

**STUDI PENGARUH PERBEDAAN WAKTU TUMBUH  
TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN MORFOLOGI  
LAPISAN TIPIS ZnO**

**Skripsi**

**Disusun untuk melengkapi syarat-syarat guna memperoleh gelar sarjana  
sains**



**AYU MUTIA**

**3225122050**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

**2016**

**PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI**

**“STUDI PENGARUH PERBEDAAN WAKTU TUMBUH TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN MORFOLOGI LAPISAN TIPIS ZnO”**

Nama : Ayu Mutia  
No Reg : 3225122050

Nama : Panda 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. Anggara Budi Susila, M.Si  
NIP. 19601001 199203 1 001

3/7 16

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

28/7 16

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal : 25 Juli 2016

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

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

Nama : Ayu Mutia

No. Registrasi : 3225122050

Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang telah saya selesaikan dengan judul “**Studi Pengaruh Perbedaan Waktu Tumbuh terhadap Struktur Kristal dan Morfologi Lapisan Tipis ZnO**”, adalah :

1. Dibuat dan diselesaikan oleh saya sendiri, berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian pada bulan September – Desember 2015
2. Bukan merupakan duplikat skripsi yang pernah dibuat oleh orang lain atau jiplakan karya tulisan orang lain dan bukan terjemahan karya tulis orang lain.

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

Jakarta, 12 Juli 2016

Yang membuat pernyataan



Ayu Mutia

3225122050

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas petunjuk dan bimbingan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi Pengaruh Perbedaan Waktu Tumbuh terhadap Struktur Kristal dan Morfologi Lapisan Tipis ZnO”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta.

Pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih atas segala bantuan, bimbingan, arahan, semangat serta motivasi yang diberikan kepada penulis. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr.Widyaningrum Indrasari, M.Si selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta.
2. Bapak Dr.Iwan Sugihartono, M.Si sebagai Dosen Pembimbing I yang telah memberikan dan meluangkan segenap waktu, tuntunan, bimbingan, ilmu serta arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
3. Bapak Drs. Anggara Budi Susila, M.Si sebagai Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk memberikan ilmu, bimbingan, arahan dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik
4. Bapak Dr. Erfan Handoko, M.Si sebagai Pembimbing Akademik yang telah mengarahkan dan memperhatikan perkembangan prestasi akademik setiap semester.
5. Bapak/Ibu Dosen, Staff Jurusan Fisika, serta seluruh jajaran birokrasi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Jakarta.
6. Bapak Zakaria Halid, Ibu Murnilawati, Anita Mira Santy, Yeni Rahmawati, Navya Syafarani atas semua doa, cinta, kasih sayang, dan semangat yang selalu diberikan kepada penulis.

7. Ainun Jariyah, Aryna Astari Ihwana, Dwi Hartati, Putri Aulia, Anggari Kirana Dewi, Arief Setiawan atas segala keceriaan yang diberikan.
8. Anisa Agustianingsih, Sabrina Tamimi, Martalia Andayani, Novia Angelita, Desy Rakhmawati, Intan Ayu Rembulan dan Pratiwi Astuti yang selalu ada dalam suka dan duka pada keadaan apapun.
9. Barisan penelitian penumbuhan lapisan tipis ZnO, Lara Permata Sari, Endah Dwi Cahyani, Mega Lialita M dan Ratih Alifya Azeti
10. Keluarga beserta teman-teman jurusan Fisika UNJ.
11. 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.

Semoga Allah SWT selalu memberikan hidayah dan rahmat kepada semua pihak yang telah membantu dengan ikhlas sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan ini, penulis berharap penelitian yang diberikan dalam laporan ini dapat memberikan informasi mengenai perkembangan nanoteknologi khususnya lapisan tipis ZnO. Penulis sadar akan keterbatasan dan kurang sempurnanya penulisan skripsi ini, oleh karena itu segala saran dan kritik yang bersifat membangun akan sangat diharapkan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan tambahan pengetahuan bagi yang membacanya.

Jakarta, 12 Juni 2016

Penulis

## ABSTRAK

**AYU MUTIA, 2016. “STUDI PENGARUH PERBEDAAN WAKTU TUMBUH TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN MORFOLOGI LAPISAN TIPIS ZnO” Skripsi. Jakarta: Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta.**

Telah disintesis lapisan tipis ZnO di atas substrat Si (111) pada suhu 450°C menggunakan teknik *Ultrasonic Spray Pyrolysis* (USP). Serbuk  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  digunakan sebagai prekursor dengan air de-ionisasi sebagai pelarut. Variasi waktu tumbuh mulai dari 10, 20, dan 30 menit dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap struktur kristal lapisan tipis ZnO. Hasil analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa lapisan tipis ZnO memiliki struktur polikristal *hexagonal wurtzite* dengan orientasi bidang dominan (100), (002), dan (101). Besarnya ukuran butir untuk sampel dengan suhu tumbuh 10, 20, dan 30 menit memiliki nilai minimum sebesar 24,2 nm dan nilai maksimum sebesar 41,8 nm. Sedangkan nilai d-spacing dan FWHM untuk setiap sampel bervariasi seiring dengan perbedaan waktu tumbuh. Morfologi lapisan tipis ZnO memperlihatkan bahwa permukaan film cenderung padat dan seragam dengan nilai *rms roughness* masing-masing 25.715 nm, 17.853 nm, dan 27.391 nm untuk sampel dengan waktu tumbuh 10, 20, dan 30 menit.

**Kata Kunci:** ZnO, lapisan tipis, waktu tumbuh, struktur kristal, XRD, morfologi, *ultrasonic spray pyrolysis* (USP)

## ABSTRACT

**AYU MUTIA, 2016. “STUDIES ON EFFECT OF GROWTH TIME ON STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF ZnO THIN FILMS” Thesis. Jakarta: Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, State University of Jakarta.**

ZnO thin films have been synthesized on Si (111) substrate at temperature of 450°C by Ultrasonic Spray Pyrolysis (USP) technique.  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  powder as precursor and deionized water as a solvent. Variation in time growth from 10, 20, and 30 minutes have been performed in order to investigate the effect on crystalline structure of ZnO thin films. On the basis of X-Ray Diffraction (XRD) analysis, the grown ZnO thin films exhibit a polycrystalline hexagonal wurtzite with the (100), (002, and (101)) as a crystallographic orientation.. The grain size of sampel with growth time 10, 20, and 30 minutes have minimum value 24,2 nm and maximum value 41,8 nm. Whereasd-spacing and FWHM value for each sample were vary in difference of growth time. Morphological properties of ZnO thin film show that the surface of the entire specimen has a dense and homogeneous with rms roughness was measured respective are 25.715, 17.853, and 27.391 nm.

**Keywords:** ZnO, thin films, growth time, crystallite structure, XRD, morphological, ultrasonic spray pyrolysis (USP).

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b> ....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
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
<b>BAB II. KAJIAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Zinc Oxide .....	6
2.1.1 Lapisan Tipis ZnO .....	6
2.1.2 Struktur Kristal ZnO .....	8
2.2 Penumbuhan Lapisan Tipis .....	10
2.3 Metode Pembuatan Lapisan Tipis .....	11
2.3.1 Metode <i>Sol Gel</i> .....	11



2.3.2 Metode Hidrotermal.....	12
2.3.3 Metode <i>Ultrasonic Spray Pyrolysis</i> (USP).....	12
2.4 Penentuan Ukuran Kristal .....	14
2.5 Morfologi Lapisan Tipis ZnO .....	16
2.6 Pengaruh Waktu Tumbuh terhadap Struktur Kristal dan Morfologi .....	17
2.7 Alat Uji .....	21
2.7.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	21
2.7.2 <i>Atomic Force Microscopy</i> (AFM) .....	24
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Tujuan Penelitian .....	27
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	27
3.3 Metode Penelitian .....	27
3.4 Prosedur Penelitian .....	28
3.4.1 Alat dan Bahan .....	28
3.4.2 Perangkat Karakterisasi .....	29
3.4.3 Diagram Alir Penelitian .....	31
3.4.4 Teknik Penumbuhan Lapisan Tipis .....	33
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN ... .....</b>	<b>37</b>
4.1 Analisis Hasil Karakterisasi XRD .....	38
4.2 Analisis Hasil Karakterisasi AFM .....	45
<b>BAB V. PENUTUP .....</b>	<b>50</b>
5.1 Kesimpulan .....	50
5.2 Saran .....	51

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>56</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur kristal ZnO <i>hexagonal wurtzite</i> .....	9
Gambar 2.2. Mekanisme atomisasi pada USP .....	10
Gambar 2.3. Skema pembentukan lapisan tipis .....	11
Gambar 2.4. Pola difraksi sinar-X .....	15
Gambar 2.5. Puncak intensitas XRD lapisan tipis ZnO dengan variasi waktu tumbuh .....	18
Gambar 2.6. Hubungan antara mikrostruktur dengan orientasi bidang kristal lapisan tipis ZnO .....	19
Gambar 2.7. Skematik Hubum Bragg .....	22
Gambar 2.8. Skematik alat XRD .....	23
Gambar 2.9. Puncak-puncak intensitas difraksi sinar X lapisan tipis ZnO dengan variasi mol prekursor (A= 0,01 mol), (B =0,02 mol) dan (C=0,03 mol) .....	24
Gambar 2.10. Contoh tip AFM yang difoto dengan SEM .....	25
Gambar 2.11. Prinsip kerja AFM .....	26
Gambar 3.1. XRD Shimadzu 7000 .....	29
Gambar 3.2. Diagram alir penelitian sintesis lapisan tipis ZnO .....	31
Gambar 3.3. Skema sistem <i>Spray Pyrolysis</i> .....	33
Gambar 3.4. Pemotongan wafer silikon .....	34
Gambar 3.5. Proses pencucian menggunakan Ultrasonic Bath . .....	34
Gambar 3.6. Proses penumbuhan lapisan tipis ZnO .....	36
Gambar 4.1. Grafik XRD Lapisan Tipis dengan variasi waktu tumbuh .....	38
Gambar 4.2. Hubungan antara waktu tumbuh, ukuran kristal, dan strain pada bidang (101) .....	44
Gambar 4.3. Profil permukaan AFM lapisan tipis ZnO.....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sifat fisis kristal ZnO dengan tipe wurtzite .....	8
Tabel 2.2. Kelebihan dan Kekurangan pada Teknik Pembuatan Lapisan Tipis..	13
Tabel 2.3. Tabel <i>Roadmap</i> ZnO .....	21
Tabel 4.1. Foto sampel lapisan tipis ZnO dengan variasi waktu tumbuh .....	37
Tabel 4.2. Nilai d-spacing, ukuran kristal, parameter kisi, dan regangan kisi lapisan tipis ZnO dengan perbedaan waktu tumbuh .....	42
Tabel 4.4. Nilai Rp-v, Rms Roughness dan Average Roughness Lapisan Tipis ZnO dengan Perbedaan Waktu Tumbuh.....	47

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pola Difraksi Sinar-X .....	56
Lampiran 2. <i>Inorganic Crystal Structure Database</i> (ICSD) No. 98-065-6331...62	
Lampiran 3. Hasil Pengolahan Data dengan Menggunakan Software <i>High Score Plus</i> .....	63
Lampiran 4. Hasil Pengolahan Data dengan Menggunakan Software <i>AFM</i> .....	67
Lampiran 5. Penilaian Makalah PPI KIM LIPI 2016 .....	70

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Lapisan tipis adalah suatu lapisan yang sangat tipis dengan orde  $10^{-6}$ - $10^{-9}$  m dari bahan organik, anorganik, metal, maupun campuran metal-organik yang dapat memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor, maupun isolator<sup>[1]</sup>. Dalam teknik pembuatan lapisan tipis, ada beberapa jenis bahan yang banyak digunakan, diantaranya SnO<sub>2</sub>, ITO, dan TCO. SnO<sub>2</sub> harganya sangat murah, tetapi nilai resistivitasnya jauh lebih tinggi dari ITO. Sedangkan ITO merupakan jenis bahan campuran yang memiliki nilai resistivitas rendah, namun proses pembuatannya sangat mahal<sup>[2]</sup>. Oleh karena itu, saat ini dikembangkan lapisan tipis yang dapat menggantikan SnO<sub>2</sub> dan ITO.

TCO (*Transparent Conducting Oxide*) merupakan jenis bahan yang cocok untuk dibuat lapisan tipis karena memiliki beberapa kelebihan, yaitu resistivitasnya rendah, harganya yang murah dengan sifat-sifat optik yang baik<sup>[2]</sup>. Salah satu contoh bahan TCO adalah *Zinc oxide* (ZnO).

ZnO merupakan semikonduktor golongan II-VI berstruktur wurzite yang cocok dijadikan sebagai kandidat pembuatan lapisan tipis yang berpotensi dalam berbagai aplikasi seperti elektroda transparan, jendela sel surya, *field emitters*, laser pancaran ultraviolet, fotodetektor, piezoelektrik, biosensor, *short wavelength light emitting diode*, dan teknologi informasi<sup>[3]</sup>. Senyawa ini memiliki celah pita energi yang cukup besar (3,37 meV), resistivitas rendah, fleksibel (mudah

dipadukan dengan senyawa lain), mempunyai stabilitas kimia dan termal yang tinggi, serta memiliki energi pasangan hole dan elektron (energi eksiton) yang besar yakni (60 meV) dibandingkan dengan semikonduktor lain seperti ZnSe (20 meV), dan GaN (21 meV)<sup>[4]</sup>. Energi eksiton yang besar dapat menjamin suatu emisi elektron yang efisien pada suhu kamar sehingga menjadikan ZnO sebagai kandidat yang menjanjikan bagi material elektronik dan fotonik generasi mendatang.

Berbagai metode sintesis telah banyak dikembangkan untuk memperoleh lapisan tipis ZnO diantaranya adalah *sputtering*<sup>[2]</sup>, *spray pyrolysis*<sup>[5]</sup>, *metal organic chemical vapor deposition (MOCVD)*<sup>[6]</sup>, hidrotermal<sup>[7]</sup>, *spin coating*<sup>[8]</sup>, *sol-gel*<sup>[10]</sup>, dan *chemical solution deposition (CSD)*<sup>[11]</sup>.

Salah satu metode fisik yang cocok digunakan dalam pembuatan lapisan tipis adalah metode *spray pyrolysis* karena memiliki beberapa keuntungan seperti dapat disintesis tanpa suhu yang tinggi, dapat mengontrol ukuran dan suhu, peralatan sintesa yang sederhana, prosesnya bertekanan rendah, kebutuhan material yang cukup murah serta dapat menghasilkan lapisan tipis dengan kualitas yang baik<sup>[5]</sup>.

Perbedaan waktu tumbuh merupakan parameter yang efektif dalam pembentukan ketebalan pada lapisan tipis. Dalam aplikasi bidang optoelektronik, umumnya ketebalan lapisan tipis yang paling optimum seringkali digunakan dalam meningkatkan performa divais. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang lapisan tipis ZnO, seperti L.C.Nehru, dkk<sup>[5]</sup> mempelajari pengaruh suhu annealing terhadap struktur, morfologi, serta sifat elektrik dan optik. Lapisan tipis ZnO ditumbuhkan dengan metode *ultrasonic spray pyrolysis*

dengan variasi suhu annealing 350°C, 400°C, dan 450°C. Dalam penelitiannya, lapisan tipis ZnO memiliki struktur polikristal *hexagonal wurtzite* dan analisis AFM menggambarkan pertumbuhan kristal yang baik serta keseragaman dalam morfologi lapisan tipis ZnO. Sementara itu, Wisnu Purno Aji dkk<sup>[1]</sup> meneliti struktur kristal ZnO 0.02 mol yang ditumbuhkan dengan metode USP dengan suhu tumbuh 400°C, 450°C, dan 500°C melaporkan bahwa ketebalan dan orientasi bidang kristal lapisan tipis ZnO bervariasi dengan suhu tumbuh yang berbeda. Mortezaali *et al* dalam penelitiannya<sup>[33]</sup> melaporkan bahwa meningkatnya waktu deposisi dari 4 menuju 7 menit membuat ketebalan lapisan tipis meningkat seiring juga dengan tingkat kekasarannya, namun pada waktu tumbuh 11 menit *rms roughness* mengalami penurunan.

Pada penelitian kali ini akan ditumbuhkan lapisan tipis ZnO 0,02 mol di atas substrat silikon (111) menggunakan metode *ultrasonic spray pyrolysis* (USP) dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh lama waktu tumbuh terhadap morfologi serta struktur kristal lapisan tipis ZnO dengan variasi waktu tumbuh 10, 20, dan 30 menit. Struktur kristal diamati dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) sedangkan morfologi lapisan tipis ZnO diidentifikasi menggunakan *Atomic Force Microscopy* (AFM).



## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh waktu tumbuh terhadap struktur kristal lapisan tipis ZnO yang terbentuk di atas substrat silikon (111) ?
2. Bagaimana pengaruh waktu tumbuh terhadap morfologi lapisan tipis ZnO yang terbentuk di atas substrat silikon (111) ?

## 1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian kali ini terutama difokuskan pada perbedaan waktu tumbuh terhadap struktur kristal dan morfologi lapisan tipis ZnO. Lapisan tipis ZnO 0,02 mol dibuat melalui teknik *ultrasonic spray pyrolysis* (USP) di atas substrat Si (111) dengan variasi lama waktu tumbuh selama 10, 20, dan 30 menit.

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium. Pengujian untuk analisis dan karakterisasi sampel dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Atomic Force Microscopy* (AFM).

## 1.4 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah pengaruh perbedaan waktu tumbuh terhadap struktur kristal dan morfologi lapisan tipis ZnO 0,02 mol yang terbentuk di atas substrat silikon (111) dengan menggunakan metode *ultrasonic spray pyrolysis* (USP).

## **1.5 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan diatas, penelitian ini bertujuan antara lain :

1. Mempelajari pengaruh perbedaan waktu tumbuh terhadap struktur kristal lapisan tipis ZnO yang ditumbuhkan dengan teknik USP di atas substrat Si (111).
2. Mempelajari pengaruh perbedaan waktu tumbuh terhadap morfologi lapisan tipis ZnO yang ditumbuhkan dengan teknik USP di atas substrat Si (111).

## **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang akan dicapai dari hasil penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi tentang struktur kristal dan morfologi lapisan tipis ZnO yang ditumbuhkan dengan perbedaan waktu tumbuh. Dari informasi tersebut maka dapat memberikan kontribusi dalam menentukan parameter waktu tumbuh yang paling optimal untuk menghasilkan lapisan tipis ZnO yang lebih baik.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 *Zinc Oxide*

##### 2.1.1 Lapisan Tipis ZnO

Perkembangan teknologi nano telah berkembang dengan cukup pesat. Dalam pengembangan risetnya, material nano diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu material nol dimensi (*nano partikel*), satu dimensi (*nano wire*), dan dua dimensi<sup>[6]</sup>.

Lapisan tipis adalah suatu lapisan yang sangat tipis dengan orde  $10^{-6}$ - $10^{-9}$  m dari bahan organik, anorganik, metal, maupun campuran metal-organik yang dapat memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor, maupun isolator<sup>[1]</sup>.

Dalam teknik pembuatan lapisan tipis, ada beberapa jenis bahan yang banyak digunakan, diantaranya MgO, TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, ITO (*Indium Tin Oxide*), dan TCO (*Transparent Conducting Oxide*). SnO<sub>2</sub> harganya sangat murah, tetapi nilai resistivitasnya jauh lebih tinggi dari ITO. Sedangkan ITO merupakan jenis bahan campuran yang memiliki nilai resistivitas rendah, namun proses pembuatannya sangat mahal<sup>[2]</sup>. Oleh karena itu, saat ini dikembangkan lapisan tipis yang dapat menggantikan SnO<sub>2</sub> dan ITO. ZnO adalah salah satu contoh bahan TCO yang banyak digunakan dalam pembuatan lapisan tipis karena memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan material lain.

ZnO merupakan material semikonduktor II-VI dimana unsur Zn dan O berada pada tabel ke 2 dan 6 pada tabel periodik yang memiliki celah pita energi besar

(3,37 eV), resistivitas rendah, serta mempunyai energi pasangan hole dan elektron (energi eksiton) yang cukup besar (60 meV) jika dibandingkan dengan semikonduktor lain seperti ZnSe (20 meV) dan GaN (21 meV)<sup>[4]</sup>. Energi eksiton yang kuat dapat menjamin suatu emisi eksiton yang efisien pada suhu kamar sehingga menjadikan ZnO sebagai kandidat yang menjanjikan bagi material elektronik dan fotonik generasi mendatang.

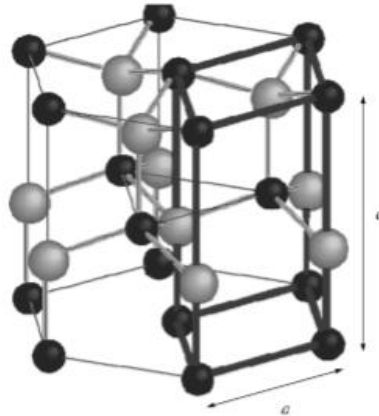
Material ZnO memiliki kelebihan dibandingkan dengan material semikonduktor lainnya dalam pembuatan lapisan tipis, diantaranya adalah memiliki tingkat mobilitas yang tinggi, resistivitas yang rendah, fleksibel (mudah dipadukan dengan senyawa lain), band gap (celah pita) yang moderat, tahan terhadap temperatur tinggi, serta dapat memendarkan cahaya<sup>[12]</sup>. Terkait dengan banyaknya sifat-sifat yang menguntungkan, maka material ini memiliki banyak potensi aplikasi elektroda transparan, jendela sel surya, *field emitters*, laser pancaran ultraviolet, fotodetektor, piezoelektrik, biosensor, *short wavelength light emitting diode*, dan teknologi informasi<sup>[3]</sup>.

**Tabel 2.1 Sifat fisis kristal ZnO dengan tipe wurtzite<sup>[13]</sup>**

Sifat Fisis	Nilai
Konstanta kisi (T= 300 K)	
$a_0$	0,32469 nm
$c_0$	0,52069 nm
Kerapatan	5,606 g/cm <sup>3</sup>
Titik Lebur	2248 K
Konstanta dielektrik	8,66
Energi gap	3,4 eV (4K), 3,2 Ev (RT)
Konstentrasi pembawa intrinsik	< 10 <sup>6</sup> cm <sup>3</sup>
Energi ikat eksiton	60 MeV
Mobilitas elektron	0,24
Massa efektif elektron	20 cm <sup>2</sup> / V s
Massa efektif Hole	0,59
Mobilitas Hole	5 – 50 cm <sup>2</sup> / V s

### 2.1.2 Struktur Kristal ZnO

Seng Oksida adalah senyawa inorganik yang mempunyai struktur umum ZnO. Senyawa ini umumnya tidak larut dalam air dan alkohol, namun larut dan terurai pada kebanyakan jenis asam. ZnO memiliki 3 jenis struktur kristal, yakni *hexagonal wurtzite*<sup>[9]</sup>, *cubic zinblende*, dan *cubic rocksalt* (kadang-kadang).



**Gambar 2.1 Struktur kristal ZnO *hexagonal wurtzite***<sup>[9]</sup>

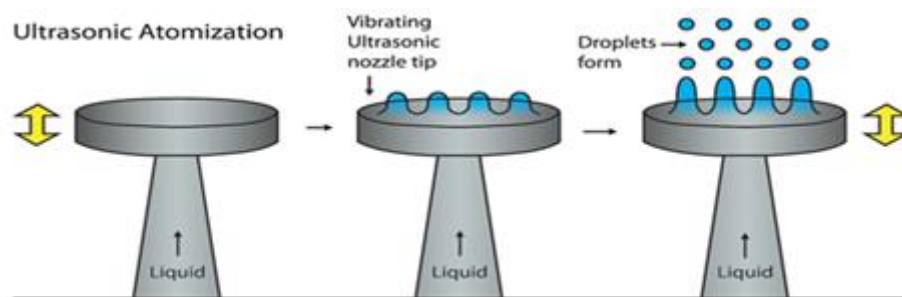
Pada tekanan dan temperatur lingkungan, struktur kristal ZnO adalah wurtzite seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Seng Oksida (ZnO) merupakan kristal senyawa ionik terdiri atas kation-kation dan anion-anion yang tersusun secara teratur dan berulang (periodik). Pola susunan yang teratur dan berulang dari ion-ion yang terdapat dalam suatu kristal menghasilkan kisi kristal dengan bentuk struktur tertentu.

Struktur wurtzite adalah struktur kristal yang paling stabil pada kondisi lingkungan sehingga menjadi yang paling umum. Struktur kristal wurtzite pada ZnO memiliki parameter kisi  $a = 3.2495 \text{ \AA}$  dan  $c = 5.2069 \text{ \AA}$ <sup>[9]</sup> serta kerapatan (density) sebesar  $5.605 \text{ g cm}^{-3}$ <sup>[14]</sup>. Kebanyakan ZnO memiliki karakteristik tipe-n bahkan tanpa adanya pendopingan. Hal ini dikarenakan adanya cacat kristal alami ZnO seperti kelebihan oksigen dan atom interstisi dari Zinc. Untuk oksidasi Zn menjadi ZnO, atom seng memasuki oksida secara interstisi pada antarmuka oksida/logam dan berdifusi ke antarmuka oksida/oksigen. Reaksi antarmuka oksida/oksigen ( $2\text{Zn}_i^{**} + 4e + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{ZnO}$ ) diasumsikan proses yang cepat

(kesetimbangan), sehingga konsentrasi cacat antarmuka ini sangat kecil dan tidak bergantung pada tekanan oksigen. Migrasi cacat interstisi bermuatan ini terjadi bersamaan dengan migrasi elektron<sup>[17]</sup>.

## 2.2 Penumbuhan Lapisan Tipis

Pertumbuhan lapisan tipis menggunakan teknik *Ultrasonic Spray Pyrolysis* (USP) dimulai ketika *ultrasonic nozzle* menghasilkan gelombang dengan frekuensi tinggi. Transducer mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang berupa gerakan vibrasi dengan frekuensi yang sama. Pada umumnya, nozzle dengan frekuensi tinggi menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil seperti yang terlihat oleh Gambar 2.2



**Gambar 2.2 Mekanisme atomisasi pada USP**

Pertumbuhan lapisan tipis melibatkan proses nukleasi dan pertumbuhan pada substrat atau pertumbuhan permukaan. Proses nukleasi memainkan peran yang sangat penting dalam menentukan kristalinitas dan mikrostruktur film yang dihasilkan. Untuk deposisi film tipis dengan ketebalan dalam ukuran nanometer, proses nukleasi awal bahkan lebih penting. Interaksi antara film dan substrat memainkan peran yang sangat penting dalam menentukan nukleasi awal dan pertumbuhan film.

Mekanisme pembentukan lapisan tipis dimulai dari nukleasi yang terjadi di atas substrat melalui proses adsorpsi. Pada tahap ini (dalam orientasi acak), nukleus terus berkembang menjadi kristal yang tumbuh paralel di atas substrat sampai lapisan pertama terbentuk. Lapisan ini terbentuk karena adanya proses nukleasi yang cepat sehingga membentuk kristal yang kemudian saling bergabung dengan kristal lain yang berdekatan. Pertumbuhan atau pembentukan lapisan pertama terjadi secara utuh atau lengkap sebelum pembentukan lapisan berikutnya terjadi, selanjutnya kristal akan tumbuh di arah sumbu-z hingga mencapai batasan tertentu sebelum lapisan lain terbentuk seperti yang digambarkan pada gambar 2.3



**Gambar 2.3 Skema pembentukan lapisan tipis<sup>[33]</sup>**

## **2.3 Metode Pembuatan Lapisan Tipis**

### **2.3.1 Metode Sol Gel**

Metode sol gel adalah metode dengan menggunakan proses kimia dimulai dari bentuk ion yang lebih besar (bulk) ditambah pereaksi kimia sehingga ion yang dihasilkan berukuran nanopartikel. Metode sol-gel merupakan proses yang banyak digunakan untuk membuat keramik, material gelas dan teknik kimia yang juga dikenal sebagai deposisi larutan kimia. Pada umumnya, proses sol gel mengalami perubahan fase yaitu dari fase solid yang berupa serbuk akan berubah menjadi fase sol (koloid yang memiliki padatan tersuspensi dalam larutan) lalu berubah menjadi gel. Material yang biasanya digunakan dalam proses sol-gel adalah garam logam inorganik atau campuran logam organik. Pada proses sol-gel,



prekursor molekular dirubah menjadi partikel berukuran nano untuk membentuk suspensi koloid atau sol. Nanopartikel koloid ini kemudian berikatan satu dengan yang lain melalui proses polimerisasi untuk membentuk gel.

### **2.3.2 Metode Hidrotermal**

Sintesis Hidrotermal merupakan salah satu teknik dari pengkristalan dari temperatur tinggi pada aqueous solution pada tekanan tinggi. Sintesis hidrotermal dapat didfinisikan sebagai metode sintesis dari kristal tunggal yang tergantung pada kesolutan dari mineral pada air panas dibawah tekanan tinggi. Pertumbuhan kristal dibentuk dalam apparatus yang terdiri dari tekanan vessel baja yang disebut autoclave, yang mana nutrient disuplai terus bersama air. Gradien suhu ditentukan pada akhir kebalikan dari ruang pertumbuhan

### **2.3.3 Metode *Ultrasonic Spray Pyrolysis* (USP)**

Pada sistem *Ultrasonic Spray Pyrolysis*, sesuai dengan namanya *nozzle ultrasonic*, atau pada penelitian ini menggunakan alat *ultrasonic nebulizer* menggunakan gelombang suara dengan frekuensi tinggi dengan jelaajah di atas pendengaran manusia. Secara umum, *nozzle* frekuensi tinggi akan menghasilkan butiran larutan yang lebih kecil dan konsekuensinya kapasitas aliran maksimumnya makin kecil dari *nozzle* yang beroperasi pada frekuensi rendah. Larutan precursor sebagai zat pembentuk lapisan tipis yang mengindikasikan bahan apakah yang akan ditumbuhkan pada lapisan tipis berada di dalam *ultrasonic nebulizer* yang kemudian digetarkan untuk mencegah partikel cairan menjadi kabut/*fog* yang kemudian dialirkan melalui *nozzle* ke suatu ruang terisolasi, dimana cuplikan substrat yang telah dipanaskan berada<sup>[12]</sup>.

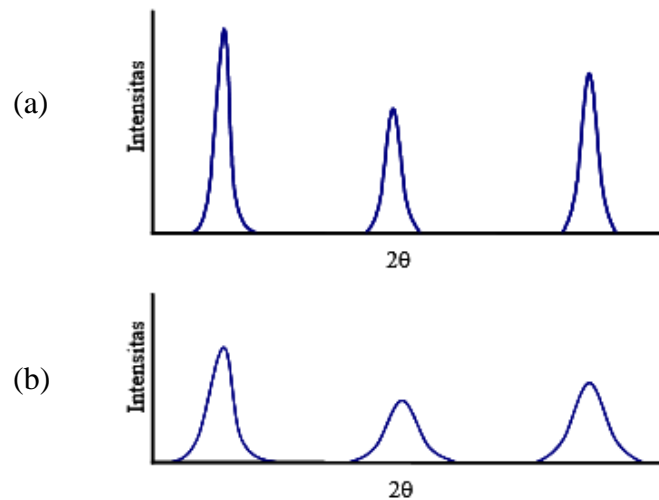
Beberapa teknik pembuatan lapisan tipis yang telah dikembangkan memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan masing-masing seperti yang digambarkan oleh tabel 2.2.

**Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan pada Teknik Pembuatan Lapisan Tipis**

<b>Teknik Pembuatan</b>	<b>Kelebihan</b>	<b>Kekurangan</b>
<i>Chemical Bath Deposition</i> (CBD) <sup>[40]</sup>	Pengoperasiannya mudah, menggunakan temperatur yang rendah (90°C), pelarutnya hampir selalu aquades.	Sulit untuk diproduksi sehingga hasilnya kurang bagus, sulit untuk mengontrol ukuran film
Sol Gel <sup>[34]</sup>	Menghasilkan larutan yang homogen, kemurnian tinggi, peralatan yang sederhana dan murah.	Sulit untuk mengontrol ketebalan lapisan tipis, penyusutan yang besar selama proses pengeringan.
Hidrotermal <sup>[39]</sup>	Ramah lingkungan, tidak memerlukan temperatur tinggi, teknik yang cepat.	Metode ini tidak dapat memproduksi nanorod ZnO dengan diameter kecil (<100nm) pada temperatur rendah.
<i>Sputtering</i> <sup>[26]</sup>	Peralatan yang sederhana, aman, gas emisi <i>non-toxic</i> , dapat membuat <i>film</i> dengan area yang cukup luas.	Metode ini memerlukan pemanasan yang cukup tinggi (850°C-1100°C) dalam proses penumbuhannya
<i>Ultrasonic Spray Pyrolysis</i> (USP) <sup>[33]</sup>	Peralatan sintesa yang sederhana, dapat mengontrol ukuran dan bentuk lapisan tipis, non-vakum.	Kualitas lapisan tipis bergantung pada ukuran droplet dan <i>spray nozzle</i> .

## 2.4 Penentuan Ukuran Kristal

Metode yang sering digunakan untuk menentukan ukuran kristal nano adalah dengan menggunakan metode Scherrer. Ukuran kristalin ditentukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar-X yang muncul. Metode ini sebenarnya sebenarnya memprediksi ukuran kristalin dalam material, bukan ukuran partikel. Jika satu partikel mengandung sejumlah kristalin yang kecil-kecil maka informasi yang diberikan metode Scherrer adalah ukuran kristalin tersebut, bukan ukuran partikel. Untuk partikel berukuran nanometer, biasanya satu partikel hanya mengandung satu kristallites. Dengan demikian, ukuran kristalinitas yang diprediksi dengan metode Scherrer juga merupakan ukuran partikel. Berdasarkan metode ini, makin kecil ukuran kristallites maka makin lebar puncak difraksi yang dihasilkan, seperti diilustrasikan pada gambar 2.4. Kristal yang berukuran besar dengan satu orientasi menghasilkan puncak difraksi yang mendekati sebuah garis vertikal. Kristallites yang sangat kecil menghasilkan puncak difraksi yang sangat lebar. Lebar puncak difraksi tersebut memberikan informasi tentang ukuran kristallites.



**Gambar 2.4 Pola difraksi sinar-X (a) Pola difraksi dengan ukuran kristalites besar, (b) Pola difraksi dengan ukuran kristalites kecil<sup>[16]</sup>.**

Kristalites yang kecil akan menghasilkan puncak difraksi yang lebar. Penyebabnya karena kristalites yang kecil memiliki bidang pantul sinar-X yang terbatas. Puncak difraksi dihasilkan oleh interferensi secara konstruktif cahaya yang dipantulkan oleh bidang-bidang kristal. Semakin banyak jumlah celah interferensi maka makin sempit ukuran garis frinji pada layar. Interferensi celah banyak dengan jumlah celah tak berhingga menghasilkan frinji yang sangat tipis tetapi sangat terang. Jumlah celah yang sangat banyak identik dengan kristalites berukuran besar. Karena difraksi sinar-X pada dasarnya adalah interferensi oleh sejumlah sumber, maka hubungan antara lebar puncak difraksi dengan ukuran kristalites berdasarkan perumusan interferensi celah banyak.

Hubungan antara ukuran kristalites dengan lebar puncak difraksi sinar-X dapat diproksimasi dengan persamaan Scherrer.

$$D = \frac{0,9 \lambda}{B \cos \theta_B} \quad (1)$$

dengan  $D$  adalah ukuran (diameter) kristallites,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan,  $\theta_B$  adalah sudut Bragg,  $B$  adalah lebar puncak difraksi sampel pada setengah maksimum (FWHM)

Kerapatan dislokasi yang mempresentasikan nilai kecacatan (*defect*) dari suatu lapisan tipis dapat dirumuskan dengan persamaan di bawah ini :

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

Jika ukuran kristal semakin besar dan nilai FWHM kecil maka kondisi seperti ini mengindikasikan adanya proses kristalisasi yang baik pada lapisan tipis. Kerapatan dislokasi menurun seiring dengan meningkatnya temperatur annealing yang berdampak pada menurunnya konsentrasi pada cacat kisi.

## 2.5 Morfologi Lapisan Tipis ZnO

Morfologi AFM merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan (*roughness*) pada lapisan tipis. Tingkat kekasaran permukaan berperan besar dalam mempengaruhi sifat mekanik, listrik, optik, dan magnetik suatu bahan.

Temperatur merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi morfologi suatu lapisan tipis. Morfologi lapisan tipis ZnO menunjukkan hasil yang berbeda pada parameter temperatur. Lapisan tipis ZnO tanpa perlakuan panas memiliki ukuran butir yang sangat kecil, berbeda dengan lapisan tipis yang diberi perlakuan panas dimana ukuran butir akan semakin besar seiring dengan peningkatan temperatur.

Hal ini berhubungan dengan pertumbuhan kristal yang terjadi pada lapisan tipis ZnO. Semakin kecil kristal yang terbentuk maka kemungkinan terjadinya aglomerasi pada butirnya akan semakin besar.

Pada penelitian sebelumnya, Kalyani N<sup>[15]</sup>, dkk melaporkan bahwa tingkat kekasaran permukaan untuk sampel tanpa perlakuan annealing memiliki nilai 2.1 nm. Setelah mendapat perlakuan annealing dengan suhu 300°C, 400°C, dan 500°C, kekasaran permukaan meningkat masing-masing dengan nilai 4.3 nm, 5.4 nm, dan 5.6 nm. Hasilnya temperatur annealing memperbesar proses pemanjangan butir pada permukaan lapisan tipis yang mengakibatkan meningkatnya nilai kekasaran permukaan.

Tingkat kekasaran permukaan lapisan tipis ZnO diukur dengan menggunakan software AFM yang kemudian dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut<sup>[15]</sup> :

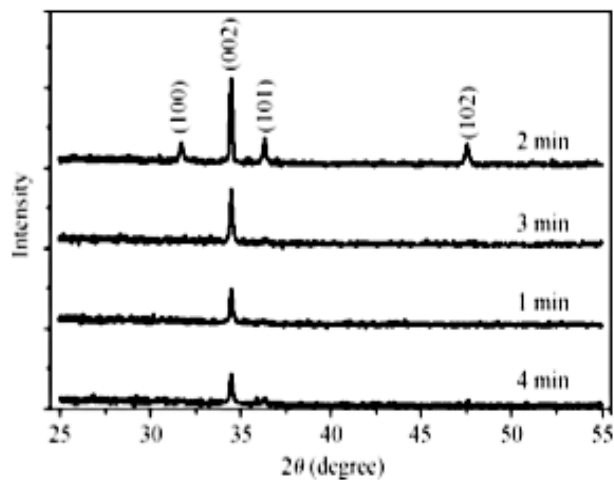
$$R(rms) = \left( \frac{\sum_{i=1}^N (Z_i - Z_{avg})^2}{N} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Dimana N adalah jumlah titik,  $Z_i$  adalah titik ke-i dari Z, dan  $Z_{avg}$  adalah nilai rata-rata Z.

## **2.6 Pengaruh Waktu Tumbuh terhadap Struktur Kristal dan Morfologi Lapisan Tipis**

Waktu tumbuh merupakan salah satu parameter penting yang dapat mempengaruhi struktur kristal, morfologi, dan sifat-sifat fisis lainnya pada lapisan tipis yang dihasilkan.

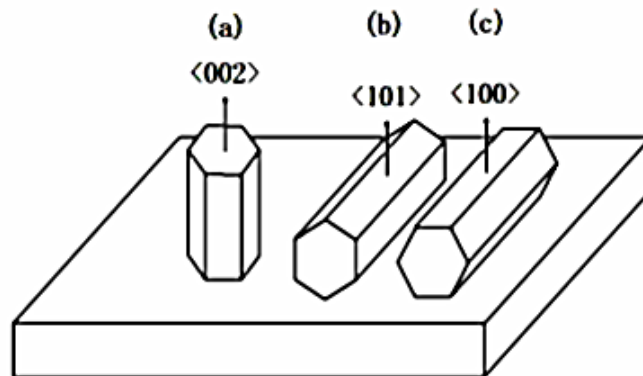
Benramache *et al*<sup>[19]</sup> melaporkan bahwa kristalinitas lapisan tipis ZnO meningkat dalam variasi waktu tumbuh. Dalam penelitiannya, Benramache *et al* menggunakan perbedaan waktu tumbuh dari 1 sampai 4 menit dengan suhu tumbuh 350°C. Berdasarkan *Joint Committee on Power Diffraction Standards* (JCPDS) ZnO, hasil menunjukkan bahwa semua sampel memiliki struktur hexagonal wurtzite namun dengan intensitas puncak yang berbeda-beda. Lapisan tipis dengan waktu tumbuh 2 menit seperti memiliki puncak XRD yang tinggi dan tajam dimana hal ini mengindikasikan adanya peningkatan orientasi puncak intensitas (002) dibandingkan dengan lapisan tipis lainnya (Gambar 2.5). Hasil ini menunjukkan bahwa efek waktu tumbuh sangat berpengaruh pada orientasi puncak intensitas lapisan tipis ZnO.



**Gambar 2.5 Puncak intensitas XRD lapisan tipis ZnO dengan variasi waktu tumbuh<sup>[19]</sup>.**

Orientasi bidang (002) mengindikasikan lapisan tipis terorientasikan pada sumbu-c tegak lurus dengan bidang substrat. Puncak (002) tersebut muncul dari difraksi bidang dasar ZnO, karena kristal ZnO cenderung tumbuh secara alami

berupa batang hexagonal yang panjang ke arah sumbu-c<sup>[28]</sup>. Gambar 2.6 menunjukkan hubungan antara mikrostruktur dan orientasi bidang kristal lapisan tipis ZnO.



**Gambar 2.6 Hubungan antara mikrostruktur dengan orientasi bidang kristal lapisan tipis ZnO. (a) orientasi bidang (002), (b) orientasi bidang (101), dan (c) orientasi bidang (100)<sup>[22]</sup>.**

Gambar 2.6 (a) memperlihatkan bahwa sumbu-c tumbuh tegak lurus terhadap substrat dengan struktur kolom yang merepresentasikan bidang (002) sebagai *preferential orientation*. Sumbu-c yang tumbuh secara paralel terhadap substrat memiliki struktur piramid menggambarkan bidang kristal (101) yang ditunjukkan oleh gambar 2.6 (b). Sedangkan 2.6 (c) menunjukkan bidang kristal (100) dimana sumbu-c tumbuh paralel terhadap substrat dengan struktur poligon.

Benramache *et al*<sup>[19]</sup> menambahkan bahwa ukuran butir meningkat (tingkat kecacatan kecil) untuk lapisan tipis dengan waktu tumbuh antara 1-2 menit, namun ukuran butir menurun seiring dengan meningkatnya waktu tumbuh. Hal ini menandakan adanya penurunan dalam proses kristalinitas.



Ukuran kristal akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur, namun kerapatan dislokasi dan regangan akan mengalami penurunan pada permukaan lapisan tipis. Keadaan seperti ini akan menghasilkan film tipis dengan kualitas tinggi. Meningkatnya temperatur juga mempengaruhi parameter kisi pada lapisan tipis, dimana semakin tinggi temperatur maka nilai parameter kisi akan semakin kecil.

Pengukuran AFM akan menghasilkan informasi berkaitan dengan morfologi permukaan pada lapisan tipis. Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk menginvestigasi sifat-sifat lainnya pada lapisan tipis seperti tingkat kekasaran dan ukuran butir<sup>[20]</sup>.

Pada penelitian sebelumnya, L.C Nehru dkk<sup>[5]</sup> melaporkan hasil morfologi permukaan yang halus dan homogen dalam pengukuran tiga dimensi menggunakan AFM. Lapisan tipis dengan temperatur annealing yang bervariasi akan menghasilkan morfologi yang berbeda-beda pula namun dengan dominasi aglomerasi pada butirnya. Temperatur annealing dapat memperbesar proses pertumbuhan butir yang akan memberikan dampak meningkatnya tingkat kekasaran pada permukaan lapisan tipis. Ukuran butir yang meningkat akan mengakibatkan meningkatnya ketebalan lapisan tipis selama proses deposisi. Tingkat ketebalan lapisan tipis yang optimum akan berpengaruh besar terhadap orientasi atomik, struktur kecacatan (*defect*) hingga sifat optiknya. Beberapa penelitian sebelumnya mengenai sifat-sifat lapisan tipis ZnO dalam berbagai aplikasi dapat disimpulkan sebagai berikut :

**Tabel 2.3 Tabel Roadmap ZnO**

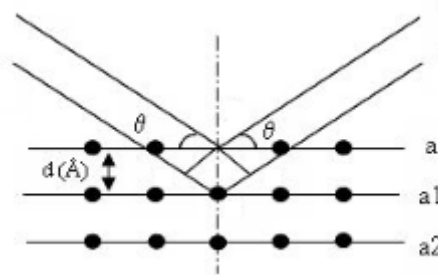
<b>Nama</b>	<b>Tahun</b>	<b>Metode</b>	<b>Crystalite Size (nm)</b>	<b>Roughness (nm)</b>	<b>E-gap (eV)</b>	<b>Resistivitas (<math>\Omega\text{cm}</math>)</b>	<b>Aplikasi</b>
Mahmoud, F. A. <i>et al</i> <sup>[38]</sup>	2009	USP	150	-		$1.129 \times 10^6$	Gas Sensor
Saleh, W.R. <i>et al</i> <sup>[25]</sup>	2011	Sol Gel	291	3.23	3.1		Solar cell
Chaabouni, F <i>et al</i> <sup>[26]</sup>	2013	Sputtering	19-27.5	6.5-13	3.28	$7 \times 10^{-3}$	Solar cell
Kumar, V. <i>et al</i> <sup>[36]</sup>	2013	Sol Gel	7	5.8	3.3		Gas sensor

## **2.7 Alat Uji**

### **2.7.1. X-Ray Diffraction (XRD)**

Diffraksi adalah suatu fenomena hamburan yang melibatkan sejumlah besar atom. Atom-atom tersebut tersusun secara periodik dan teratur pada suatu kisi sehingga hamburan yang dihasilkan oleh atom-atom tersebut memiliki fasa tertentu yang berhubungan dengan atom-atom pada kisi tersebut. Pada hampir sebagian besar arah hamburan terjadi interferensi destruktif tetapi pada sedikit arah hamburan terjadi interferensi konstruktif terjadi dan berkas sinar difraksi tersebut terbentuk. Dua hal yang sangat utama dalam difraksi sinar X adalah interferensi gelombang (x-ray) dan satu set hamburan yang disebabkan oleh atom-atom pada kristal yang tersusun secara periodik <sup>[15]</sup>.

Bragg memandang bahwa peristiwa difraksi berasal dari hamburan sinar x oleh bidang-bidang kristal. Dimana pada bidang-bidang itu terdapat atom-atom. Bidang-bidang kristal ini dinamai dengan inders Miller (*Miller index*). Penggambaran sederhana hukum Bragg bisa dilihat pada gambar 2.7. Pada gambar itu terdapat 2 bidang kristal dengan jarak antar bidang adalah  $d_{hkl}$ .



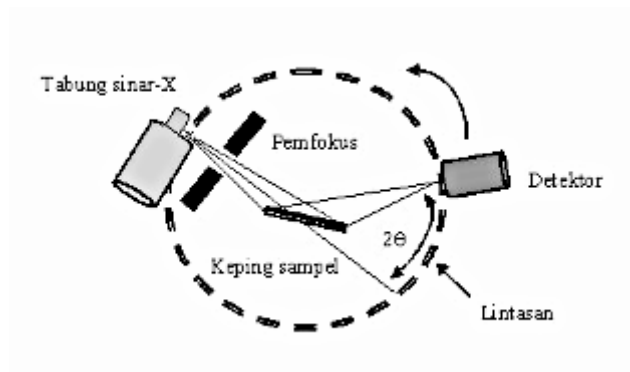
**Gambar 2.7 Skematik Hukum Bragg<sup>[15]</sup>.**

Dua hal yang perlu diingat mengenai fakta geometri hukum Bragg adalah 1) sinar datang, bidang normal refleksi, dan berkas sinar yang didifraksikan berada pada satu bidang, 2) sudut antara berkas sinar yang didifraksikan dengan sinar yang ditransmisikan itu besarnya selalu  $2\theta$ .  $2\theta$  inilah yang dikenal sebagai sudut difraksi dan  $2\theta$  inilah yang terukur oleh alat dalam eksperimen difraksi sinar x. Pola difraksi sinar-x yang terjadi akan mengikuti hukum Bragg yang dirumuskan:

$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (4)$$

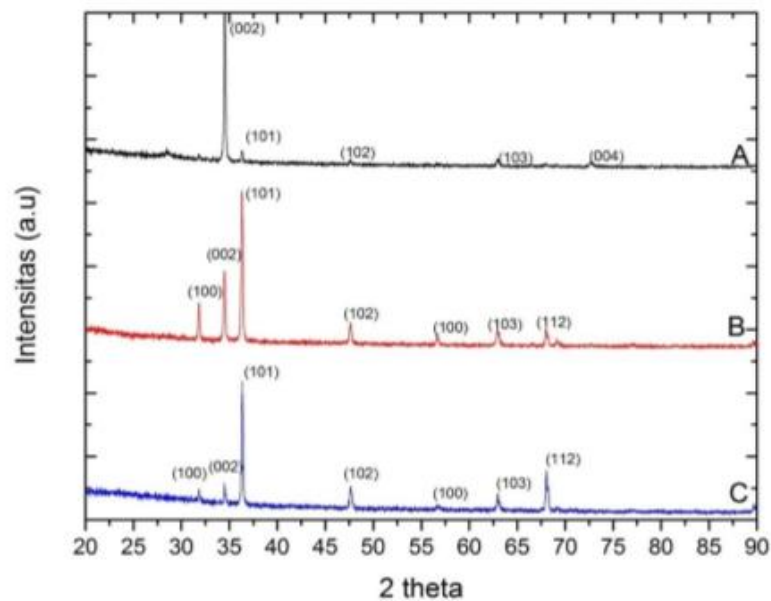
dengan  $d$  adalah jarak antar bidang,  $\theta$  adalah sudut difraksi,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar X yang digunakan dan  $n$  adalah bilangan bulat yang menyatakan orde difraksi.

Skematik alat x ray diffraktometer dapat dilihat pada gambar 2.8. Pada alat diffraktometer tersebut sumber sinar yang digunakan berupa sinar-X monokromatik dengan sampel polikristal yang bisa berupa bubuk (*powder*) dan lempengan. Detektor yang digunakan berupa SSD (*solid state detector*). Prinsip kerjanya sampel diputar dengan diikuti pula oleh detektor yang berputar mengikuti putaran sampel ( $2\theta$ ).



**Gambar 2.8 Skematik alat XRD<sup>[15]</sup>**

Diffraktometer yang dijalankan pada satu range sudut tertentu akan menghasilkan sederet puncak-puncak intensitas difraksi seperti yang diperlihatkan oleh gambar 2.9. Setiap puncak intensitas difraksi untuk setiap sudut difraksi itu mewakili bidang-bidang kisi kristal yang mendifraksikan sinar X yang datang pada kristal.



**Gambar 2.9. Puncak-puncak intensitas difraksi sinar X lapisan tipis ZnO dengan variasi mol prekursor (A= 0,01 mol), (B =0,02 mol) dan (C=0,03 mol)<sup>[12]</sup>**

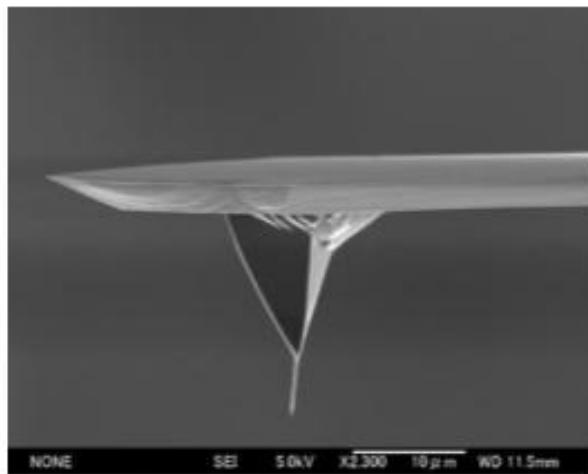
Dari pola difraksi sinar x yang diperoleh kita dapat mengetahui karakteristik material yang kita uji dengan XRD tersebut. Karakteristik yang bisa diketahui tersebut adalah tentang informasi struktur (sistem kristal, parameter kisi, preferred orientation dll), dan ukuran kristal.

### **2.7.2 Atomic Force Microscopy (AFM)**

*Atomic Force Microscopy* (AFM) adalah jenis mikroskop dengan resolusi amat tinggi yang mana resolusinya mencapai seperbilangan nanometer, 1000 kali lebih kuat dari batas difraksi optik. Mikroskop ini merupakan salah satu alat terpenting untuk penggambaran, pengukuran, dan manipulasi pada skala nano. Informasi ini di dapatkan dengan memindai permukaan menggunakan sebuah alat pemeriksa mekanik. Elemen piezoelektrik yang memfasilitasi perintah elektronik

gerak dengan sangat akurat dan tepat membuatnya dapat memindai dengan presisi tinggi .

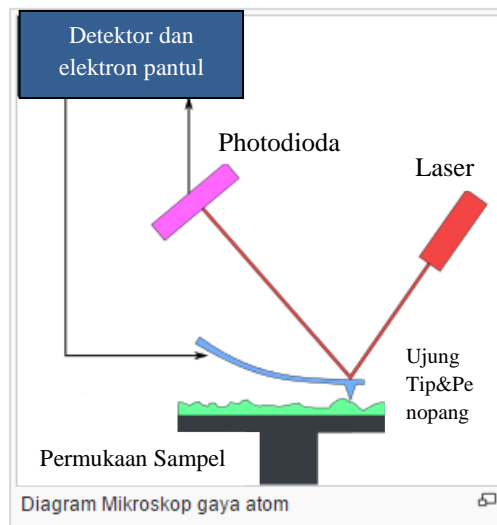
Perangkat utama sebuah AFM adalah sebuah tip yang sangat tajam yang ditempatkan di ujung *cantilever*, seperti tampak pada gambar 2.10. *Cantilever* beserta tip digerakkan sepanjang permukaan benda yang diamati. Dengan adanya tekstur permukaan benda yang tidak rata maka selama mengerakkan tip sudut kemiringan *cantilever* berubah-ubah. Perubahan sudut tersebut memberikan informasi kedalaman tekstur permukaan benda<sup>[16]</sup>. Prinsip kerjanya melibatkan gaya yang terjadi selama interaksi terjadi, secara umum berupa tarikan dan dorongan. Gaya-gaya yang terjadi akan terdeteksi melalui pergerakan *cantilever* yang otomatis kan merubah sudut refleksi sinar laser ke arah detektor.



**Gambar 2.10** Contoh tip AFM yang difoto dengan SEM<sup>[16]</sup>

Sudut yang dibentuk cantilever ditentukan dengan mengarahkan berkas tipis sinar laser ke arah *cantilever* dan sudut sinar pantul ditentukan. Perubahan sudut *cantilever* menyebabkan perubahan arah sinar pantul. Dengan kata lain, dengan

mengetahui sudut sinar pantul maka sudut *cantilever* dapat diketahui, dan pada akhirnya kedalaman tekstur permukaan benda dapat diketahui. Sudut pantul sinar laser pada berbagai titik scan ditentukan. Selanjutnya, dengan program pengolahan citra yang ada dalam komputer, profil permukaan sampel dapat dibangun. Penggambaran prinsip kerja AFM dapat dilihat pada gambar 2.11.



**Gambar 2.11 Prinsip kerja AFM<sup>[15]</sup>**

Pergeseran posisi *cantilever* arah normal sedikit saja (puluhan sentimeter) dapat direkam dengan baik. Kesalahan pengamatan arah sejajar sample sering terjadi jika ada perubahan tekstur pada ukuran yang lebih kecil daripada ukuran tip.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi parameter sintesis selama proses *ultrasonic spray pyrolysis* (USP) terhadap karakteristik lapisan tipis ZnO. Parameter yang akan diteliti adalah waktu penumbuhan thin film ZnO yang ditumbuhkan di atas substrat silikon (111) terhadap struktur kristal dan morfologinya. Waktu tumbuh yang digunakan adalah 10, 20, dan 30 menit.

#### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September sampai dengan bulan Desember 2015. Proses pembuatan lapisan tipis ZnO dilakukan di Laboratorium Fisika, Universitas Indonesia.

#### **3.3 Metode Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode studi literatur dan eksperimen. Studi literatur digunakan untuk mengetahui struktur kristal, morfologi, serta sifat-sifat terkait lapisan tipis ZnO yang sudah pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Lapisan tipis ZnO telah dideposisikan dengan berbagai metode dan macam-macam parameter telah diteliti demi mendapatkan lapisan tipis yang paling optimal dalam penggunaannya di berbagai divais dalam aplikasinya sehingga dapat dijadikan acuan untuk penelitian lebih lanjut. Metode



eksperimen dilakukan untuk membuat dan mengetahui pengaruh waktu tumbuh terhadap struktur kristal dan morfologi lapisan tipis ZnO yang dibuat dengan menggunakan metode *ultrasonic spray pyrolysis* (USP).

Metode yang digunakan dalam penumbuhan lapisan tipis dalam penelitian kali ini adalah metode (USP) dengan suhu penumbuhan 450°C. Struktur kristal yang terbentuk diuji dengan menggunakan analisa *X-Ray Diffraction* (XRD), dan morfologi lapisan tipis ZnO diuji menggunakan *Atomic Force Microscopy* (AFM)

### **3.4 Prosedur Penelitian**

#### **3.4.1 Alat dan Bahan**

##### a. Alat Sintesis lapisan tipis ZnO

1. Neraca digital
2. Pinset
3. Tissue
4. Kertas timbang
5. Gelas ukur (100 mL)
6. Ultrasonic Bath
7. Ultrasonic Nebulizer (*ultrasonic spray pyrolysis*)

Spesifikasi Alat :

- Merk : Yamamoto Giken UN88
- Frekuensi ultrasonic : 1.7 MHz
- Diameter kabut partikel : 1-5  $\mu\text{m}$
- Kabut volume : >3 ml/menit

- Volume air : 150 mL
- Tegangan : AC220V ± 22v 50 Hz
- Aliran udara : 2 mL/menit (120 cc/jam)

#### 8. Hot Plate

#### b. Bahan yang digunakan

1. Wafer Silikon
2. Zinc Asetat Dihydrate Powder (250 gr)
3. De-Ionized water (DI) / Air deionisasi
4. Isopropanol
5. Alumunium foil

### 3.4.2 Perangkat Karakterisasi

#### 1. *X-Ray Diffraction (XRD)*



**Gambar 3.1 XRD- Shimadzu 7000**

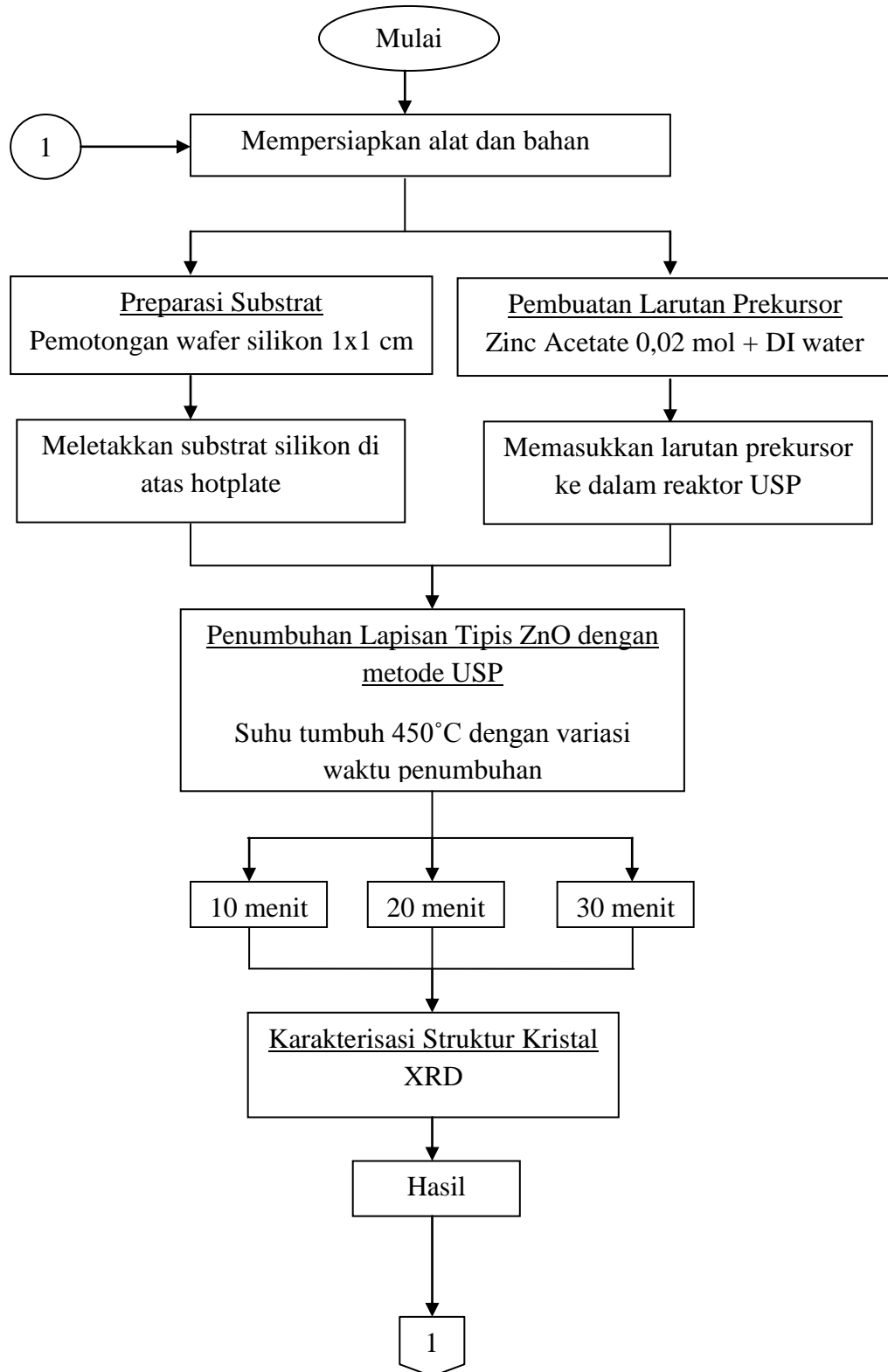
Spesifikasi XRD yang digunakan yaitu:

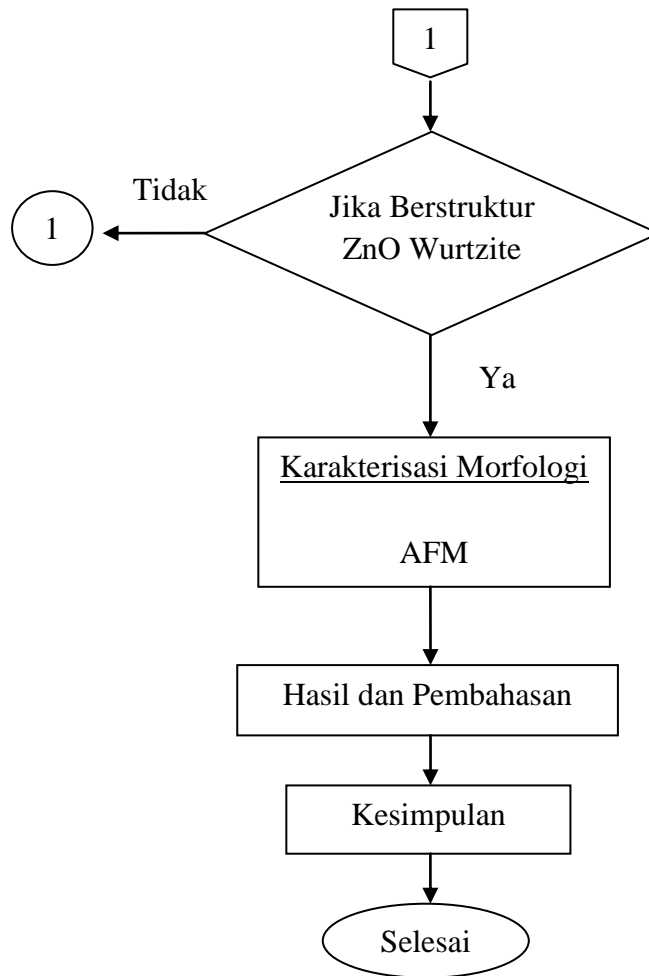
- Logam target : CuK $\alpha$
- Panjang Gelombang : 1,5406 Å
- Tegangan pengoperasian : 35 kV
- Arus generator : 30 mA
- Sudut pengoperasian ( $2\theta$ ) : 20° sampai 90°

## 2. *Atomic Force Microscopy (AFM)*

*Atomic Force Microscopy (Scanning Probe Microscope, Terra Universal)*

### 3.4.3 Diagram Alir Penelitian





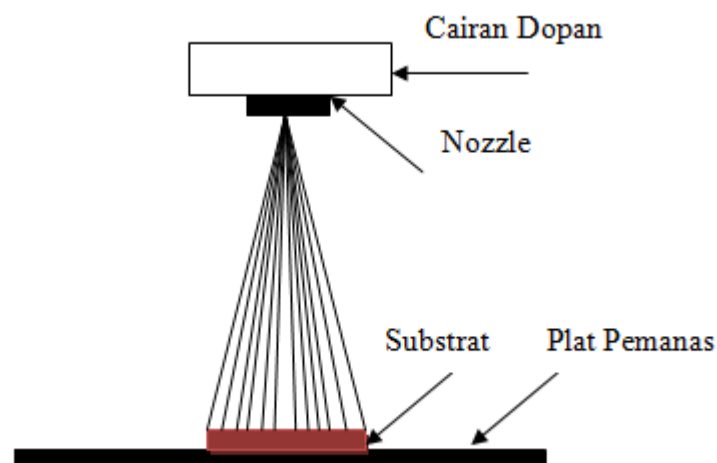
**Gambar 3.2 Diagram alir penelitian sintesis lapisan tipis ZnO**

Secara umum pada tahapan penelitian ini yang akan dilakukan terdiri dari tahapan preparasi sampel, pembuatan larutan prekursor, sintesis lapisan tipis ZnO, serta karakterisasi uji sampel menggunakan XRD, dan AFM. Secara keseluruhan tahapan tersebut dapat digambarkan melalui gambar 3.2 di atas.

### 3.4.4 Teknik Penumbuhan Lapisan Tipis

#### 3.4.4.1 Metode *Ultrasonic Spray Pyrolysis* (USP)

Pada metode USP, cairan dopan yang terdiri dari campuran *Zinc acetat dyhidrat* [ $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ] yang dilarutkan dengan air deionisasi akan dibawa menuju *ultrasonic fogger* untuk memproduksi kabut yang dihasilkan dari getaran ultrasonic pada frekuensi 1.7 MHz oleh *transducer* menuju *nozzle*. Proses pemanasan pada *hotplate* memiliki temperatur 450°C. Pada penelitian ini proses pengkabutan dimulai ketika nozzle menyemprotkan kabut ke atas substrat yang telah dipanaskan selama 10, 20, dan 30 menit.



Gambar 3.3 Skema sistem *Spray Pyrolysis*<sup>[12]</sup>.

#### 3.4.4.2 Persiapan Substrat Wafer Silikon (111)

Dalam poses penumbuhan lapisan tipis ZnO dibutuhkan substrat sebagai dasar bagi thin film yang akan terbentuk. Proses persiapan wafer substrat Silikon (111) dimulai dengan pemotongan substrat menjadi ukuran 1x1 cm menggunakan pemotong kaca. Tahap kedua adalah tahap pencucian substrat Silikon. Pencucian

dilakukan dengan menuangkan 10 mL isopropanol ke dalam gelas ukur kemudian memasukkan Silikon yang telah dipotong kedalamnya lalu digetarkan dengan menggunakan *ultrasonic bath*. Tahap selanjutnya adalah pencucian substrat menggunakan air deionisasi dengan melakukan langkah yang sama seperti langkah di atas agar substrat Silikon (111) bersih dari unsur, ion, dan mineral lain yang terkandung didalamnya.



**Gambar 3.4 Pemotongan wafer silikon**



**Gambar 3.5 Proses pencucian menggunakan *Ultrasonic Bath***

### 3.4.4.1 Pembuatan Larutan Prekursor

Proses penumbuhan lapisan tipis seng oksida dengan menggunakan metode *ultrasonic spray pyrolysis* (USP) menggunakan larutan yang dibuat dengan 0,02 mol serbuk *Zinc acetat dyhydrat* [ $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ] yang dilarutkan dengan air deionisasi. Pembuatan larutan prekursor ini terbagi menjadi 2 bagian, yakni :

- a) Tahap Pertama adalah proses penimbangan massa ZnO menggunakan neraca digital analitik. Banyaknya serbuk zinc acetat yang digunakan dapat dihitung dengan perumusan di bawah ini :

$$\mathbf{gr = n \times Mr} \tag{5}$$

dimana :

gr = massa zat

n = jumlah mol

Mr = massa relatif unsur [ $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ] (219,5)

- b) Tahap kedua yakni proses pencampuran ZnO dengan air deionisasi. Sebanyak 4,39 mg [ $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ] dicampurkan dengan 100 mL air deionisasi ke dalam gelas ukur, kemudian digetarkan dengan menggunakan *ultrasonic bath* selama 15 menit yang dimaksudkan agar larutan tercampur secara homogen.



#### 3.4.4.2 Penumbuhan Lapisan Tipis

Proses penumbuhan lapisan tipis ZnO dilakukan dengan metode *ultrasonic spray pyrolysis* (USP) dilakukan dengan beberapa langkah. Tahap pertama adalah meletakkan wafer silikon (111) yang telah dibersihkan ke atas *hotplate*. Kemudian dilanjutkan dengan memasukkan campuran larutan *Zinc acetate dyhydrate* – Air deionisasi yang telah dicampurkan menggunakan *ultrasonic bath* ke dalam tempat larutan prekursor pada *ultrasonic nebulizer*. Tahap selanjutnya yakni memanaskan *hotplate* dengan suhu 450°C secara bertahap lalu proses pengkabutan dimulai saat *ultrasonic nebulizer* dinyalakan dengan variasi waktu tumbuh selama 10, 20, dan 30 menit.






**Gambar 3.6** Proses penumbuhan lapisan tipis ZnO

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil-hasil yang diperoleh selama penelitian yang telah dilakukan yaitu 3 buah lapisan tipis ZnO yang ditumbuhkan dengan variasi waktu tumbuh. Penelitian dilakukan menggunakan metode *Ultrasonic Spray Pyrolysis* (USP) dengan prekursor *Zinc Acetate Dyhydrate* 0,02 mol yang dicampur dengan air deionisasi. Tahap sintesis dilakukan diatas substrat Silikon (111) menggunakan suhu tumbuh 450 °C dengan variasi waktu tumbuh selama 10, 20, dan 30 menit. Pengujian dilakukan pada 3 sampel dengan nomor urut I, II dan III yang berturut-turut mewakili lama waktu tumbuh masing-masing 10, 20, dan 30 menit. Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengkaji struktur kristal film ZnO. Pola-pola difraksi berupa puncak-puncak karakteristik orientasi kristal ZnO digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan, dan parameter kisi. Analisis *Atomic Force Microscopy* (AFM) digunakan untuk mengetahui pengaruh waktu tumbuh pada morfologi lapisan tipis ZnO yang terbentuk.

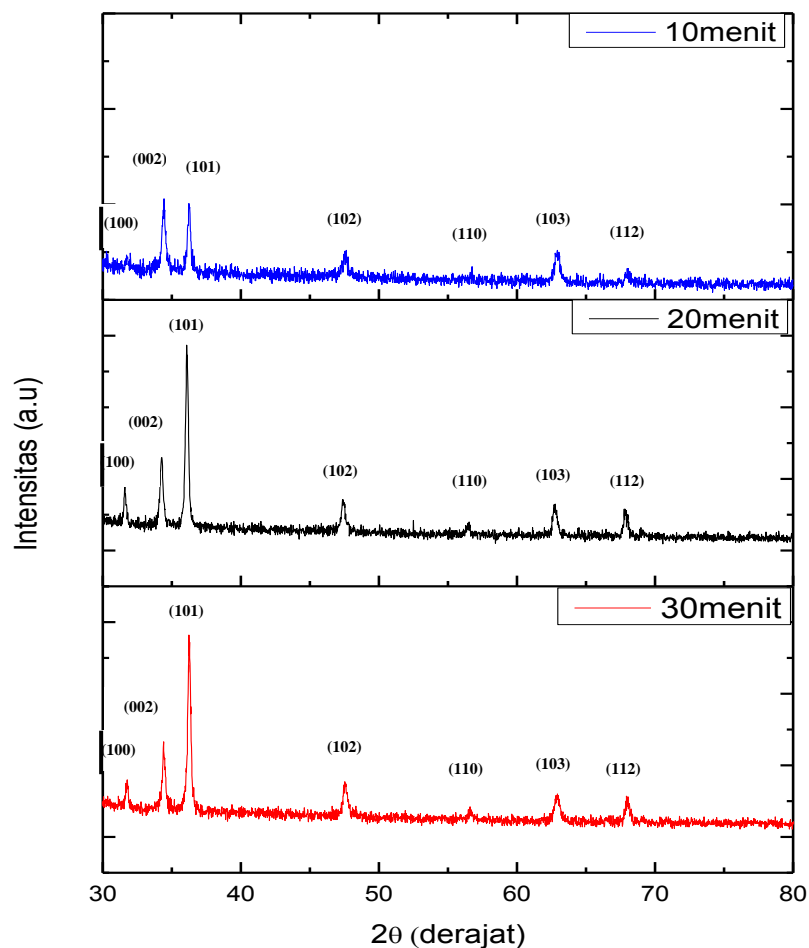
**Tabel 4.1 Foto Sampel Lapisan Tipis ZnO dengan Variasi Waktu Tumbuh**

Metode Penumbuhan	Sampel	Waktu Tumbuh (menit)	Foto Sampel
Metode <i>Ultrasonic Spray Pyrolysis</i> (USP), dengan konsentrasi prekursor sebesar 0,02 mol dan suhu tumbuh 450 °C.	I	10	
	II	20	
	III	30	

#### 4.1 Analisis Hasil Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

Jenis kristal lapisan tipis ZnO yang terbentuk dari proses sintesis menggunakan metode *Ultrasonic Spray Pyrolysis* (USP) dilakukan menggunakan analisis XRD. Pengukuran XRD dilakukan dengan menggunakan panjang gelombang yang sesuai dengan *Shimadzu xrd-7000* XRD, radiasi  $\text{CuK}\alpha$  yaitu  $\lambda$  1,5406 Å yang beroperasi pada arus sebesar 30 mA dan tegangan 35 kV.

Gambar 4.1 merupakan grafik pola XRD lapisan tipis ZnO yang ditumbuhkan dengan variasi waktu tumbuh.



**Gambar 4.1 Grafik XRD Lapisan Tipis ZnO dengan waktu tumbuh 10 menit, 20 menit, dan 30 menit.**

Hasil analisis XRD menunjukkan posisi  $2\theta$  yang bersesuaian untuk masing-masing kristal. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui senyawa yang terbentuk dari hasil sintesis yang dilakukan. Software *High Score Plus* yang didukung dengan *Inorganic Crystal Structure Database* (ICSD) No. 98-065-6331 sebagai referensi database kristal ZnO digunakan untuk menganalisis posisi puncak pada grafik yang terbentuk.

Berdasarkan hasil pencocokan dengan database ICSD untuk senyawa ZnO, sampel I memperlihatkan bahwa puncak pertama berada pada sudut  $31.73^\circ \sim 2\theta$  yang menunjukkan adanya intensitas kristal lapisan tipis dengan arah (100). Puncak kedua yakni puncak dengan intensitas terbesar berada pada sudut  $2\theta$  sebesar  $34.40^\circ$  dengan arah bidang (002), kemudian orientasi (101) berada pada sudut  $36.22^\circ$ . Puncak lain yang mengindikasikan terbentuknya lapisan tipis ZnO adalah (102), (110), (103), dan (112) pada sudut  $47.53^\circ$ ,  $56.59^\circ$ ,  $62.89^\circ$ , dan  $67.97^\circ$ . Pada sampel II, kristal yang terbentuk cenderung memiliki intensitas yang lebih tinggi dengan intensitas terbesar yaitu pada arah (101) dengan sudut  $36.08^\circ$ . Kemudian puncak lainnya dengan orientasi bidang (100), (002), (102), (110), (103), dan (112) berada pada sudut  $2\theta$  masing-masing  $31.56^\circ$ ,  $34.24^\circ$ ,  $47.38^\circ$ ,  $56.43^\circ$ ,  $62.73^\circ$ , dan  $67.82^\circ$ . Sampel III memiliki puncak dominan yang tertentu pada sudut  $36.25^\circ$  dengan orientasi bidang (101). Puncak lainnya berada pada sudut  $31.70^\circ$ ,  $34.39^\circ$ ,  $47.53^\circ$ ,  $56.57^\circ$ ,  $62.90^\circ$ , dan  $67.97^\circ$  merujuk pada arah masing-masing (100), (002), (102), (110), (103), dan (112). Dapat dilihat bahwa pola difraksi sinar X lapisan tipis ZnO memiliki puncak-puncak  $2\theta$  yang sama dengan database sehingga dapat disimpulkan bahwa fasa yang terbentuk hanyalah fasa ZnO.

Data grafik puncak pola XRD diatas menunjukkan bahwa lapisan tipis ZnO memiliki struktur polikristal *hexagonal wurtzite*. Film tipis ZnO yang dihasilkan memiliki tiga puncak dominan yakni pada bidang (100), (002), dan (101). Sampel dengan waktu tumbuh 10 menit memiliki orientasi dominan pada arah tegak lurus terhadap substrat dengan arah bidang puncak (002) sebagai *preferred orientation* yang berada pada sudut  $2\theta$  sebesar  $34.40^\circ$ . Hal ini menunjukkan bahwa hasil observasi yang ada sudah mendekati nilai standar yang ditentukan untuk orientasi puncak (002) yakni  $2\theta = 34.43^\circ$ <sup>[21]</sup>. Orientasi bidang (002) mengindikasikan lapisan tipis terorientasikan pada sumbu-c tegak lurus dengan bidang substrat. Puncak (002) tersebut muncul dari difraksi bidang dasar ZnO, karena kristal ZnO cenderung tumbuh secara alami berupa batang hexagonal yang panjang ke arah sumbu-c<sup>[28]</sup>. Berbeda dengan lapisan tipis lainnya yang memiliki *preferred orientation* pada bidang (101). Menurut Yeu-Hu Hui *et al.*<sup>[22]</sup>, puncak bidang (100) dan (101) menunjukkan butir-butir terorientasi dengan sumbu-c sejajar pada permukaan substrat serta relatif memiliki struktur piramid dan struktur poligon seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10.

Analisis Rietveld menggunakan software *High Score Plus* digunakan untuk mengetahui nilai-nilai parameter yang dibutuhkan seperti regangan kisi, parameter kisi, dan ukuran kristal lapisan tipis ZnO.

Perhitungan ukuran kristal pada film ZnO membutuhkan nilai *Full-Width at Half Maximum* (FWHM) puncak karakteristik. FWHM merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung lebar puncak dengan cara menentukan jarak antar 2 titik yang telah memiliki nilai setengah dari nilai maksimal kurva.. Besarnya ukuran kristal dapat dihitung menggunakan persamaan Scherrer, yaitu:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

dimana

$D$  = ukuran kristal (nm)

$k$  = merupakan konstanta *Scherrer* (0.9)

$\lambda$  = panjang gelombang sinar-X yang digunakan (1,5406 Å)

$\theta$  = sudut difraksi (°),

$\beta$  = lebar puncak difraksi sampel pada setengah maksimum (FWHM).

Tabel 4.3 merupakan tabel hasil perhitungan ukuran kristal, parameter kisi dan regangan kisi pada bidang (101) yang disertai dengan standar literatur.

**Tabel 4.2 d-Spacing, Ukuran Kristal, Parameter Kisi dan Regangan Kisi Lapisan Tipis ZnO dengan Perbedaan Waktu Tumbuh.**

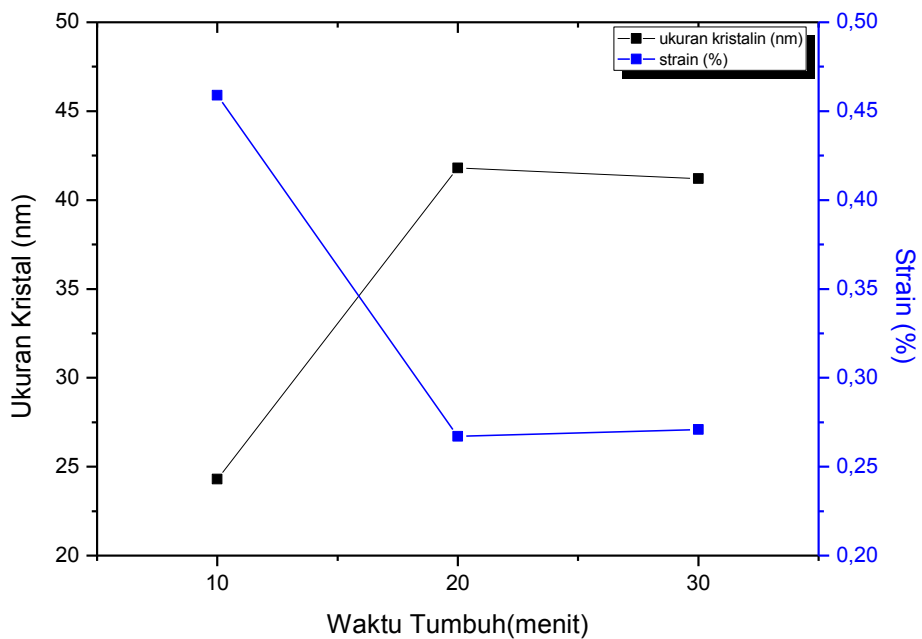
Waktu Tumbuh (menit)	Arah Bidang (hkl)	Posisi Puncak (2 $\theta$ )	FWHM	<i>d-spacing</i> (Å)		Ukuran Kristal, D (nm)
				Standar	Observasi	
10	(100)	31.728	0.344	2.8180	2.8120	24.0
	(002)	34.401	0.344	2.6100	2.6048	24.2
	(101)	36.224	0.344	2.4798	2.4772	24.3
20	(100)	31.719	0.200	2.8180	2.8257	41.3
	(002)	34.333	0.254	2.6100	2.6163	32.7
	(101)	36.178	0.200	2.4798	2.4870	41.8
30	(100)	31.704	0.281	2.8180	2.8200	29.4
	(002)	34.397	0.281	2.6100	2.6051	29.6
	(101)	36.255	0.203	2.4798	2.4758	41.2

Berdasarkan tabel diatas diperoleh nilai parameter kisi a dan c untuk sampel dengan waktu tumbuh 10 menit adalah  $a = 3.239 \text{ \AA}$ ,  $c = 5.229 \text{ \AA}$ , sementara film dengan waktu tumbuh 20 menit memiliki parameter  $a = 3.238 \text{ \AA}$  dan  $c = 5.222 \text{ \AA}$ , sedangkan untuk waktu tumbuh 30 menit menunjukkan nilai  $a = 3.235 \text{ \AA}$  dan  $c = 5.217 \text{ \AA}$ . Nilai standar parameter kisi berdasarkan ICSD No. 98-065-6331 adalah  $a = 3.254 \text{ \AA}$  dan  $c = 5.220 \text{ \AA}$ . Nilai parameter-parameter kisi hasil perhitungan ini memastikan struktur kristal hexagonal wurtzite ZnO sesuai dengan nilai pada literatur.

Ukuran kristal lapisan tipis ZnO pada bidang (101) untuk ketiga sampel adalah 24.3 nm, 41.8 nm, dan 41.2 nm masing-masing dengan waktu tumbuh 10, 20, dan 30 menit. Subramanyam *et al.*<sup>[29]</sup> dalam penelitiannya melaporkan bahwa ukuran kristal mengalami peningkatan dengan meningkatnya waktu tumbuh dari ukuran 19 sampai 27.5 nm. Buku *Thin Films Fundamentals*<sup>[31]</sup> juga menjelaskan bahwa dengan meningkatnya waktu deposisi lapisan tipis, ukuran nukleus terus meningkat yang kemudian menyebabkan adanya pengumpulan antar nukleus tersebut. Proses selanjutnya, nukleus yang sudah terbentuk kemudian bergabung dan menyebabkan ukuran grain akan semakin besar. Meningkatnya ukuran kristal pada lapisan tipis ZnO menandakan adanya proses kristalinitas yang baik. Sebaliknya, ukuran kristal mengalami penurunan diantara rentang waktu tumbuh 20 menuju 30 menit. Hal ini disebabkan oleh cacat *native defect* pada lapisan tipis ZnO. Selama proses pembentukan lapisan tipis ZnO, ada suatu kemungkinan dimana atom-atom oksigen akan berikatan satu sama lain yang akhirnya akan terpompa keluar sebagai gas O<sub>2</sub>. S.M Jejurikar *et al.*<sup>[23]</sup> dalam penelitiannya melaporkan bahwa atom-atom oksigen yang berada di permukaan akan



mengalami proses penguapan pada temperatur yang tinggi. Kondisi ini mengakibatkan kurangnya atom-atom oksigen selama proses pertumbuhan yang berdampak pada banyaknya atom-atom Zn yang menempati posisi interstisi pada kisi kristal yang kita sebut sebagai native defect. Berdasarkan literatur, ZnO cenderung tumbuh bersamaan dengan adanya native defect seperti interstisi pada atom Zn atau kekosongan (vacancy) pada atom-atom  $O_2$ <sup>[24]</sup>. Atom-atom Zn tersebut bermigrasi menuju batas butir yang berperan sebagai penghalang (*barrier*) bagi pertumbuhan batas butir lebih lanjut yang mengakibatkan menurunnya ukuran kristal.



**Gambar 4.2 Hubungan antara waktu tumbuh, ukuran kristal, dan *strain* pada bidang (101)**

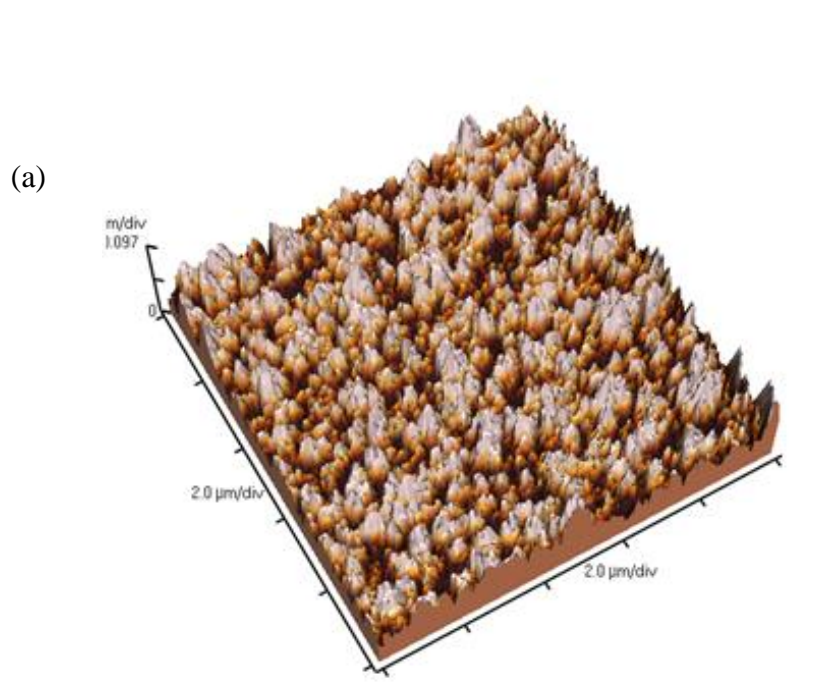
Gambar 4.2 menunjukkan ukuran kristal dan *strain* pada bidang (101) berdasarkan pengolahan data XRD. Pada grafik tersebut, tampak bahwa bertambahnya waktu tumbuh meningkatkan ukuran kristal dan menurunkan nilai

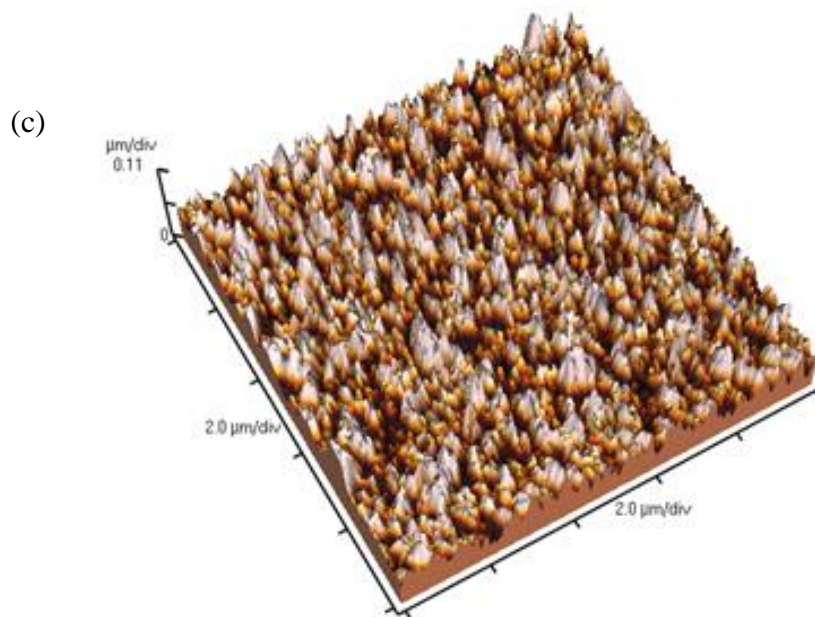
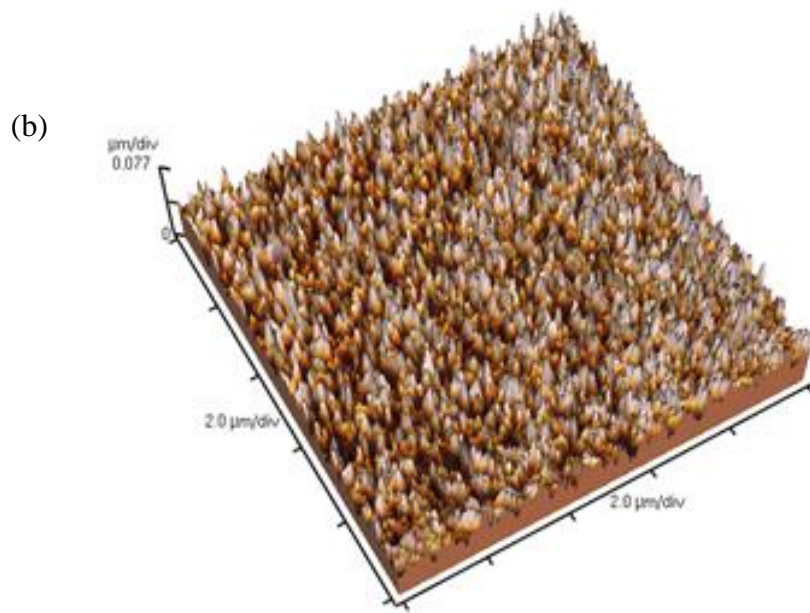
*strain* (regangan kisi). Ukuran kristal suatu film juga dipengaruhi oleh nilai *full width at half maximum* (FWHM). Semakin kecil nilai FWHM maka semakin besar ukuran kristal, dan sebaliknya sehingga nilai *strain* pada lapisan tipis akan semakin kecil. Nilai FWHM yang semakin kecil menunjukkan bahwa atom-atom yang berdekatan semakin mudah mengatur arah dan panjang ikatannya sendiri<sup>[32]</sup>.

*Goodness of fit* merupakan indeks yang menggambarkan tingkat kesesuaian hasil data XRD dengan data yang ada. Nilai indeks *goodness of fit* untuk setiap sampel berada pada rentang 1.1 sampai 1.4 yang menandakan bahwa seluruh data XRD lapisan tipis ZnO memiliki tingkat kesesuaian yang bagus.

#### 4.2 Analisis Hasil Karakterisasi *Atomic Force Microscopy* (AFM)

Karakterisasi menggunakan AFM memberikan profil tiga dimensi film serta dapat digunakan untuk mengukur tingkat kekasaran permukaan (*roughness*) pada lapisan tipis. Profil permukaan 3 dimensi melalui pengukuran AFM diperlihatkan pada Gambar 4.3 yang merepresentasikan morfologi permukaan lapisan tipis ZnO.





**Gambar 4.3 Profil Permukaan AFM Lapisan Tipis ZnO dengan waktu tumbuh (a) 10 menit, (b) 20 menit, (c) 30 menit.**

Berdasarkan Gambar 4.3, terlihat bahwa profil permukaan lapisan tipis ZnO cenderung kasar namun homogen. Lapisan tipis dengan variasi waktu tumbuh menghasilkan morfologi permukaan yang cenderung sama yakni padat, seragam, berbentuk kolom dan partikelnya tersusun dengan baik. Morfologi AFM lapisan tipis ZnO dengan waktu tumbuh 20 menit cenderung memiliki permukaan yang relatif lebih smooth dan padat dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini menunjukkan nilai tingkat kekasaran (*roughness*) yang cukup kecil. Berbeda dengan yang terjadi pada film dengan waktu tumbuh 10 menit dimana permukaan lapisan tipis memiliki ukuran partikel yang lebih besar dibandingkan dengan sampel lainnya.

Analisis kuantitatif menggunakan software AFM diperlukan untuk mengetahui nilai Rp-v dan *RMS Roughness (Rq)* terhadap waktu tumbuh lapisan tipis ZnO. Parameter *Rms Roughness* merupakan suatu nilai yang diukur untuk seluruh permukaan menggunakan software AFM. Nilai *roughness* untuk masing-masing sampel diperlihatkan pada tabel 4.4

**Tabel 4.4 Nilai Rp-v, Rms Roughness dan Ukuran Kristal Lapisan Tipis ZnO dengan Perbedaan Waktu Tumbuh.**

<b>Waktu Tumbuh (menit)</b>	<b>Rp-v (nm)</b>	<b>Rms Rough (Rq) (nm)</b>	<b>Ukuran Kristal, D (nm)</b>
10	124.862	25.715	24.3
20	102.954	17.853	41.8
30	149.170	27.391	41.2

Tabel 4.4 memperlihatkan nilai minimum *Rms Roughness* ( $R_q$ ) ditemukan pada lapisan tipis dengan waktu tumbuh 20 menit (17.853 nm) yang memiliki ukuran kristal sebesar 41.8 nm. Sementara itu, film dengan waktu tumbuh 30 menit memiliki nilai maksimum (27.391 nm) dengan ukuran kristal sebesar 41.2 nm. Berdasarkan data diatas, nilai *Rms Roughness* pada penelitian ini tidak linier terhadap waktu tumbuh. Penurunan nilai  $R_q$  terjadi antara waktu tumbuh 10 menuju 20 menit, kemudian meningkat seiring dengan waktu tumbuh 30 menit. Menurut Mortezaali *et al.* <sup>[33]</sup> meningkatnya waktu deposisi akan menjadikan butir semakin besar dan menghasilkan lapisan tipis yang lebih padat dan rapat sehingga akan membuat tingkat kekasaran suatu permukaan menurun. Pada tahap awal pembentukan lapisan tipis, butir-butir yang tidak teratur akan tumbuh di atas substrat yang menyebabkan permukaan menjadi tidak rata karena banyak terdapat lembah. Meningkatnya waktu tumbuh akan membuat lembah tersebut terisi oleh butir yang tumbuh secara horizontal sehingga membuat permukaan menjadi semakin halus (*roughness* menurun) seperti gambar 2.3.

Berbeda dengan penelitian Kalyani *et al.* <sup>[15]</sup> yang meneliti tentang pengaruh suhu annealing terhadap sifat-sifat lapisan tipis ZnO. Ia melaporkan bahwa suhu annealing memperbesar proses pertumbuhan kristal pada permukaan lapisan tipis yang akan mengakibatkan meningkatnya tingkat kekasaran permukaan suatu bahan. Chaabouni, F *et al.* <sup>[26]</sup> dalam penelitiannya juga memperlihatkan meningkatnya waktu tumbuh akan memperbesar ukuran kristal dari 19 nm menjadi 27.5 nm yang mengakibatkan meningkatnya nilai *roughness* dari 6.5 nm menjadi 13 nm. Meningkatnya tingkat kekasaran permukaan pada suatu lapisan

tipis akan memberikan efek yang cukup signifikan untuk aplikasi industri seperti solar cell dan gas sensor<sup>[34]</sup>.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 KESIMPULAN

1. Lapisan tipis ZnO yang dideposisi menggunakan variasi waktu tumbuh telah berhasil diperoleh sesuai dengan (ICSD) No. 98-065-6331 yakni berstruktur polikristal *hexagonal wurtzite* dengan fasa ZnO.
2. Pola difraksi sinar X lapisan tipis ZnO dengan variasi waktu tumbuh menunjukkan fasa ZnO dengan banyak arah orientasi bidang partikel ZnO. Puncak dominan pada sampel dengan waktu tumbuh 10 menit yang intensitas terbesar yakni memiliki arah bidang (002) sedangkan sampel dengan waktu tumbuh 20 dan 30 menit mengacu pada arah bidang (101).
3. Ukuran kristal lapisan tipis ZnO pada sampel dengan waktu tumbuh 10, 20, dan 30 menit pada bidang orientasi (101) masing-masing adalah 24.3 nm, 41.8 nm, dan 41.2 nm. Meningkatnya waktu tumbuh menunjukkan proses kristalinitas yang baik, namun lapisan tipis dengan waktu tumbuh 30 menit menyebabkan penurunan nilai ukuran kristal film ZnO dikarenakan adanya *native defect* akibat penyisipan oleh atom Zn terhadap atom O.
4. Morfologi lapisan tipis ZnO untuk semua sampel cenderung padat, seragam dan berbentuk kolom, namun sampel dengan waktu tumbuh 20 menit memiliki permukaan yang relatif smooth dan padat dibandingkan dengan sampel lainnya. Hal ini menunjukkan nilai tingkat kekasaran yang cukup kecil.

5. Nilai *rms roughness* lapisan tipis ZnO untuk setiap sampel adalah 25.715 nm, 17.853 nm, dan 27.391 nm masing-masing untuk waktu tumbuh 10, 20, dan 30 menit. Terlihat bahwa nilai *roughness* tidak linier terhadap waktu tumbuh. Menurunnya *rms roughness* pada sampel dengan waktu 20 menit akibat adanya pertumbuhan yang terjadi di atas substrat secara horizontal melalui proses adsorpsi sehingga membuat permukaan menjadi semakin halus.

## **5.2 SARAN**

Berdasarkan penelitian ini maka disarankan untuk untuk meningkatkan keberulangan hasil sintesis lapisan tipis ZnO. Karakterisasi menggunakan SEM perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu tumbuh terhadap ketebalan lapisan tipis ZnO.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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
- [2] Wirjoadi, Yunanto, B.Siswanto, S.Sulamdari, Sudjatmoko. 2002. Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO:A Pada Substrat Gelas Untuk Jendela Sel Surya. P3TM-BATAN: Yogyakarta.
- [3] Khan, R.Z. et al. 2011. Optical and Structural Properties of ZnO Thin Films Fabricated by Sol-Gel Method. Material Sciences and Application : 340-345 .
- [4] Singh Preetam *et al.* 2007. Growth and Characterization of ZnO Nanocrystalline Thin Films and Nanopowder via Low-Cost Ultrasonic spray pyrolysis. Journal of Crystal Growth 306 : 303-310.
- [5] Nehru, L.C, M. Umadevil, C. Sanjeeviraja. 2002. Studies on Structural, Optical and Electrical Properties of ZnO Thin Films Prepared by the Spray Pyrolysis Method. International Journal of Materials Engineering 2(1): 12-17.
- [6] Adriyanto, F.2002. Identifikasi Parameter-Parameter yang Berpengaruh dalam Penumbuhan Lapisan Tipis ZnO dengan Metode MOCVD. ISSN 0216-3128.
- [7] G. Amin *et al.* 2011. Influence of pH, Precursor, Growth Time, and Temperature on the Morphology ZnO Nanostructures Grown by the Hydrothermal Method. Journal of Nanomaterials Volume 2011. ID 269692.
- [8] Syamsuluri, S, P.L.Gareso, E. Juarlin. Pengaruh Konsentrasi Seng Asetat Dehidrat ( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Universitas Hasanuddin.
- [9] Rodnyi, P.A., and I.V.Khodyuk. 2011. Optical and Luminescence Properties of Zinc Oxide. Original text publisher in optic and spectroscopy Vol.111. PP 776-785
- [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] Surono, A.T, dan H.Sutanto.2014.Sifat Optik *Zinc Oxide* (ZnO) yang Dideposisi di atas Substrat Kaca Menggunakan Metode *Chemical Solution Deposition* (CSD) dan Aplikasinya untuk Degradasi Zat Warna Methylene Blue. *Youngster Physics Journal* 2(1) : Hal 7-14
- [12] Sari, L.P., E.Handoko, dan I.Sugihartono. 2015. Studi Pengaruh Jumlah Mol *Zinc Acetat Dyhidrate* Terhadap Struktur Kristal Lapisan Tipis ZnO. *Spektra Jurnal Fisika dan Aplikasinya* (16) 3.
- [13] Fan, Z. And J.G.Liu.2005. *Zinc Oxide Nanostructures : Synthesis and Properties*. University of California: USA
- [14] Lide, D.R., ed.1992. "CRC Handbook of Chemistry and Physics. 73 ed". CRC Press: New York.
- [15] Nadarajah, K, C.Y.Chee, and C.Y.Tan. 2013. Influence of Annealing on Properties of Spray Deposited ZnO Thin Films. *Journal of Nanomaterials* Volume 2013
- [16] Abdullah, M dan Khairurrijal.2008. Review : Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi* 2(1). ISSN 1979-0880
- [17] R.E.Smallman and R.J.Bishop. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material Edisi Keenam*. Erlangga : Jakarta
- [18] Bayuwati, D dan Suryadi. 2007. Pembuatan Sistem *Ultrasonic Spray Nozzle* untuk Proses Pelapisan Tipis. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia* (7) 1. ISSN No. 0854-3046
- [19] Said Benramache *et al.* 2013. Influence of Growth Time on Crystalline Structure , Conductivity, and Optical Properties of ZnO Thin Films. *Journal of Semiconductors* (34) 2.
- [20] Bhavana Godbole *et al.* 2011. Growth Mechanism of ZnO Films Deposited by Spray Pyrolysis Technique. *Materials Science and Applications* (2) : 643-648
- [21] Yogalamar *et al.* 2009. X-Ray Peak Broadening Analysis in ZnO Nanoparticles. *Solid State Commun*, 149 : 1919-1923
- [22] Yue-Hui Hu, Yi-Chuan Chen, Hai-Jun Xu, Hao Gao, Wei-Hui Jiang, Fei Hu, Yan-Xiang Wang. 2010. *Texture ZnO Thin Films and their Application*

- as Front Electrode in Solar Cell. Scientific Research Engineering, 2, 973-978.
- [23] S.M Jejurikar, A.G. Banpurkar, A.V. Limaye, S.K.Date, S.I. Patil, K.P. Adhi, P.Misra, L.M. Kukreja and Ravi Bathe. 2006. Structural, Morphological, and Electrical Characterization of Heteropitaxial ZnO Thin Films Deposited on Si (100) by Pulsed Laser Deposition : Effect of Annealing (800 C) Appl. Phys. 99, 014907.
- [24] K. Saravanakumar *et al.* 2011. Columnar Growth of Nanocrystalline ZnO Thin Films Prepared through RF Magnetron Sputtering. Adv. Studies Theor. Phys., Vol. 5, no. 3, 143 – 154
- [25] Saleh, W.R., Saeed, N.M., Twej, W.A., Alwan, M. 2012. Synthesis Sol-Gel Derived Highly Transparent ZnO Thin Films for Optoelectronic Applications. Advances in Materials Physics and Chemistry, 2, 11-16.
- [26] Chaabouni, F., Belgacem, J.B., and Abaab, M. 2013 Physical Properties of TCO - ZnO Thin Films Sputtered from a Powder Target. Chinese Journal of Physics Vol.52,No. 1-I
- [27] Dawood, Y.Z., Hazaa, S.Q., Hasan, S.J., Hasan, N.A. 2015. Effect of Substrate Temperature on the Morphological and Optical Properties of Nanocrystalline ZnO Films Formed by DC Magnetron Sputtering. IOSR Journal of Applied Physics. e-ISSN: 2278-4861. Volume 7.
- [28] Wasa, K and Hayakawa, S. 1992. Hand Book Of Sputtering Deposition Tecnology. Principles, Technology and Appllication. Park Ridge. New Jersey. USA Noyes Publication.
- [29] Major, S., Banerjee, A., and Chopra, K.L. 1983. Thin Solid Film 108.
- [30] Chang, J.F., Wang, H.L., and Hon, M.H. 2000. J. Crystal Growth 211.
- [31] Goswami, A. 1006. Thin Film Fundamentals. New age international limited publishers : New Delhi
- [32] Wahyuningsih, K., Marwoto, P., dan Sulhadi. 2013. Konduktivitas dan Transmitansi Film Tipis Zinc Oxide yang Dideposisikan pada Temperatur Ruang. Unnes Physics Journal
- [33] Mortezaali, A., Taheri, O., and Hosseini, Z.S. 2016. Thickness Effect of Nanostructured ZnO Thin Films Prepared ny Spray Method on Structural,

- Morphological, and Optical Properties. *Microelectronic Engineering* 151 : Science Direct, 19-23.
- [34] Kumar, V *et al.* 2013. Role of Film Thickness on the Properties of ZnO Thin Films Grown by Sol-Gel Method. *Thin Solid Films* 539 : Science Direct, 161-165
- [35] Lee, J.H., Chou, C.Y., Bi, Z., Tsa, C.F., Wang, H. 2009. *Nanotechnology*. 395704
- [36] Kumar, V. *et al.* 2013. Role of Film Thickness on the Properties of ZnO Thin Films Grown by Sol-Gel Method. *Thin Solid Films*, 539 : 161-165
- [37] Akhtar, M.S. *et al.* 2013. Optical and Structural Properties of ZnO Thin Films for Solar Cell Application
- [38] Mahmoud, F.A., and Kiriakidis, G. 2009. Nanocrystalline ZnO Thin Film for Gas Sensor Application. *Journal of Ovonic Research* Vol.5 : 15-20
- [39] Yang, J.H. 2009. Low Temperature Hydrothermal Growth and Optical Properties of ZnO Nanorods. *Crystal Research and Technology*
- [40] Shika, D *et al.* 2014. Review on Effect of Deposition Parameters and Annealing on Structural Properties of Nanocrystalline Mse Thin Films by CBDScholars *Journal of Engineering and Technology* : 761-768
- [41] Seomoon kyu et al. 2010. Synthesis and Characterization of ZnO Thin Films Deposited via PE-MOCVD. *Current Applied Physics*. ISSN : 1567-1739

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Data Pola Difraksi Sinar-X

#### A. Pola Difraksi Sinar-X Lapisan Tipis ZnO dengan Waktu Tumbuh 10 menit

Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
28.5654	17.08	2.5497	3.12233	18.83
28.6381	8.49	2.5497	3.12231	9.36
31.7283	19.44	0.3437	2.81792	21.43
31.7967	1.72	0.1996	2.81201	1.89
31.8094	9.67	0.3437	2.81790	10.66
31.8780	0.85	0.1996	2.81199	0.94
34.1903	0.24	0.1996	2.62043	0.27
34.2781	0.12	0.1996	2.62041	0.13
34.4014	90.69	0.3437	2.60483	100.00
34.4897	45.09	0.3437	2.60481	49.72
36.2236	45.74	0.3437	2.47786	50.44
36.2342	48.92	0.1996	2.47716	53.94
36.3170	22.74	0.3437	2.47785	25.08
36.3276	24.32	0.1996	2.47715	26.82
47.4220	1.76	0.1996	1.91558	1.94
47.5347	16.48	0.3437	1.91130	18.18
47.5474	0.88	0.1996	1.91557	0.97
47.5753	7.39	2.5497	1.90976	8.15
47.6603	8.19	0.3437	1.91129	9.03
47.7011	3.67	2.5497	1.90975	4.05
56.4721	2.46	2.5497	1.62818	2.72
56.5927	12.07	0.3437	1.62499	13.31
56.6253	1.22	2.5497	1.62817	1.35

---

56.7221	0.47	0.1996	1.62159	0.52
56.7463	6.00	0.3437	1.62499	6.62
56.8762	0.23	0.1996	1.62159	0.26
59.2312	0.00	2.5497	1.55875	0.00
59.3934	0.00	2.5497	1.55874	0.00
62.6276	0.86	0.1996	1.48213	0.95
62.8012	0.43	0.1996	1.48212	0.47
62.8885	32.10	0.3437	1.47661	35.40
63.0629	15.95	0.3437	1.47660	17.59
66.3905	1.68	0.3437	1.40695	1.86
66.5478	0.15	0.1996	1.40401	0.16
66.5772	0.84	0.3437	1.40695	0.92
66.7351	0.07	0.1996	1.40400	0.08
67.9634	0.98	0.1996	1.37817	1.08
67.9752	12.85	0.3437	1.37796	14.17
68.1557	0.49	0.1996	1.37817	0.54
68.1675	6.39	0.3437	1.37796	7.04
69.1085	4.88	0.3437	1.35811	5.38
69.2310	1.89	0.1996	1.35600	2.08
69.3050	2.43	0.3437	1.35810	2.68
69.4280	0.94	0.1996	1.35600	1.03
69.6064	0.50	2.5497	1.34960	0.55
69.8048	0.25	2.5497	1.34960	0.27
72.1310	0.01	0.1996	1.30845	0.01
72.3388	0.01	0.1996	1.30845	0.01
72.6310	4.64	0.3437	1.30067	5.11
72.8407	2.31	0.3437	1.30067	2.54

---

**B. Pola Difraksi Sinar-X Lapisan Tipis ZnO dengan Waktu Tumbuh 20 menit**

Peak List

Pos. [ $^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
28.3525	16.84	2.1770	3.14530	6.62
28.4250	8.37	2.1770	3.14522	3.29
31.5657	46.57	0.2541	2.83206	18.31
31.6376	17.49	0.1996	2.82579	6.87
31.6469	23.16	0.2541	2.83200	9.10
31.7190	8.70	0.1996	2.82573	3.42
34.0700	2.77	0.1996	2.62941	1.09
34.1579	1.38	0.1996	2.62936	0.54
34.2448	136.06	0.2541	2.61638	53.48
34.3332	67.65	0.2541	2.61633	26.59
36.0626	104.98	0.2541	2.48855	41.26
36.0850	254.40	0.1996	2.48707	100.00
36.1560	52.19	0.2541	2.48851	20.52
36.1784	126.49	0.1996	2.48702	49.72
47.2948	15.81	0.1996	1.92043	6.22
47.3264	7.29	2.1770	1.91922	2.87
47.3772	34.52	0.2541	1.91728	13.57
47.4202	7.86	0.1996	1.92041	3.09
47.4519	3.62	2.1770	1.91920	1.42
47.5029	17.16	0.2541	1.91726	6.74
56.2046	2.43	2.1770	1.63529	0.96
56.3575	1.21	2.1770	1.63527	0.47
56.4311	28.92	0.2541	1.62926	11.37
56.5671	5.11	0.1996	1.62567	2.01
56.5847	14.37	0.2541	1.62924	5.65
56.7212	2.54	0.1996	1.62565	1.00

---

58.9577	0.00	2.1770	1.56532	0.00
59.1195	0.00	2.1770	1.56530	0.00
62.5285	8.90	0.1996	1.48424	3.50
62.7022	4.42	0.1996	1.48422	1.74
62.7356	61.55	0.2541	1.47984	24.20
62.9101	30.59	0.2541	1.47982	12.02
66.2293	4.04	0.2541	1.40999	1.59
66.3947	1.51	0.1996	1.40688	0.59
66.4160	2.01	0.2541	1.40997	0.79
66.5820	0.75	0.1996	1.40686	0.30
67.8177	29.12	0.2541	1.38078	11.45
67.8338	9.78	0.1996	1.38049	3.84
68.0101	14.48	0.2541	1.38076	5.69
68.0263	4.86	0.1996	1.38047	1.91
68.9484	11.56	0.2541	1.36087	4.54
69.0842	14.71	0.1996	1.35852	5.78
69.1449	5.75	0.2541	1.36085	2.26
69.2812	7.31	0.1996	1.35851	2.88
69.3084	0.49	2.1770	1.35468	0.19
69.5062	0.24	2.1770	1.35466	0.10
72.0698	0.14	0.1996	1.30941	0.06
72.2780	0.07	0.1996	1.30940	0.03
72.4841	6.96	0.2541	1.30295	2.73
72.6939	3.46	0.2541	1.30293	1.36

---



**C. Pola Difraksi Sinar-X Lapisan Tipis ZnO dengan Waktu Tumbuh 30 menit**

Peak List

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
28.5106	55.92	1.2438	3.12820	21.54
28.5833	27.81	1.2438	3.12817	10.71
31.7036	37.47	0.2810	2.82006	14.43
31.7848	18.63	0.2810	2.82003	7.18
31.8041	6.25	0.2031	2.81138	2.41
31.8855	3.11	0.2031	2.81135	1.20
34.2345	0.85	0.2031	2.61714	0.33
34.3225	0.42	0.2031	2.61712	0.16
34.3968	117.76	0.2810	2.60517	45.36
34.4852	58.55	0.2810	2.60515	22.55
36.2045	85.10	0.2810	2.47912	32.78
36.2553	259.61	0.2031	2.47577	100.00
36.2979	42.31	0.2810	2.47910	16.30
36.3489	129.08	0.2031	2.47575	49.72
47.4760	6.76	0.2031	1.91353	2.60
47.5032	24.21	1.2438	1.91249	9.33
47.5284	28.41	0.2810	1.91154	10.94
47.6016	3.36	0.2031	1.91351	1.29
47.6288	12.03	1.2438	1.91248	4.63
47.6541	14.12	0.2810	1.91153	5.44
56.3910	8.07	1.2438	1.63033	3.11
56.5440	4.01	1.2438	1.63032	1.54
56.5736	23.27	0.2810	1.62550	8.96
56.7272	11.56	0.2810	1.62549	4.45
56.7638	1.66	0.2031	1.62050	0.64
56.9180	0.82	0.2031	1.62049	0.32

---

59.1472	0.00	1.2438	1.56076	0.00
59.3092	0.00	1.2438	1.56075	0.00
62.7267	3.11	0.2031	1.48003	1.20
62.8989	51.37	0.2810	1.47639	19.79
62.9007	1.55	0.2031	1.48002	0.60
63.0735	25.53	0.2810	1.47638	9.83
66.3740	3.25	0.2810	1.40726	1.25
66.5607	1.61	0.2810	1.40726	0.62
66.6051	0.54	0.2031	1.40294	0.21
66.7927	0.27	0.2031	1.40293	0.10
67.9710	23.65	0.2810	1.37804	9.11
68.0436	3.59	0.2031	1.37674	1.38
68.1634	11.76	0.2810	1.37803	4.53
68.2363	1.78	0.2031	1.37674	0.69
69.0957	9.32	0.2810	1.35833	3.59
69.2923	4.63	0.2810	1.35832	1.78
69.2980	7.73	0.2031	1.35486	2.98
69.4953	3.84	0.2031	1.35485	1.48
69.5105	1.63	1.2438	1.35123	0.63
69.7086	0.81	1.2438	1.35122	0.31
72.2780	0.04	0.2031	1.30615	0.02
72.4864	0.02	0.2031	1.30615	0.01
72.6625	6.02	0.2810	1.30019	2.32
72.8724	2.99	0.2810	1.30018	1.15

---

## Lampiran 2. Inorganic Crystal Structure Database (ICSD) No. 98-065-6331

Date: 11/07/2016 Time: 10:01:51 File: 10 User: Ayu

### Name and formula

Reference code: 98-065-6331  
 Compound name: Zinc Oxide  
 Common name: Zinc Oxide  
 Chemical formula:  $O_1Zn_1$

### Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal  
 Space group: P 63 m c  
 Space group number: 186  
 a (Å): 3,2540  
 b (Å): 3,2540  
 c (Å): 5,2200  
 Alpha (°): 90,0000  
 Beta (°): 90,0000  
 Gamma (°): 120,0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 5,65  
 Volume of cell (10<sup>-6</sup> pm<sup>3</sup>): 47,87  
 Z: 2,00  
 RIR: 5,54

Date: 11/07/2016 Time: 10:01:51 File: 10 User: Ayu

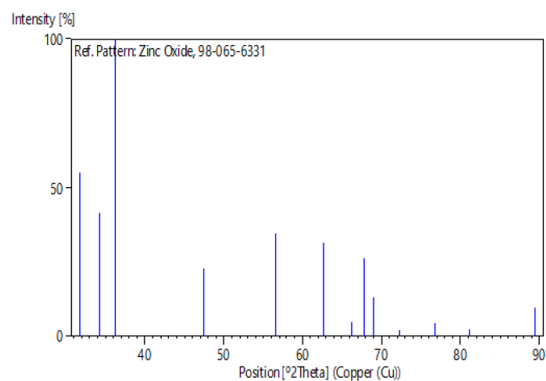
### References

Structure: Das, T.P.;Sahoo, N.;Sulaiman, S.B.;Mitchell, D.W.;Kalvius, G.M.;Peter, M.;Schiesl, W.;Moser, J.;Steiner, M.;Schafer, C.;Potzel, W.;Kartzel, H., *Hyperfine Interactions*, **70**, 1067 - 1070, (1992)

### Peak list

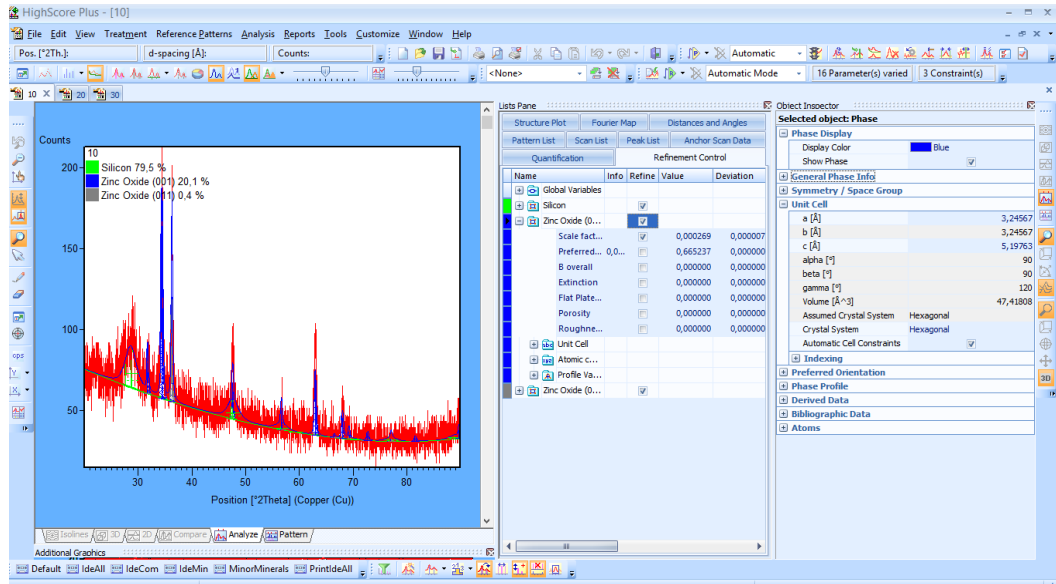
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	1	0	2,81805	31,727	55,1
2	0	0	2	2,61000	34,331	41,3
3	0	1	1	2,47976	36,195	100,0
4	0	1	2	1,91488	47,440	22,9
5	1	1	0	1,62700	56,517	34,3
6	0	1	3	1,48052	62,703	31,3
7	0	2	0	1,40902	66,281	4,8
8	1	1	2	1,38070	67,822	26,3
9	0	2	1	1,36034	68,979	12,9
10	0	0	4	1,30500	72,352	2,1
11	0	2	2	1,23988	76,818	4,3
12	0	1	4	1,18419	81,157	2,2
13	0	2	3	1,09502	89,410	9,5

### Stick Pattern

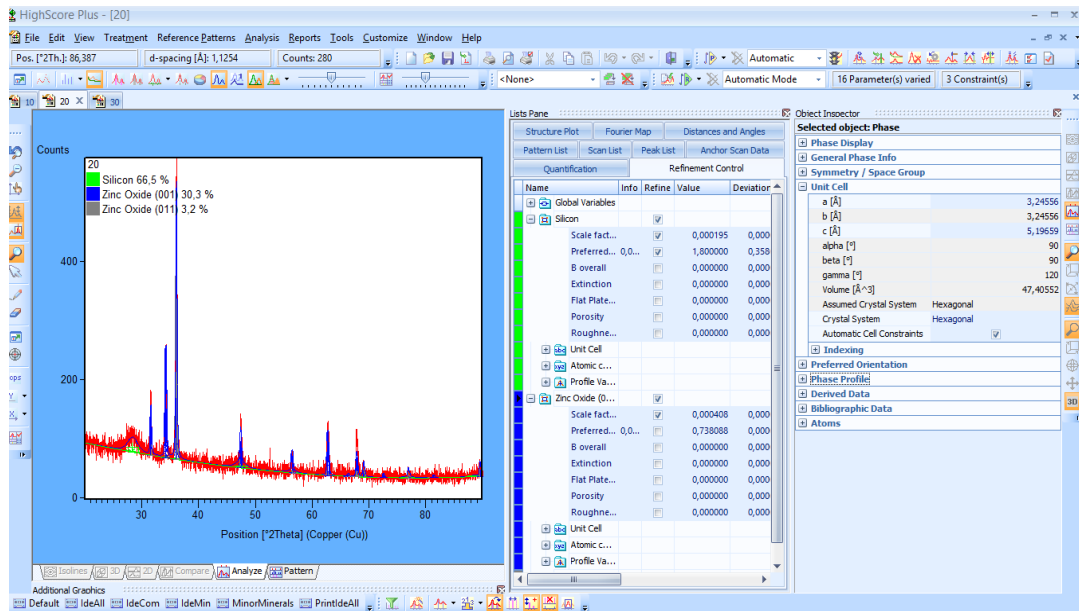


### Lampiran 3. Hasil Pengolahan Data dengan Menggunakan Software *High Score Plus*

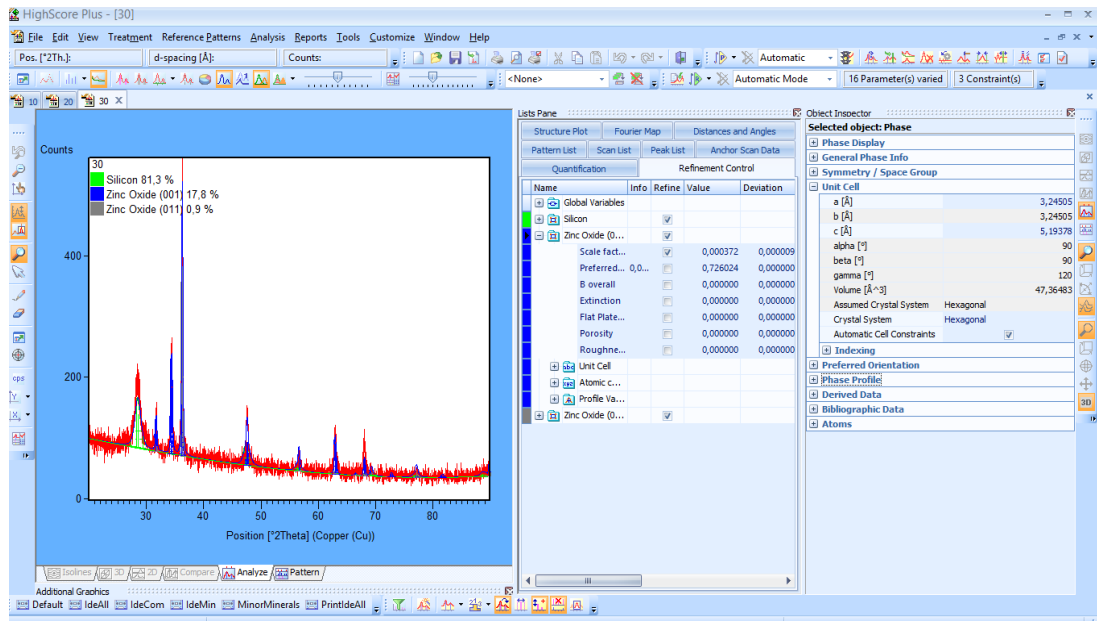
#### A. Parameter Kisi Lapisan Tipis ZnO dengan Waktu Tumbuh 10 menit



#### B. Parameter Kisi Lapisan Tipis ZnO dengan Waktu Tumbuh 20 menit



### C. Parameter Kisi Lapisan Tipis ZnO dengan Waktu Tumbuh 30 menit



### D. Ukuran Kristal Lapisan Tipis ZnO

Scherrer Calculator

Anode material: Copper (Cu)

K-Alpha<sub>1</sub> [Å]: 1,540598    K-A.2 / K-A.1 ratio: 0,500000

K-Alpha<sub>2</sub> [Å]: 1,544426    Shape factor K: 0,900000

K-Alpha [Å]: 1,541874    Calculation based on: K-Alpha 1

Mode:  Crystallite size     Lattice strain

No.	B obs. [°2Th]	B std. [°2Th]	Peak pos. [°2Th]	B struct. [°2Th]	Crystallite size [Å]
1	Unable to calculate	-	31,797	0,200	413
2	Unable to calculate	-	34,401	0,344	242
3	Unable to calculate	-	36,224	0,344	243
4	Unable to calculate	-	31,719	0,200	413
5	Unable to calculate	-	34,333	0,254	327
6	Unable to calculate	-	36,178	0,200	418
7	Unable to calculate	-	31,785	0,281	294
8	Unable to calculate	-	34,485	0,281	296
9	Unable to calculate	-	36,255	0,203	412

Copy    Clear Table     Stay on Top    Close

### E. Regangan Kisi Lapisan Tipis ZnO

Scherrer Calculator

Anode material: Copper (Cu) ...

K-Alpha<sub>1</sub> [Å]: 1,540598 K-A.2 / K-A.1 ratio: 0,500000

K-Alpha<sub>2</sub> [Å]: 1,544426 Shape factor K: 0,900000

K-Alpha [Å]: 1,541874 Calculation based on: K-Alpha 1

Mode  
 Crystallite size  
 Lattice strain

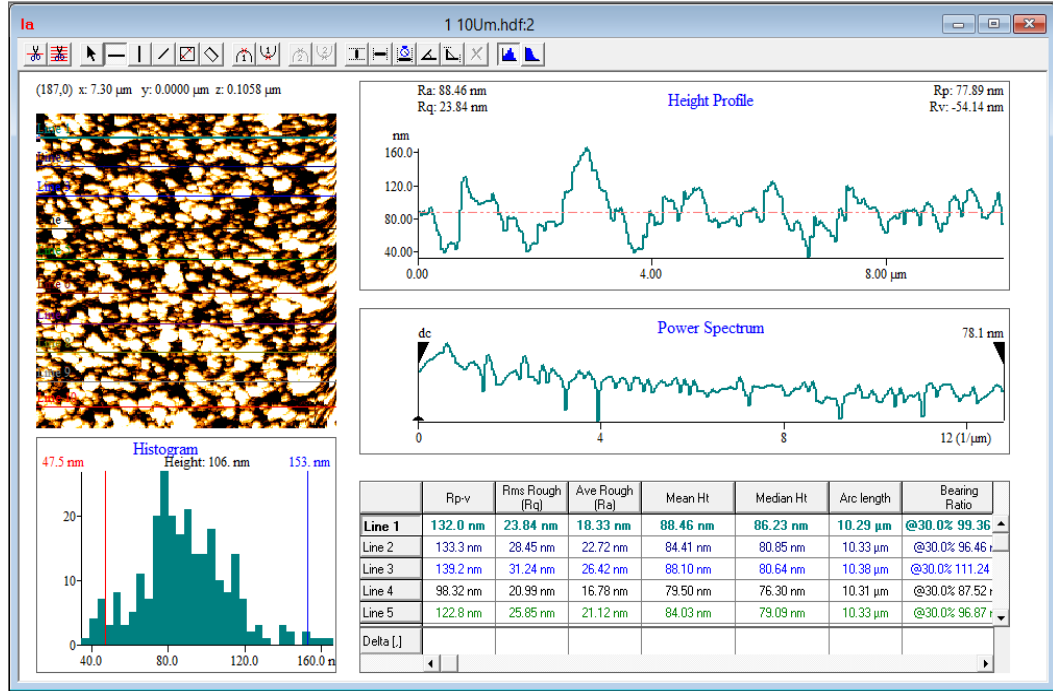
No.	B obs. [°2Th]	B std. [°2Th]	Peak pos. [°2Th]	B struct. [°2Th]	Lattice strain [%]
1	Unable to calculate	-	31,797	0,200	0,306
2	Unable to calculate	-	34,401	0,344	0,485
3	Unable to calculate	-	36,224	0,344	0,459
4	Unable to calculate	-	31,719	0,200	0,307
5	Unable to calculate	-	34,333	0,254	0,359
6	Unable to calculate	-	36,178	0,200	0,267
7	Unable to calculate	-	31,785	0,281	0,431
8	Unable to calculate	-	34,485	0,281	0,395
9	Unable to calculate	-	36,255	0,203	0,271

Copy Clear Table  Stay on Top Close

F

## Lampiran 4. Hasil Pengolahan Data dengan Menggunakan Software AFM

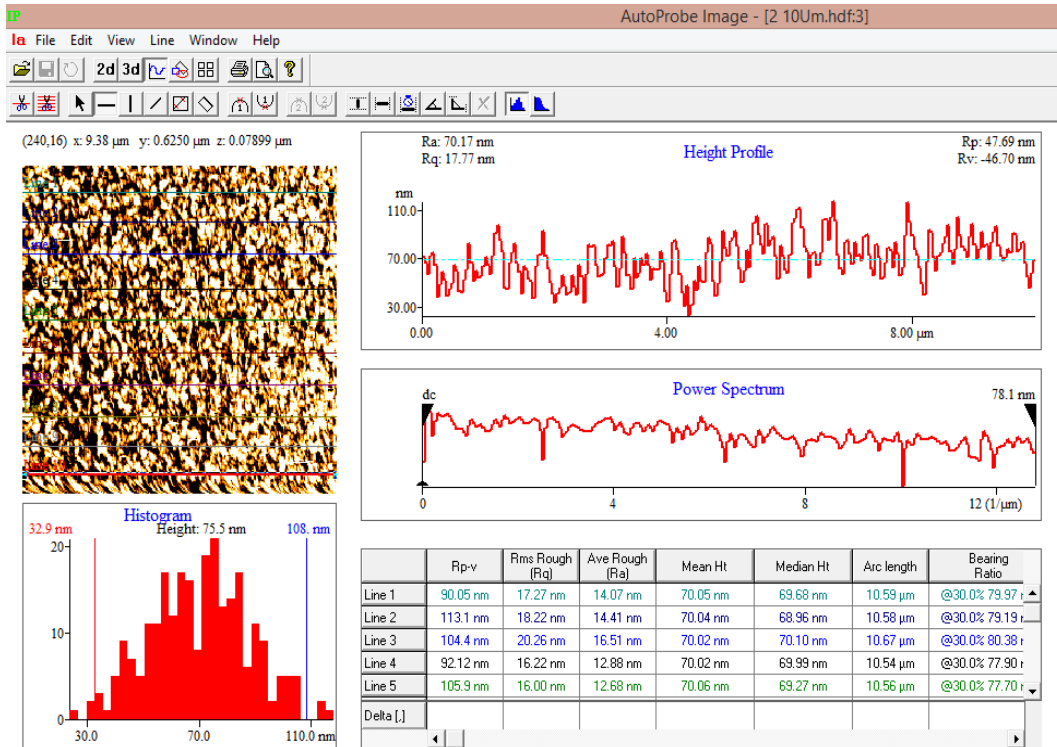
### A. Perhitungan Nilai Rp-v, Rms roughness, dan Ave roughness Lapisan Tipis ZnO dengan Waktu Tumbuh 10 menit



	A	B	C	D
1		<b>Rp-v</b>	<b>Rms Rough (Rq)</b>	<b>Ave Rough (Ra)</b>
2		<b>(nm)</b>	<b>(nm)</b>	<b>(nm)</b>
3	Line 1	132	23,84	18,33
4	Line 2	133,3	28,45	22,72
5	Line 3	139,2	31,24	26,42
6	Line 4	98,32	20,99	16,78
7	Line 5	122,8	25,85	21,12
8	Line 6	150,8	27,31	21,34
9	Line 7	111,6	21,8	17,15
10	Line 8	133,5	30,8	25,4
11	Line 9	125,5	23,82	19,33
12	Line 10	101,6	23,05	18,75
13	Average	124,862	25,715	20,734

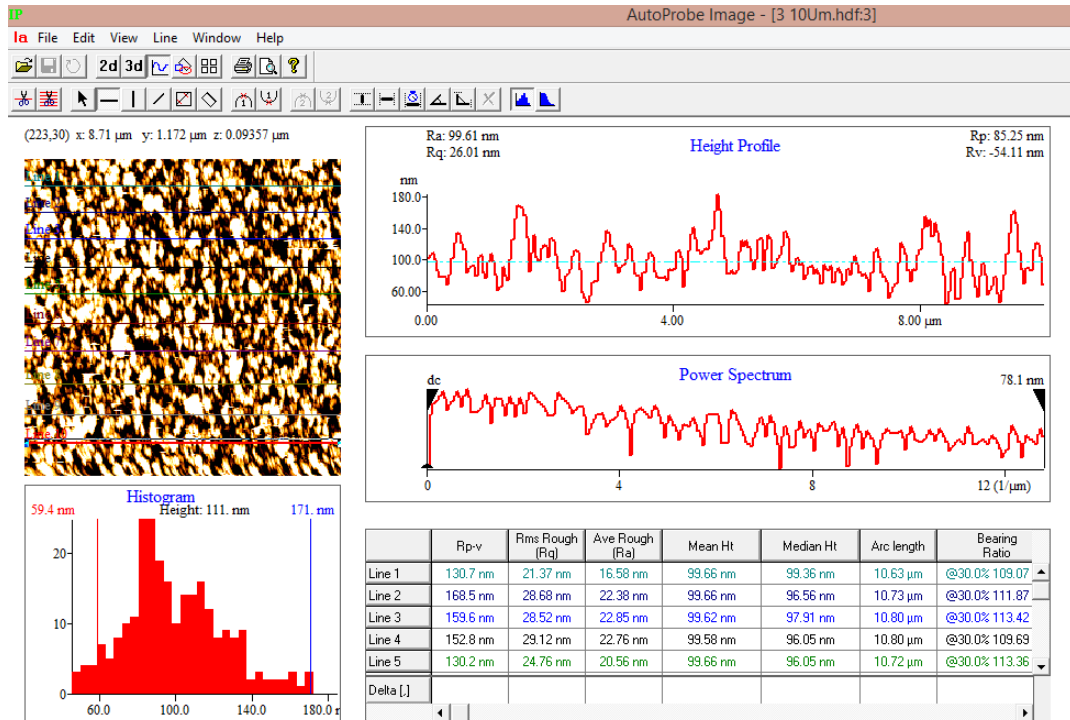


## B. Perhitungan Nilai Rp-v, Rms roughness, dan Ave roughness Lapisan Tipis ZnO dengan Waktu Tumbuh 20 menit



16		Rp-v	Rms Rough (Rq)	Ave Rough (Ra)
17		(nm)	(nm)	(nm)
18	Line 1	90,05	17,27	14,07
19	Line 2	131,1	18,22	14,41
20	Line 3	104,4	20,26	16,51
21	Line 4	92,12	16,22	12,88
22	Line 5	105,9	16	12,68
23	Line 6	122,3	18,34	13,95
24	Line 7	92,95	18,07	14,9
25	Line 8	98,32	18,27	14,88
26	Line 9	98,01	18,11	14,47
27	Line 10	94,39	17,77	14,43
28	Average	102,954	17,853	14,318

### C. Perhitungan Nilai Rp-v, Rms roughness, dan Ave roughness Lapisan Tipis ZnO dengan Waktu Tumbuh 30 menit



		<b>Rp-v</b>	<b>Rms Rough (Rq)</b>	<b>Ave Rough (Ra)</b>
		<b>(nm)</b>	<b>(nm)</b>	<b>(nm)</b>
33	Line 1	130,7	21,37	16,58
34	Line 2	168,5	28,68	22,38
35	Line 3	159,6	28,52	22,85
36	Line 4	152,8	29,12	22,76
37	Line 5	130,2	24,76	20,56
38	Line 6	142,1	28,94	23,33
39	Line 7	152,7	29,87	23,57
40	Line 8	174,5	31,18	24,58
41	Line 9	141,2	25,46	19,48
42	Line 10	139,4	26,01	10,79
43	Average	149,17	27,391	20,688

## Lampiran 5. Penilaian Makalah PPI KIM LIPI 2016

### Penilaian Makalah PPI KIM 2016

Nomor Editor : E

No. Makalah : 40

Judul : **PENGARUH PERBEDAAN WAKTU TUMBUH TERHADAP STRUKTUR KRISTAL LAPISAN TIPIS ZnO**

No	Materi Penilaian	Ya	Tidak
<b>Judul</b>			
1	Apakah judul menggambarkan substansi makalah?	√	
<b>Abstract / Intisari</b>			
2	Apakah abstract/intisari berisi latar belakang, cara-cara penyelesaian dan hasil akhir yang dicapai dalam penelitian?		Apa ini nggak salah "suhu tumbuh 10, 20, dan 30 menit"?
<b>Pendahuluan</b>			
3	Apakah pendahuluan berisi latar belakang, metoda pendekatan penyelesaian, dan berisi batasan penelitian/penulisan berikut dasar pertimbangannya?		Pengertian lapisan tipis dan ZnO seyogyanya dimasukkan dalam Teori Dasar saja supaya antara lain tidak terjadi duplikasi.  Apa alasan penelitian ini dilakukan? Apa yang khusus sehingga perlu dilakukan penelitian ini?
<b>Dasar Teori (kalau ada)</b>			
4	Apakah dasar teori berkaitan langsung dengan isi makalah?		

1

<b>Pengambilan Data</b>			
5	Apakah terdapat korelasi antara data yang dibutuhkan dengan percobaan/simulasi yang dilakukan?	√	
<b>Pembahasan/Diskusi</b>			
6	Apakah analisis data yang diberikan menunjang dalam pengambilan kesimpulan?		Terangkan alasan sampel lapisan tipis ZnO mempunyai sedikit perbedaan jika dibandingkan dengan <i>d-spacing</i> literature.

No	Materi Penilaian	Ya	Tidak
<b>Kesimpulan</b>			
7	Apakah kesimpulan merupakan rangkuman dari isi makalah?	√	
8	Apakah kesimpulan memberikan kontribusi?		Kemukakan pengaruh waktu tumbuh terhadap struktur Kristal linear, tidak beraturan, atau bagaimana?
<b>Daftar Pustaka</b>			
9	Jumlah pustaka minimal 5?	√	
10	Apakah ada kaitannya dengan isi makalah?	√	
<b>Umum</b>			
11	Apakah makalah belum pernah diterbitkan?		Tanyakan ke penulis
12	Apakah makalah bukan merupakan saduran atau terjemahan dari makalah lain?		Tanyakan ke penulis

[.....] 1. Makalah dapat diterima tanpa revisi.

[√] 2. Makalah dapat diterima dengan revisi minor.

[.....] 3. Makalah dapat diterima dengan revisi mayor.

[.....] 4. Makalah tidak dapat diterima.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

**Ayu Mutia**, lahir di Jakarta pada tanggal 21 Juni 1994. Penulis merupakan putri ke-empat dari empat bersaudara dari pasangan (alm) Zakaria Halid dan Murnilawati. Saat ini penulis berdomisili di Kp. Waru Doyong Jalan KRT. Radjiman Widiodyaningrat RT/RW 13/08 No. 51 Kelurahan Jatinegara Kecamatan Cakung Jakarta Timur 13930.



**Riwayat Pendidikan.** Penulis menyelesaikan pendidikan formal di TK Islam Bahrul Ulum (1998-2000), SDN Jatinegara 08 pagi Jakarta (2000-2006), SMPN 213 Jakarta (2006-2009), dan SMAN 59 Jakarta (2009-2012). Setelah lulus, pada tahun yang sama penulis melanjutkan kuliah dengan Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Jakarta. Penulis pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Dasar 1 pada semester lima. Penulis melaksanakan kegiatan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) Pusat Teknologi Material, Serpong. Selama kegiatan PKL, penulis bekerja dalam bidang sintesis nanopartikel *Cerium Oxide*. Praktek Kerja Lapangan dilaksanakan selama 2 bulan yang dilaksanakan pada tanggal 18 Juni 2015 – 24 Juli 2015, kemudian dilanjutkan kembali pada tanggal 31 Agustus 2015 – 30 September 2015. Penulis menyelesaikan pendidikan S-1 Fisika, FMIPA UNJ melalui penelitiannya di bidang material ZnO. Penulisan skripsi ini berlangsung hingga akhir Juli 2016.

### **Pengalaman Organisasi**

1. Anggota OSIS SMAN 59 Jakarta (2010-2011)
2. Ketua Ekstrakurikuler Tari SMAN 59 Jakarta (2010-2011)
3. Divisi Internal Komunitas Fakta Bahasa Jakarta Timur (2013-2014)
4. Anggota Kub Tari Fisika FMIPA UNJ (2013-2014)

**Kontak** rumah : (021) 4611655, ponsel : 085691502078

Email : ayumutiahalid@yahoo.co.id