

**STUDI PENGARUH JUMLAH MOL *ZINC ASETAT
DYHIDRATE* TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN
FOTOLUMINESEN LAPISAN TIPIS ZnO**

SKRIPSI

**Disusun untuk memenuhi syarat-syarat
guna memperoleh gelar Sarjana Sains**



LARA PERMATA SARI

3225111272

PROGRAM STUDI FISIKA

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN

ALAM

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA


2015

PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

**“STUDI PENGARUH JUMLAH MOL ZINC ASETAT DYHIDRATE
TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN FOTOLUMINESEN LAPISAN
TIPIS ZnO”**

Nama : Lara Permata Sari

No. Reg. : 3225111272

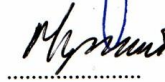
	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Penanggung Jawab</u>			
Dekan	: Prof. Dr. Suyono, M.Si NIP. 19671218 199303 1 005		29/7-15

Wakil Penanggung Jawab


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

 28/7-15

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

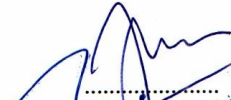
 27/7-15

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

 28/7-15

Anggota


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

 28/7-15

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

 28/7-15

Penguji : Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si
NIP. 19770510 200604 2 001

 27/7-15

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal : 9 Juli 2015

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta:

Nama : Lara Permata Sari

No. Registrasi : 3225111272

Jurusan : Fisika

program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang telah saya selesaikan dengan judul **“Pengaruh Jumlah Mol Zinc Asetat Dyhidrate terhadap Struktur Kristal dan Fotoluminesen Lapisan Tipis ZnO”**

1. Dibuat dan diselesaikan oleh saya sendiri
2. Bukan merupakan duplikat skripsi yang pernah dibuat oleh orang lain, bukan jiplakan karya tulis orang lain, dan bukan pula terjemahan karya tulis orang lain.

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

Jakarta, 28 Juli 2015

Yang membuat pernyataan

Lara Permata Sari
3225111272

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberi petunjuk dan kesabaran tanpa batas sehingga penulisan skripsi yang berjudul, "Studi Pengaruh Jumlah Mol *Zinc Asetat Dyhidrate* terhadap Struktur Kristal dan Fotoluminesen Lapisan Tipis ZnO" dapat diselesaikan dengan baik.

Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga melalui kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Anggara budi Susila, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika UNJ
2. Bapak Dr. Esmar Budi, M.T selaku Ketua Program Studi Fisika UNJ
3. Bapak Dr. Iwan Sugihartono M,Si sebagai Dosen Pembimbing I yang telah memberikan dan meluangkan segenap waktu, tuntunan, bimbingan, ilmu serta arahan selama penelitian dan penulisan skripsi.
4. Bapak Dr. Erfan Handoko M,Si sebagai Dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan ilmu dan saran
5. Dr. rer.nat, Bambang Heru Iswanto, M.Si, Bapak Riser Fahdiran, M.Si dan Ibu Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si selaku ketua, sekretaris dan penguji sidang yang telah berkenan untuk memberikan waktu untuk berdiskusi.
6. Bapak/Ibu Dosen, Staff Jurusan Fisika, serta seluruh jajaran birokrasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNJ.
7. Bapak Milus dan Ibu Sutirahayu selaku orang tua atas do'a dan motivasi baik secara moril maupun materil.
8. Sahabat terbaik, teman terbaik, Mahasiswa Program studi Fisika angkatan 2011. Erlina, Ade, Maulida, Ellin, Lory juga teman-teman lainnya yang tidak bisa disebutkan satu-persatu.
9. Rekan-rekan mahasiswa ITB. Kak Cahyo, Kak Raisa, Widya, Romel, Hakim, Mufida dan Vina yang telah banyak membantu saat proses pengolahan data hasil pengujian sampel.
10. Barisan penelitian penumbuhan lapisan tipis ZnO, Mega, Ayu dan Ratih.

11. Kakak-kakak serta adik-adik di program studi Fisika UNJ angkatan 2010, 2012, 2013 serta 2014 atas doa dan semangatnya.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan bantuan dan motivasi baik moril maupun spiritual, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Akhir kata, semoga Allah SWT membalas semua jasa tersebut diatas dengan sebaik-baik balasan. Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan pada penulisan skripsi ini. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi peneliti, pembaca dan bidang sains pada umumnya. Aamiin.

Jakarta, Juli 2015

Penulis

ABSTRAK

LARA PERMATA SARI, 2015. “Studi Pengaruh Jumlah Mol *Zinc Asetat Dihydrate* terhadap Struktur Kristal dan Fotoluminesen Lapisan Tipis ZnO.” Skripsi. Jakarta: Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta.

Telah dilakukan penumbuhan lapisan tipis ZnO dengan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebagai prekursor dan air deionisasi sebagai pelarut. Lapisan ditumbuhkan di atas substrat Si(111) dengan metode *Ultrasonic Spray Pyrolysis* pada suhu tumbuh 450°C selama 10 menit. Variasi jumlah mol $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ adalah 0,01 mol, 0,02 mol dan 0,03 mol. Pengaruh jumlah mol terhadap struktur, ukuran butir, parameter kisi pada lapisan tipis ZnO dikarakterisasi dengan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) dan karakteristik fotoluminesen lapisan tipis ZnO diuji dengan menggunakan *spectrofluorophotometer*. Hasil analisis difraksi sinar-X menunjukkan bahwa semua sampel memiliki struktur *hexagonal wurtzite*, besarnya ukuran butir sampel prekursor 0,01 mol; 0,02 mol dan 0,03 mol berturut-turut yaitu 46,7 nm, 45,6 nm dan 54,8 nm. Hasil spektrum fotoluminesen sampel menunjukkan 2 pita: pertama yaitu pita emisi eksiton pada daerah UV tepat pada panjang gelombang 359 nm. Kedua dengan lebar pita pada cahaya tampak hijau pada kisaran panjang gelombang 518- 570 nm. Intensitas terbesar yaitu pada sampel 0,02 mol. Sehingga berdasarkan hasil penelitian ini maka lapisan tipis yang paling optimal yaitu lapisan dengan menggunakan jumlah mol prekursor 0,02 mol.

Kata Kunci: Lapisan tipis, ZnO, *Ultrasonic Spray Pyrolysis* (USP), Mol, Fotoluminesen

ABSTRACT

LARA PERMATA SARI, 2015. “Studies on Effect Mol of Zinc Asetat Dyhidrate on Structural and Photoluminiscence Properties of ZnO Thin Film. Thesis. Jakarta: Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, State University of Jakarta.

ZnO thin film with $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ powder as precursor and deionized water as a solvent were grown on substrate Si(111) by using Ultrasonic Spray Pyrolysis method. The growth temperature of film is 450°C for 10 minutes. The variety of mol $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ are 0,01 mol, 0,02 mol and 0,03 mol. The effect of molarity on structure, grain size, the lattice parameter on thin films ZnO were investigated by X-ray diffraction (XRD) and the photoluminescence (PL) characteristics of ZnO film were investigated by spectrofluorophotometer. The X-ray diffraction analysis revealed that all samples have hexagonal wurtzite structure, the grain size thin films respective are 46,7 nm, 45,6 nm-54,8 nm. The photoluminescence spectra of ZnO shows two bands: the first is an exciton emission band in the UV region centered at 359 nm. The second is an intense band in the green region between 518 and 570 nm. The maximum intensity on sample 0,02 mol. Thus based on this result show that the optimum thin film which used mol of precursor 0,02 mol.

Keywords: *Thin Film, ZnO, Ultrasonic Spray Pyrolysis (USP), Mol, Photoluminescence*

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	4
1.3. Pembatasan Masalah	4
1.4. Perumusan Masalah	4
1.5. Tujuan Penelitian	5
1.6. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Zinc Oxida	6
2.1.1 Lapisan Tipis ZnO	6
2.1.2 Struktur Kristal ZnO	8
2.1.2 Sifat Optik ZnO	9
2.2. Metode USP (<i>Ultrasonic Spray Pyrolysis</i>)	12
2.3. Difraksi Sinar X	14
2.4. Software PANalytical's High Score	16
2.5. Spektrofluorometer	16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1. Tujuan Penelitian	19
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.3. Metode Penelitian	20
3.4. Prosedur Penelitian	20
3.4.1. Alat dan Bahan Penelitian	20
3.4.2. Perangkat Karakterisasi	23
3.4.3. Diagram Alir Penelitian	26
3.4.4. Teknik Penumbuhan Lapisan Tipis	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1. Analisis Hasil Difraksi Sinar-X (XRD)	33
4.2. Analisis Data Fotoluminesen	37
BAB V PENUTUP	39
5.1. Kesimpulan	39
5.2. Saran	40

DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Wutzit dari ZnO	8
Gambar 2.2. Spektrum Elektromagnetik berdasarkan Panjang Gelombangnya ..	10
Gambar 2.3. Contoh Skema Sistem <i>Spray Pyrolysis</i>	12
Gambar 2.4. Skema Jatuhnya Nebula ke Atas Substrat dengan Berbagai Kondisi	13
Gambar 2.5. Difraksi Sinar-X Pada Kisi Kristal	15
Gambar 2.6. Skematik Diagram <i>Spectrofluorophotometer</i>	17
Gambar 3.1. XRD- Shimadzu 7000	23
Gambar 3.2. <i>Holder</i> Sampel	24
Gambar 3.3. RF-5301PC <i>Spectrofluorophotometer</i>	24
Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3.5. Serbuk Prekursor (<i>Zinc Asetat Dyhidrate</i>)	28
Gambar 3.6. Pemotongan Substrat	29
Gambar 3.7 Membersihkan Substrat dengan <i>Ultrasonic Cleaner</i>	30
Gambar 3.8. Proses Pengeringan Substrat.....	30
Gambar 4.1. Profil Permukaan Lapisan Tipis ZnO Variasi Jumlah Mol Prekursor (Sampel A Mewakili Lapisan Tipis Jumlah Mol Prekursor 0,01 mol; Sampel B dengan Jumlah Mol Prekursor 0,02 mol dan Sampel C dengan Jumlah Mol Prekursor 0,03 mol.....	32
Gambar 4.2. Pola XRD pada Lapisan Tipis ZnO di Atas Substrat dengan Variasi Jumlah Mol Preku	
Gambar 4.3 Grafik Hubungan antara Jumlah mol Prekursor terhadap Ukuran Butir Sampel.....	36

Gambar 4.4 Grafik Spektrum PL Lapisan Tipis ZnO pada Panjang Gelombang Eksitasi 325 nm 37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan Sifat Fisis GaN dengan ZnO	7
Tabel 4.1. Parameter Kisi dan Ukuran Butir dan Regangan Kisi Lapisan Tipis ZnO dengan Jumlah Mol Prekursor yang Berbeda (A) 0,01 mol, B(0,02 mol) dan (C) 0,03 mol	35

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan elektronika sangat pesat dan menjadi tulang punggung pada bidang teknologi. Kemajuan yang sangat pesat ini diawali setelah ditemukannya komponen semikonduktor yang banyak memberikan sifat-sifat dalam membantu semua persoalan elektronika. Dengan ditemukannya semikonduktor maka komponen menjadi sangat ringan, sangat kompak dan persatuan luas mempunyai kepadatan rangkaian yang sangat tinggi.^[1] Salah satu perkembangan teknologi yang sedang berkembang pesat saat ini adalah teknologi lapisan tipis (*thin film*). Lapisan tipis adalah suatu lapisan yang memiliki ketebalan (*thickness*) dalam orde nanometer hingga beberapa mikrometer.^[17]

Indium tin oxide (ITO) adalah salah satu lapisan tipis penghantar transparan yang memiliki banyak aplikasi seperti elektroda transparan, jendela sel surya, LED, *flat panel displays* dan sensor.^[8] Saat ini *indium tin oxide* (ITO) merupakan material oksida konduktif transparan (*transparent conductive oxide*) yang umum dipakai, hal itu karena ITO juga memiliki transmitasi yang tinggi (~90%) pada daerah sinar tampak (*visible*) dan memiliki resistivitas listrik yang rendah, akan tetapi indium merupakan unsur yang relatif langka sehingga harganya mahal, selain itu juga beracun.^[3] Maka hal ini memicu para peneliti untuk berusaha untuk mencari material penggantinya. ZnO merupakan material yang menjanjikan untuk

menggantikan material ITO pada aplikasi-aplikasi tersebut.^[15] ZnO memiliki kelebihan dibandingkan dengan material ITO antara lain lebih fleksibel (mudah untuk dipadukan dengan material yang lain), lebih mudah di ekstrak, dan harganya juga relatif murah.^[3]

ZnO adalah bahan semikonduktor yang memiliki kinerja tinggi dan panjang gelombang yang pendek pada perangkat optoelektronik karena besar *band gap* atau lebar celah pita energi sekitar 3,37 eV dan besar energi ikat eksiton sekitar 60 MeV pada temperatur ruang. Nilai *band gap* yang besar mempengaruhi besarnya tegangan untuk mengubah suatu material menjadi penghantar listrik, dan kemampuan beroperasi pada suhu yang tinggi. Celah pita energi yang besar membuat ZnO transparan dalam daerah spektrum sinar tampak. Sifat transparan ini dikarenakan adanya perbedaan antara energi foton dan energi gap yang semakin besar menyebabkan serapan turun (transmitasi naik). Dengan demikian bahan ZnO banyak digunakan untuk elektroda transparan maupun lapisan tipis tipe-n dan jendela sel surya.^[2]

Lapisan tipis ZnO bertransparan tinggi dapat dibuat dengan berbagai teknik, dan berhubungan dengan parameter yang digunakan sangat mempengaruhi morfologi dan sifat fisika dari benang nano. Teknik-teknik tersebut antara lain, *thermal evaporation, sputtering, spray pyrolysis, metal organic chemical vapor deposition (MOCVD), pulsed laser deposition, molecular beam epitaxy (MBE)* dan *chemical synthetic routes*, termasuk hidrotermal, *solvo thermal, sol-gel electrochemical, chemical bath deposition* yang telah sukses untuk dilakukan pada variasi benang nano ZnO.^[15]

Teknologi *Spray pyrolysis* memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan teknik yang lain yaitu tekniknya sederhana, prosesnya bertekanan rendah, kebutuhan baku yang lebih hemat,^[2] dan suhu substrat relatif rendah.^[15] Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Wisnu, 2013 lapisan tipis ZnO 0,02 mol ditumbuhkan dengan teknik *ultrasonic spray pyrolysis* dengan parameternya adalah variasi suhu tumbuh, diberi perlakuan *annealing* pada suhu 900°C selama 60 menit. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa lapisan tipis ZnO memiliki struktur polikristal, dan perlakuan *annealing* dapat menurunkan nilai transmitasi, ketebalan lapisan tipis ZnO dan nilai *band gap*.

Sehingga pada penelitian ini penulis akan membuat lapisan tipis dengan menggunakan campuran prekursor berupa serbuk *zinc asetat dyhidrate* atau $\text{Zn}(\text{CH}_3(\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ yang akan dilarutkan di air deionisasi dengan menggunakan teknik yang sama. Perbedaan dengan penelitian sebelumnya yaitu pada penelitian ini parameter yang akan digunakan adalah parameter jumlah mol prekursor tanpa perlakuan *annealing*. Variasi jumlah mol prekursor yang akan digunakan yaitu 0,01 mol, 0,02 mol dan 0,03 mol. Penumbuhan lapisan akan dilakukan di atas substrat silikon dengan orientasi bidang kristal (111).

Efisiensi dan *performance* pada sifat optik dan sifat listrik *nanodevice* sangat ditentukan oleh struktur nano, dimana dalam hal ini akan bergantung pada *crystallographic*, orientasi ukuran, bentuk dan morfologinya.^[15] Oleh karena itu penting untuk mengkaji lebih lanjut berkaitan dengan struktur kristal dan sifat optik khususnya pada hasil karakteristik fotoluminesen lapisan tipis tersebut,

yaitu masing-masing dengan menggunakan *x-ray diffraction* (XRD) dan *Spectrofluorophotometer*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat diketahui beberapa masalah yang dapat diidentifikasi, antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah mol prekursor terhadap struktur kristal lapisan tipis ZnO
2. Bagaimana pengaruh variasi jumlah mol prekursor terhadap hasil karakteristik fotoluminesen dari lapisan tipis ZnO

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini penulis hanya membatasi masalah pada pengaruh hasil karakterisasi struktur kristal dan fotoluminesen dari lapisan tipis ZnO di atas substrat Si (111), yang telah ditumbuhkan dengan 3 variasi jumlah mol prekursor menggunakan teknik *Ultrasonic Spray Pyrolysis* (USP).

1.4 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dikaji pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah mol prekursor terhadap struktur kristal lapisan tipis ZnO di atas substrat Si (111)?

2. Bagaimana pengaruh variasi jumlah mol prekursor terhadap karakteristik fotoluminesen pada lapisan tipis ZnO di atas substrat Si (111)?

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mempelajari struktur pengaruh variasi jumlah mol prekursor terhadap struktur kristal dan karakteristik fotoluminesen lapisan tipis ZnO di atas substrat Si (111)
2. Mengetahui lapisan tipis dengan jumlah mol prekursor yang paling optimal untuk dijadikan sebagai divais.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui dan memahami hasil karakteristik lapisan tipis ZnO variasi molaritas di atas substrat Si (111) yang telah ditumbuhkan berkaitan dengan struktur kristal dan karakteristik fotoluminesen lapisan tipis tersebut.
2. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi untuk perkembangan nanoteknologi di masa yang akan datang.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Zinc Oxida

2.1.1 Lapisan Tipis ZnO

Lapisan tipis adalah suatu lapisan yang sangat tipis dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal-organik yang dapat memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, maupun isolator. Lapisan tipis dideposisikan ke permukaan substrat material (*bulk*) untuk mendapatkan sifat yang tidak dapat diperoleh jika materialnya hanya berupa substrat (tanpa lapisan film tipis).

Elektroda transparan (*conductive transparent*) merupakan suatu lapisan tipis yang bersifat konduktif yang dideposisikan di atas permukaan suatu substrat.^[3] TCO (*Transparent Conducting Oxide*) yang ideal memiliki sifat antara lain: transparansi yang tinggi pada panjang gelombang tertentu, konduktivitas yang tinggi serta memiliki *carrier mobility* yang tinggi.^[12] TCO diaplikasikan pada aspek komputasi *Liquid Crystal Display* (LCD), *Light Emitting Diode* (LED) dan aspek energi alternatif seperti sel surya.^[3]

Zinc oxide telah dikenal sebagai salah satu bahan TCO alternatif, karena resistivitasnya yang rendah dapat ditumbuhkan pada substrat dengan suhu yang relatif rendah sekitar 200-500°C dibandingkan SnO₂ atau ITO. Stabilitas ZnO bagus dalam plasma hidrogen dan harganya murah.^[7] Selain ZnO, material yang dapat dijadikan sebagai lapisan tipis adalah GaN.

Berikut adalah perbandingan sifat fisis GaN dengan ZnO :

Tabel 2.1 Perbandingan Sifat Fisis GaN dengan ZnO

Parameter Fisika	ZnO	GaN
Berat molekul	81,389	83,729
Densitas (g/ cm ³)	5,642	6,11
<i>Space group</i> , tipe kisi	p6 ₃ mc (wurtzite)	p6 ₃ mc (wurtzite)
Parameter kisi, Å	a = 3,25, c = 5,205	a = 3,189, c = 5,206
Titik lebur, K	2250	1700
<i>Bandgap energy</i> , E _g , eV (RT)	3,37	3,39
Energi ikat eksiton, meV	60	21,28

ZnO adalah salah satu material yang baik untuk dijadikan sebagai bahan lapisan tipis, karena ZnO memiliki lebar pita celah energi (*bandgap energy*) yang lebar (3,37 eV) dan energi ikat eksiton yang besar pula yaitu 60 meV dibandingkan GaN pada temperatur ruangan (seperti pada tabel 2.1).^[15] Besarnya energi celah pita akan mempengaruhi besarnya tegangan yang diperlukan untuk mengubah suatu material menjadi penghantar listrik, kemampuan untuk bertahan di bawah medan listrik yang kuat, *noise* elektronik yang rendah, serta kemampuan beroperasi di suhu dan daya tinggi. Energi ikat eksiton pada ZnO yang tergolong tinggi dapat mencegah elektron dan lubang terpisah, sehingga proses emisi eksitonik atau yang efisien dapat terjadi pada ZnO pada temperatur ruang atau temperatur yang lebih tinggi lagi. Secara optik, ZnO memiliki luminesen yang kuat pada cahaya hijau-putih^[9]. Sifat seperti ini sangat potensial untuk diterapkan pada penggunaan material optoelektronika misalnya seperti LED.^[3]

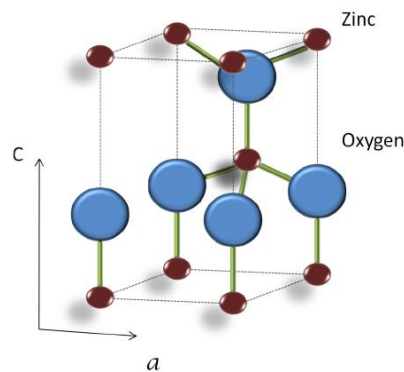
ZnO memiliki karakteristik tipe-n (mayoritas pembawa muatannya adalah elektron, yang bermuatan negatif) bahkan tanpa adanya pendopingan. Hal ini

dikarenakan adanya cacat kristal alamiah (*native defect*) yang khas hanya dimiliki oleh ZnO, seperti kelebihan oksigen dan terdapat atom interstisi dari zinc.^[2]

2.1.2 Struktur Kristal ZnO

Struktur dan simetri suatu zat padat memiliki peran penting dalam menentukan sifat-sifatnya, seperti struktur pita energi dan sifat optiknya. ZnO diklasifikasikan sebagai senyawa bergolongan II b- VI, 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. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Struktur Wurtzite dari ZnO (*Cryst, 2004*)

Struktur kristal *wurtzite* pada ZnO memiliki parameter kisi $a = 3,2495 \text{ \AA}$ dan $c = 5,2069 \text{ \AA}$ dengan densitas $5,605 \text{ g/cm}^3$.^[4] 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.^[3]

2.1.3 Sifat Optik ZnO

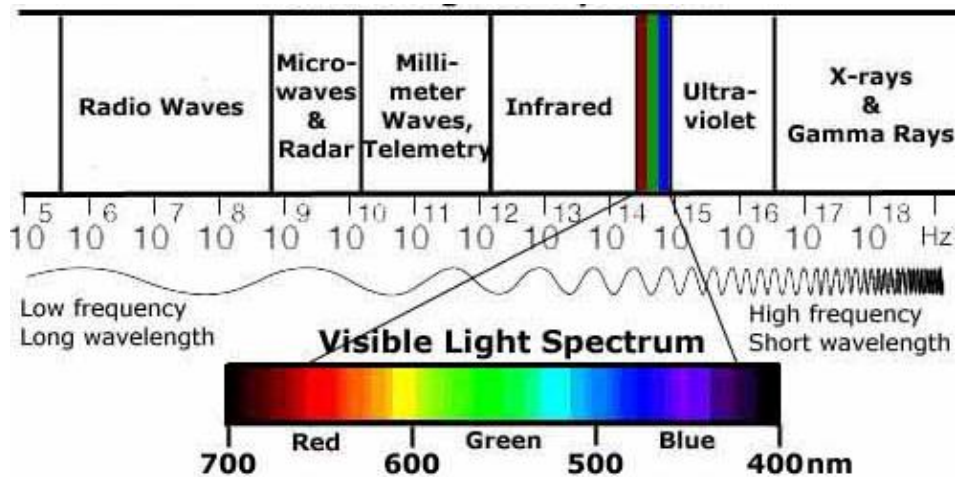
Sifat optik suatu material adalah respon suatu material terhadap paparan gelombang elektromagnetik, radiasi, khususnya pada *range* cahaya tampak. Sifat optik yang akan dipelajari pada penelitian ini adalah spektrum fotoluminesen. Spektrum fotoluminesen yang dihasilkan berkaitan dengan kualitas lapisan yang terbentuk dan dapat dipengaruhi oleh struktur kristal, ukuran kristal, dan pemilihan substrat. Pengertian 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.

Energi foton dari radiasi elektromagnetik dengan frekuensi tertentu dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut,

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240 \text{ (dalam satuan eV.nm)}}{\lambda \text{ (dalam satuan nm)}} \quad (2.2)$$

Pemancaran cahaya yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai aplikasi untuk divais optoelektronika^[4] yaitu pembuatan divais struktur hetero lampu dioda

berbasis ZnO yang mampu menghasilkan warna akibat dari fenomena *impact excitation*.^[19]



Gambar 2.2 Spektrum Elektromagnetik berdasarkan Panjang Gelombangnya.

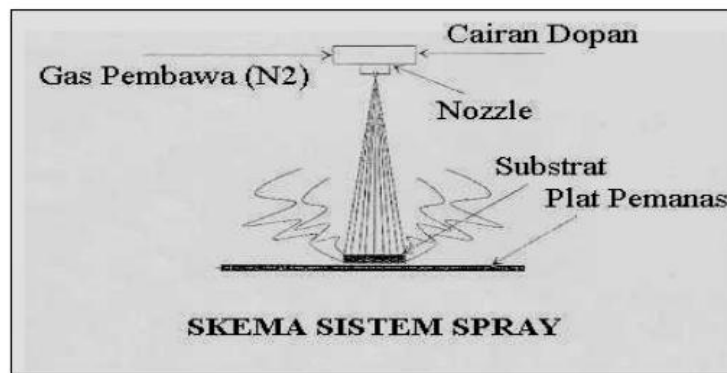
Sebagai bahan semikonduktor ZnO memiliki karakteristik khas, yaitu memiliki cacat kristal alamiah (*native defect*). Cacat yang terjadi meliputi kekosongan (kehilangan atom pada posisi kisinya), interstisial (atom tambahan yang menyisip pada posisi suatu kisi) dan *antisites* (atom Zn menempati tempat atom O ataupun sebaliknya)^[20]. Adanya *defect* (cacat) di dalam material ZnO dapat mempengaruhi sifat elektrik dan optik material tersebut, yaitu baik dari kinerja maupun efisiensinya. Secara optik spektrum fotoluminesen menunjukkan karakteristik spesifik dari dua emisi, yaitu ultraviolet (UV) dan cahaya tampak.

Umumnya, ZnO memiliki emisi ultraviolet disebabkan oleh rekombinasi eksiton bebas yang diikuti dengan keberadaan emisi lebar cahaya tampak. Pada cahaya tampak, emisi kuning 580 nm dan *orange-merah* yaitu berkaitan dengan penerima cacat elektron seperti, terjadinya interstisial oksigen (O_i).^[6, 18]. Emisi

hijau biasanya disebabkan oleh kekosongan oksigen(V_o)^[15] dan kekosongan Zn (V_{Zn})^[9]. Kekosongan oksigen(V_o) kekosongan oksigen ini terjadi karena oksigen berperan sebagai donor elektron, dimana hal ini akan dapat mempengaruhi konduktivitas listrik pada penumbuhan ZnO di atas substrat silikon.

2.2 Metode USP (*Ultrasonic Spray Pyrolysis*)

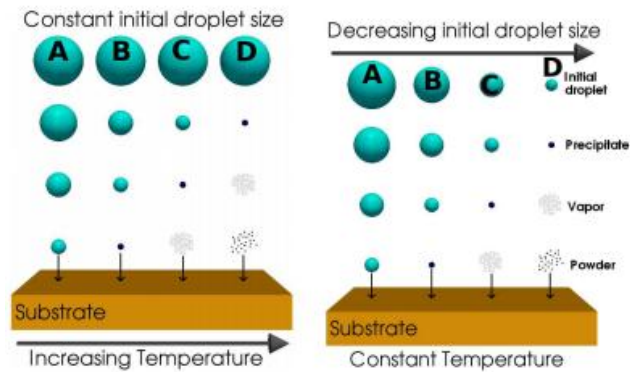
Pada penelitian ini digunakan alat *ultrasonic Nebulizer*, dengan gelombang suara pada frekuensi tinggi yaitu di atas 20.000 Hz. Secara umum metode *spray pyrolysis* mengikuti prinsip “satu *droplet*” menghasilkan satu partikel”. Ukuran partikel akan bergantung pada konsentrasi prekursor^[7].



Gambar 2.3 Contoh Skema Sistem *Spray Pyrolysis*.

Larutan prekursor sebagai zat pembentuk lapisan tipis akan mengindikasikan material yang akan terbentuk pada lapisan tipis, ditempatkan di dalam *ultrasonic nebulizer*. Kemudian larutan tersebut akan digetarkan, dan untuk mencegah partikel cairan menjadi kabut/ nebula dengan laju alir tertentu, maka kemudian dialirkan melalui *nozzle* ke suatu ruang terisolasi, dimana cuplikan substrat yang telah dipanaskan berada.

Ketika kabut bergerak dengan kecepatan seragam, skema jatuhnya partikel nebula ke atas substrat (seperti pada gambar 2.4)



Gambar 2.4 Skema jatuhnya Nebula ke Atas Substrat dengan Berbagai Kondisi (Lado F, 2013)

Sistem *Spray pyrolysis* dibagi menjadi empat bagian penting:

- Reaktan dan selang pembawa gas yang terhubung ke *nozzle* di mulut tabung reaksi,
- Ruang reaksi yang dilengkapi dengan resistivitas pemanas yang berfungsi untuk memanaskan substrat pada suhu yang diperlukan untuk deposisi film tipis,
- Pengontrol suhu untuk menjaga temperatur deposisi dan mengontrol suhu substrat yang diinginkan dan,
- Perangkat pembuatan gas.

Keunggulan teknik *spray pyrolysis* antara lain: metodenya yang sederhana, biaya pembuatan dan bahan dasarnya murah.^[10], dan suhu yang digunakan relatif rendah.

2.3 Difraksi Sinar X

Pada dasarnya orientasi dari nanokristal yang membentuk lapisan tipis sangat bergantung pada jenis substrat yang digunakan. Hal ini berkaitan dengan energi permukaan yang terbentuk antara substrat dan lapisan yang ditumbuhkan.^[5] Untuk mengetahui struktur kristal berupa arah orientasi bidang kristal (hkl), fasa kristal yang terbentuk, parameter kisi. Ukuran butir (kristal yang memiliki arah orientasi yang sama), dapat dihitung melalui persamaan *Debye-scherrer*. Maka untuk mengetahui srstruktur kristal tersebut dapat dilakukan dengan pengujian karakteristik menggunakan difraksi sinar-X. Adapun perhitungan ukuran kristal dengan menggunakan persamaan *Debye-Scherer's* adalah sebagai berikut.

$$D = \frac{0,94 \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2.3)$$

dengan,

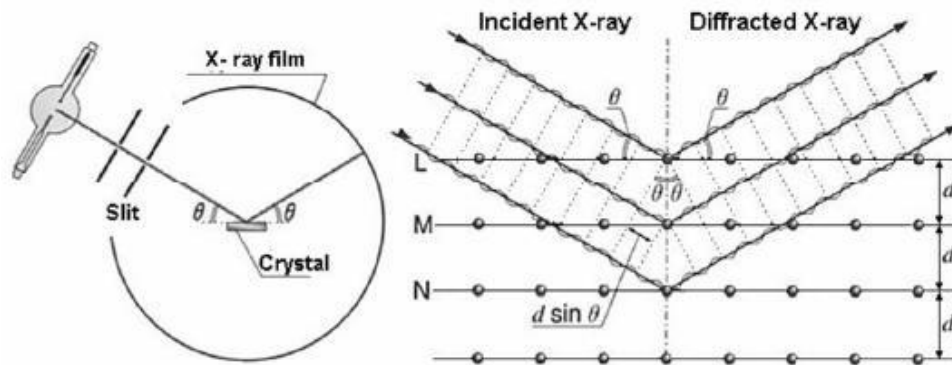
D = ukuran butir

λ = panjang gelombang pada logam target yang digunakan (λ Cu= 1,5406 Å)

β = Lebar puncak difraksi pada setengah tinggi puncak maksimum (dalam radian)

θ = sudut difraksi

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik dengan λ sekitar 100 pm yang dihasilkan dari penembakan logam berenergi tinggi. Dalam eksperimen digunakan sinar-X yang monokromatis.



Gambar 2.5 Difraksi Sinar-X pada Kisi Kristal.

Kristal akan memberikan hamburan yang kuat jika arah bidang kristal terhadap berkas sinar-X (sudut θ) memenuhi persamaan Bragg, seperti ditunjukkan dalam persamaan berikut

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (2.4)$$

dimana : d = jarak antar bidang dalam kristal

θ = sudut deviasi n = orde (0,1,2,3,.....)

λ = panjang gelombang

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]

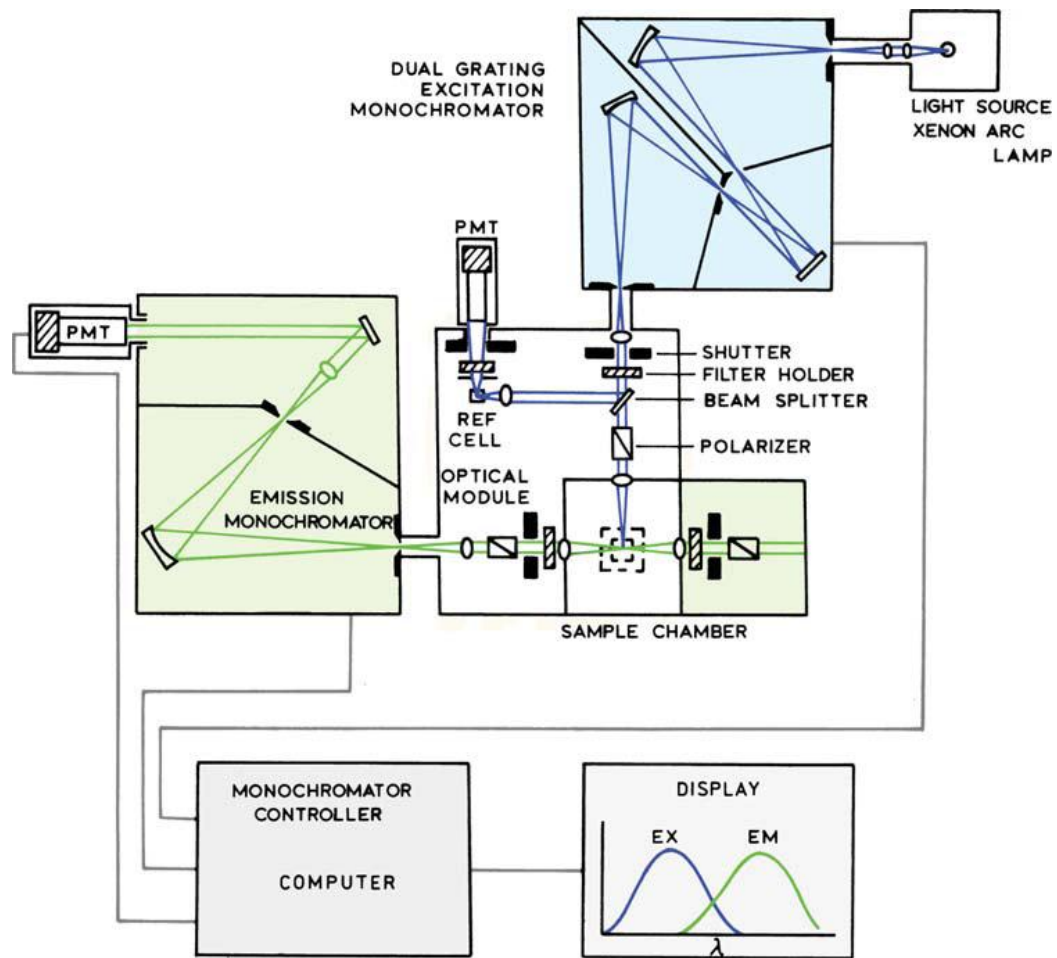
Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material.

2.4 Software *PANalytical's High Score*

Software ini adalah software yang berfungsi untuk mendukung proses analisis *research* di bidang material, untuk mengerti tentang material maka awalnya harus dikaji mengenai pola difraksinya. Setelah itu mengidentifikasi semua fasa dari sampel melalui proses kuantifikasi dengan atau tanpa metode *rietveld*, *profile fitting*, atau *pattern treatment*. Selain untuk mengetahui fasa suatu material, data lain yang bisa dicari yaitu seperti parameter kisi, ukuran butir, regangan kisi dan lain-lain.

2.5 Spektrofluorometer

Instrumen ini menggunakan lampu *xenon* sebagai sumber eksitasinya. Lampu ini digunakan karena intensitasnya yang tinggi pada semua panjang gelombang yaitu kisaran di atas 250 nm. Cahaya yang dieksitasikan akan melewati monokromator dan melewati panjang gelombang yang dibutuhkan, monokromator ini berfungsi sebagai proses *scanning* panjang gelombang secara otomatis. Monokromator ini juga dilengkapi dengan *concave grating* untuk menurunkan tingkat hamburan cahaya. Ketelitian dari monokromator dipengaruhi oleh lebar



Gambar 2.6 Skematik Diagram *Spektrofluorofotometer* (Lakowicz, 2006)

grating (kisi) yang digunakan. Cahaya akan melewati *shutter* yang berfungsi untuk mengeliminasi cahaya eksitasi dan melewati *filter* untuk menolak panjang gelombang yang tidak diinginkan. *Splitter* sebagai jalur eksitasi cahaya, bagian perrefleksi eksitasi untuk referensi sel yang ada. Umumnya referensi sel tersebut terdiri dari referensi *fluorophore* yang stabil. Pada skematik instrumen (gambar 2.6) menunjukkan bahwa komponen-komponen tersebut juga terdiri dari seperangkat alat optik yang berada di sekitar kuvet (tempat sampel).

Umumnya, fluorometer menggunakan *photomultiplier tubes* (PMTs) sebagai detektor. Detektor yang akan memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang, detektor ini akan mengubah cahaya menjadi sinyal listrik yang akan ditampilkan oleh penampil data. Data biasanya direpresentasikan dalam bentuk grafik dan dapat disimpan secara digital.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dari variasi jumlah mol prekursor lapisan tipis ZnO pada substrat silikon (111) terhadap struktur kristal dan karakteristik fotoluminesen lapisan. Jumlah mol prekursor yang digunakan yaitu 0,01 mol; 0,02 mol dan 0,03 mol. Teknik yang digunakan yaitu dengan menggunakan teknik *Ultrasonic Spray Pyrolysis* (USP) dengan suhu tumbuh dibuat konstan yaitu 450°C selama 10 menit. Karakterisasi lapisan tipis tersebut dengan menggunakan XRD untuk mengetahui struktur kristal, fasa kristal, dan arah orientasi bidang kristal. Karakterisasi sifat fotoluminesen dengan menggunakan alat *spectrofluorofotometer*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu penelitian dimulai pada bulan Maret - Juni 2015. Pembuatan sampel dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material Fakultas MIPA Universitas Negeri Jakarta dan Laboratorium Sintesis Material Universitas Indonesia. Untuk pengujian struktur sampel, dengan menggunakan xrd- Shimadzu 7000 dilakukan di Laboratorium FMIPA Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah dan pengujian karakteristik fotoluminesen dengan menggunakan RF-5301PC *Spectrofluorophotometer* dilakukan di Laboratorium Fisika-Kimia, di Institut Teknologi Bandung (ITB).

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh informasi terkait sifat lapisan tipis ZnO yang sudah pernah dilakukan oleh eksperimen-eksperimen sebelumnya. Eksperimen secara langsung dilakukan dengan menggunakan teknik *Ultrasonic Spray Pyrolysis*. Sehingga melalui studi literatur dan eksperimen tersebut, pada penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sifat optik (hasil fotoluminesen) dan struktur lapisan tipis yang lebih baik.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Alat dan Bahan Penelitian

a. Alat-alat Penunjang

1. *Ultrasonic Nebulizer (Ultrasonic Spray Pyrolysis)*,

Spesifikasi alat:

- (a) Merek : Yamamoto Giken UN88, dengan spesifikasi,
- (b) Frekuensi *ultrasonic* : 1,7 MHz
- (c) Diameter kabut partikel : 1-5 μm
- (d) Kabut Volume : > 3 ml/ menit
- (e) Volume air mealui : ± 150 mL
- (f) Tegangan : AC220V ± 22 v 50 Hz
- (g) Aliran Udara : 2 mL/ menit, (120 cc/ jam)

2. *Slide Regulator*, dengan spesifikasi,
 - (a) Merek : Matsunaga tipe 3D-245 M
 - (b) Trafo 1 *phasa*
 - (c) *Input* 110/ 220 V, *Output* 0-240 V
 - (d) Maksimal arus 5 Ampere
 - (e) *Temperature Control*, Merek: Omnon ESAX
3. Filamen pemanas dengan spesifikasi,
 - (a) Merek : Cantal
 - (b) Diameter 1 mm
 - (c) Panjang 8 m
 - (d) Disusun melingkar
4. Termokopel Tipe K
5. Tabung keramik penahan panas, dikaitkan dengan filamen pemanas
6. Multitester
7. Tabung Kuarsa (30 cm)
8. Gelas ukur (500 mL)
9. Timbangan Digital,
 - (a) Merek : Shimadzu Libror AEU-210
 - (b) Nst 0,01 gram
10. *Ultrasonic Cleaner*, WALBK W-288
11. Aluminium Foil
12. Pinset
13. Tisu

14. Kertas Timbang

b. Bahan yang digunakan

1. Substrat Silikon

2. *Zinc Asetat Dihydrate Powder* (250 gr)

3. *De-Ionized water* (Air deionisasi)

4. Isopropanol

3.4.2 Perangkat Karakterisasi

1. XRD (*X-Ray Diffractometer*)



Gambar 3.1 XRD- Shimadzu 7000

Spesifikasi XRD yang digunakan yaitu:

- Logam target : CuK α
- Panjang Gelombang : 1,5406 Å
- Tegangan pengoperasian : 40 kV
- Arus generator : 30 mA
- Sudut pengoperasian (2θ) : 20° sampai 90°.

2. RF-5301PC Spectrofluorophotometer



Gambar 3.2 *Holder Sampel*



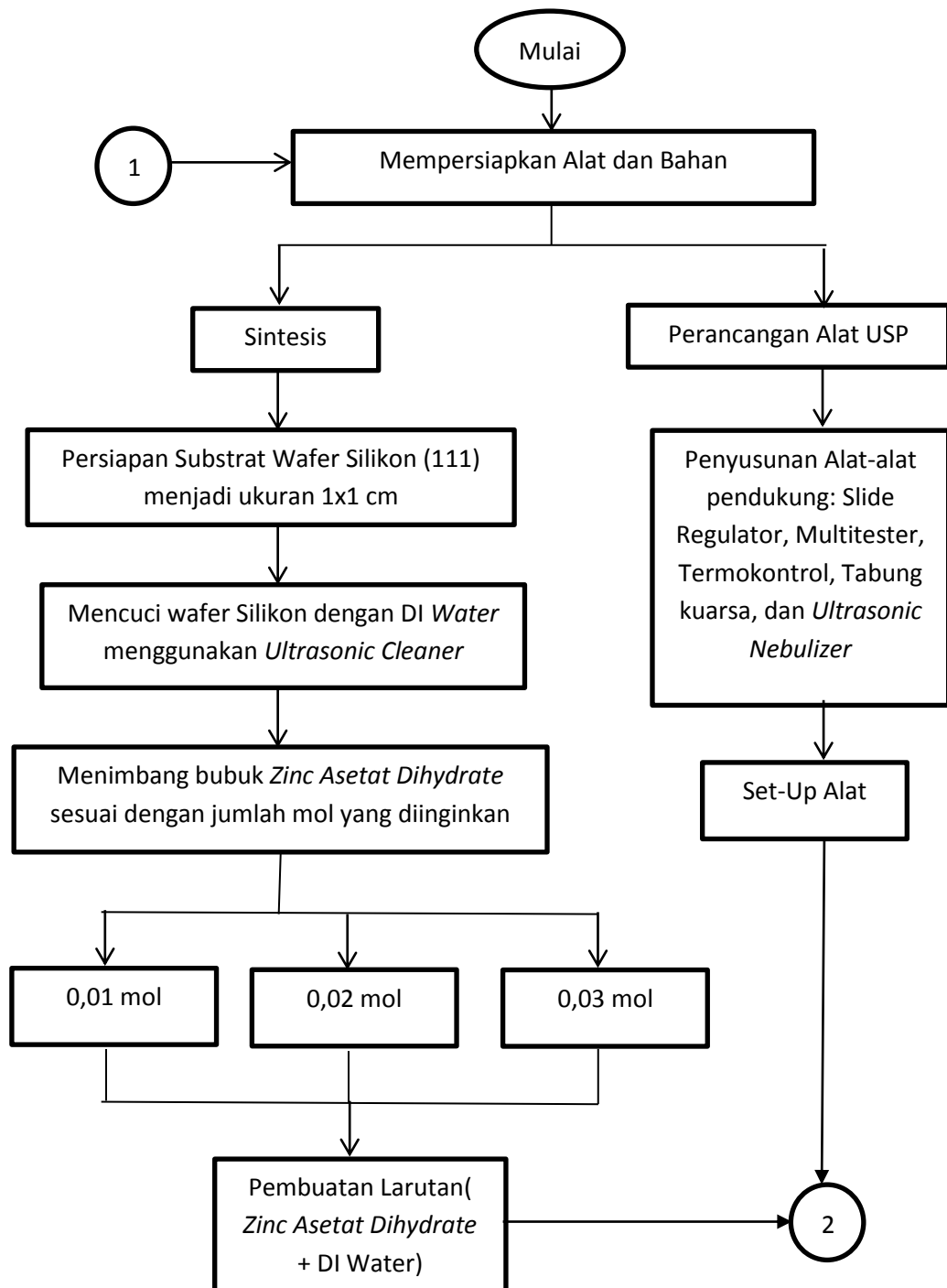
Gambar 3.3 RF-5301PC *Spectrofluorophotometer*

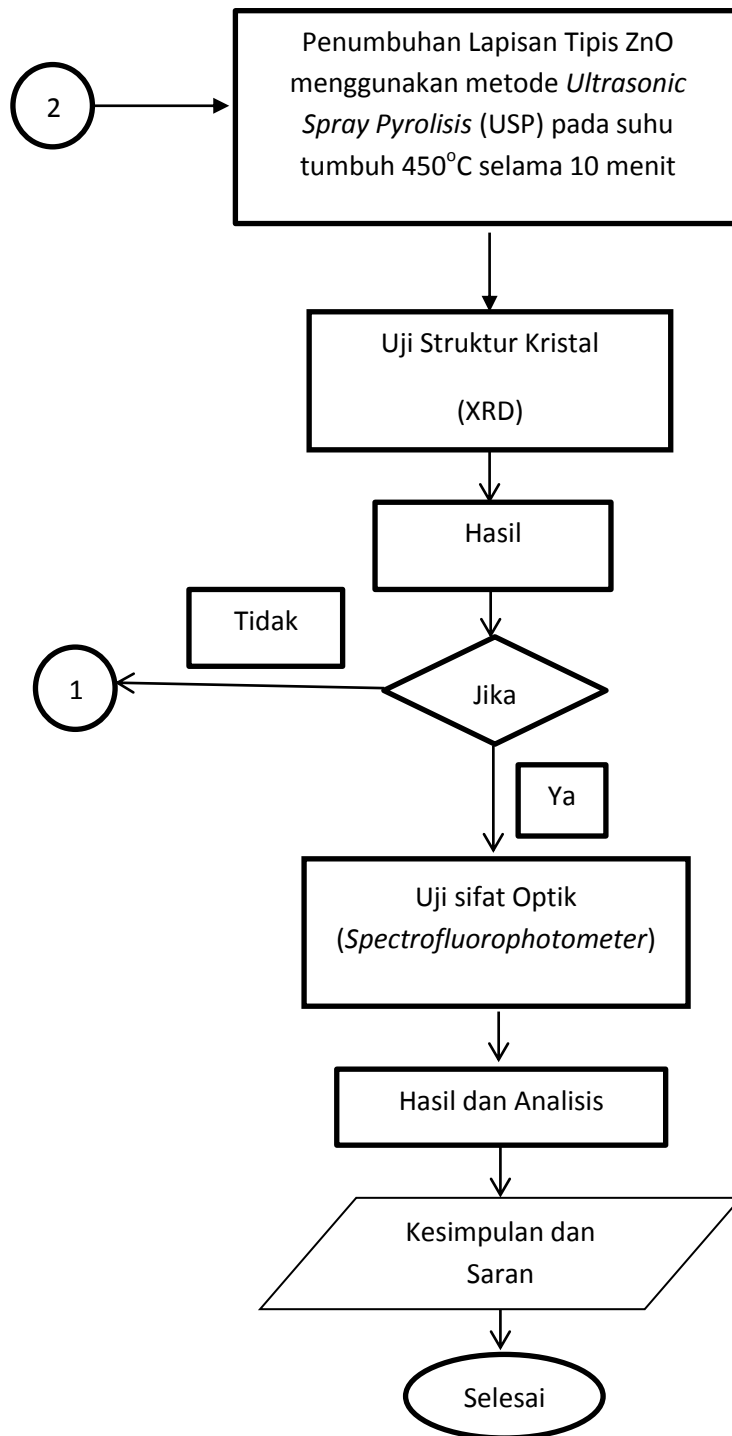
Spesifikasi *Spectrofluorophotometer* yang digunakan yaitu:

- Sumber Cahaya: 150 watt, lampu Xenon
- Skala panjang gelombang : 220-990 nm
- Akurasi panjang gelombang : $\pm 1,5$ nm
- Sensitivitas : Panjang gelombang eksitasi: 350 nm, *spectral bandwidth*: 5 nm, dan responnya hanya dalam waktu 2 detik 98% dari skala penuh.
- *Scanning* panjang gelombang : 7 *step* pilihan, *survey* (5500nm/ menit), *super* (3000 nm), *very fast*, *fast*, *medium*, *slow* dan *very slow*.
- Dimensi dan berat : 667 W x 530 Dx 270H mm; 43 kg

- Penyediaan daya : 100, 120, 220, 240V; 50/60Hz; 400VA.
- Skala temperatur : 15-35° C

3.4.3 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.4 Diagram Alir Penelitian

3.4.4 Teknik Penumbuhan Lapisan Tipis

Preparasi Sampel

- 1). Mempersiapkan larutan prekursor



Gambar 3.5 Serbuk Prekursor (*Zinc Asetat Dyhidrate*)

1. Membersihkan peralatan preparasi, antara lain gelas ukur, pinset dan sendok pengaduk menggunakan isopropanol dan air deionisasi dengan menggunakan *ultrasonic cleaner*. Hal ini dimaksudkan supaya alat-alat tersebut terbebas dari kontaminasi unsur, ion, maupun mineral lain yang terkandung dalam peralatan tersebut.
2. Membersihkan serbuk *Zinc Asetat Dihydrate* sebagai campuran dari larutan prekursor.
3. Menimbang serbuk *Zinc Asetat Dyhidrate* menggunakan timbangan digital. Menimbang kertas timbang yang menjadi tempat dari *zinc asetat dyhidrate* bubuk. Jumlah mol yang digunakan 0,01 mol, yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$\text{gr} = n \times \text{Mr} \quad (3.1)$$

dengan:

gr = massa zat

n = jumlah mol zat

Mr = Massa relatif unsur (219,5)

4. Mencampurkan bubuk *zinc asetat dihydrate* dengan 100 mL air deionisasi di dalam gelas ukur dengan cara menggetarkannya menggunakan *ultrasonic cleaner*.
5. Mengulangi langkah di atas dengan jumlah mol serbuk *zinc asetat dyhydrate* yang berbeda yaitu 0,02 mol dan 0,03 mol.

2). Mempersiapkan substrat silikon (111)

1. Memotong substrat silikon (111) menjadi ukuran $\pm 1 \times 1$ cm menggunakan pemotong kaca



Gambar 3.6 Pemotongan Substrat

2. Membersihkan permukaan substrat Silikon (111) menggunakan isopropanol
3. Memasukkan substrat silikon (111) ke dalam gelas ukur yang berisi air deionisasi. Kemudian digetarkan menggunakan *ultrasonic cleaner* supaya

substrat silikon (111) bersih dari unsur, ion dan mineral lain yang terkandung di dalamnya.



Gambar 3.7 Membersihkan Substrat dengan *Ultrasonic Cleaner*

4. Substrat diangkat dengan pinset, kemudian dikeringkan.



Gambar 3.8 Proses Pengeringan Substrat.

3). Penumbuhan Lapisan Tipis

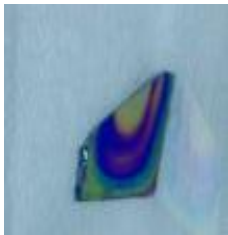
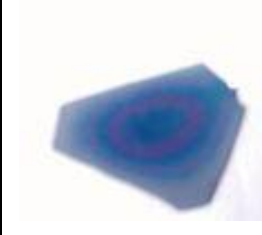

1. Mempersiapkan peralatan-peralatan pertumbuhan yang telah di *setting* sebelumnya dan tahan suhu pada 450°C
2. Mempersiapkan *ultrasonic nebulizer* dan membersihkan tempat larutan precursor dengan menggunakan air deionisasi
3. Memasukkan larutan air deionisasi – *Zinc Acetat Dihydrate* yang telah dicampurkan menggunakan *ultrasonic cleaner* ke dalam tempat larutan prekursor pada *ultrasonic nebulizer*.

4. Memasangkan *nozzle* dari *ultrasonic nebulizer* ke tabung kuarsa.
5. Meletakkan substrat silikon (111) ke dalam tabung kuarsa menggunakan pinset.
6. Meletakkan tabung kuarsa yang berisi Substrat Silikon (111) ke dalam ruang tumbuh.
7. Memastikan semua alat penunjang telah siap pada posisinya masing-masing.
8. Menyalakan *ultrasonic nebulizer* dan biarkan alat terus bekerja pada suhu 450°C pada waktu tertentu. Waktu yang dipakai untuk menumbuhkan lapisan tipis ZnO adalah 10 menit.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dipaparkan hasil-hasil yang diperoleh selama penelitian yaitu tiga lapisan tipis yang telah berhasil ditumbuhkan. Pembahasan ini didasarkan pada tahap proses memvariasikan jumlah mol prekursor yaitu dengan jumlah mol masing-masing 0,01 mol, 0,02 mol dan 0,03 mol. Prekursor berupa *Zinc Asetat Dihydrate* yang dilarutkan dengan air deionisasi kemudian ditumbuhkan di atas substrat silikon (111) dengan metode *Ultrasonic spray pyrolysis* (USP). Suhu tumbuh yang digunakan yaitu 450°C, selama 10 menit.

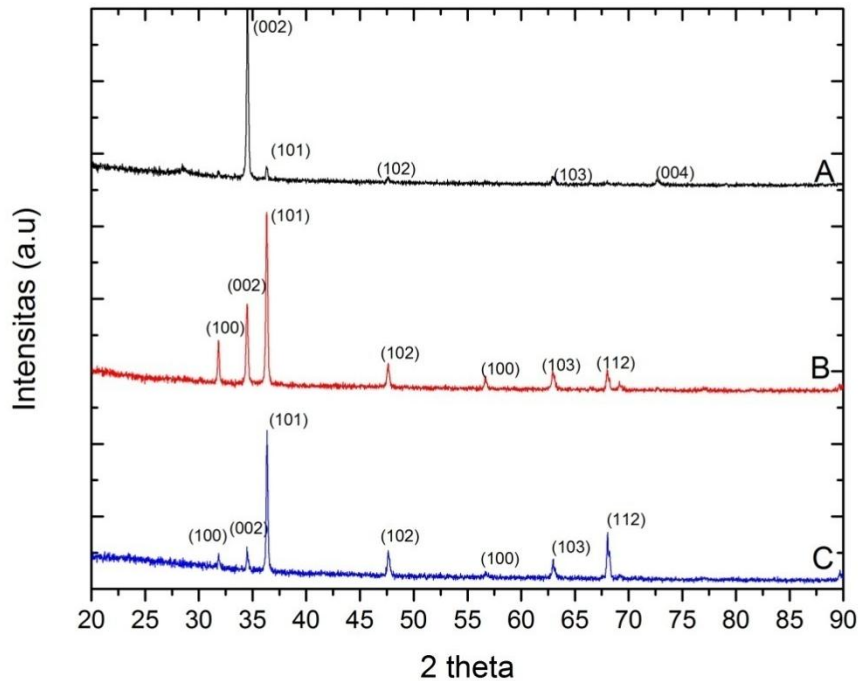
Metode Penumbuhan	Sampel A	Sampel B	Sampel C
<i>Ultrasonic Spray Pyrolysis</i> (USP), jarak nozzle 30 cm, suhu tumbuh 450°C, selama 10 menit.			

Gambar 4.1 Profil Permukaan Lapisan Tipis ZnO Variasi Jumlah Mol Prekursor (Sampel A Mewaliki Lapisan Tipis Jumlah Mol Prekursor 0,01 mol; Sampel B dengan Jumlah Mol Prekursor 0,02 mol dan Sampel C dengan Jumlah Mol Prekursor 0,03 mol)

Pengaruh jumlah mol prekursor pada lapisan akan dikarakterisasi dengan menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur kristal, ukuran butir dan bidang hkl lapisan. Analisis spektrum fotoluminesen akan dilakukan dengan menggunakan *spektrofluorophotometer*.

4.1 Analisis Hasil Difraksi Sinar-X (XRD)

Pengujian XRD dilakukan untuk memperoleh data kualitatif dan data kuantitatif dari sampel lapisan tipis ZnO. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan panjang gelombang yang sesuai dengan *Shimadzu xrd-7000 XRD*, radiasi $\text{CuK}\alpha$, yaitu λ 1,5406 Å. Sudut radiasi (2θ) yang digunakan yaitu dimulai dari 20° hingga 90° dengan arus 30 mA dan tegangan pengoperasian 40 kV. Data kualitatif yang dihasilkan lapisan tipis ZnO yang terbentuk sesuai dengan JCPDS, 36-1451, nilai $\alpha = \beta = 90^\circ$ dan $\gamma = 120^\circ$ sehingga sampel lapisan tipis ZnO yang berhasil ditumbuhkan berstruktur *hexagonal wurtzite*. Grup ruang dari struktur *Zinc Oxide* yaitu $P6_3mc$ (186) dan fasa yang terbentuk adalah fasa *Zinc Oxide*, sehingga dapat dikatakan bahwa lapisan tipis yang tumbuh terbentuk sempurna. Pola puncak difraksi yang dihasilkan pada masing-masing sampel, yaitu pada sampel A, puncak pertama berada pada sudut 2θ sebesar $34,50^\circ$ menunjukkan kristal lapisan tipis dengan arah (002). Arah (002) ini merupakan intensitas terbesar pada keseluruhan data pada hasil grafik sampel A. Puncak lain yang mengindikasikan terbentuknya lapisan tipis ZnO yaitu pada arah (100), (002), (101), (102), (103) dan (004) masing-masing pada sudut $31,84^\circ$, $34,50^\circ$, $36,3^\circ$, $47,6^\circ$, $62,91^\circ$ dan $72,62^\circ$. Pada sampel B, kristal yang terbentuk cenderung lebih banyak dan besar masing-masing intensitasnya, berbeda dengan sampel A intensitas pada keseluruhan data yaitu pada arah (101) pada sudut $36,30^\circ$. Kemudian puncak lainnya dengan arah (002), (100), (102), (110), (103), (112) pada sudut $34,47^\circ$, $31,81^\circ$, $47,59^\circ$, $56,64^\circ$, $62,93^\circ$, dan $67,99^\circ$.



Gambar 4.2 Pola XRD pada Lapisan Tipis ZnO di Atas Substrat Silikon dengan Variasi Jumlah Mol Prekursor (A= 0,01 mol), (B =0,02 mol) dan (C=0,03 mol)

Pada sampel C, puncak dominan yang tertentu pada arah (101) dengan sudut 36.32° , arah ini sama seperti sampel B. Puncak kristal lainnya yang terbentuk yaitu pada arah (201), (102), (100), dan (002) pada sudut 68.03° , 47.63° , 31.82° , dan 34.48° .

Pada perhitungan ukuran butir (D) yaitu hanya dilakukan pada bidang yang memiliki intensitas yang dominan berdasarkan *peak* yang terbentuk oleh hasil XRD. Ketiga *peak* yang dominan tersebut yaitu pada arah (100), (002) dan (101). Nilai parameter kisi dan regangan kisi pada masing-masing sampel yang terbentuk dapat diolah dengan tahap *refinement* (penghalusan) berdasarkan metode *rietveld*. Prinsip kerja metode *rietveld* yaitu dengan cara mencocokkan (*fitting*) keseluruhan pola difraksi sinar-X yang. Hal ini berguna untuk mendapatkan data

struktur mikro secara lebih akurat. Metode ini dilakukan dengan menggunakan *software High Score Plus*. Berikut adalah hasil perhitungan disertai dengan standar literatur pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Parameter Kisi dan Ukuran Butir dan Regangan Kisi Lapisan Tipis ZnO dengan Jumlah Mol Prekursor yang Berbeda (A) 0,01 mol, (B) 0,02 mol dan (C) 0,03 mol

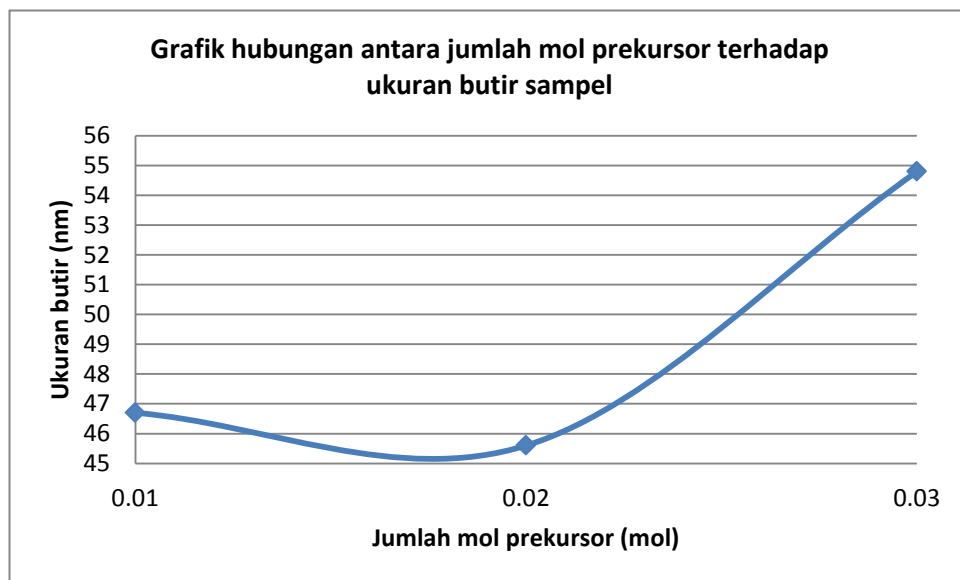
Kode Sampel	Arah bidang (hkl)	Posisi puncak (2 θ)	Parameter Kisi (Å)		Ukuran butir, D (nm)	Regangan Kisi rata-rata (%)
			JCPDS standard (36-1451)	Hasil Observasi		
A	(100)	31,84	a = 3,249 c = 5,206	a = 3,253 c = 5,207	41,3	0,268
	(002)	34,507			46,5	
	(101)	36,300			52,3	
B	(100)	31,814	a = 3,248 c = 5,204	a = 3,248 c = 5,204	48,7	0,270
	(002)	34,470			42,5	
	(101)	36,301			45,6	
C	(100)	31,828	a = 3,249 c = 5,203	a = 3,249 c = 5,203	57,5	0,223
	(002)	34,486			53,6	
	(101)	36,328			53,3	

Berdasarkan tabel 4.1, nilai parameter kisi pada sampel lapisan tipis ZnO hanya memiliki sedikit perbedaan jika dibandingkan dengan parameter kisi literatur. Hasil nilai rata-rata parameter kisi a hasil observasi yaitu $a = 3,25 \text{ \AA}$ dan literatur $a = 3,249 \text{ \AA}$. Hasil perhitungan nilai standar deviasi parameter kisi hasil observasi yaitu 0,00264, *Standard Error* data = 0,00152 dan presentasi kemiripan parameter kisi a hasil observasi dibandingkan literatur adalah 99,969 %.

Nilai parameter kisi c observasi adalah $c = 5,204 \text{ \AA}$ dan literatur $c = 5,206 \text{ \AA}$. Standar deviasi = 0,002082, *Standard Error* data = 0,001202 dan presentasi kemiripan parameter kisi hasil observasi dibandingkan literatur yaitu 99,961%.

Hasil ini memiliki kaitan dengan nilai regangan kisi kristal pada ketiga sampel yang tergolong kecil, yaitu hanya sekitar 0,2 %. Regangan kisi yaitu terbentuk oleh terdistribusinya parameter kisi muncul dari cacat kristal seperti terjadinya dislokasi kisi.^[14]

Sehingga dapat disimpulkan bahwa parameter kisi yang terbentuk pada lapisan sangat mendekati standar literatur.



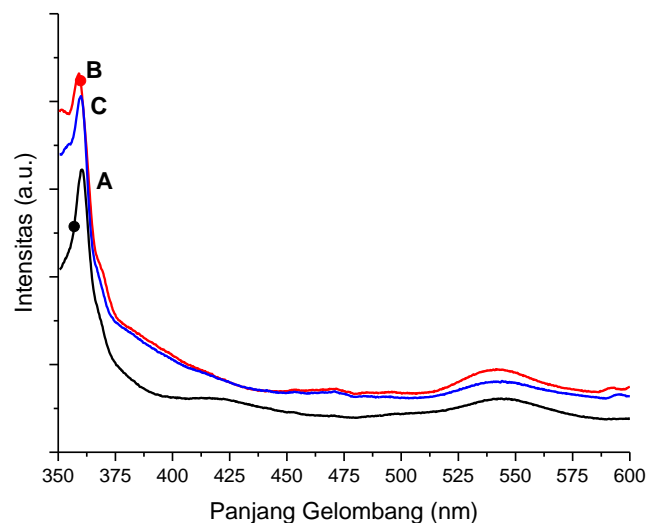
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Jumlah Mol Prekursor terhadap Ukuran Butir Sampel

Besar ukuran butir rata-rata pada sampel A, B dan C yaitu 46,7 nm; 45,6 nm dan 54,8 nm. Pada sampel A, berdasarkan hasil pola difraksi pada gambar 4.2, pada sampel A memiliki perbedaan pola difraksi dengan pola difraksi B dan C. Ukuran butir dari suatu material dipengaruhi oleh jumlah polikristal yang terbentuk.^[18] Sehingga untuk menganalisis hubungan antara molaritas prekursor pada sampel lapisan tipis terhadap ukuran butir, hanya dapat diketahui dengan hasil pola XRD sampel B dan sampel C saja, yaitu berdasarkan grafik pada

gambar 4.4 yaitu semakin besar konsentrasi prekursor nya maka akan semakin besar pula ukuran butir yang dihasilkan, sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Amutha, dkk.^[16]

4.2 Analisis Data Fotoluminesen

Pengukuran spektrum fotoluminesen dengan Rf-5301 *PC spectrofluorophotometer Shimadzu*, dengan sumber eksitasi menggunakan lampu xenon dengan panjang gelombang eksitasi 350 nm. Pengukuran dilakukan pada temperatur ruang. Berdasarkan gambar 4.5, intensitas terbesar yaitu terdapat pada sampel B.



Gambar 4.4 Grafik Spektrum PL Lapisan Tipis ZnO pada Panjang Gelombang Eksitasi 325 nm

Hasil pita fotoluminesen lapisan tipis ZnO pada daerah ultraviolet dan spektrum cahaya tampak telah didapatkan. Emisi puncak yang terjadi pada ultraviolet yaitu pada 359 nm dengan puncak energinya yaitu berada pada level

3,4 eV . Hasil emisi ini terjadi karena terjadinya transisi pita oleh eksiton- eksiton, yaitu pasangan elektron-*hole* terikat atau bebas menghasilkan terjadinya deret garis emisi.

Pada puncak emisi yang kedua dengan rentang puncak panjang gelombang 518 nm - 570 nm. Energi defek fotoluminesen yang teramati yaitu berada pada level 2,17 - 2,4 eV. Namun puncaknya yaitu berada pada level 2,28 eV, tepat pada panjang gelombang 544 nm. Berdasarkan panjang gelombang pada cahaya tampak ini, maka dapat dikatakan bahwa puncak emisi ini menunjukkan bahwa semua sampel memiliki spektrum fotoluminesen berwarna hijau. Spektrum fotoluminesen hijau yaitu berasal dari efek yang dihasilkan melalui rekombinasi eksiton bebas pada daerah permukaan substrat si. Spektrum pada cahaya tampak ini juga dihasilkan akibat dari adanya cacat ilmiah yang dimiliki ZnO dan adanya ikatan oksigen di atas substrat Si.^[18]

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Lapisan tipis ZnO yang terbentuk pada ketiga sampel bersesuaian dengan JCPDS (36-1451), yaitu berstruktur hexagonal wurtzit, fasanya yaitu *zinc oxide*, sehingga dapat dikatakan bahwa lapisan tipis ZnO yang dibuat telah terbentuk sempurna.
2. Nilai rata-rata parameter kisi hasil observasi yaitu $a = 3,25 \text{ \AA}$ dan $c = 5,204 \text{ \AA}$ dengan standar literatur masing-masing yaitu $a = 3,249 \text{ \AA}$ dan $c = 5,206 \text{ \AA}$. Presentasi kemiripan parameter kisi a dan c berturut-turut dibandingkan literatur adalah 99,969 % dan 99,961%.
3. Puncak XRD yang dominan muncul pada sampel A dengan intensitas terbesar adalah pada arah (002), kemudian pada sampel B dan C yaitu pada arah (101)
4. Ukuran butir rata-rata pada sampel A, B dan C yaitu masing-masing 46,7 nm; 45,6 nm dan 54,8 nm. Namun, pola puncak yang dihasilkan sampel A memiliki perbedaan dengan sampel B dan C, sehingga keterkaitan jumlah mol terhadap ukuran butir didapatkan dari sampel B dan C yaitu semakin besar konsentrasi prekursor maka semakin besar ukuran butir yang dihasilkan.
5. Lapisan tipis memiliki emisi ultraviolet yang kuat pada panjang gelombang 359 nm dan emisi hijau yang lemah dan melebar di panjang

gelombang 544 nm. Intensitas spektrum yang paling maksimal yaitu pada sampel dengan jumlah mol prekursornya 0,02 mol. Sampel yang paling optimal untuk dijadikan sebagai divais yaitu pada sampel B.

5.2 Saran

Lapisan tipis perlu dikaji lebih lanjut dengan pengujian sifat listriknya, untuk mengetahui tingkat konduktivitas dan besar mobilitas elektron yang dihasilkan oleh lapisan tipis yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adriyanto, Feri. 2002. Identifikasi Parameter-Parameter yang Berpengaruh dalam Penumbuhan Lapisan Tipis ZnO dengan Metode MOCVD. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-BATAN Yogyakarta. Universitas Sebelas Maret*: 69-73
- [2] 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.
- [3] Aji, W.P. 2013. Studi Penumbuhan dan Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO. *Skripsi. Universitas Negeri Jakarta. Jakarta*.
- [4] 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
- [5] Beng, T.C. 2009. Growth of Zinc Oxide Nanostructures and Films and P-Doping of Fims in Aquoeous Solution. *Thesis. Nasional University of Singapore. Singapore*
- [6] Fabbri, F, M. Villani, A. Catellani, dkk. 2014. Zn Vacancy Induced Green Luminiscence on Non-Polar Surface in ZnO Nanostructures. *Journal of Scientific Report 4*:5158
- [7] Fiqri, M.F. 2012. Studi Karakteristik Ultrasonic Spray Pyrolysis (USP) sebagai alat Penumbuh Lapisan Tipis ZnO 0,01 mol. *Skripsi. Universitas Negeri Jakarta. Jakarta*
- [8] Istiyono, Edi, Tanty W, Rini B, Sri W,L dan Muawamah. 2006. Kajian Sifat Mekanik Bahan yang Mengalami Anilisasi. *Jurnal Penelitian Saintek 11(1)*: 56-86.
- [9] Janotti, A dan Chris, G. 2009. Fundamental of Zinc Oxide as a Semiconductor. *Journal of Reports on Progress in Physics 72*: (29pp)
- [10] Khan, Z.R, M.S. Khan, M. Zulfequar, M.S Khan. 2011. Optical and Structural Properties of ZnO Thin Films Fabricated by Sol-Gel Method. *Jurnal Material Sciences and Application (2)*: 340-345
- [11] Lado Filipovic et, at. Modeling Spray Pyrolysis Deposition, *Proceedings of the World Congress of Engineering, London. 2013*

- [12] Lakowicz, J.R. 2006. *Instrumentation for Fluorescence Spectroscopy*.XXVI, 954 p. ISBN: 978-0-387-31278-1
- [13] Lozada, E. V, Chamaco, G dan Torchynska. 2015. Photoluminescence Emission and Strucure Diversity in ZnO: Ag Nanorods. *Journal of Physics: Conference Series* 582 (2015) 012031
- [14] Mote, Purushottam dan Dole, BN. 2012. Williamson-Hall Analysis in Estimation of Lattice Strain in Nanometer-Sized ZnO Particles. *Journal of Theoretical and Applied Physics* 2012, 6:6.
- [15] 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.
- [16] Syuhada, D. Bayuwati dan Sulaiman. 2008. Pembuatan Konduktor Transparan Thin Film SnO₂ dengan Menggunakan Teknik *Spray Pyrolysis*. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*. 8(1): 24-29
- [17] Tamado, D. B. 2014. Sintesis Awal Lapisan Tipis Barium Heksaferit di atas substrat silikon [400] menggunakan Metode Ultrasonic Spray Pyrolysis. *Skripsi*. Universitas Negeri Jakarta. Jakarta.
- [18] Teresa dan Chy, H.K. 2014. Correlation Between Energy Gap and Defect Formation of Al Doped Zinc Oxide on Carbon Doped Silikon Oxide. *Journal of Transations On Electrical and Electronic Materials* 15(4): 207-212
- [19] Sugihartono, I. 2014. ZnO Thin Films Grown by Ultrasonic Spray Pyrolysis (USP) for Light Emitting Diodes Applications. *Disertasi*. Universitas Indonesia. Depok.
- [20] Witjaksono, A. 2011. Karakterisasi Nanokristalin ZnO Hasil Presipitasi dengan Perlakuan Pengeringan, Anil dan Pasca-Hidrotermal. *Tesis*. Universitas Indonesia. Depok.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Difraksi Sinar-X

A. Lapisan Tipis ZnO dengan Jumlah Mol Prekursor (0,01 mol)

*** Basic Data Process ***							
# Strongest 3 peaks							
no.	Peak no.	2Theta (deg)	D (A)	I/II (deg)	FWHM (Counts)	Intensity (Counts)	Integrated
1	12	34.5079	2.59704	100	0.1709	971	9648
2	14	36.3	2.47283	7	0.16	69	668
3	27	62.9121	1.47611	5	0.1892	49	634
# Peak Data List							
Peak no.	2Theta (deg)	d (A)	I/II (deg)	FWHM (Counts)	Intensity (Counts)	Integrated	
1	20.9	4.24695	1	0.0222	11	75	
2	21.5916	4.11245	1	0.0633	11	60	
3	22.8536	3.88813	2	0.0993	15	164	
4	24.16	3.68076	1	0.07	12	62	
5	24.6116	3.61424	1	0.1167	11	80	
6	25.9848	3.42627	1	0.0646	13	92	
7	27.084	3.28966	2	0.072	15	74	
8	27.9733	3.18706	1	0.0667	11	76	
9	31.315	2.85417	1	0.09	13	84	
10	31.84	2.80829	2	0.2	22	226	
11	33.343	2.68506	1	0.146	10	131	
12	34.5079	2.59704	100	0.1709	971	9648	
13	35.06	2.55739	1	0.1	11	298	
14	36.3	2.47283	7	0.16	69	668	
15	38.7716	2.32069	1	0.0633	11	48	
16	39.6733	2.27	1	0.0933	10	81	
17	40.1375	2.24481	1	0.115	12	72	
18	40.5916	2.22074	1	0.1167	12	98	
19	40.996	2.19976	1	0.072	11	55	
20	44.7309	2.02437	1	0.1153	10	95	
21	45.6146	1.98719	1	0.1173	10	114	
22	46.7216	1.94265	1	0.0967	10	106	
23	47.604	1.90868	3	0.168	31	395	
24	56.6143	1.62443	2	0.1314	15	163	
25	57.675	1.59705	1	0.15	11	99	
26	59.3033	1.55703	1	0.0867	12	69	

27	62.9121	1.47611	5	0.1892	49	634
28	64.575	1.44206	1	0.11	11	73
29	67.9966	1.37758	2	0.1267	15	130
30	71.3333	1.32111	1	0.1467	10	143
31	72.628	1.30072	4	0.176	34	405
32	79.0975	1.20977	1	0.195	12	169
33	83.1558	1.16072	1	0.0983	10	76
34	86.5675	1.12352	1	0.095	10	71
35	88.05	1.10839	1	0.1	10	73

B. Lapisan Tipis ZnO dengan Jumlah Mol Prekursor (0,02 mol)

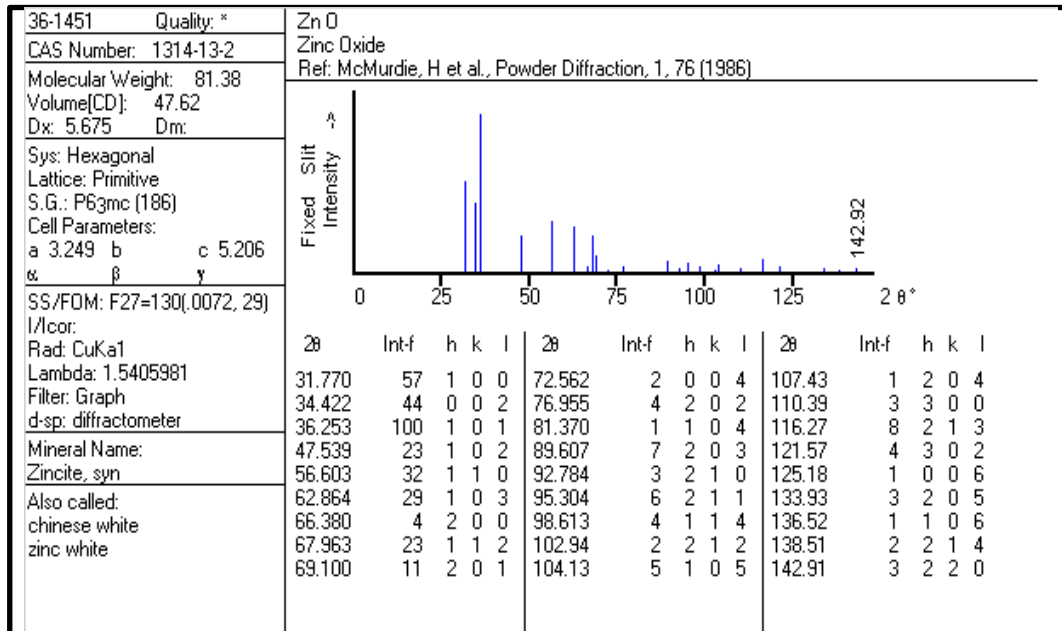
*** Basic Data Process ***							
# Strongest 3 peaks							
no.	peak	2Theta	D	I/I	FWHM	Intensity	Integrated
no.	(deg)	(A)	(deg)	(Counts)	(Counts)		
1	12	34.5079	2.59704	100	0.1709	971	9648
2	14	36.3	2.47283	7	0.16	69	668
3	27	62.9121	1.47611	5	0.1892	49	634
# Peak Data List							
peak	2Theta	D	I/I	FWHM	Intensity	Integrated	
no.	(deg)	(A)	(deg)	(Counts)	(Counts)		
1	20.9	4.24695	1	0.0222	11	75	
2	21.5916	4.11245	1	0.0633	11	60	
3	22.8536	3.88813	2	0.0993	15	164	
4	24.16	3.68076	1	0.07	12	62	
5	24.6116	3.61424	1	0.1167	11	80	
6	25.9848	3.42627	1	0.0646	13	92	
7	27.084	3.28966	2	0.072	15	74	
8	27.9733	3.18706	1	0.0667	11	76	
9	31.315	2.85417	1	0.09	13	84	
10	31.84	2.80829	2	0.2	22	226	
11	33.343	2.68506	1	0.146	10	131	
12	34.5079	2.59704	100	0.1709	971	9648	
13	35.06	2.55739	1	0.1	11	298	
14	36.3	2.47283	7	0.16	69	668	
15	38.7716	2.32069	1	0.0633	11	48	
16	39.6733	2.27	1	0.0933	10	81	
17	40.1375	2.24481	1	0.115	12	72	
18	40.5916	2.22074	1	0.1167	12	98	
19	40.996	2.19976	1	0.072	11	55	

20	44.7309	2.02437	1	0.1153	10	95
21	45.6146	1.98719	1	0.1173	10	114
22	46.7216	1.94265	1	0.0967	10	106
23	47.604	1.90868	3	0.168	31	395
24	56.6143	1.62443	2	0.1314	15	163
25	57.675	1.59705	1	0.15	11	99
26	59.3033	1.55703	1	0.0867	12	69
27	62.9121	1.47611	5	0.1892	49	634
28	64.575	1.44206	1	0.11	11	73
29	67.9966	1.37758	2	0.1267	15	130
30	71.3333	1.32111	1	0.1467	10	143
31	72.628	1.30072	4	0.176	34	405
32	79.0975	1.20977	1	0.195	12	169
33	83.1558	1.16072	1	0.0983	10	76
34	86.5675	1.12352	1	0.095	10	71
35	88.05	1.10839	1	0.1	10	73

C. Lapisan Tipis ZnO dengan Jumlah Mol Prekursor (0,03 mol)

***	<i>Basic</i>	<i>Data</i>	<i>Process</i>	***			
<i>no.</i>	<i>peak</i>	<i>2Theta</i>	<i>d</i>	<i>I/I</i>	<i>FWHM</i>	<i>Intensity</i>	<i>Integrated</i>
<i>no.</i>	<i>(deg)</i>	<i>(A)</i>	<i>(deg)</i>	<i>(Counts)</i>	<i>(Counts)</i>		
1	6	36.3285	2.47095	100	0.1568	712	6537
2	10	68.0378	1.37685	38	0.1762	273	2914
3	7	47.632	1.90762	20	0.176	140	1631
# Peak Data List							
<i>peak</i>	<i>2Theta</i>	<i>d</i>	<i>I/I</i>	<i>FWHM</i>	<i>Intensity</i>	<i>Integrated</i>	
<i>no.</i>	<i>(deg)</i>	<i>(A)</i>	<i>(deg)</i>	<i>(Counts)</i>	<i>(Counts)</i>		
1	20.6102	4.306	3	0.0684	22	191	
2	21.5089	4.12807	3	0.0978	24	225	
3	23.439	3.79233	3	0.078	23	140	
4	31.8282	2.80931	8	0.1436	60	626	
5	34.4866	2.59859	14	0.1553	101	1106	
6	36.3285	2.47095	100	0.1568	712	6537	
7	47.632	1.90762	20	0.176	140	1631	
8	56.66	1.62322	4	0.22	25	380	
9	62.9591	1.47512	13	0.1736	94	995	
10	68.0378	1.37685	38	0.1762	273	2914	
11	69.167	1.3571	3	0.206	21	330	
12	89.68	1.09242	6	0.18	45	479	

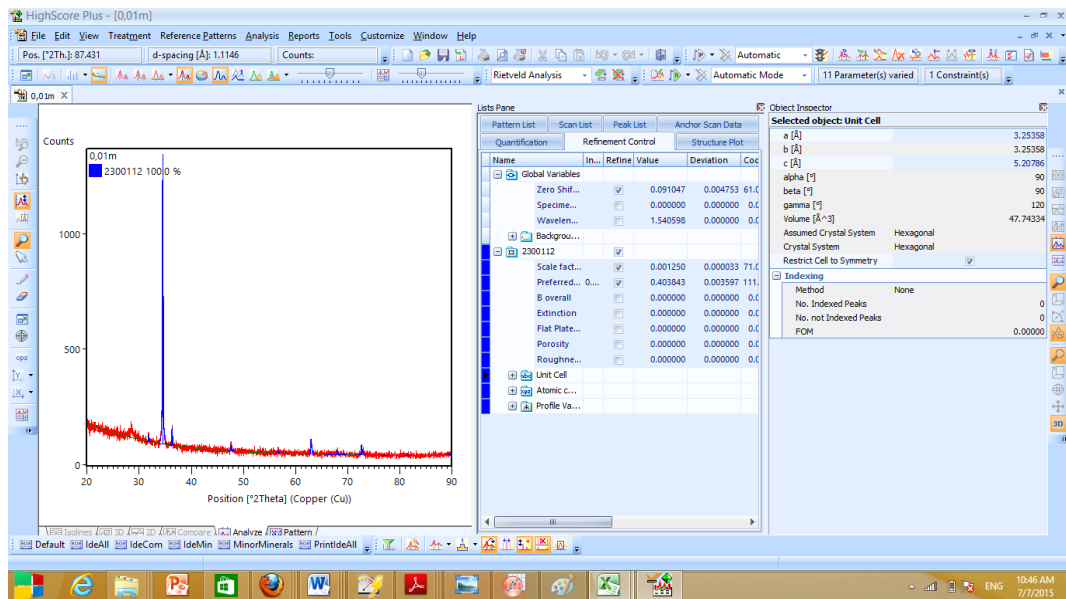
Lampiran 2. JCPDS Standar (36-1451)



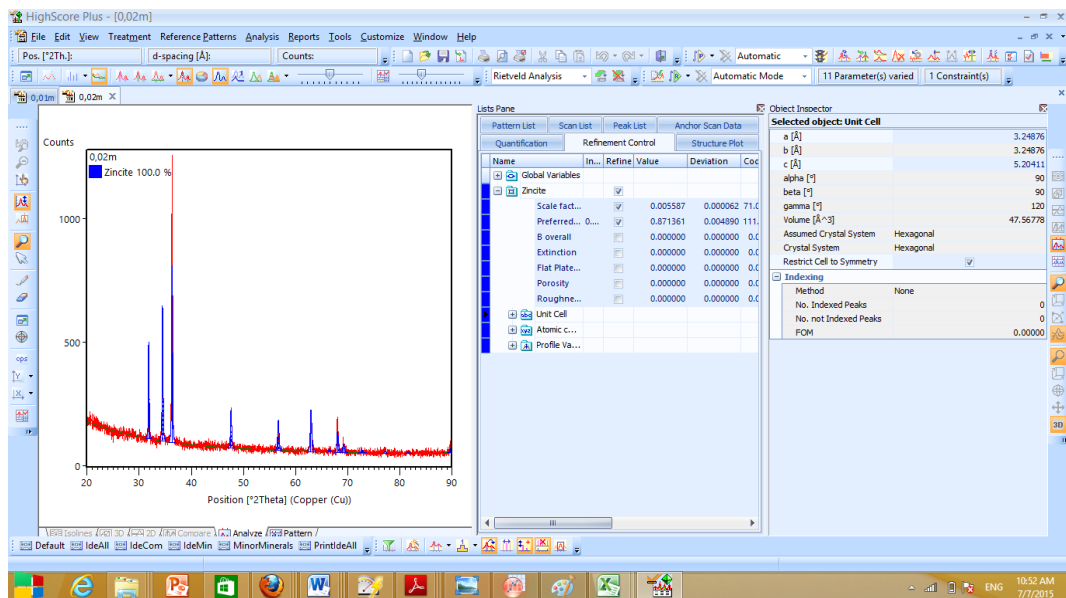
Lampiran 3. Hasil Pengolahan Data dengan Menggunakan Software High Score Plus

A. Parameter Kisi

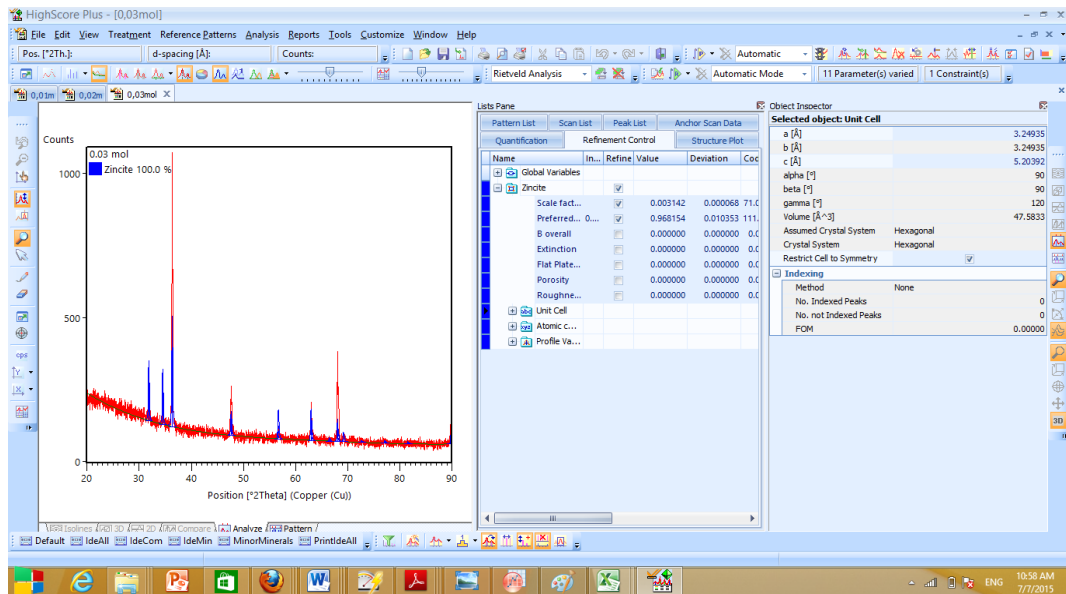
Nilai parameter kisi sampel A



Nilai parameter kisi sampel B

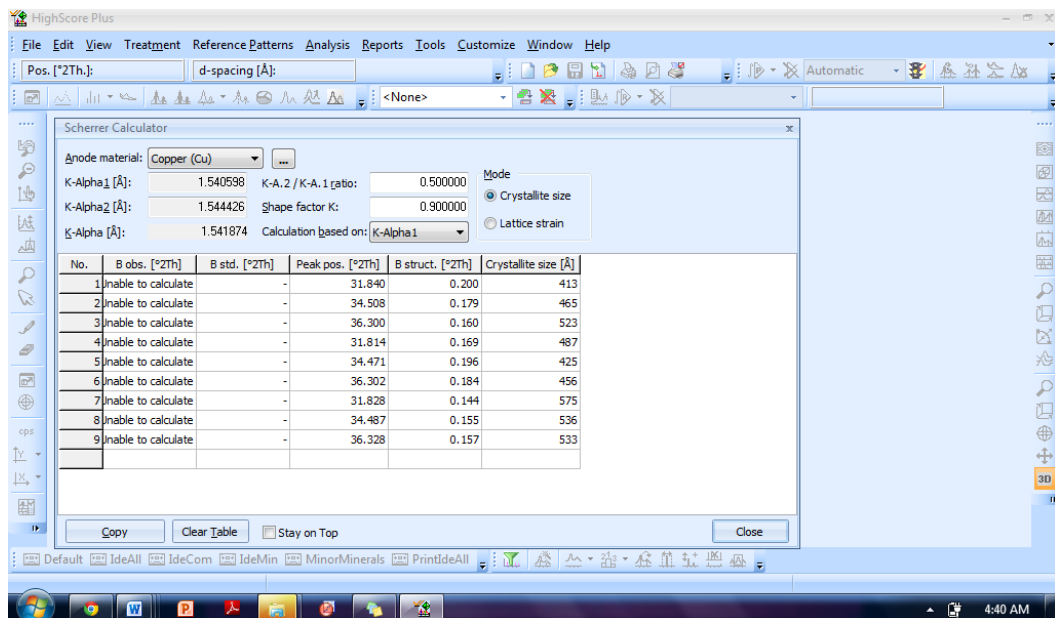


Nilai parameter kisi sampel C



B. Ukuran Butir

Data Ukuran butir (*Crystallite Size*) dengan menggunakan menu *tools*, submenu *scherrer calculator*



C. Lattice strain (Regangan Kisi)

Data Regangan kisi (*lattice strain*) dengan menggunakan menu *tools*, submenu *scherrer calculator*

The screenshot shows the HighScore Plus software interface with the Scherrer Calculator dialog box open. The dialog is configured for Copper (Cu) and shows the following parameters:

- Anode material: Copper (Cu)
- K-Alpha1 [Å]: 1.540698
- K-Alpha2 [Å]: 1.544426
- K-Alpha [Å]: 1.541874
- K-A.2 / K-A.1 ratio: 0.500000
- Shape factor K: 0.940000
- Calculation based on: K-Alpha1
- Mode: Lattice strain

The Scherrer Calculator dialog box contains a table with the following data:

No.	B obs. [°2Th]	B std. [°2Th]	Peak pos. [°2Th]	B struct. [°2Th]	Lattice strain [%]
1	inable to calculate	-	31.840	0.209	0.320
2	inable to calculate	-	34.508	0.187	0.263
3	inable to calculate	-	36.300	0.167	0.222
4	inable to calculate	-	31.814	0.177	0.271
5	inable to calculate	-	34.471	0.204	0.287
6	inable to calculate	-	36.302	0.191	0.254
7	inable to calculate	-	31.828	0.150	0.230
8	inable to calculate	-	34.487	0.162	0.228
9	inable to calculate	-	36.328	0.164	0.218

Lampiran 4. Perhitungan Nilai *Standard error* dan Persentase Kemiripan Nilai Parameter Kisi dengan Standar Literatur

$$\text{Standar deviasi (s)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x^*)^2}{n-1}}$$

$$\text{Standard Error } (\sigma X) = S/\sqrt{N}$$

dengan,

s = standar deviasi

x_i = nilai data yang diobservasi

x^* = *mean* data keseluruhan

N = jumlah sampel

σX = *Standard Error*

Tabel bantu perhitungan standar deviasi untuk parameter kisi (a)

Data	x_i	$(x_i - x^*)$	$(x_i - x^*)^2$
n1	3,253	0,003	9E-06
n2	3,248	-0,002	4E-06
n3	3,249	-0,001	1E-06
Mean(x^*)	3,25	4,44089E-16	1,4E-05

- Standar deviasi = 0,00264
- *Standard Error* = 0,00152
- Presentasi kemiripan parameter standar observasi a = 3,25 dan literatur a = 3,249 adalah 99,969 %

Tabel bantu perhitungan standar deviasi untuk parameter kisi (c)

Data	x_i	$(x_i - x^*)$	$(x_i - x^*)^2$
n1	5,207	0,002333	5,44E-06
n2	5,204	-0,00067	4,44E-07
n3	5,203	-0,00167	2,78E-06
Mean(x^*)	5,204666667	-1,8E-15	8,67E-06

- Standar deviasi = 0,002082
 - *Standard Error* = 0,001202
- Presentasi kemiripan parameter standar observasi c = 5,204 dan literatur a = 5,206 adalah 99,961%

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Lara Permata Sari, lahir di Jakarta pada tanggal 20 Mei 1993. Merupakan putri dari pasangan Milus dan Sutirahayu (almh). Penulis adalah anak ke dua dari lima bersaudara. Saat ini penulis berdomisili di Jalan Pahlawan Komarudin RT/RW 11/05 No.4, Kel. Pulogebang, Kec. Cakung, Jakarta Timur.



Riwayat Pendidikan. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di TK Islam Al-Istiqomah (1998-1999), SDN Pulogebang 03 Pagi Jakarta (1999-2005), SMPN 138 Jakarta (2005- 2008), dan SMAN 103 Jakarta (2008-2011). Setelah lulus, pada tahun yang sama penulis melanjutkan kuliah di Universitas Negeri Jakarta di Program Studi Fisika Fakultas MIPA, Universitas Negeri Jakarta. Penulis pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Dasar I dan Fisika Modern pada semester lima. Penulis melaksanakan kegiatan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi (P3EBTKTE) yang merupakan unit eselon II di bawah Balitbang ESDM, Cipulir, Jakarta Selatan. Selama kegiatan PKL, penulis bekerja sebagai staff di bidang pengembangan Fuel Cell selama ± 1 bulan yaitu pada 4 Agustus – 29 Agustus 2014. Penulis menyelesaikan pendidikan S-1 di Fisika FMIPA melalui penelitiannya di bidang material. Penulisan skripsi ini berlangsung hingga akhir Juli 2015.

Pengalaman Organisasi

1. Anggota OSIS SMPN 138 Jakarta (2007-2008)
2. Anggota Rohis SMAN 103 Jakarta (2009-2010)
3. Bendahara Forum Aktivitas Rohis se-Duren Sawit (FARIS) (2010-2011)
4. Ketua Biro Kesekretariatan Masjid Ulul Albaab (MUA) Universitas Negeri Jakarta (2013)
5. Bendahara I Masjid Ulul Albaab(MUA) Universitas Negeri Jakarta (2014)
6. Bendahara I Lembaga Dakwah Kampus (LDK) SALIM UNJ (2015-sekarang).

Kontak rumah : 4805458 , ponsel : 089663711093
e-mail : ukhtilara@gmail.com