahaya tampak. Rendahnya puncak pada daerah cahaya tampak ini mengidentifikasikan bahwa atom Cu berhasil menutup atau mengurangi cacat pada sampel. Atom Cu berhasil menggantikan kekosongan pada partikel ZnO dan seiring penambahan doping Cu puncak pada daerah cahaya tampak semakin menurun.

Sifat luminisen pada daerah cahaya tampak yang cukup tinggi ini baik untuk diaplikasikan pada devais sel surya karena peran ZnO sebagai penyerap cahaya lebih efektif untuk mengeksitasi elektron.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi morfologi, struktur kristal, dan sifat optik nanostruktur ZnO dengan penambahan unsur Cu-Al, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nanostruktur ZnO yang terbentuk dengan penambahan unsur Cu-Al adalah berbentuk nanoflake ZnO. Nanoflake ZnO yang tumbuh saling tumpang tindih, tidak homogen dan relatif tegak lurus dengan substrat ITO. Selain hal itu, ukuran nanoflake yang didapat semakin menurun dan densitas yang diperoleh semakin tinggi seiring penambahan unsur Cu - Al. Berdasarkan hasil ini, morfologi terbaik didapat pada material nanoflake ZnO dengan penambahan unsur Cu 7% - Al 4%.
2. Hasil pengujian XRD memperlihatkan masih banyak puncak – puncak yang bermunculan dan ditemukannya fasa baru yang. Munculnya puncak – puncak lain membantu untuk meyakinkan bahwa arah orientasi nanorod yang dibentuk memiliki orientasi yang beragam dimana hal ini dapat kita lihat dari hasil uji SEM. Ukuran kristal yang didapat mengalami peningkatan seiring penambahan unsur Cu - Al. Densitas yang didapat mengalami peningkatan saat diberi penambahan unsur Cu - Al. Fasa baru yang terbentuk yakni Al_2O_4Zn . Berdasarkan hasil XRD ini didapatkan bahwa penambahan unsur Cu 7% - Al 4% lebih optimal.

3. Besar nilai celah pita energi yang diperoleh mengalami kenaikan seiring dengan penambahan unsur Cu – Al. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa penambahan unsur Cu7% - Al 4% lebih optimal.

5.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk memastikan bahwa lapisan benih ZnO yang terbentuk sudah rata diseluruh permukaan. Dapat dilakukan penambahan unsur lain untuk mendapatkan karakteristik yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Beng, T.C. 2009. *Growth of Zinc Oxide Nanostructures and Films and P Doping of Fims in Aqueous Solution*. Thesis. Nasional University of Singapore. Singapore
- [2] Lee, J.D., 2000, *Concice inorganic chemistry*,chapman and hall, London
- [3] Fabbri, F, M. Villani, A. Catellani, dkk. 2014. *Zn Vacancy Induced Green Luminiscence on Non-Polar Surface in ZnO Nanostructures*. Journal ofc Scientif Report 4:5158
- [4] Setiawan Andhy dkk,2008,*Karakteristik Morfologi Permukaan Katalis Pt untuk Deposisi Silicon Nanowire* , ITB: Bandung
- [5] Raj K Thareja and Antaryami Mohanta, 2011, *ZnO Nanoparticles: Handbook of Nanophysics nanoparticles and quantum dots* , Sattler CRC Press : Kanpur
- [6] Sirenden, A.H .,2012 , *Sintesis Nanorods Seng Oksida (ZnO) Menggunakan Putih Telur Sebagai Biotemplate*, Universitas Indonesia : Depok
- [7]Ridhuan N S dkk , 2012, *Structural and Morphology of ZnO Nanorod Synthesized Using ZnO Seeded Growth Hydrothermal Method and Its Properties as UV Sensing* , Plose One Vol.7, e50405.
- [8] Agustinus, Eko, T.S, 2009, *Sintesis Hidrotermal Atapulgit Berbasis Batuan Gelas Vulkanik (Perlit) : Perbedaan Perlakuan Statis Dan Dinamis*

Pengaruhnya Terhadap Kuantitas Dan Kualitas Kristal, Puslit Geoteknologi
Komplek LIPI : Bandung

[9] Haliq,Ridhwan, 2014, *Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi terhadap Sensitivitas Sensor Gas CO Dari Material Zinc Oxide Hasil Proses Hidrotermal* , ITS : Surabaya

[10] Ma, H. L., et al., 2013, *Nanostructured ZnO films with various morphologies prepared by ultrasonic spray pyrolysis and its growing process*, *Appl. Surf. Sci.*, vol. 283, hal. 1006–1011

[11] Hua-Fang, Te & Kang, Shao-Hui. 2009. *Preparation and characterization of Mg-doped ZnO nanorods*, *Journal of Alloys and Compounds*. 492, 536-542

[12] Kim, K.H., et al.,(2015). *Effects of Li and Cu dopants on structural properties of zinc oxide nanorods*. *Superlattices and Microstructures*, 77,101 – 107

[13] Yu, J. L., et al.,(2015). *Temperature-dependent photoluminescence and Raman investigation of Cu-incorporated ZnO nanorods*, *Journal of Luminescence*. 161,330-334

[14]Mohan, R., et al., (2012). *Enhanced photocatalytic activity of Cu-doped ZnO nanorods*, *Solid State Communications*, 152,375 – 380

[15] Iqbal, J., et al.,(2015). *Facile Synthesis as well as Structural, Raman, Dielectric and Antibacterial Characteristics of Cu Doped ZnO Nanoparticles*, *Journal of Materials Science & Technology*, 31, 300 – 304

- [16] Fang, Dongyu, Yao, Pei & Li, Huijun. (2014). *Influence of annealing temperature on the structural and optical properties of Mg-Al co-doped ZnO thin films prepared via sol-gel method.*
- [17] Panigrahy, B., et al., (2010). *Aqueous Synthesis of Mn- and Co-Doped ZnO Nanorods*, *J.Phys.Chem. C*, 114, 11758 – 11763
- [18] Tomakin, M., (2012). Structural and optical properties of ZnO and Al-doped ZnO microrods obtained by spray pyrolysis method using different solvents, *Superlattices and Microstructures*, 51, 372 – 380
- [19] Zhong, W., et al., (2011). Elaboration and characterization of Al doped ZnO nanorod thin films annealed in hydrogen. *Journal of Alloys and Compounds*. 509, 3847 – 3851
- [20] Mamat, M. H., et al., (2014). Fabrication of an ultraviolet photoconductive sensor using novel nanostructured, nanohole-enhanced, aligned aluminium-doped zinc oxide nanorod arrays at low immersion times. *Sensors and Actuators B*, 195, 609 – 622
- [21] Raja, M., et al., (2015). Enhanced photovoltaic performance of quantum dot-sensitized solar cell fabricated using Al-doped ZnO nanorod electrode . *Superlattices and Microstructures*, 80, 53-62
- [22] Tao, R., et al., (2012). Electrochemical and structural analysis of Al-doped ZnO nanorod arrays in dye-sensitized solar cells. *Journal of Power Sources*, 214, 159 – 165
- [23] Aji, W.P, R.Priyotomo, I.Sugihartono, E. Handoko., B. Soegijono, dan M. Hikam. 2013. Pengaruh Suhu Tumbuh terhadap Struktur Kristal Lapisan

Tipis ZnO 0,02 mol. *Seminar Nasional Fisika*. Universitas Negeri Jakarta: 33-36.

[24] Nehru, L.C, M. Umadevil, C. Sanjeeviraja. 2002. *Studies on Structural, Optical and Electrical Properties of ZnO Thin Lapisans Prepared by the Spray Pyrolysis Method*. International Journal of Materials Engineering 2(1): 12-17.

[25] Witjaksono Ari, 2011, *Karakteristik Nanokristalin ZnO Hasil Presipitasi Dengan Perlakuan Pengeringan, Anil Dan Pasca – Hidrotermal*, Universitas Indonesia : Depok

[26] Willader. M, L.L Yang, A.Wadeasa, S. U. Ali. 2008. *Zinc Oxide Nanowires: Controlled Low Temperature Growth and Some Electrochemical and Optical Nano-Devices*. Journal of Materials Chemistry 19: 1006 – 1018.

[27] Fan, Guangyin, Wang, Chenyu, Fang, Jiye. (2014). *Solution-based synthesis of III-V quantum dots and their applications in gas sensing and bio-imaging*.

[28] Khairurrijal, K., et al. 2008, Review: *Sintesis Nanomaterial*, Jurnal Nanosains & Nanoteknologi, 1, 33-57.

[29] Novita, A., (2015). *Sintesis dan karakterisasi zinc oxide (zno) nanorods menggunakan metode hidrotermal*. Depok: Universitas Indonesia.

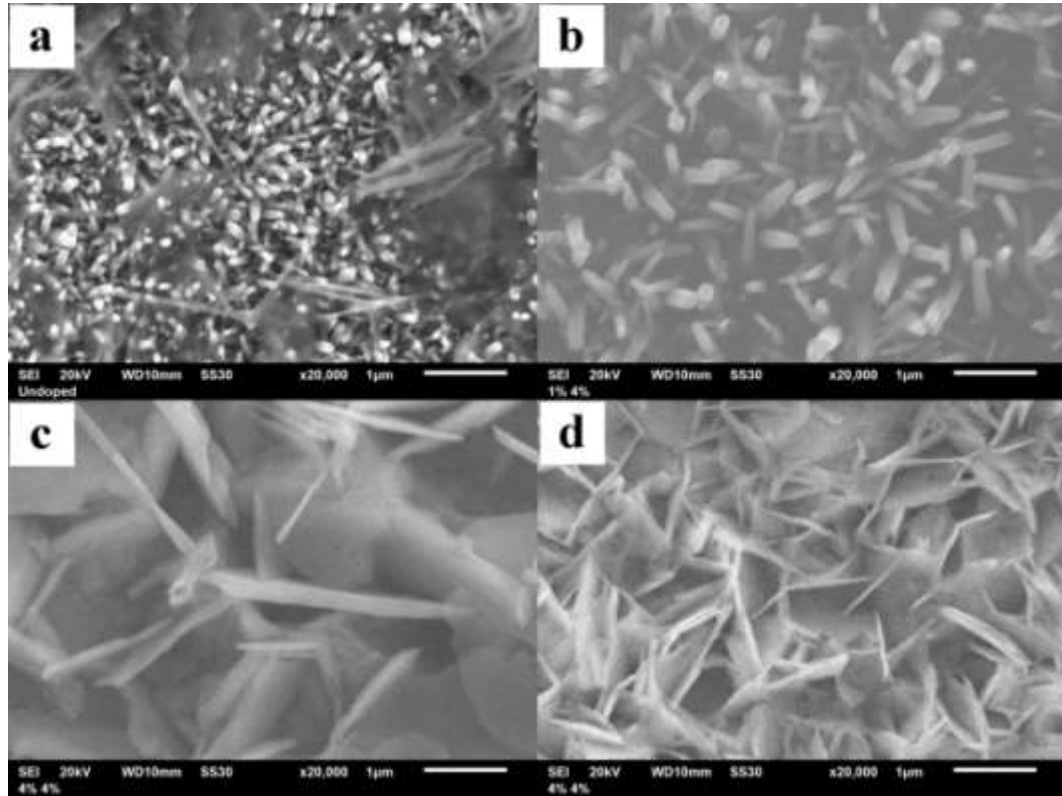
[30] Amutha, C., A. Dhanalakshmi, B. Lawrence, K. Kulatharman, V. Ramadas, B. Natarajan. 2014. *Influence of Concentration on Structural and Optical Characteristics of Nanocrystalline ZnO Thin Films Synthesized by*

Sol-Gel Dip Coating Method. Jurnal Progress in Nanotechnology and Nanomaterials (3): hal 13-18

[31] Liu ,Y.,Gao,W.,2015. *Growth process, crystal size and alignment of ZnO nanorods synthesized under neutral and acid conditions*, J. Alloys Compd., vol. 629, hal. 84–91

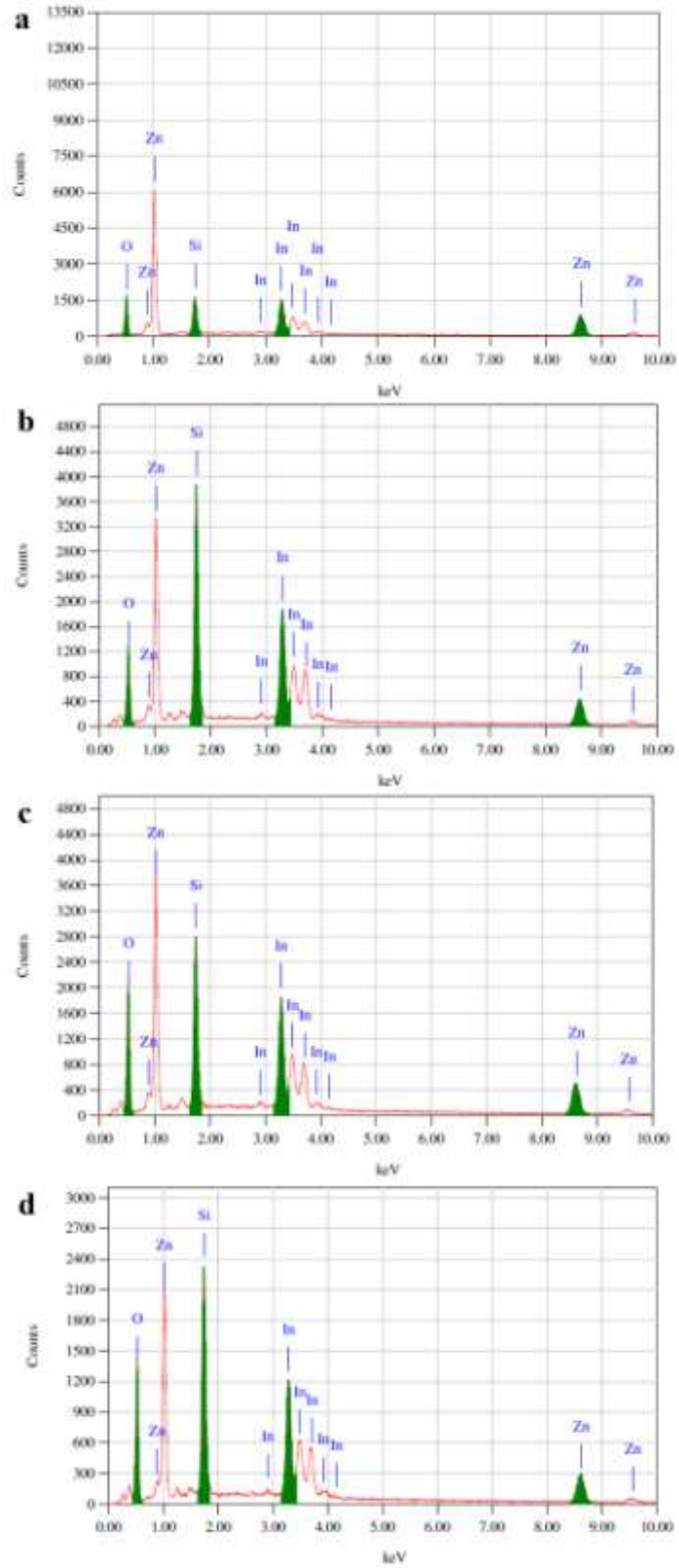
LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM)



Hasil SEM nanostruktur ZnO (a) *undoped* dan *doping* (b) Cu (1%) Al (4%), (c) Cu (4%) Al (4%), (d) Cu (7%) Al (4%).

Lampiran 2. Hasil Karakterisasi EDX

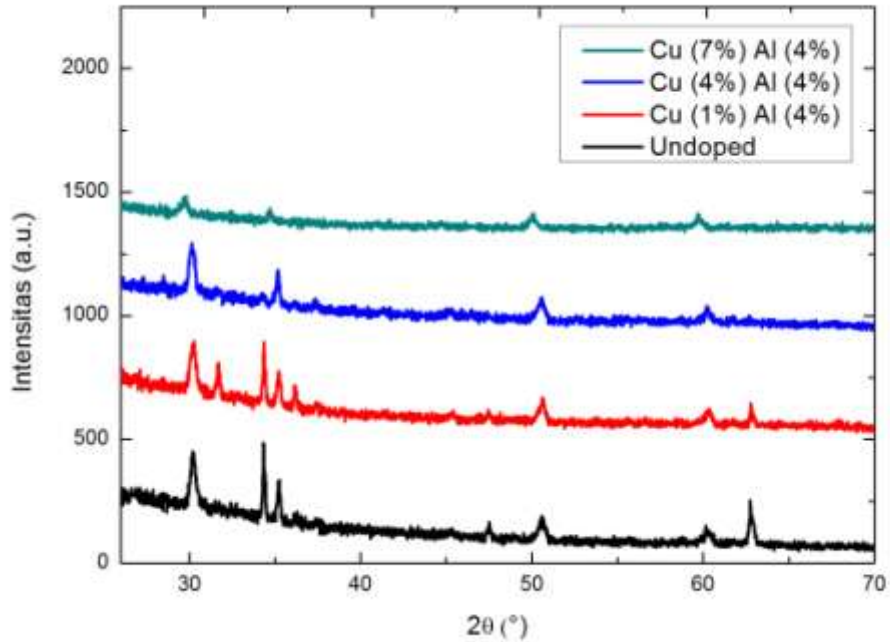


Hasil EDX nanostruktur ZnO (a) *undoped* dan *doping* (b) Cu (1%) Al (4%), (c) Cu (4%) Al (4%), (d) Cu (7%) Al (4%).

Data hasil EDX nanostruktur ZnO.

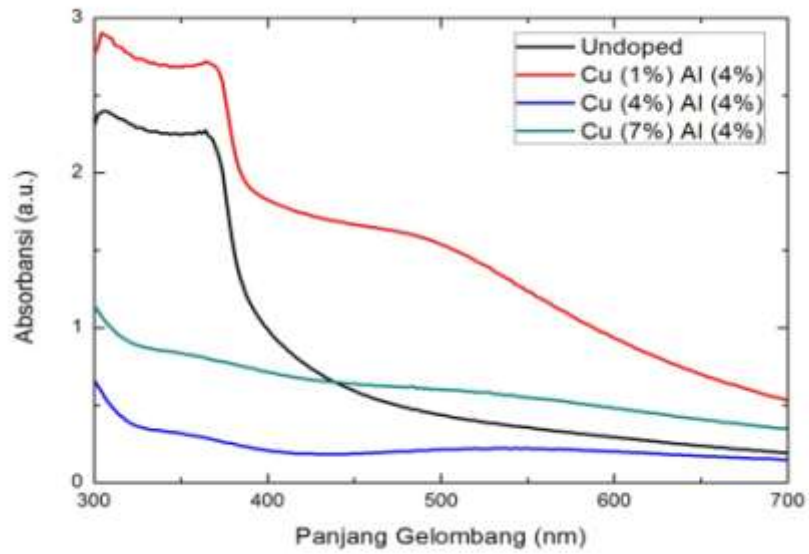
Sampel	% Massa				% Atom			
	O	Si	Zn	In	O	Si	Zn	In
<i>Undoped</i>	43,12	7,67	28,86	20,34	75,14	7,61	12,31	4,94
Cu (1%) Al (4%)	40,58	17,23	15,35	26,85	70,10	16,95	6,49	6,46
Cu (4%) Al (4%)	50,72	11,17	15,57	22,54	79,21	9,93	5,95	4,90
Cu (7%) Al (4%)	50,91	13,68	13,01	22,41	78,32	11,98	4,90	4,80

Lampiran 3. Hasil Karakterisasi XRD

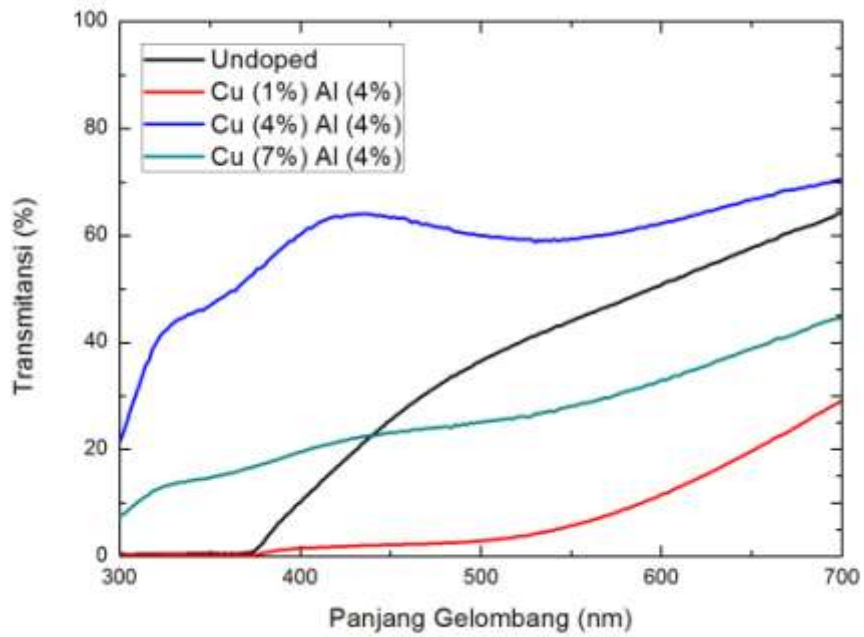


Spektrum XRD nanostruktur ZnO

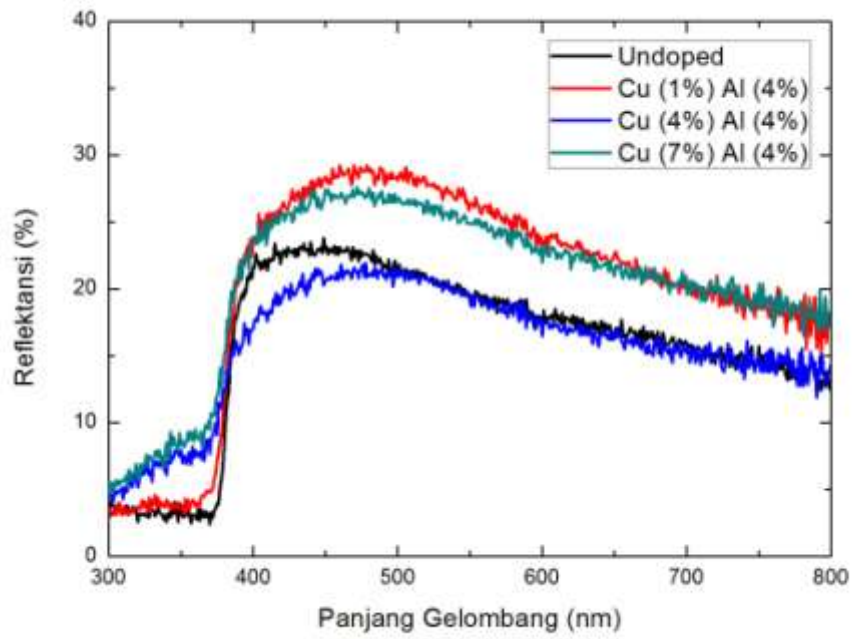
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi UV-VIS



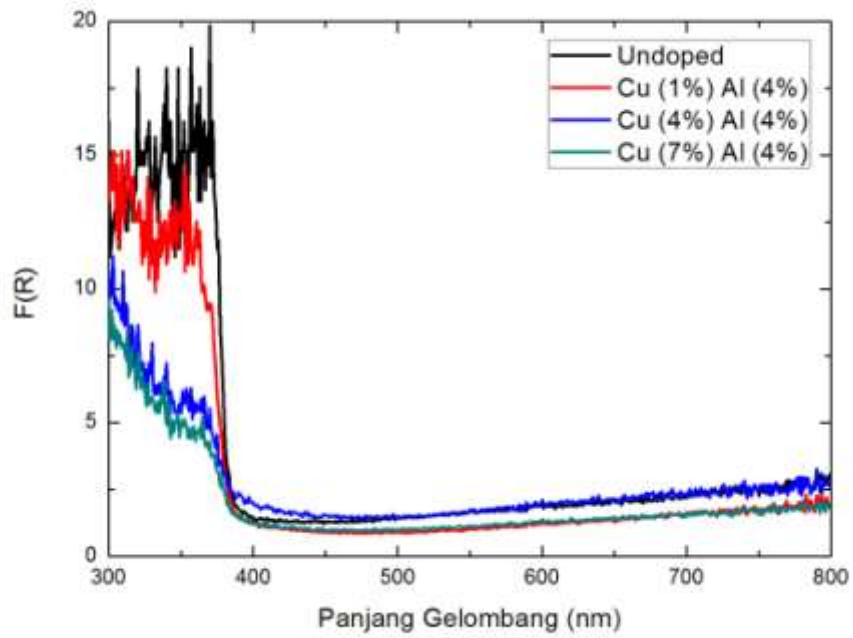
Spektrum absorbansi nanostruktur ZnO.



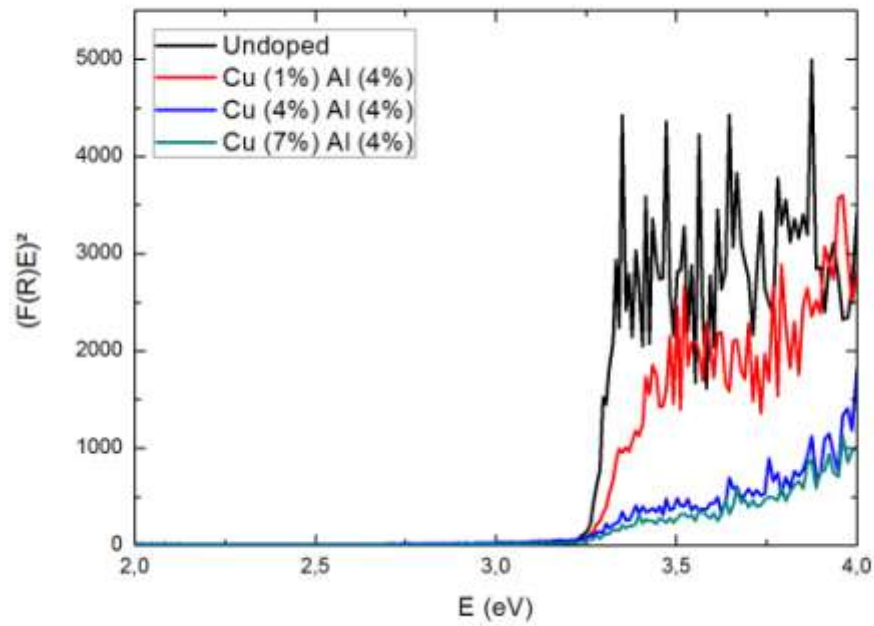
Spektrum transmitansi nanostruktur ZnO.



Spektrum reflektansi nanostruktur ZnO.

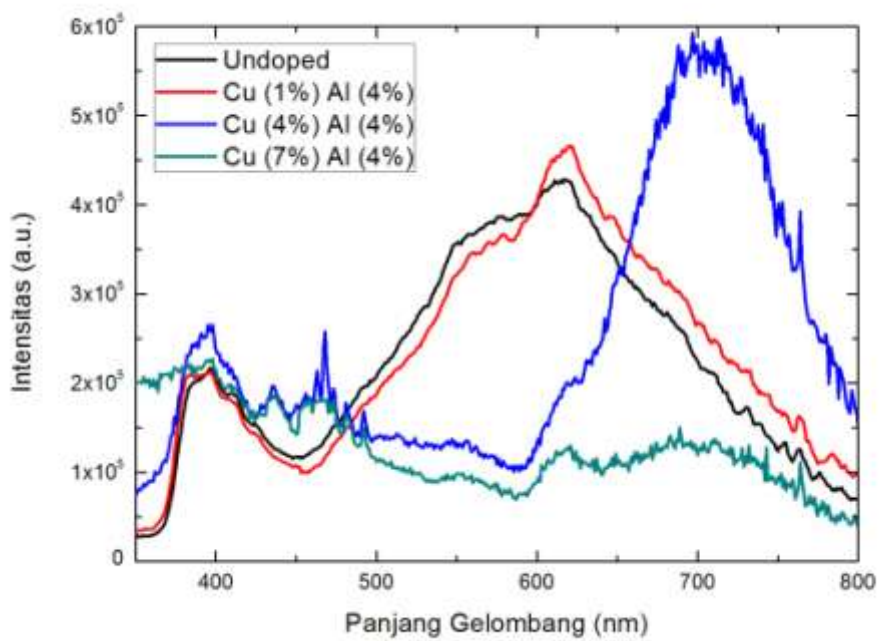


Kurva F(R) terhadap panjang gelombang.



Kurva $(F(R)E)^2$ terhadap energi.

Lampiran 5. Hasil Karakterisasi Fotoluminesensi (PL)



Spektrum fotoluminesensi nanostruktur ZnO.

Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian



Preparasi substrat Silikon



Pembuatan lapisan benih ZnO di atas Silikon



Prekursor HMT dan ZNT



Pembuatan larutan HMT dan ZNT



Sintesis *nanorods* ZnO pada 95°C selama 2 jam



