

**PENGARUH VARIASI WAKTU PENUMBUHAN ZnO
RODS BERBASIS HIDROTERMAL DI ATAS
PERMUKAAN MIKROKANTILEVER**

Skripsi

**Disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Sains**



MIA YULIANA FRESTIKA

3225130898

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

2017

PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI WAKTU PENUMBUHAN ZnO RODS BERBASIS
HIDROTHERMAL DI ATAS PERMUKAAN MIKROKANTILEVER**

Nama : Mia Yuliana Frestika
No.Reg : 3225130898

Nama _____ Tanda Tangan _____ Tanggal _____

Penanggungjawab

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



21/8-2017

Wakil Penanggung Jawab

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

21/8-2017

Ketua : Dr. Mangasi Alion Marpaung, M.Si
NIP.19571123 198703 1 002

18/8-2017

Sekretaris : Dr. Anggara Budi Susila, M. Si
NIP.19601001 199203 1 001

18/8-2017

Anggota

Pembimbing I : Prof. Dr. Agus Setyo Budi, M.Sc
NIP.19630426 198803 1 002

18/8-2017

Pembimbing II : Prof. Dr. Ratno Nuryadi
NIP.19731017 199301 1 001

18/8-2017

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

18/8-2017

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal : 15 Agustus 2017

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul **“Pengaruh variasi waktu penumbuhan ZnO rods berbasis hidrotermal di atas permukaan mikrokantilever”** yang disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Program Studi Fisika Universitas Negeri Jakarta adalah skripsi saya dengan arahan dari dosen pembimbing.

Sumber informasi yang diperoleh dari penulis lain yang telah dipublikasikan yang disebutkan dalam teks skripsi ini, telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Jika kemudian hari ditemukan sebagian besar skripsi ini bukan hasil karya saya sendiri dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Jakarta, 15 Agustus 2017



Mia Yuliana Frestika

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan berkat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Waktu Penumbuhan ZnO Rods Berbasis Hidrotermal di atas Permukaan Mikrokantilever”**.

Dalam penyusunan skripsi ini, tidak sedikit hambatan yang penulis hadapi karena keterbatasan kemampuan yang penulis miliki. Tetapi, atas bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, hambatan tersebut pun dapat penulis hadapi. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu dalam penyusunan skripsi ini, terutama kepada :

1. Kedua orang tua yang memberikan dukungan moral dan pendanaan kepada penulis.
2. Ibu Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si selaku ketua prodi Fisika di Universitas Negeri Jakarta.
3. Bapak Prof. Dr. Agus Setyo Budi, M.Sc selaku dosen pembimbing pertama dari Prodi Fisika UNJ.
4. Bapak Prof. Dr. Ratno Nuryadi selaku dosen pembimbing kedua dari Pusat Teknologi Material, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang dengan sabar membimbing, membantu, dan memberikan banyak masukan kepada penulis dalam menyelesaikan proposal ini.
5. Kak Rina Dewi Mayasari, S.Si, M.Sc selaku pembimbing di laboratorium preparasi sampel di Pusat Teknologi Material, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang dengan sabar membimbing, membantu, dan memberikan banyak masukan kepada penulis dalam menyelesaikan proposal ini.
6. Kak Ibrahim, kak Yuli dan kak Fitri selaku operator dari alat uji karakterisasi dalam penelitian ini.

7. Adik tercinta yang selalu memberi dukungan kepada penulis selama penyusunan proposal ini.
8. Bapak Marno dan keluarga yang telah memberikan tempat selama penulis melakukan penelitian di BPPT, serpong, Tangerang Selatan.
9. Teman-teman prodi Fisika 2013 yang selalu memberikan bantuan, saran, motivasi, dan semangat bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini belum sempurna dan masih terdapat banyak kekurangan. Untuk itu, dengan rasa terima kasih, penulis menerima kritik dan saran untuk membangun kreativitas penulis menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat menambah ilmu pengetahuan bagi kita semua.

Jakarta, 15 Agustus 2017



Mia Yuliana Frestika

ABSTRAK

MIA YULIANA FRESTIKA. Pengaruh Variasi Waktu Penumbuhan ZnO rods Berbasis Hidrotermal di atas Permukaan Mikrokantilever. Di bawah bimbingan AGUS SETYO BUDI, RATNO NURYADI.

Pada riset ini, batang ZnO (*Zinc Oxide rods*) yang merupakan material pendeteksi objek gas ditumbuhkan di atas permukaan mikrokantilever dengan teknik hidrotermal. Sintesis ZnO rods ini meliputi dua proses, yaitu proses pelapisan lapisan benih (*seed layer*) menggunakan *Zinc Asetate Dihydrate* dengan metode *dip-coating* dan proses penumbuhan ZnO rods menggunakan *Zinc Nitrate Tetrahydrate* pada suhu 95°C dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam. Kondisi pengeringan baik untuk lapisan benih dan penumbuhan ZnO rods dilakukan pada suhu 120 °C selama 2 jam. Karakterisasi morfologi ZnO rods dilakukan dengan *Field Emission-Scanning Electron Microscopy* (FE-SEM), komposisi unsur kimia dilakukan dengan *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS), struktur kristal dilakukan dengan *X-ray Diffraction* (XRD) dan analisa gugus fungsi dilakukan dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Hasil karakterisasi memperlihatkan bahwa terbentuknya *Zinc Oxide* dengan bentuk heksagonal yang dapat dikonfirmasi dari hasil FE-SEM dan XRD. Hasil FE-SEM menunjukkan variasi waktu penumbuhan berpengaruh pada ukuran diameter yang terbentuk di atas mikrokantilever. Semakin lama waktu penumbuhan, semakin besar ukuran diameter ZnO rods. Korelasi logam oksida (*metal oxide*) ditunjukkan pada spektrum bilangan gelombang sekitar 540-548 cm⁻¹ tersebut diprediksi merupakan absorpsi dari pembentukan ikatan Zn-O.

Kata-kata kunci : *Mikrokantilever, ZnO rods, dip-coating, hidrotermal, waktu penumbuhan*

ABSTRACT

MIA YULIANA FRESTIKA. The Effect of Hydrothermal ZnO rods-Based Time Zone Variation on Microcantilever Surface. Under supervised by AGUS SETYO BUDI, RATNO NURYADI.

In this work, ZnO (Zinc Oxide) rods, which is a sensitive material for gas detection, are grown on a microcantilever surface by hydrothermal technique. Synthesis of ZnO rods consists of two processes, i.e., a formation of seed layer using Zinc Asetate Dihydrate by a dip-coating and a growth of the ZnO rods using Zinc-Nitrate-Tetrahydrate at temperature 95°C for time variations of 1 hours, 2 hours, 3 hours, 4 hours, 5 hours, and 6 hours. Drying condition for both seed layer and growth of ZnO rods was done at a temperature of 120 °C for 2 hours. The characterization of ZnO rods morphology was done by Field Emission-Scanning Electron Microscopy (FE-SEM), chemical element composition was performed with Energy Dispersive Spectrometry (EDS), crystal structure was done by X-ray Diffraction (XRD) and functional group analysis was done by Fourier Transform Infrared (FTIR). The characterization results show that the formation of Zinc Oxide with confirmed hexagonal form of FE-SEM and XRD results. The FE-SEM results show that the variation in growth time has an effect on the diameter size formed above the microcantilever. The longer the growth time, the larger the diameter of ZnO rods. Wavenumber spectrum approximetely at 540-548 cm⁻¹ is predicted to be the absorption of the formation of a Zn-O bond.

Keywords. Microcantilever, ZnO rods, dip-coating, Hydrothermal, Time of Growth

DAFTAR ISI

HALAMAN COVER.....	i
PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN ORIGINALITAS.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	2
1.3. Pembatasan Masalah.....	3
1.4. Perumusan Masalah	3
1.5. Tujuan Penelitian	3
1.6. Manfaat Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1. ZnO (Seng Oksida)	5
2.2. Struktur Kristal dan Sifat Fisis ZnO	6
2.3. Metode Sintesis ZnO <i>rods</i>	8
2.4. Sifat Optik ZnO	10
2.5. Mikrokantilever	13
2.5.1. Metode Optik	16
2.5.2. Metode <i>piezoresistif</i>	17
2.5.3. Metode <i>Kapasitif</i>	17
2.5.4. Metode <i>Magnetostriktif</i>	18

2.5.5.	Metode Interferometri	19
2.6.	Karakterisasi Material	19
2.6.1.	Karakterisasi Morfologi ZnO <i>Rods</i> (batang ZnO) dengan Menggunakan <i>Field Emission Scanning Electron Microscopy</i> (FE-SEM)	19
2.6.2.	Karakterisasi komposisi dengan menggunakan <i>Energy Dispersive Spectrometry</i> (EDS)	20
2.6.3.	Karakterisasi struktur kristal dengan Menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD).....	21
2.6.4.	Karakterisasi dengan menggunakan <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		26
3.1.	Tujuan Operasional.....	26
3.2.	Waktu dan tempat Penelitian	26
3.2.1.	Waktu Penelitian	26
3.2.2.	Tempat Penelitian.....	26
3.3.	Diagram Alir Penelitian	27
3.4.	Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.4.1.	Alat penelitian	28
3.4.2.	Bahan Penelitian.....	29
3.5.	Metode Penelitian	30
3.5.1.	Penumbuhan lapisan benih (<i>seed layer</i>) di atas permukaan mikrokantilever	31
3.5.2.	Penumbuhan ZnO <i>rods</i> di atas permukaan mikrokantilever.....	34
3.6.	Karakterisasi Material	36
3.6.1.	Pengujian Morfologi dengan <i>Field Emission Scanning Electron Microscopy</i> (FE-SEM)	36

3.6.2.	Pengujian komposisi dengan <i>Energy Dispersive Spectrometry</i> (EDS).	37
3.6.3.	Pengujian struktur kristal dengan <i>X-Ray Diffraction</i>	38
3.6.4.	Pengujian ikatan logam dengan FTIR	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1.	Analisa proses penumbuhan ZnO rods	39
4.2.	Sebaran ukuran diameter ZnO rods	40
4.2.1.	Analisa sebaran ukuran diameter penumbuhan ZnO rods	40
4.2.2.	Analisa sebaran ukuran diameter ZnO rods pada waktu penumbuhan 1 jam.	41
4.2.3.	Analisa sebaran ukuran diameter ZnO rods pada waktu penumbuhan 2 jam.	43
4.2.4.	Analisa sebaran ukuran diameter ZnO rods pada waktu penumbuhan 3 jam.	46
4.2.5.	Analisa sebaran ukuran diameter ZnO rods pada waktu penumbuhan 4 jam.	48
4.2.6.	Analisa sebaran ukuran diameter ZnO rods pada waktu penumbuhan 5 jam.	51
4.2.7.	Analisa sebaran ukuran diameter ZnO rods pada waktu penumbuhan 6 jam.	53
4.2.8.	Analisa sebaran ukuran diameter terhadap distribusi frekuensi variasi waktu penumbuhan ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever satu sampai enam jam	56
4.2.9.	Analisa sebaran ukuran diameter terhadap distribusi frekuensi variasi waktu penumbuhan ZnO rods di atas holder mikrokantilever satu sampai enam jam	59
4.3.	Komposisi persentase sebaran unsur kimia pada variasi waktu penumbuhan ZnO rods satu jam sampai enam jam	62

4.4.	Pengaruh waktu penumbuhan terhadap struktur kristal ZnO <i>rods</i> . ..	66
4.5.	Pengaruh waktu penumbuhan terhadap ikatan logam oksida ZnO <i>rods</i>	69
BAB V PENUTUP.....		74
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN		79
RIWAYAT HIDUP.....		99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Seng Oksida.....	5
Gambar 2.2. (a) Struktur kristal ZnO (b) Indeks miller bentuk heksagonal.....	7
Gambar 2.3. Ilustrasi metode hidrotermal.....	10
Gambar 2.4. Ilustrasi pita celah.....	11
Gambar 2.5. Energi bandgap ZnO dibandingkan dengan semikonduktor lainnya	11
Gambar 2.6. Mikrokantilever dengan (a) FE-SEM dan (b) skema mikrokantilever	14
Gambar 2.7. Prinsip kerja mikrokantilever (a) sebelum adanya partikel yang menempel di atas permukaan mikrokantilever (b) Kondisi setelah adanya partikel menempel di atas permukaan mikrokantilever	14
Gambar 2.8. Mikrokantilever dengan 2 Jenis Mode (a) Mode Statis (b) Mode Dinamis	15
Gambar 2.9. Pengukuran defleksi mikrokantilever dengan metode optik ^[20]	16
Gambar 2.10. Pengukuran defleksi mikrokantilever dengan metode <i>piezoresistif</i>	17
Gambar 2.11. Pengukuran defleksi mikrokantilever dengan metode <i>kapasitif</i>	18
Gambar 2.12. Pengukuran defleksi mikrokantilever dengan metode <i>magnetostriktif</i>	18
Gambar 2.13. Dalam FE-SEM berkas elektron berenergi tinggi mengenai permukaan material. Elektron pantulan dan elektron sekunder dipancarkan kembali dengan sudut yang bergantung pada profil permukaan material.....	20
Gambar 2.14. Ilustrasi difraksi sinar-x.....	22
Gambar 2.15. Hukum Bragg	23
Gambar 2.16. Diagram sistem pengambilan data ikatan logam uji karakterisasi FTIR.....	24
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 3.2. Alat yang dibuat untuk penjepit mikrokantilever.....	28
Gambar 3.3. Pemasangan mikrokantilever ke alat penjepit mikrokantilever dengan pinset.....	29

Gambar 3.4. Bahan yang digunakan untuk (a) proses lapisan benih (<i>seed layer</i>) (b) penumbuhan ZnO rods	30
Gambar 3.5. Bagan persiapan larutan lapisan benih (<i>seed layer</i>) dan pencelupan mikrokantilever dengan metode <i>dip-coating</i>	31
Gambar 3.6. Proses pembuatan larutan pelapisan benih (<i>seed layer</i>).....	32
Gambar 3.7. Bagan proses penumbuhan ZnO rods pada mikrokantilever.....	34
Gambar 3.8. Proses pembuatan larutan penumbuhan ZnO rods.....	35
Gambar 3.9. <i>Field Emission Scanning Electron Microscopy</i> (FE-EM) untuk mengetahui morfologi ZnO rods.....	36
Gambar 3.10. Energy Dispersive Spectrometry (EDS) untuk mengetahui komposisi ZnO rods	37
Gambar 3.11. Sistem pengujian EDS (a) 1 jam, 3 jam dan 5 jam (b) 2 jam, 4 jam dan 6 jam.....	37
Gambar 3.12. X-Ray Diffractometer untuk mengetahui struktur kristal penumbuhan ZnO rods	38
Gambar 3.13. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) untuk mengetahui ikatan logam ZnO rods	38
Gambar 4.1. Proses penumbuhan ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever ..	39
Gambar 4.2. Gambar FE-SEM (a) Mikrokantilever perbesaran 50 x (b) Mikrokantilever perbesaran 350x (c) Sample ZnO rods yang tumbuh di atas permukaan mikrokantilever (d) Sample ZnO rods yang tumbuh di atas holder mikrokantilever.....	40
Gambar 4.3. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 1 jam.....	42
Gambar 4.4. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di holder mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 1 jam.....	43

Gambar 4.5. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 2 jam.....	44
Gambar 4.6. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas holder mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 2 jam.....	45
Gambar 4.7. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 3 jam.....	47
Gambar 4.8. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas holder mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 3 jam.....	48
Gambar 4.9. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 4 jam.....	49
Gambar 4.10. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas holder mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 4 jam.....	50
Gambar 4.11. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 5 jam.....	51
Gambar 4.12. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di holder permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 5 jam.....	52
Gambar 4.13. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 6 jam.....	54
Gambar 4.14. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas holder mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 6 jam.....	55
Gambar 4.15. Gambar FE-SEM menyerupai bentuk flower (bunga) di salah satu	

permukaan penumbuhan ZnO holdermikrokantilever.....	56
Gambar 4.16. Grafik pengaruh waktu penumbuhan terhadap sebaran ukuran diameter ZnO rods (a) 1 jam, (b) 2 jam, (c) 3 jam, (d) 4 jam, (e) 5 jam, dan (f) 6 jam.....	58
Gambar 4.17. Grafik pengaruh waktu penumbuhan terhadap sebaran ukuran diameter ZnO rods (a) 1 jam, (b) 2 jam, (c) 3 jam, (d) 4 jam, (e) 5 jam dan (f) 6 jam.....	61
Gambar 4.18. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran Zn, (c) Sebaran O, (d) Sebaran Fe, (e) Sebaran S, (f) Sebaran Si,pada endapan penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 1 jam.....	62
Gambar 4.19. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran O, (c) Sebaran Si, (d) Sebaran Fe, (e) Sebaran Zn,pada penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 2 jam	62
Gambar 4.20. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran Zn, (c) Sebaran O, (d) Sebaran S, (e) Sebaran Si, (f) Sebaran Fe, pada endapan penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 3 jam.....	63
Gambar 4.21. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran Zn, (c) Sebaran O, (d) Sebaran S, (e) Sebaran Si, (f) Sebaran Fe, pada penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 4 jam.....	63
Gambar 4.22. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran Zn, (c) Sebaran O, (d) Sebaran S, (e) Sebaran Si, (f) Sebaran Fe ,pada endapan penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 5 jam.....	64
Gambar 4.23. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran O, (c) Sebaran Si, (d) Sebaran Fe, (e) Sebaran Zn, pada penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 6 jam	64
Gambar 4.24. Sebaran EDS komposisi penumbuhan ZnO rods variasi waktu penumbuhan (a) 1 jam, (b) 2 jam, (c) 3 jam, (d) 4 jam, (e) 5 jam dan (f) 6 jam.....	65

Gambar 4.25. Pola difraksi sinar-X *ZnO rods* dengan variasi waktu penumbuhan
1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam.....66

Gambar 4.26. Spektrum dari *Zinc Nitrate Tetrahydrate* ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dan
endapan larutan ZnO yang digunakan untuk penumbuhan selama 1 jam, 2
jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam.....70

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat fisis dasar ZnO.....	8
Tabel 2. Nilai Chi ² yang didapatkan dari pengolahan data GSAS variasi waktu penumbuhan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam	68
Tabel 3. ICDD yang sesuai untuk variasi waktu penumbuhan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam.....	68
Tabel 4. Nilai parameter kisi variasi waktu penumbuhan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 6 jam.....	69
Tabel 5. Peak (puncak/lembah) yang timbul pada bahan dasar Zinc Nitrate Tetrahydrate	71
Tabel 6. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 1 jam	71
Tabel 7. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 2 jam	71
Tabel 8. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 3 jam	72
Tabel 9. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 4 jam	72
Tabel 10. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 5 jam	72
Tabel 11. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 6 jam	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemanasan global sebagai indikasi perubahan iklim diisukan sebagai akibat dari bertambahnya gas rumah kaca. Pemanasan global cenderung diakibatkan oleh bertambahnya gas rumah kaca seperti CO dan CO₂. Sumber gas CO dan CO₂ umumnya berasal dari hasil proses pembakaran bahan bakar, pembakaran biomassa, limbah pabrik, dst. Gas rumah kaca yang paling banyak menjadi perhatian adalah CO dan CO₂. Perubahan konsentrasi gas CO dan CO₂ di atmosfer yang merupakan bagian dari siklus karbon penting untuk diteliti (Toni, 2011).

Salah satu alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi gas CO dan CO₂ yaitu mikrokantilever. Menurut Nardo (2006), mikrokantilever merupakan piranti teknologi MEMS (*micro electro mechanical system*) yang umum digunakan untuk deteksi gaya antar atom (*atomic force*) pada sistem AFM (*Atomic Force Microscopy*) dan berpotensi untuk digunakan pada aplikasi sensor kimia. Mikrokantilever umumnya difabrikasi dengan menggunakan bahan dasar silikon yang memiliki panjang sekitar ratusan mikrometer, lebar puluhan mikrometer, tetapi mempunyai tebal hanya dalam kisaran satu mikrometer. Mikrokantilever memiliki karakteristik sensitivitas tinggi hingga skala attogram (10^{-18})^[2-4]. Menurut Ratno (2012), mikrokantilever didesain sangat lentur agar mudah terdefleksi (*bending*) jika terdapat target objek (molekul, partikel, atau sejenisnya) yang menempel pada permukaan mikrokantilever.

Untuk dapat mendeteksi suatu objek tertentu, mikrokantilever membutuhkan lapisan fungsional (*bioreceptor*) pada permukaannya. Sejauh ini, pengembangan terkait sensitivitas dan selektivitas mikrokantilever telah dilakukan oleh Necmettin Killinc (2014), dengan mengkaji pengaruh pelapisan ZnO (*Zinc Oxide*) pada permukaan mikrokantilever yang berfungsi

untuk mendeteksi senyawa organik yang mudah menguap (*Volatile Organic Compounds*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikrokantilever yang diberikan lapisan fungsional memiliki peluang untuk dapat digunakan sebagai pendeteksi objek tertentu.

ZnO merupakan salah satu material yang menjanjikan pada beberapa aplikasi sensor karena memiliki respon yang sensitif sebagai lapisan fungsional. Menurut Kumar (2014), *hexamethylenetetramin* merupakan bahan dasar dalam sintesis ZNO dan memiliki tingkat selektifitas yang baik untuk pendeteksian gas CO dan CO₂. Menurut Neha (2011), lamanya waktu penumbuhan mempengaruhi morfologi ZnO rods yang dihasilkan, dimana variasi waktu proses penumbuhan yang digunakan yaitu selama 3 jam. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk penumbuhan ZnO rods pada permukaan mikrokantilever yaitu dengan menggunakan metode hidrotermal. Menurut Lee (2009), kelebihan dari metode hidrotermal adalah temperatur proses yang digunakan relatif rendah, serta menghasilkan partikel dengan kristalinitas tinggi dan distribusi ukuran kristal lebih merata (*homogen*).

Dengan demikian, pada penelitian ini akan dikaji pengaruh variasi waktu penumbuhan ZnO rods yang diproses selama 1–6 jam terhadap morfologi, komposisi unsur kimia, struktur kristal dan ikatan logam yang terbentuk pada permukaan mikrokantilever dengan menggunakan metode hidrotermal. Parameter analisa yang digunakan meliputi XRD, FE-SEM, EDS dan FTIR.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan yang dapat diidentifikasi adalah sebagai berikut :

1. Metode apa yang tepat untuk proses *seed layer* di atas permukaan mikrokantilever ?
2. Metode apa yang tepat untuk proses penumbuhan ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever?
3. Faktor apa saja yang dapat menghambat penumbuhan ZnO rods ?

4. Apakah variasi waktu penumbuhan berpengaruh terhadap morfologi, komposisi unsur kimia, struktur kristal dan ikatan logam penumbuhan ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever ?
5. Pengaruh apa yang terjadi jika dilakukan variasi waktu penumbuhan ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever ?

1.3. Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini, masalah yang dibatasi adalah pengaruh dari waktu penumbuhan ZnO rods yang akan divariasikan waktu penumbuhan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam. Karakterisasi morfologi dilakukan dengan *Field Emission-Scanning Electron Microscopy* (FE-SEM), komposisi unsur kimia dilakukan dengan *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS), struktur kristal dilakukan dengan *X-ray Diffraction* (XRD) dan analisa ikatan logam dilakukan dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

1.4. Perumusan Masalah

Dari uraian di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu “Bagaimana pengaruh waktu penumbuhan terhadap morfologi, komposisi unsur kimia, struktur kristal dan ikatan logam yang terbentuk pada ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever?”.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini, yaitu :

- a. Mempelajari proses *seed layer* dengan metode *dip-coating*.
- b. Mempelajari proses sintesis ZnO dengan metode hidrotermal.
- c. Menganalisis pengaruh waktu penumbuhan dengan metode hidrotermal terhadap morfologi, komposisi unsur kimia, struktur kristal dan ikatan logam yang terbentuk pada ZnO rods.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, yaitu :

- a. Dapat mempelajari sintesis ZnO *rods* yang menghasilkan ukuran hingga level mikrometer.
- b. Mengetahui pengaruh variasi waktu penumbuhan terhadap ukuran diameter ZnO *rods* yang terbentuk dengan karakterisasi FE-SEM.
- c. Mengetahui pengaruh pengujian di atas permukaan mikrokantilever ataupun langsung di atas endapan ZnO *rods* terhadap komposisi unsur kimia dengan karakterisasi EDS.
- d. Mengetahui pengaruh variasi waktu penumbuhan terhadap struktur kristal ZnO *rods* yang terbentuk dengan karakterisasi XRD.
- e. Mengetahui pengaruh variasi waktu penumbuhan terhadap ikatan logam ZnO *rods* yang terbentuk dengan karakterisasi FTIR.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. ZnO (Seng Oksida)

Seng Oksida (ZnO) adalah suatu senyawa anorganik dengan rumus kimia ZnO, merupakan semikonduktor dengan struktur wurzite yang stabil. Terdapat di kulit bumi sebagai *mineral zinctite* dan telah diteliti secara luas serta digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi saat ini. Tampilannya berupa serbuk berwarna putih yang hampir tak larut air. Serbuk ini digunakan secara luas sebagai bahan tambahan ke dalam berbagai material, diantaranya plastik, keramik, gelas, semen, karet (ban), pigmen, makanan, baterai, dan masih banyak lagi.



Gambar 2.1. Seng Oksida^[10]

Dalam ilmu material, ZnO sering kali disebut sebagai semikonduktor II-VI karena seng dan oksigen secara berturut-turut termasuk dalam grup 2 dan 6 pada tabel susunan berkala unsur. Semikonduktor ini mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan seperti transparansi yang baik, mobilitas elektron yang tinggi, *bandgap* lebar, kestabilan elektrokimia yang tinggi, kemampuan *adsorpsi* yang kuat, dan *luminisen* pada suhu kamar yang kuat. Sifat-sifat tersebut telah digunakan dalam aplikasi-aplikasi elektroda transparan,

perangkat penghemat energi dan aplikasi-aplikasi di bidang elektronik sebagai *thin film* pada transistor dan diode pancar cahaya (LED)^[11].

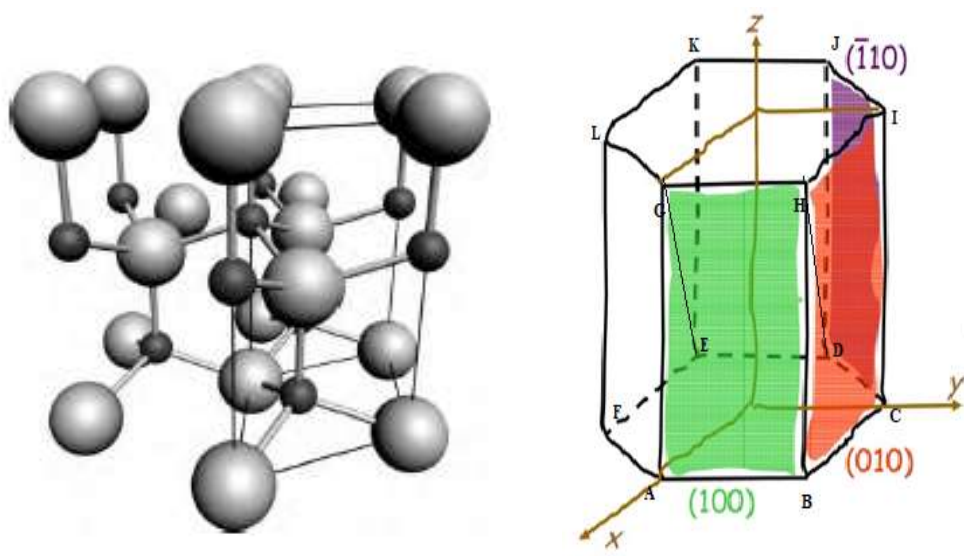
Seng Oksida (ZnO) merupakan semikonduktor metal oksida dengan pita celah yang lebar sebesar 3,37eV pada temperatur ruang. Nanomaterial ZnO saat ini sedang banyak diteliti karena merupakan material fungsional yang menjanjikan. Aplikasi dari nanomaterial ZnO diantaranya adalah sensor kimia, sensor gas, sel surya, dan juga sel surya tersensitisasi warna (DSSC)^[11]. Hal ini disebabkan karena nanomaterial ZnO murah dan mudah untuk disintesis dalam berbagai bentuk morfologi nanostruktur. Agar material nanostruktur dapat diaplikasikan, biasanya membutuhkan morfologi kristal, orientasi dan bangunan permukaan dari nanostruktur yang dapat dikontrol pada saat proses preparasi.

2.2. Struktur Kristal dan Sifat Fisis ZnO

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

Pada tekanan dan temperatur lingkungan, struktur kristal ZnO adalah *wurtzite*^[12]. 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. Seng Oksida mempunyai struktur intan dengan jaringan ikatan kovalen. Berdasarkan struktur tersebut, ikatan kimia antara atom Zn dan atom O cenderung mengarah kepada ikatan ion karena kuatnya sistem polarisasi

antara kedua atom tersebut. Ikatan Zn-O menyebabkan atom Zn menjadi sangat positif dan atom O menjadi sangat negatif. Tetapi pada akhirnya, kedua atom tersebut membentuk molekul yang netral. Kisi heksagonal dikarakterisasi dengan melihat hubungan subkisi (*sublattice*) Zn^{2+} dan O^{2-} , dimana ion Zn dikelilingi oleh ion tetrahedral dan sebaliknya. Struktur kristal *wurtzite* yang simetrinya *hexagonal*, dikarenakan ada 12 ion oksigen (O^{2-}) yang berada di tiap-tiap sudut atas dan bawah yang membentuk suatu prisma *hexagonal*. Setiap ion Zn^{2+} maupun O^{2-} merupakan pusat tetrahedral dari keempat ion tetangganya. Secara umum ZnO membentuk struktur kristal *hexagonal wurtzite*. Struktur ini dapat digambarkan sebagai kombinasi bergantian subkisi *hexagonal-close-packed* (hcp)^[13].



Gambar 2.2. (a) Struktur kristal ZnO ^[14] (b) Indeks miller bentuk heksagonal

Gambar 2.2 (a) memperlihatkan struktur kristal *wurtzite* ZnO . Atom O digambarkan sebagai bola putih besar, atom Zn digambarkan sebagai bola hitam yang yang lebih kecil, dan garis hitam menggambarkan unit sel. Parameter kisi ZnO untuk struktur *wurtzite* pada temperatur 300 K adalah $a = 3,2495 \text{ \AA}$ dan $c = 5,2069 \text{ \AA}$ ^[14]. Gambar 2.2 (b) menunjukkan indeks miller yang terbentuk pada ZnO . ABHG menunjukkan (100), EDGH menunjukkan (101) dan GHIJKL menunjukkan (002).

Tabel 1. Sifat fisis dasar ZnO^[14]

Parameter Fisis Dasar ZnO	
Fase stabil	<i>Wurtzite</i>
Space group	C ₆ mc
Parameter kisi	a = 3,2495 Å dan c = 5,2069 Å a/c = 16,02 Å
Massa jenis (g.cm ³)	5,606
Konduktivitas termal (W/cm.K)	1-1,2
Titik leleh (°C)	1975
Indeks bias	2,008 2,029

2.3. Metode Sintesis ZnO rods

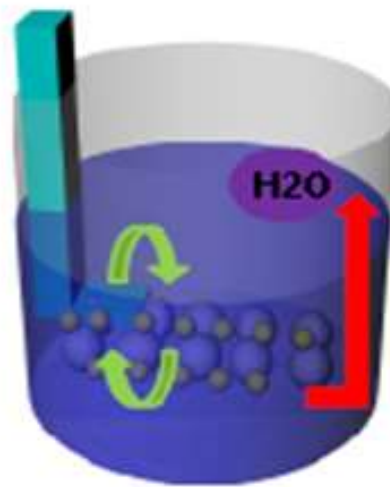
Sintesis nanomaterial dapat dilakukan dalam fasa padat, cair maupun gas. Proses sintesis secara kimia melibatkan reaksi kimia dari sejumlah material awal (*precursor*) sehingga dihasilkan material lain yang berukuran nanometer, seperti pembentukan nanopartikel garam dengan mereaksikan asam dan basa yang bersesuaian. Beberapa teknik kimia basah telah dikembangkan untuk menghasilkan nanokristalin ZnO dengan ukuran dan morfologi yang berbeda (*nanopartikel, nanowire, nanorod, nanoflower, nanotube*, dan sebagainya).

ZnO *rods* merupakan salah satu struktur material yang banyak disintesis karena porositas dan luas permukaan yang besar. Preparasi ZnO *rods* dapat dilakukan dengan metode sederhana dan mudah. Saat ini, ZnO *rods* banyak diproduksi dengan metode kimia basah diatas substrat yang bervariasi diantaranya silikon amorf, silikon single kristal, silikon polikristal, dan substrat kaca berlapis oksida konduktif. Tetapi pada penelitian ini, ZnO *rods* ditumbuhkan di atas permukaan mikrokantilever. Untuk menumbuhkan ZnO *rods* di atas mikrokantilever, biasanya dilakukan dengan dua tahapan, yaitu pembuatan lapisan benih (*seed layer*) dan penumbuhan ZnO *rods*.

Metode yang akan digunakan adalah metode *dip-coating*. Metode *dip-coating* merupakan suatu proses yang digunakan untuk pelapisan, misalnya bahan semikonduktor. Pada proses pelapisan ini, biasanya dibagi menjadi beberapa langkah. Perendaman (*immersion*), dimana substrat ini direndam dalam larutan bahan lapisan pada kecepatan konstan. Kemudian *start-up*, dimana substrat telah berada di dalam larutan untuk sementara waktu dan mulai ditarik ke atas. Kecepatan menentukan ketebalan lapisan (penarikan lebih cepat memberikan bahan pelapis yang lebih tebal). Pengeringan, dimana kelebihan cairan akan mengalir dari permukaan. Penguapan (*evaporation*), dimana pelarut yang menguap dari cair membentuk lapisan tipis. Pada proses *dip-coating* ini, kecepatan alat sangat berpengaruh pada tiap langkah yang dilalui. Untuk itu, perlu diperhatikan dalam pengontrolan kecepatan gerak alat agar hasil pelapisan bahan semikonduktor mencapai hasil yang sesuai dengan kebutuhan.

Tahapan selanjutnya adalah penumbuhan dengan metode hidrotermal. Metode ini terjadi pada suhu reaksi rendah ($<100^{\circ}\text{C}$) dan sederhana dibandingkan dengan metode-metode yang lain. Dengan metode hidrotermal, area tumbuh dari *ZnO rods* akan lebih luas dan parameter tumbuh juga lebih mudah dikontrol.

Pada sintesis hidrotermal, beberapa parameter dapat mempengaruhi pertumbuhan *ZnO rods*. Densitas dari lapisan benih, secara signifikan dapat mempengaruhi ukuran dan densitas dari *rods* yang tumbuh. Perbedaan konsentrasi prekursor yang digunakan saat penumbuhan *rods* dan juga waktu serta temperatur dapat pula mempengaruhi morfologi *ZnO rods* sehingga dapat mengubah karakteristiknya.

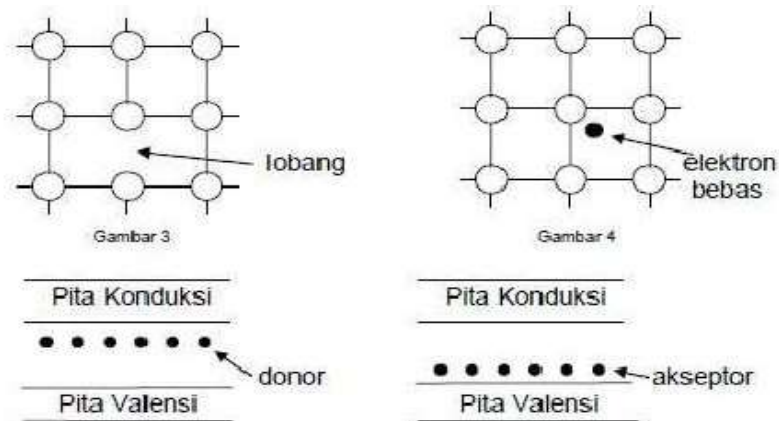


Gambar 2.3. Ilustrasi metode hidrotermal

2.4. Sifat Optik ZnO

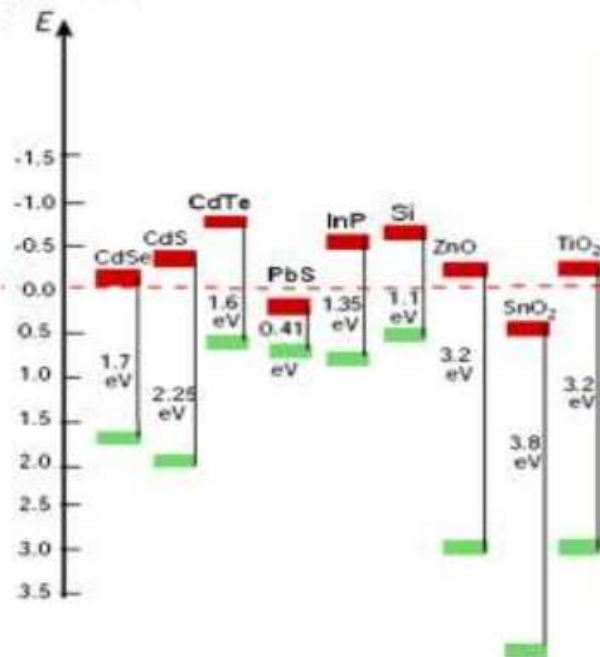
Sifat optik suatu semikonduktor berhubungan dengan efek *intrinsik* dan *ekstrinsik*. Transisi optik *intrinsik* berada antara elektron pada pita konduksi dan *hole* pada pita valensi, meliputi efek *eksitonik* yang disebabkan oleh interaksi Coulomb. Sifat *ekstrinsik* dihubungkan dengan *dopan* atau cacat yang biasanya menghasilkan keadaan elektronik yang berlainan pada energi pita celah sehingga mempengaruhi proses absorpsi dan emisi optik.

Rekayasa energi pita celah merupakan rekayasa pita energi material untuk menghasilkan sifat optik, elektronik, maupun optoelektronik sesuai dengan yang diinginkan. Rekayasa ini umumnya meliputi pengontrolan lebar pita celah energi sehingga energi yang diperlukan untuk *mengeksitasi* elektron dalam material atau energi yang dipancarkan elektron maupun *hole* ketika kembali ke keadaan dasar dapat diubah-ubah sesuai dengan yang diinginkan. Pengaturan lebar pita celah energi ini juga berdampak pada konduktivitas listrik material tersebut, karena makin kecil lebar pita celah energi maka konduktivitas umumnya makin besar. Logam adalah material yang tidak memiliki pita celah energi sehingga konduktivitasnya sangat besar.



Gambar 2.4. Ilustrasi pita celah

Dalam bahan semikonduktor murni, energi yang dimiliki elektron hanya mungkin berada pada salah satu pita energi, yaitu pita valensi atau pita konduksi. Gambar 2.4. adalah ilustrasi pita valensi dan konduksi dalam bahan semikonduktor. Pada suhu yang sangat rendah, elektron hanya menempati tingkat energi pada pita valensi. Antara pita valensi dan pita konduksi terdapat nilai-nilai energi yang tidak dapat dimiliki oleh elektron. Daerah tersebut disebut pita celah energi (energi pita celah)^[15].



Gambar 2.5. Energi bandgap ZnO dibandingkan dengan semikonduktor lainnya^[16]

Jika mendapat energi yang cukup misalnya dari foton, panas atau tumbukan oleh partikel lain, elektron yang semula berada di pita valensi dapat meloncat ke pita konduksi. Energi yang diterima elektron minimal harus sama dengan energi pita celah. Loncatan tersebut meninggalkan keadaan kosong di pita konduksi. Keadaan kosong tersebut berperilaku seolah-olah sebagai sebuah partikel bermuatan positif dan dinamakan lubang (*hole*). Persyaratan bagi elektron agar dapat mencapai pita konduksi adalah energi yang diterima harus lebih besar dari pita celah energi, E_g . Misalkan *eksitasi* dilakukan dengan gelombang cahaya (frekuensi rendah), maka frekuensi cahaya pengeksitasi harus memenuhi $hf > E_g$ dengan h konstanta Planck dan f adalah frekuensi cahaya pengeksitasi. Umumnya, cahaya yang digunakan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi adalah cahaya *ultraviolet* karena hanya cahaya inilah yang memiliki energi foton yang lebih besar daripada energi pita celah kebanyakan bahan semikonduktor. Sebagai contoh, untuk bahan semikonduktor dengan lebar pita celah energi 3,4 eV dapat dieksitasi dengan cahaya yang memiliki panjang gelombang di bawah 364 nm. Panjang gelombang ini berada di daerah *ultraviolet*.

Keadaan tereksitasi bukan merupakan keadaan stabil. Elektron hanya bertahan beberapa saat di keadaan *eksitasi* dan setelah itu kembali ke keadaan awal mengisi kembali keadaan kosong yang semula ditinggalkannya di pita valensi. Proses ini disebut *deeksitasi* atau *rekombinasi*. Disebut *rekombinasi* karena elektron bergabung kembali dengan lubang, sehingga lubang menjadi hilang. Saat proses *deeksitasi* ini dilepaskan energi yang bisa berupa panas (getaran atom-atom dalam bahan) atau bisa berupa pemancaran cahaya. *Deeksitasi* yang disertai pelepasan panas disebut transisi tanpa radiasi (*radiationless transition*), sedangkan *deeksitasi* yang disertai pemancaran gelombang elektromagnetik disebut transisi radiasi (*radiative transition*). Pada transisi radiatif, energi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan kira-kira sama dengan lebar pita celah energi, yaitu $hf' \approx E_g$. Dengan demikian, frekuensi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan adalah $f' \approx E_g/h$.

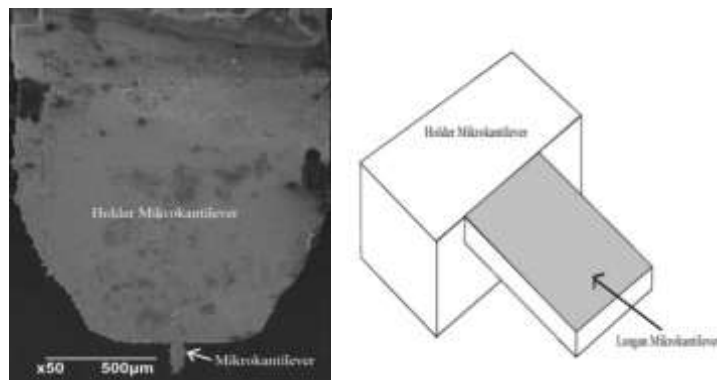
Pengaruh dimensi partikel terhadap lebar pita celah energi dapat dipahami sebagai berikut. Ketika elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi, yang berarti elektron melepaskan diri dari ikatan oleh ion-ion positif di sekitarnya sehingga menjadi elektron yang lebih bebas. Elektron paling sulit melepaskan diri dari satu atom terisolasi. Energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari atom terisolasi sama dengan energi ionisasi, dan nilainya sangat besar. Makin banyak jumlah atom penyusun material maka makin kecil energi yang diperlukan untuk menghasilkan elektron-elektron yang hampir bebas, berarti makin kecil pula lebar pita celah^[16].

2.5. Mikrokantilever

Mikrokantilever (*microcantilever*) memiliki potensi besar untuk aplikasi sensor baik bidang medis, kimia maupun lingkungan karena memiliki sensitivitas yang tinggi^[2-4]. Untuk aplikasi sensor ini, mikrokantilever di desain sangat lentur sehingga akan mudah membungkuk/defleksi (bending) jika terdapat obyek virus (molekul, partikel atau sejenisnya) yang menempel di atas permukaan mikrokantilever. Sensor mikrokantilever mengukur besar defleksi mikrokantilever karena obyek tersebut. Dengan mekanisme kerja demikian, sensor mikrokantilever dapat mendeteksi obyek biologi dan kimia yang memiliki massa dalam order *femtogram* (10^{-15} gram)^[2-4]. Bahkan rekor lain juga dapat mendeteksi sampai order *attogram* (10^{-18} gram), sebuah rekor detektor yang jarang dimiliki oleh sensor tipe lain^[2-4]. Selama ini, berbagai studi terkait sensor mikrokantilever baik teori maupun eksperimen telah dilakukan untuk menggali potensi dan meningkatkan performanya. Selain masalah sensitivitas, selektivitas merupakan parameter penting pada sensor.

Pada sensor mikrokantilever, lapisan fungsional perlu ditempelkan di atas permukaan mikrokantilever. Lapisan inilah yang nantinya akan membedakan obyek satu dengan lainnya. Hal ini dikarenakan sifat dari antigen dan antibodi yang akan bereaksi jika hanya bertemu dengan pasangannya. Karena itu proses pelapisan ini menjadi bagian penting dalam riset baik dari sisi teknik pelapisan maupun efeknya bagi sensitivitas^[6-9].

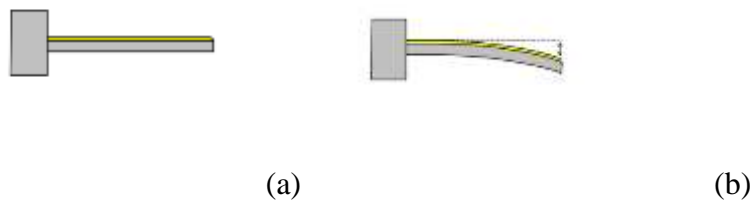
Dari sisi strukturnya, sensor mikrokantilever dapat dibagi menjadi tiga komponen utama. Pertama, *detektor* yang mendeteksi defleksi mikrokantilever yang disebabkan oleh massa obyek yang menempel pada permukaan mikrokantilever. Kedua, *transduser* yang mengubah informasi defleksi mikrokantilever menjadi sinyal listrik, dan ketiga adalah sistem *read-out* yang membaca sinyal listrik dan menampilkannya pada layar [17,18].



(a) (b)

Gambar 2.6. Mikrokantilever dengan (a) FE-SEM dan (b) skema mikrokantilever

Pada gambar 2.6 dapat dilihat gambar mikrokantilever yang dilihat dengan FE-SEM dengan perbesaran 50 kali dan dengan skala 500 mikrometer. Pada gambar 2.6 juga digambarkan skema dari mikrokantilever. Mikrokantilever ini difabrikasi dengan menggunakan bahan dasar silikon yang memiliki panjang ratusan μm , lebar puluhan μm , tebal sekitar 1 μm .

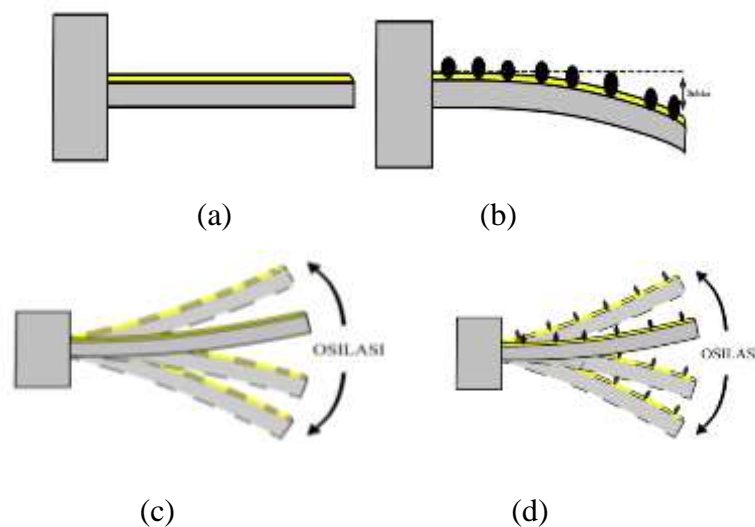


(a) (b)

Gambar 2.7. Prinsip kerja mikrokantilever (a) sebelum adanya partikel yang menempel di atas permukaan mikrokantilever (b) Kondisi setelah adanya partikel menempel di atas permukaan mikrokantilever

Prinsip kerja mikrokantilever secara sederhana dapat dilihat pada gambar 2.7. Jika terdapat partikel yang menempel di atas permukaan mikrokantilever maka lengan mikrokantilever akan berdefleksi.

Mikrokantilever memiliki dua jenis mode yaitu mikrokantilever mode statis dan mode dinamis. Pada mode statis, seperti pada Gambar 2.7 (a) sensor mikrokantilever bekerja berdasarkan perbedaan *surface stress* (tegangan permukaan) yang timbul antara permukaan atas dan permukaan bawah selama terjadinya proses menempelnya molekul target pada lapisan fungsionalisasi. Perubahan tegangan permukaan ini akan mengakibatkan terjadinya *bending* pada mikrokantilever yang dinamakan *defleksi*(δ). Pada mode dinamis Gambar 2.7 (b), yang di monitor adalah frekuensi resonansi yang berubah-ubah akibat massa yang diterima mikrokantilever. *Defleksi* awal terjadi akibat efek getaran/*vibrasi piezoelectric* yang diberikan pada mikrokantilever dan massa mikrokantilever sendiri sehingga menimbulkan nilai frekuensi tertentu. Sedangkan perubahan *defleksi* terjadi selain akibat efek getaran *piezoelectric* yang diberikan pada mikrokantilever juga disebabkan oleh perubahan massa (Δm) yang diterima oleh mikrokantilever. Sehingga frekuensi resonansi yang terjadi akan mengalami perubahan sesuai jumlah massa obyek yang diterima oleh mikrokantilever^[17-19].

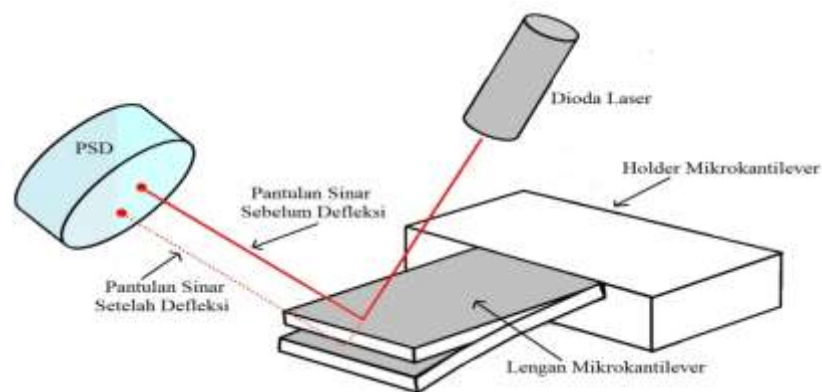


Gambar 2.8. Mikrokantilever dengan 2 Jenis Mode (a) Mode Statis (b) Mode Dinamis

Pada penelitian ini, digunakan pengukuran *defleksi*. Pengukuran *defleksi* mikrokantilever dapat dilakukan dengan beberapa cara. Teknik pengukuran yang telah banyak digunakan adalah metode optik, *piezoresistif*, *kapasitansi*, *magnetostriktif* dan *interferometri*. Salah satu kelebihan dari teknik pengukuran dan frekuensi resonansi mikrokantilever adalah dapat dilakukan dengan satu kali pengukuran^[19-22].

2.5.1. Metode Optik

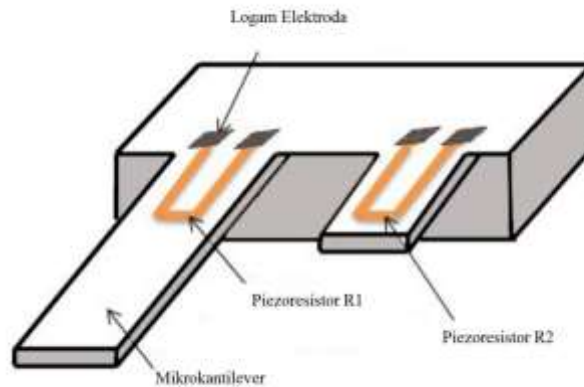
Metode optik dapat dijelaskan secara grafik seperti gambar 2.9.



Gambar 2.9. Pengukuran defleksi mikrokantilever dengan metode optik^[20]

Dalam metode ini, Sinar laser difokuskan pada ujung bebas dari mikrokantilever. Sinar yang dipantulkan oleh mikrokantilever ditangkap oleh detektor sinar PSD (*photosensitive detector*). Pada saat mikrokantilever tidak berdefleksi, yaitu tidak terdapat penempelan partikel analit pada permukaannya, sinar laser akan ditangkap pada suatu titik oleh PSD. Ketika mikrokantilever mengalami *defleksi* akibat penempelan analit, posisi sinar laser yang ditangkap PSD akan berubah. Perubahan posisi sinar ini kemudian diolah menggunakan rangkaian elektronika agar dapat menunjukkan besarnya *defleksi* yang terjadi.^[20]

2.5.2. Metode *piezoresistif*



Gambar 2.10. Pengukuran defleksi mikrokantilever dengan metode *piezoresistif*^[20,21]

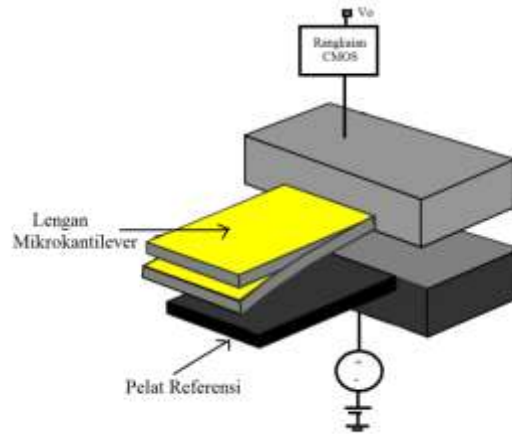
Mikrokantilever berbasis *piezoresistif* mengukur perubahan resistansi yang dihasilkan dalam mikrokantilever akibat penempelan partikel biomolekul. Dalam disain *embedded piezoresistive* mikrokantilever (EPM), mikrokantilever dirancang *embedding* dari bahan *piezoresistif* dekat permukaan atas mikrokantilever untuk merekam perubahan tegangan yang terjadi pada permukaan mikrokantilever tersebut. Karena terjadi *defleksi*, mikrokantilever mengalami perubahan tekanan yang akan mempengaruhi *piezoresistor*. Perubahan *esistansi* yang terjadi dapat diukur dengan cara elektronik.

Bahan *piezoresistor* dalam mikrokantilever harus diletakkan sedekat mungkin dengan salah satu permukaan mikrokantilever untuk mendapatkan sensitivitas maksimum. Resistansi material *piezoresistif* akan berubah ketika regangan (*strain*) diterapkan^[20,21].

2.5.3. Metode *Kapasitif*

Prinsip kerja pendeteksian defleksi mikrokantilever dengan metode sensor *kapasitif* adalah pendeteksian perubahan kapasitansi antara permukaan

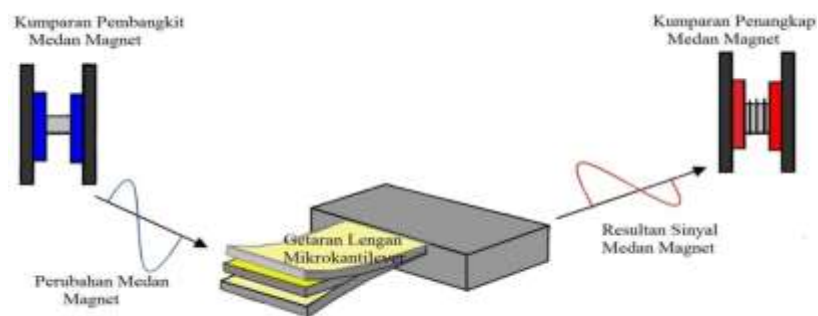
mikrokantilever terhadap permukaan acuannya yang bertindak sebagai suatu kapasitor^[21].



Gambar 2.11. Pengukuran defleksi mikrokantilever dengan metode *kapasitif*^[21]

2.5.4. Metode *Magnetostriktif*

Metode *magnetostriktif* menggunakan medan magnet untuk menggetarkan mikrokantilever. Permukaan mikrokantilever dilapisi dengan bahan magnetostriktif yang mengubah energi magnet menjadi energi elastik. Gambar 2.12. menunjukkan prinsip kerja sistem mikrokantilever magnetostriktif^[19].



Gambar 2.12. Pengukuran defleksi mikrokantilever dengan metode *magnetostriktif*^[19]

Metode *magnetostruktif* menggunakan medan magnet untuk menggetarkan mikrokantilever. Permukaan mikrokantilever dilapisi dengan bahan *magnetostruktif* yang merubah energi magnet menjadi elastik. Ketika medan magnet eksternal diterapkan, dimensi material magnetostruktif berubah. Karena perubahan dimensi material *magnetostruktif*, fluks magnet memancar akibat efek Joule inversi. Konversi energi ini mencapai maksimum ketika frekuensi pembangkit medan sama dengan frekuensi resonansi mikrokantilever. Fase fluks magnet yang dibangkitkan oleh magnetostruktif mikrokantilever dideteksi oleh kumparan penangkap.

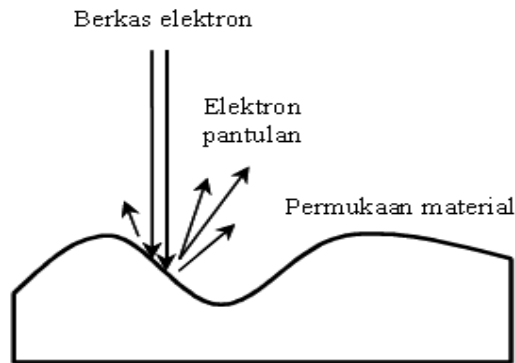
2.5.5. Metode Interferometri

Metode interferometri mendeteksi defleksi mikrokantilever dengan cara menginterferensi berkas sinar yang dipantulkan oleh mikrokantilever dengan beberapa berkas sinar acuan. Sinar harus diarahkan ke kantilever dari posisi yang dekat dengan kantilever agar diperoleh sinar pantul yang cukup^[20].

2.6. Karakterisasi Material

2.6.1. Karakterisasi Morfologi ZnO Rods (batang ZnO) dengan Menggunakan *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FE-SEM)

FE-SEM (*Field Scanning Electron Microscopy*) merupakan mikroskop yang bekerja dengan elektron (partikel dengan muatan negatif). FE-SEM digunakan untuk memvisualisasikan detail topografi yang sangat kecil di permukaan atau keseluruhannya. FE-SEM dapat mengamati hingga ukuran 1 nanometer. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung pada hasil FE-SEM yang menyajikan bentuk tiga dimensi berupa gambar atau foto. Mikroskop ini digunakan untuk mempelajari struktur permukaan obyek, yang secara umum diperbesar antara 1.000-400.000 kali.



Gambar 2.13. Dalam FE-SEM berkas elektron berenergi tinggi mengenai permukaan material. Elektron pantulan dan elektron sekunder dipancarkan kembali dengan sudut yang bergantung pada profil permukaan material.^[23]

Sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (*specimen*) maka akan dihasilkan elektron sekunder dan sinar-x karakteristik. *Scanning* pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur *scanning generator* dan *scanning coils*. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan bahan ditangkap oleh detektor kemudian diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal listrik ini diperkuat oleh penguat (*amplifier*) yang kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (CRT)^[23].

2.6.2. Karakterisasi komposisi dengan menggunakan *Energy Dispersive Spectrometry (EDS)*

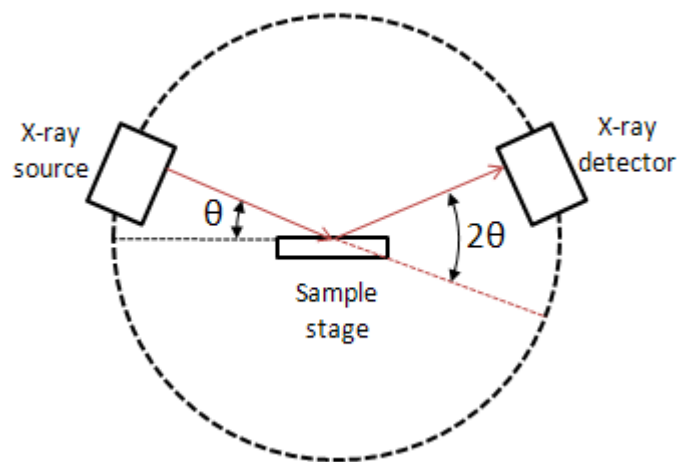
EDS dihasilkan dari sinar-x karakteristik, yaitu dengan menembakkan sinar-x pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Maka setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan akan muncul puncak – puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung. Dengan EDS kita juga bisa membuat *elemental mapping* (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda – beda dari masing – masing elemen di permukaan bahan.

EDS bisa digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing – masing elemen.

2.6.3. Karakterisasi struktur kristal dengan Menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD)

Ada dua proses yang terjadi bila seberkas sinar-x ditembakkan ke sebuah atom. Pertama, energi berkas sinar-x terserap oleh atom, kedua sinar-x dihamburkan oleh atom. Dalam proses yang pertama, berkas sinar-x terserap atom melalui efek fotolistrik yang mengakibatkan tereksitasinya atom atau terlemparnya elektron-elektron dari atom. Atom akan kembali ke keadaan dasarnya dengan memancarkan elektron (melalui *Auger effect*) atau memancarkan sinar-x *floresen* yang memiliki panjang gelombang karakteristik atom tereksitasinya. Pada proses yang kedua, ada bagian berkas yang mengalami hamburan tanpa kehilangan energi (panjang gelombangnya tetap) dan ada bagian yang terhambur dengan kehilangan sebagian energi (Hamburan *Compton*). Hamburan *Compton* dinamakan juga hamburan tak-koheren.

Berkas hamburan sinar-x oleh material yang dapat diukur adalah intensitas. Intensitas berkas sinar-x yang mendekati paralel adalah fluks energi yang melewati satu satuan luasan tertentu per satuan waktu. Untuk gelombang planar monokromatik, intensitas sebanding dengan kuadrat amplitudo getaran. Intensitas radiasi yang dihasilkan oleh sumber titik (atau sumber kuasi-titik) pada arah tertentu adalah energi yang dipancarkan per detik per satuan sudut ruang pada arah itu. Dalam pengukuran intensitas mutlak, cara termudah adalah dengan menentukan jumlah foton teremis atau tertangkap (*detektor*) per satuan waktu, bisa per satuan luas atau per satuan sudut ruang^[24].



Gambar 2.14. Ilustrasi difraksi sinar-x^[24]

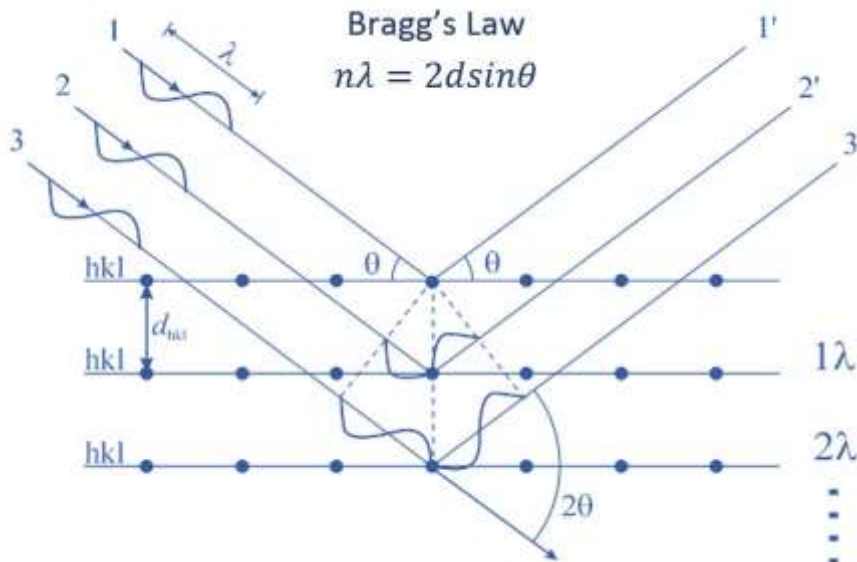
Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standard*)/ICDD (*International Centre for Diffraction Data*).

Representasi matematis syarat terjadinya difraksi diberikan oleh Hukum Bragg:

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

dengan d_{hkl} adalah jarak antar-bidang (*interplanar spacing*) (hkl) untuk sebuah kristal, θ adalah sudut Bragg dan λ adalah panjang gelombang radiasi.

Hukum Bragg dapat dikatakan sebagai representasi *non-vektorial* dua dimensi sebagai syarat terjadinya difraksi^[25].



Gambar 2.15. Hukum Bragg^[25]

Metode yang sering digunakan sebagai alternatif menentukan ukuran kristalin adalah metode *Scherrer*^[26]. Ukuran kristalin ditentukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi sinar-X yang muncul. Metode ini sebenarnya memprediksi ukuran kristalin dalam material, bukan ukuran partikel. Jika satu partikel mengandung sejumlah kristalit 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 kristalit. Dengan demikian, ukuran kristalinitas yang diprediksi dengan metode *Scherrer* juga merupakan ukuran partikel. Berdasarkan metode ini, makin kecil ukuran kristalit maka makin lebar puncak difraksi yang dihasilkan^[26].

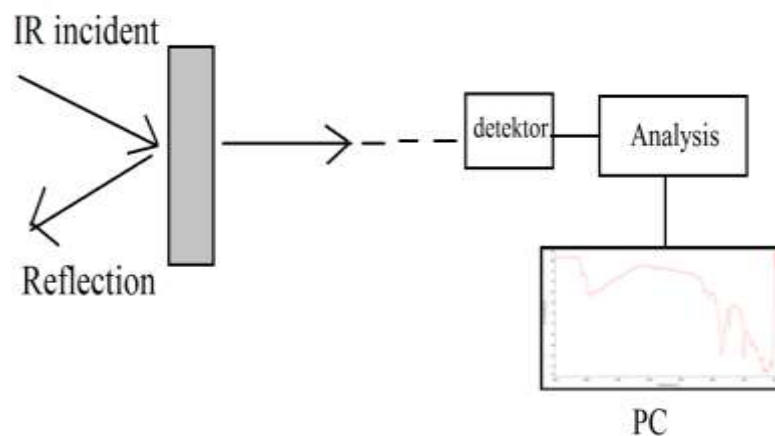
Penyebab kristalit yang kecil menghasilkan puncak yang lebar karena kristalit yang kecil memiliki bidang pantul sinar-x yang terbatas. Puncak difraksi dihasilkan oleh interferensi secara konstruktif dari cahaya yang dipantulkan oleh bidang-bidang kristal. Dalam kuliah tentang interferensi gelombang, didapatkan bahwa makin 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 kristalit yang ukuran besar. Karena difraksi sinar-X pada dasarnya adalah interferensi oleh sejumlah sumber maka kita dapat memprediksi hubungan antara lebar puncak difraksi dengan ukuran kristalit berdasarkan perumusan interferensi celah banyak.

Hubungan antara ukuran kristallites dengan lebar puncak difraksi sinar-X dapat diproksimasi dengan persamaan Scherrer:

$$D = \frac{0.9\lambda}{B\cos\theta}$$

2.6.4. Karakterisasi dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)



Gambar 2.16. Diagram sistem pengambilan data ikatan logam uji karakterisasi FTIR

Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi Fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Inti spektroskopi FTIR adalah interferometer Michelson yaitu alat untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pen trasmisian

cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1})^[27].

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tujuan Operasional

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu penumbuhan terhadap morfologi, komposisi unsur kimia, struktur kristal dan ikatan logam ZnO *rods* di atas permukaan mikrokantilever.

3.2. Waktu dan tempat Penelitian

3.2.1. Waktu Penelitian

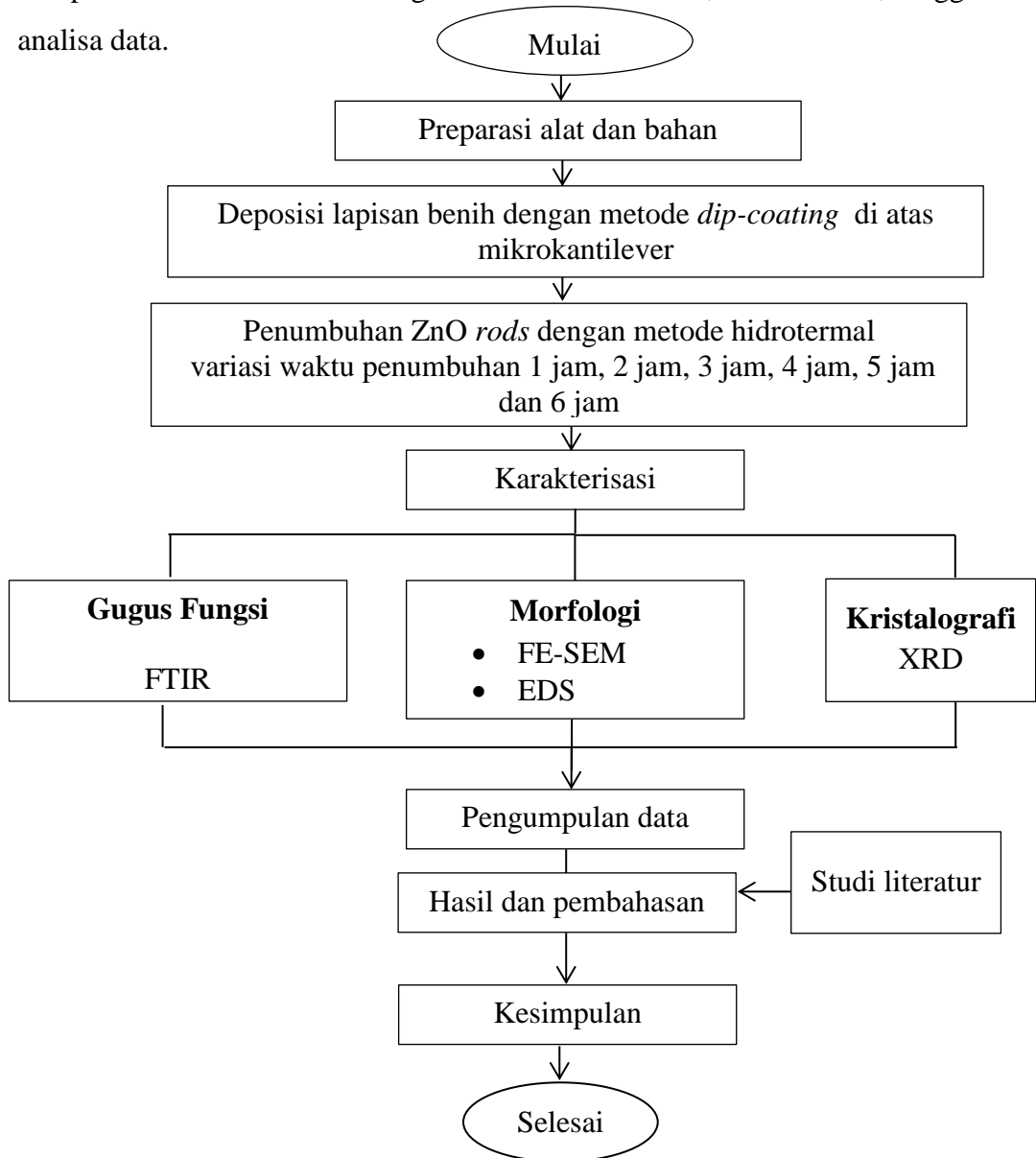
Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Desember 2016 sampai Agustus 2017.

3.2.2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Pusat Teknologi Material, Badan Pengkajian dan Pengembangan Teknologi (BPPT), kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Secara umum pada tahapan penelitian ini yang akan dilakukan terdiri dari tahapan deposisi lapisan benih (*seed layer*) dengan metode *dip-coating* dan penumbuhan *ZnO rods* dengan metode hidrotermal, karakterisasi, hingga analisa data.



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.4. Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1. Alat penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain *beaker glass*, gelas ukur, pipet, spatula, pinset, kertas timbang, tissue, timbangan analitik, termometer, *aluminium foil*, *Microscope digital*, *hotplate* dan *magnetic stirrer*. *Magnetic stirrer*, *hotplate stirrer* dan oven digunakan untuk deposisi lapisan benih (*seed layer*) dan penumbuhan *ZnO rods*.

Selain alat yang digunakan di atas, karena mikrokantilever memiliki ukuran yang kecil sekitar ratusan mikrometer maka, tidak dapat secara mudah untuk melakukan deposisi lapisan benih (*seed layer*) ataupun melakukan penumbuhan *ZnO rods*. Pada gambar 3.2 merupakan alat yang digunakan untuk penjepit mikrokantilever agar memudahkan dalam melakukan proses deposisi lapisan benih (*seed layer*) dan penumbuhan *ZnO rods*. Sedangkan pada gambar 3.3. merupakan proses pemasangan mikrokantilever dengan menggunakan penjepit (pinset) ke alat penjepit mikrokantilever yang telah dibuat di gambar 3.2.



Gambar 3.2. Alat yang dibuat untuk penjepit mikrokantilever



Gambar 3.3. Pemasangan mikrokantilever ke alat penjepit mikrokantilever dengan pinset

Untuk mengetahui morfologi dan struktur permukaan, dilakukan karakterisasi dengan menggunakan *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FE-SEM), komposisi unsur kimia dengan *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS), struktur kristal dan fasa dikarakterisasi dengan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD), dan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk dikarakterisasi dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

3.4.2. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain mikrokantilever yang diproduksi dari negara Jepang, *zinc acetate dihydrate* ($\text{Zn}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2$) (Merck), *zinc nitrate tetrahydrate* ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (Merck), *hexamethylenetetramine* $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ (Merck), *Etylene Glycol Monomethyl* $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2$ (Merck) dan *Diethylamine* (Merck) yang langsung digunakan tanpa melalui proses pemurnian serta *aqua demineralisasi*. Gambar 3.4. merupakan bahan yang digunakan untuk proses pelapisan benih (*seed layer*) dan penumbuhan *ZnO rods*.



(a)



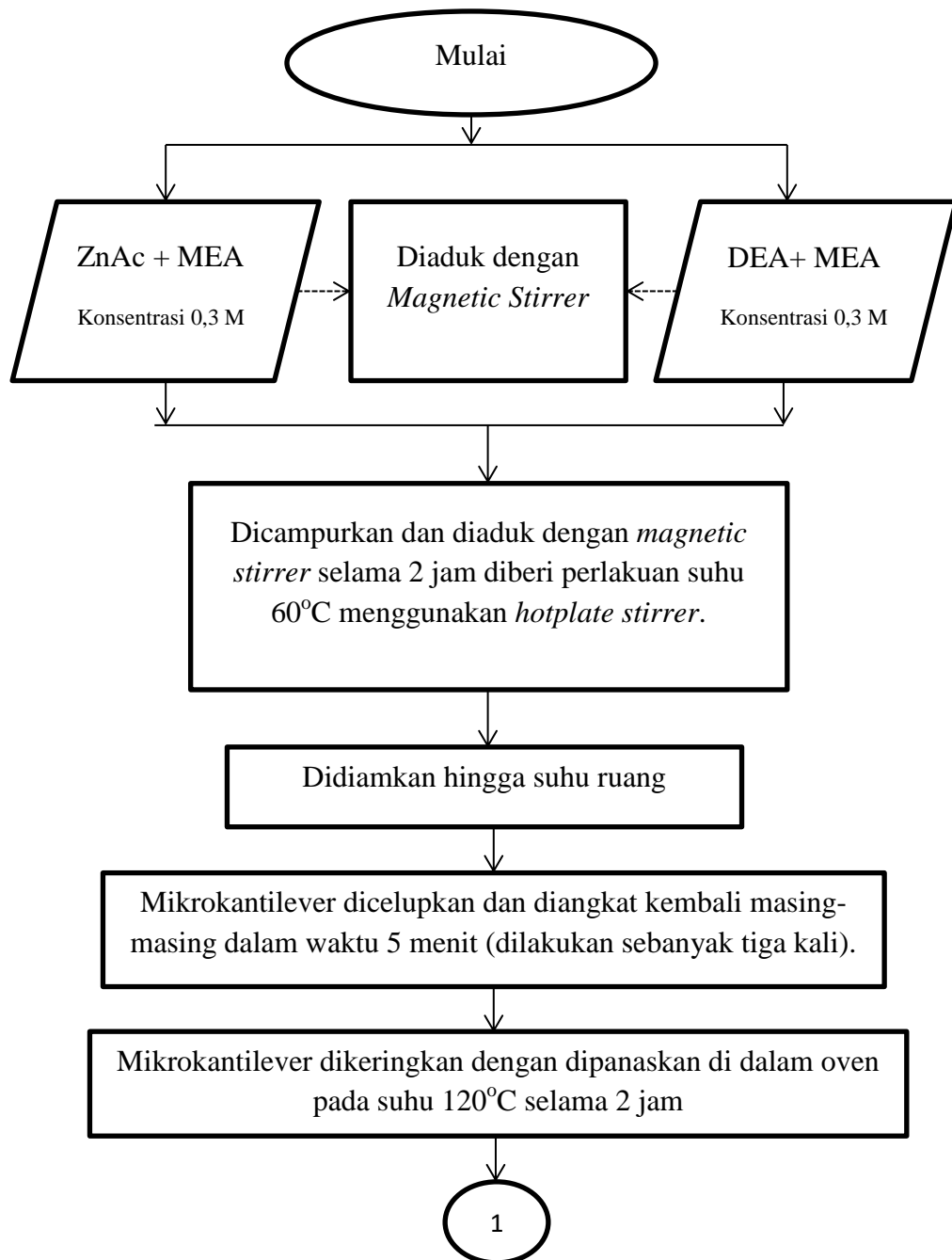
(b)

Gambar 3.4. Bahan yang digunakan untuk (a) proses lapisan benih (*seed layer*) (b) penumbuhan ZnO rods

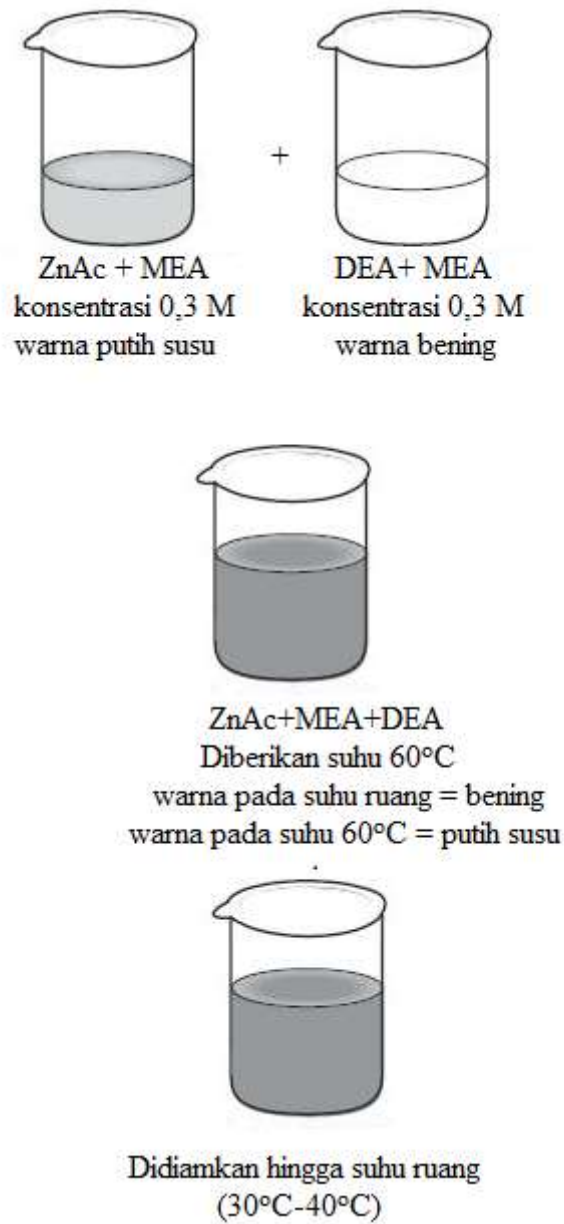
3.5. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Dalam penelitian ini sensor yang digunakan adalah sensor jenis mikrokantilever dengan metode optik. Untuk proses pelapisan benih (*seed layer*) menggunakan metode *dip-coating*. Sedangkan untuk pelapisan ZnO rods metode yang digunakan adalah metode hidrotermal.

3.5.1. Penumbuhan lapisan benih (*seed layer*) di atas permukaan mikrokanilever



Gambar 3.5. Bagan persiapan larutan lapisan benih (*seed layer*) dan pencelupan mikrokanilever dengan metode *dip-coating*

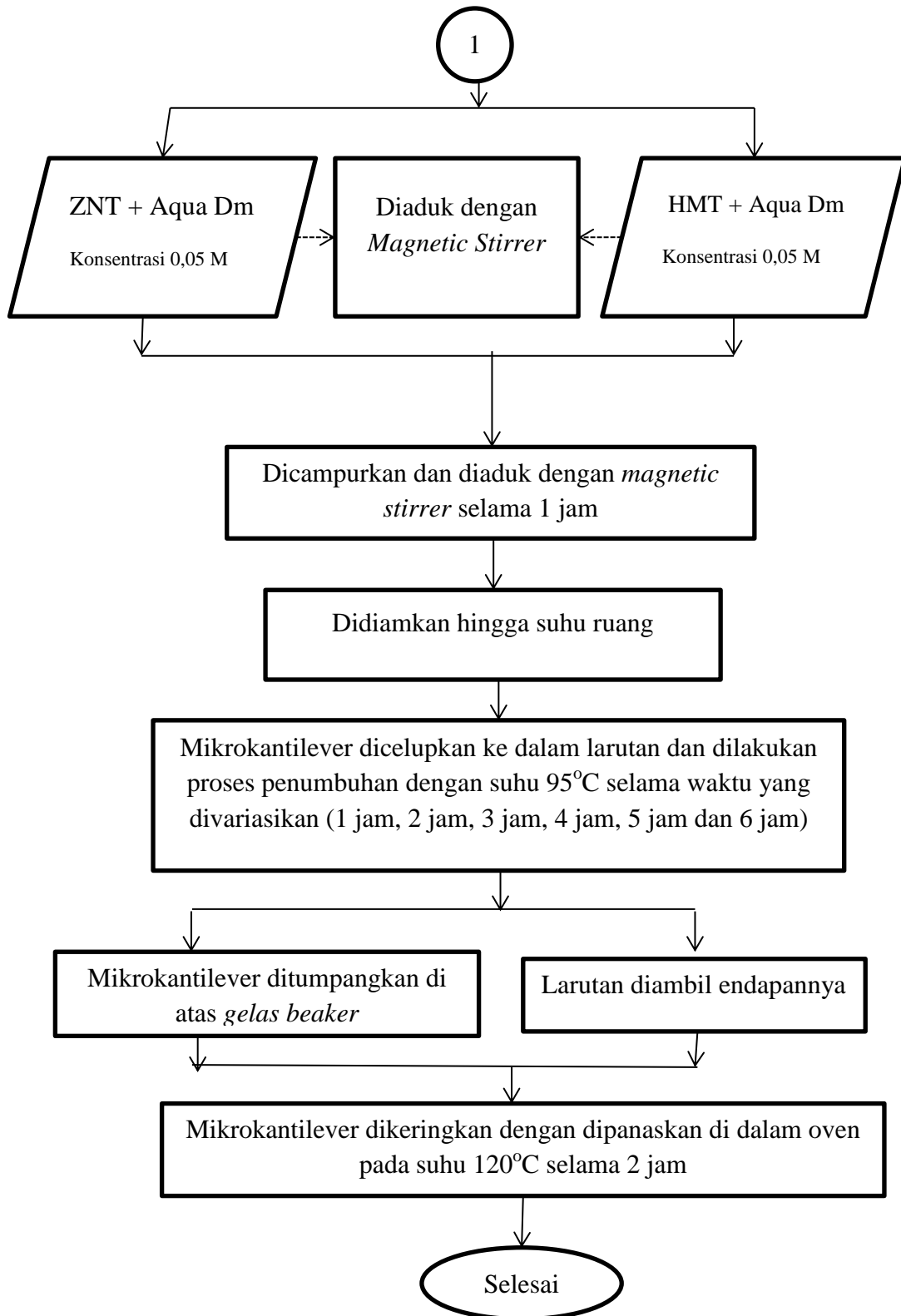


Gambar 3.6. Proses pembuatan larutan pelapisan benih (*seed layer*)

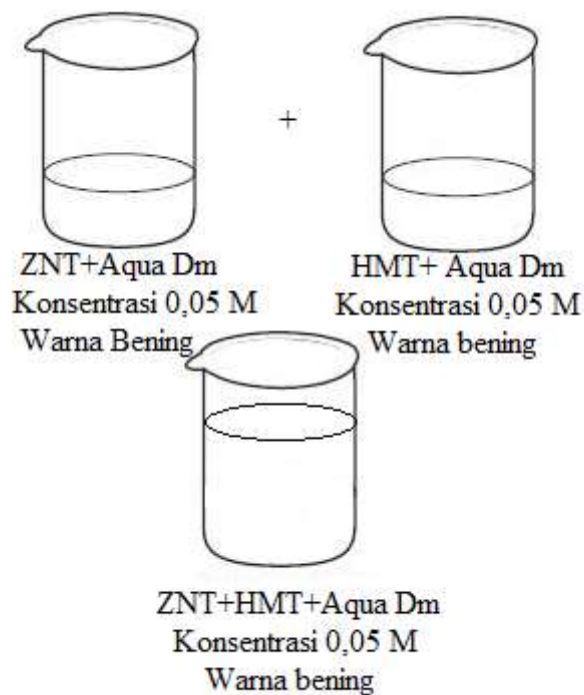
Gambar 3.5 dan 3.6 menunjukkan proses pembuatan larutan untuk proses pelapisan benih (*seed layer*). Larutan *seed layer* dibuat dengan membuat campuran DEA dan MEA dengan konsentrasi 0,3 M dan juga melarutkan ZnAc dan MEA dengan konsentrasi 0,3 M. Masing-masing kedua larutan tersebut diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 10 menit atau sampai larutan homogen. Proses selanjutnya yaitu kedua larutan dicampurkan dan

diaduk selama 2 jam dengan perlakuan panas menggunakan *hotplate stirrer* dengan suhu 60°C. Setelah keduanya di aduk, sebelum melakukan pencelupan mikrokantilever ke dalam kedua larutan tersebut, larutan dibiarkan agar suhu larutan tersebut menjadi suhu ruang (30-40°C). Setelah larutan pada suhu ruangan, dilakukan persiapan mikrokantilever yang akan dilakukan pelapisan benih (*seed layer*) ke dalam larutan tersebut. Proses pencelupan (*dip-coating*) dilakukan selama 3 kali pencelupan dengan selang waktu 5 menit setiap pencelupan dan pengangkatan mikrokantilever. Dalam proses pencelupan mikrokantilever ke dalam larutan ZnAc, MEA dan DEA mikrokantilever diamati dengan mikroskop digital. Setelah dilakukan pencelupan mikrokantilever, mikrokantilever tersebut dimasukkan ke dalam oven untuk proses *drying* selama 2 jam dengan suhu 120°C. Setelah dilakukan proses *drying*, dilakukan proses penurunan suhu mikrokantilever sampai suhu ruang (30-40°C).

3.5.2. Penumbuhan ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever



Gambar 3.7. Bagan proses penumbuhan ZnO rods pada mikrokantilever



Gambar 3.8. Proses pembuatan larutan penumbuhan ZnO rods

Gambar 3.7 dan 3.8 menunjukkan diagram penumbuhan ZnO rods di permukaan mikrokantilever dilakukan dengan cara menyiapkan ZNT, HMT dan pelarut Aqua Dm dengan konsentrasi 0,05 M. Dicampurkan antara ZNT dan Aqua DM serta HMT dan Aqua DM. Kedua larutan tersebut masing-masing diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 10 menit atau sampai larutan homogen. Setelah larutan homogen, kedua larutan dicampurkan dan diberikan perlakuan suhu, diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Setelah pemberian perlakuan suhu, menunggu larutan hingga suhu ruang. Penurunan suhu larutan yang diberikan karena mikrokantilever tidak dapat secara langsung dimasukkan ke dalam suhu yang tinggi. Mikrokantilever dicelupkan ke dalam larutan dengan suhu ruang dan mikrokantilever tersebut dimasukkan ke dalam oven untuk proses penumbuhan ZnO rods selama waktu yang telah divariasikan yaitu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam. Saat memasukkan mikrokantilever ke dalam larutan, menutup

mikrokantilever yang telah ditumpangkan di atas *gelas beaker* menggunakan *aluminium foil*. Setelah memberikan perlakuan suhu selama variasi waktu yang ditentukan dan pencelupan yang dilakukan. Memisahkan antara larutan dengan mikrokantilever. Mikrokantilever ditumpangkan pada gelas beaker sedangkan larutan dibuang cairannya dan disisakan endapan putih yang ada dalam larutan tersebut. Setelah pemisahan keduanya, dilakukan *drying* mikrokantilever dan endapan serbuk dengan suhu 120°C selama 1 jam. Jika dalam waktu 1 jam yang diberikan tersebut endapan belum membentuk serbuk, maka dilakukan proses *drying* lagi hingga endapan menjadi serbuk.

3.6.Karakterisasi Material

3.6.1. Pengujian Morfologi dengan *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FE-SEM)

Untuk mengetahui morfologi dari ZnO *rods* dilakukan dengan menggunakan instrumen *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FE-SEM) JIB-4610F di LIPI Fisika. Dari gambar FE-SEM yang dihasilkan, dilakukan pengukuran secara manual untuk mengetahui diameter rata-rata ZnO *rods* yang dihasilkan.



Gambar 3.9. *Field Emission Scanning Electron Microscopy* (FE-SEM) untuk mengetahui morfologi ZnO *rods*

3.6.2. Pengujian komposisi dengan *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS)

Pengujian komposisi penumbuhan ZnO rods dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan instrumen Oxford tipe X-max 50 yang terdapat di LIPI Fisika.



Gambar 3.10. *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS) untuk mengetahui komposisi ZnO rods

Pengujian EDS dilakukan langsung di atas permukaan mikrokantilever untuk variasi waktu penumbuhan 2 jam, 4 jam dan 6 jam. Sedangkan untuk 1 jam, 3 jam dan 5 jam dilakukan pengujian dengan endapan serbuk yang didapatkan dari proses penumbuhan ZnO rods.



(a)

(b)

Gambar 3.11. Sistem pengujian EDS (a) 1 jam, 3 jam dan 5 jam (b) 2 jam, 4 jam dan 6 jam

3.6.3. Pengujian struktur kristal dengan *X-Ray Diffraction*

Pengujian struktur kristal dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan instrumen Rigaku Tipe : Smartlab 3 kW. Data hasil pengukuran kemudian diolah dan dianalisis dengan bantuan software HighScore Plus dan GSAS.



Gambar 3.12. *X-Ray Diffractometer* untuk mengetahui struktur kristal penumbuhan ZnO rods

3.6.4. Pengujian ikatan logam dengan FTIR

Untuk mengetahui ikatan logam yang terbentuk dari penumbuhan ZnO rods diatas mikrokantilever, dilakukan uji karakterisasi *Fourier Transform Infrared (FTIR)* type IS50-FTIR.

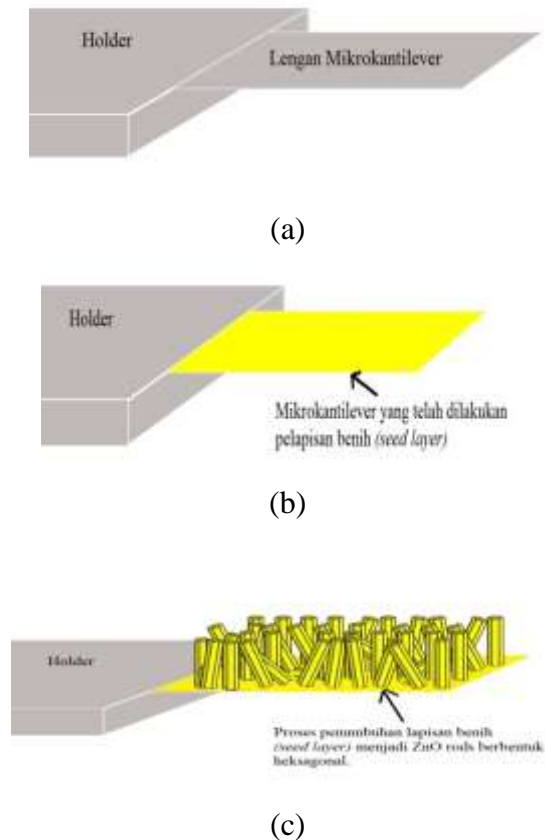


Gambar 3.13. *Fourier Transform Infrared (FTIR)* untuk mengetahui ikatan logam ZnO rods

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa proses penumbuhan ZnO rods

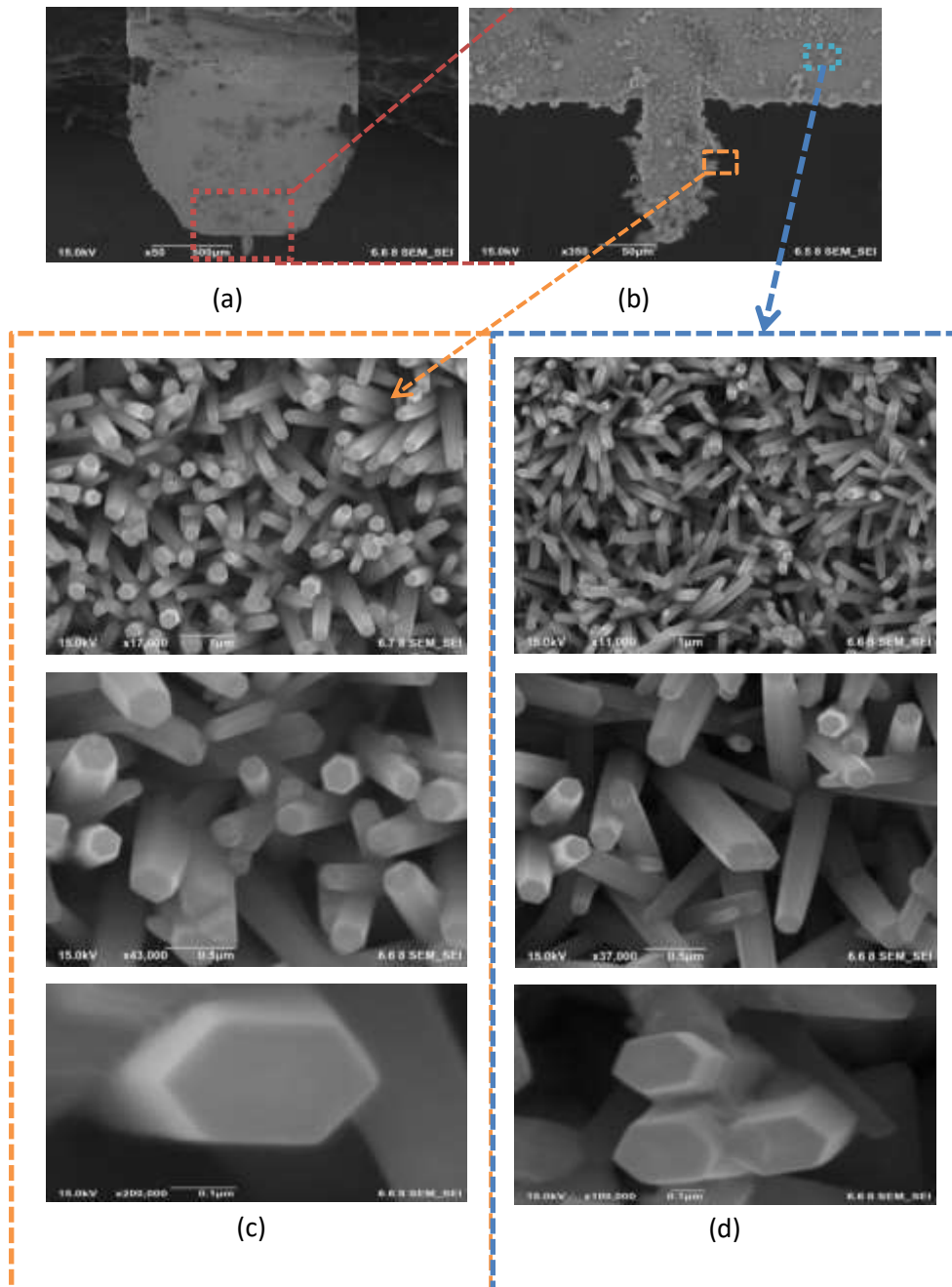


Gambar 4.1. Proses penumbuhan ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever

Penumbuhan ZnO rods pada permukaan mikrokantilever dilakukan dengan dua tahap. Tahap pertama yaitu melakukan *seed layer* (pelapisan benih) dengan menggunakan bahan dasar ZnAc, DEA dan MEA konsentrasi 0,3 M. Tahap Mikrokantilever pada tahap pertama yang telah terlapisi lapisan benih selanjutnya dilakukan penumbuhan ZnO rods dengan menggunakan bahan dasar ZNT, HMT dan Aqua Dm konsentrasi 0,05 M. Penumbuhan ZnO rods dilakukan dengan metode hidrotermal dengan suhu penumbuhan ZnO rods yaitu 95°C dengan waktu penumbuhan yang divariasikan. Untuk ilustrasi proses dapat dilihat pada gambar 4.1.

4.2. Sebaran ukuran diameter ZnO rods

4.2.1. Analisa sebaran ukuran diameter penumbuhan ZnO rods



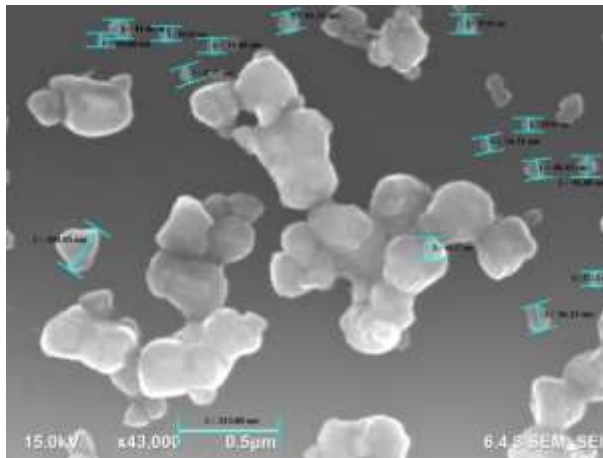
Gambar 4.2. Gambar FE-SEM (a) Mikrokantilever perbesaran 50 x (b) Mikrokantilever perbesaran 350x (c) Sample ZnO rods yang tumbuh di atas permukaan mikrokantilever (d) Sample ZnO rods yang tumbuh di atas holder mikrokantilever

ZnO *rods* ditumbuhkan di atas permukaan mikrokantilever dengan metode hidrotermal pada suhu 95°C. Pada proses *dip-coating* maupun penumbuhan, selain dipermukaan mikrokantilever ZnO juga tumbuh di atas holder mikrokantilever. Gambar 4.2 menunjukkan gambar FE-SEM pada permukaan sampel yang diproses dengan waktu penumbuhan 5 jam. Dapat dilihat dari gambar 4.2(a) dan (b), bahwa terlihat ZnO tumbuh di atas permukaan mikrokantilever maupun di atas holder mikrokantilever.

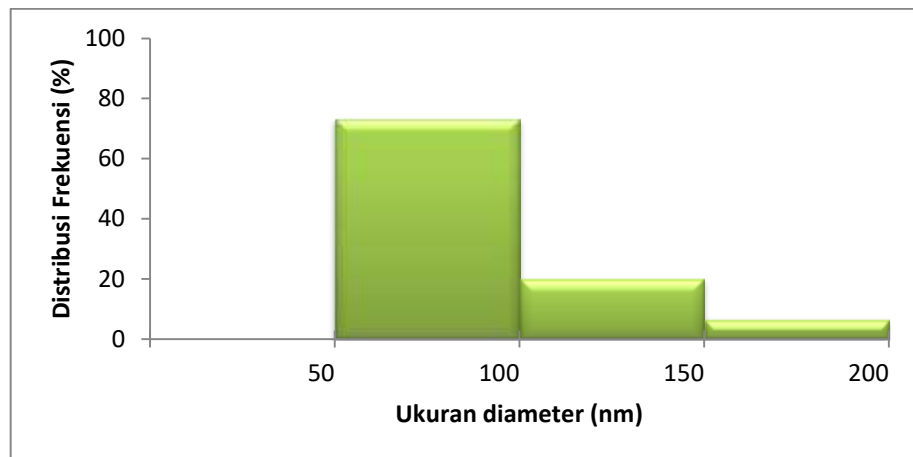
Gambar 4.2 (c) merupakan contoh salah satu sample ZnO *rods* yang berhasil ditumbuhkan di atas permukaan mikrokantilever. Dengan berbagai perbesaran dapat dilihat bahwa bentuk dari ZnO yang ditumbuhkan di atas permukaan mikrokantilever adalah batang heksagonal. Sedangkan pada gambar 4.2(d) merupakan ZnO yang juga tumbuh di atas holder mikrokantilever secara keseluruhan, ZnO *rods* yang tumbuh di atas holder mikrokantilever memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan ZnO *rods* yang tumbuh di atas permukaan mikrokantilever. Hal tersebut mungkin dikarenakan ukuran luas bidang holder lebih besar dibandingkan luas permukaan mikrokantilever itu sendiri yang menyebabkan tegangan permukaan pada mikrokantilever lebih besar dibandingkan pada holder.

4.2.2. Analisa sebaran ukuran diameter ZnO *rods* pada waktu penumbuhan 1 jam.

Gambar 4.3(a) menunjukkan hasil FE-SEM dari sample penumbuhan ZnO *rods* di atas mikrokantilever dengan variasi waktu 1 jam pada temperatur 95°C. Pada gambar perbesaran 43.000 kali dengan skala 0,5 mikrometer, terlihat bahwa terdapat butir yang tumbuh warna cerah di atas permukaan mikrokantilever yang diyakini adalah ZnO. ZnO yang terbentuk belum membentuk struktur heksagonal melainkan masih berbentuk butiran. ZnO yang tumbuh juga belum merata keseluruhan di atas permukaan mikrokantilever.



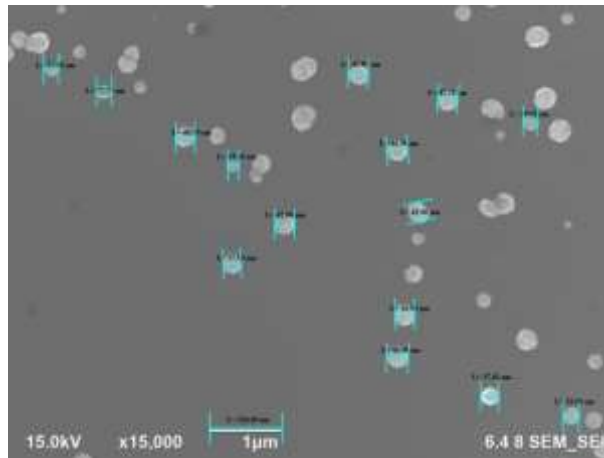
(a)



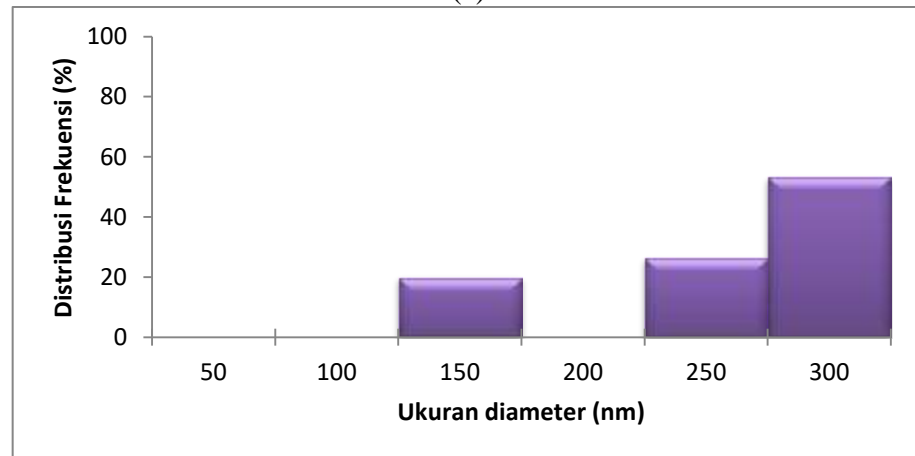
(b)

Gambar 4.3. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 1 jam

Dapat dilihat dari grafik pada gambar 4.3 bahwa sebaran yang memiliki frekuensi terbanyak yaitu pada rentang 50-100 nm. Morfologi yang terbentuk belum membentuk batang heksagonal maka belum dapat dikatakan bahwa pada waktu penumbuhan 1 jam sudah terbentuk ZnO nanorods.



(a)



(b)

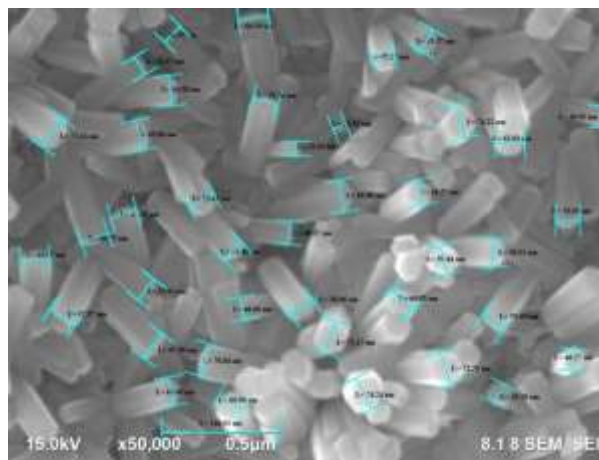
Gambar 4.4. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di holder mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 1 jam

Gambar 4.4 merupakan sampel ZnO rods yang tumbuh di atas permukaan holder mikrokantilever dengan variasi waktu penumbuhan 1 jam. sebaran yang memiliki frekuensi terbanyak yaitu pada rentang 250-300 nm. Tetapi pada sample yang terbentuk adalah butiran dan belum membentuk heksagonal.

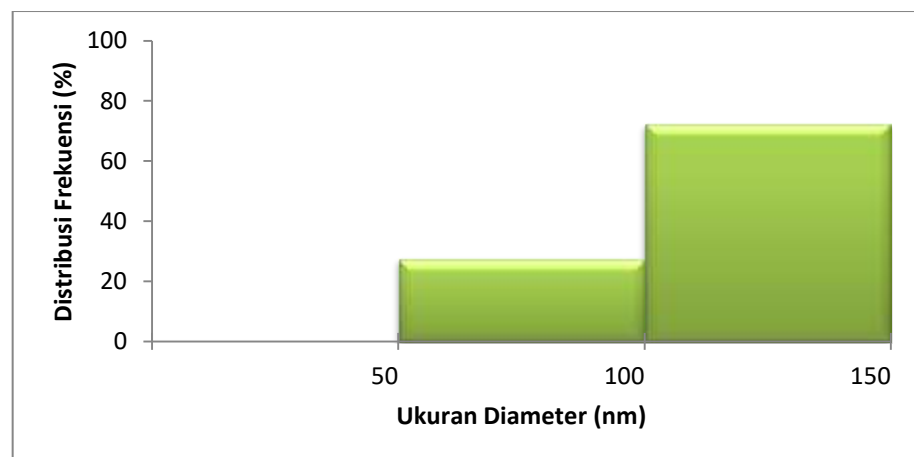
4.2.3. Analisa sebaran ukuran diameter ZnO rods pada waktu penumbuhan 2 jam.

Gambar 4.5 menunjukkan hasil FE-SEM dari sampel ZnO dengan variasi waktu penumbuhan 2 jam pada temperatur 95°C. Pada gambar dengan perbesaran 50.000 kali dengan skala 0,5 mikrometer, terlihat

batang-batang dengan bentuk heksagonal tumbuh di atas permukaan mikrokantilever, yang merupakan struktur ZnO. Batang ZnO (*ZnO rods*) tumbuh merata di atas permukaan mikrokantilever, tetapi arah batang ZnO belum merata mengarah ke atas melainkan masih mengarah ke beberapa arah dengan sudut tertentu. Sebaran ukuran diameter penumbuhan ZnO *rods* yang tumbuh di atas mikrokantilever dapat dilihat pada gambar 4.5 (b) dan ukuran 100-150 nm memiliki frekuensi terbanyak.

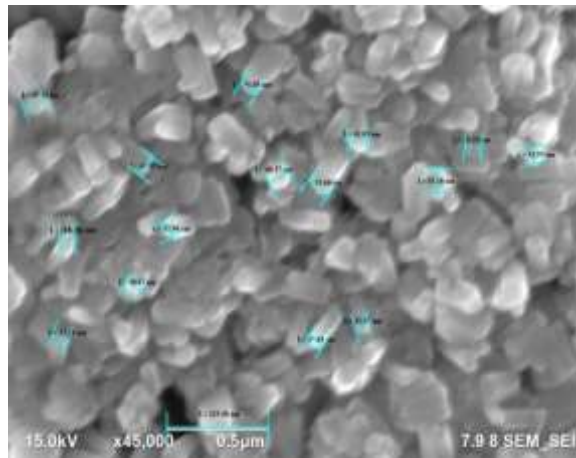


(a)

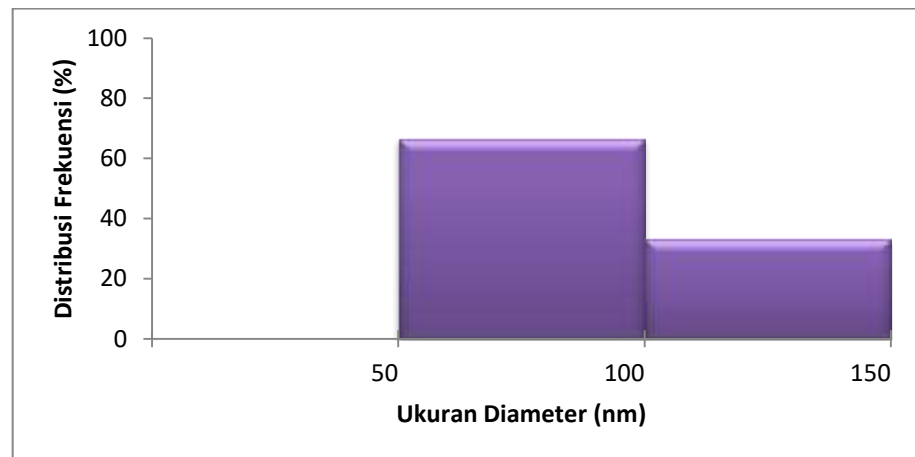


(b)

Gambar 4.5. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO *rods* di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 2 jam



(a)



(b)

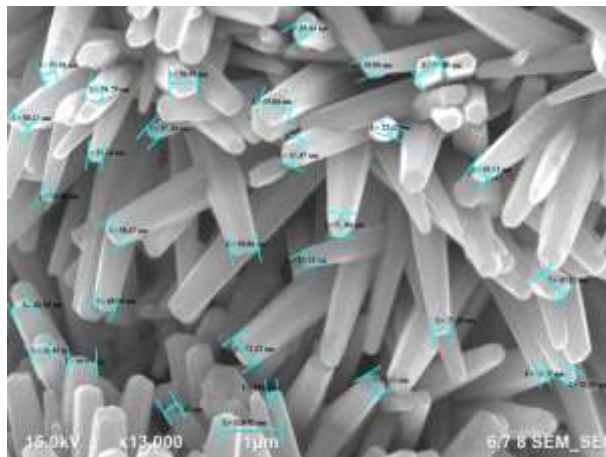
Gambar 4.6. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas holder mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 2 jam

Gambar 4.6 merupakan gambar uji karakterisasi FE-SEM dan grafik sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas permukaan holder mikrokantilever. Pada gambar grafik 4.6 (a) terlihat bahwa bentuk heksagonal belum terlihat jelas dan juga belum memiliki arah yang sama. Sedangkan pada gambar 4.6 (b) merupakan gambar grafik sebaran ukuran diameter yang tumbuh di atas permukaan holder mikrokantilever. Range yang memiliki frekuensi terbanyak yaitu 50-100 nm. Range pada sebaran ukuran diameter batang ZnO yang tumbuh di atas permukaan holder mikrokantilever memiliki ukuran yang

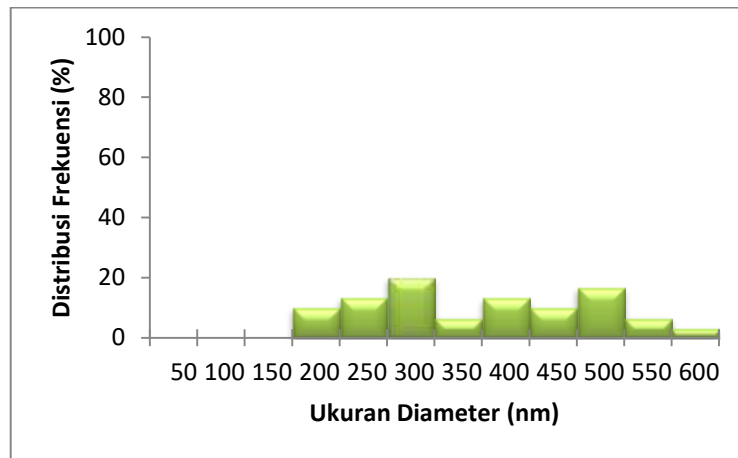
lebih kecil dibandingkan batang ZnO yang tumbuh di atas permukaan mikrokantilever.

4.2.4. Analisa sebaran ukuran diameter ZnO rods pada waktu penumbuhan 3 jam.

Gambar 4.7 menunjukkan hasil gambar FE-SEM dari sampel ZnO pada variasi waktu penumbuhan 3 jam dengan temperatur waktu penumbuhan 95°C. Pada gambar dengan perbesaran 13.000 kali dengan skala satu mikrometer, terlihat bahwa batang-batang ZnO yang tumbuh memiliki bentuk heksagonal. Batang ZnO (ZnO rods) tumbuh merata di atas permukaan mikrokantilever. Arah ZnO rods yang terbentuk juga tidak semua rata menghadap ke atas melainkan masih banyak yang mengarah ke samping.



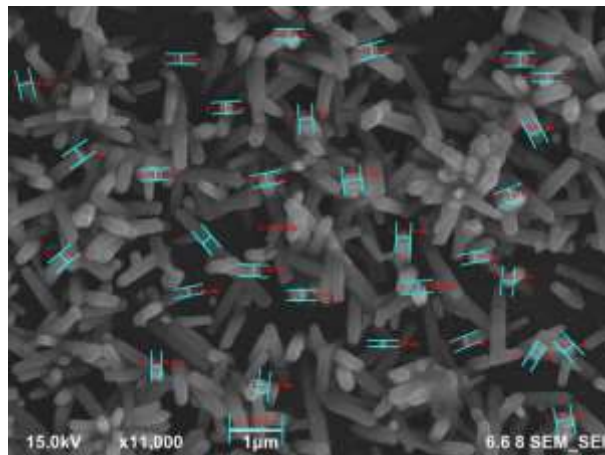
(a)



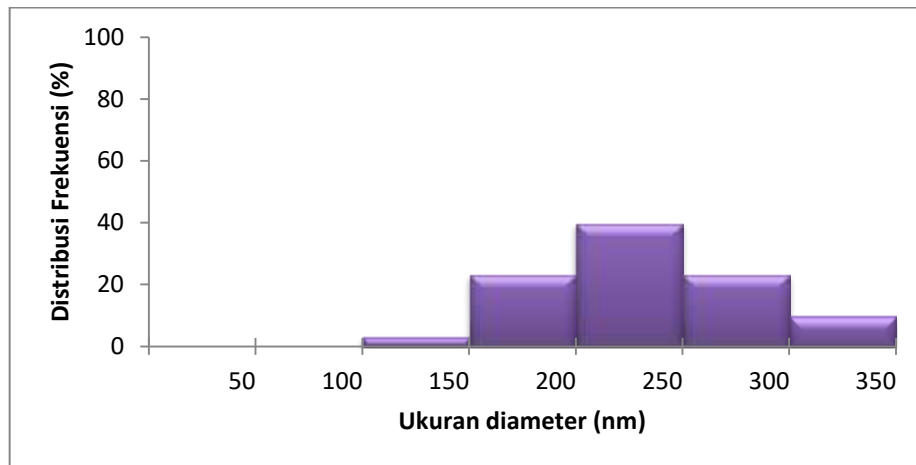
(b)

Gambar 4.7. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 3 jam

Sebaran ukuran diameter penumbuhan ZnO rods yang tumbuh di atas permukaan mikrokantilever dapat dilihat pada gambar 4.7(b) dengan sebaran ukuran diameter ZnO rods-nya. Range ukuran diameter ZnO rods yang paling dominan atau memiliki frekuensi paling banyak adalah pada range antara 250-300 nm.



(a)



(b)

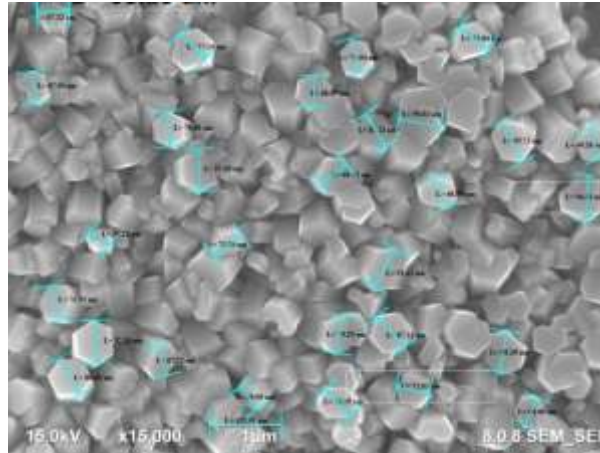
Gambar 4.8. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas holder mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 3 jam

ZnO rods tidak hanya tumbuh di atas permukaan mikrokantilever melainkan juga tumbuh di atas holder mikrokantilever dikarenakan pada proses *dip-coating* maupun penumbuhan ZnO rods holder mikrokantilever juga terkena larutan yang digunakan sebagai proses tersebut. Gambar 4.8(a) terlihat bahwa ZnO rods tumbuh di atas holder mikrokantilever dengan sebaran ukuran diameter tertinggi yaitu 200-250 nm.

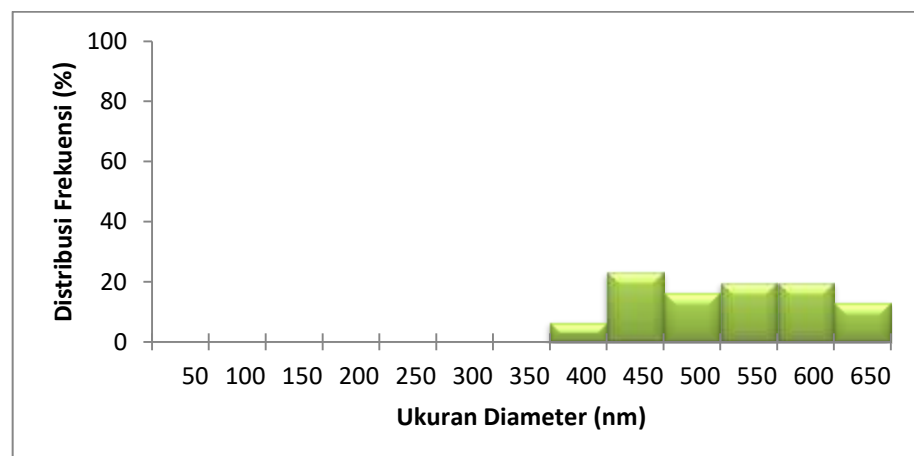
4.2.5. Analisa sebaran ukuran diameter ZnO rods pada waktu penumbuhan 4 jam.

Gambar 4.9 menunjukkan hasil gambar FE-SEM dari sampel ZnO pada variasi waktu penumbuhan 4 jam dengan temperatur penumbuhan 95°C. Pada gambar dengan perbesaran 15.000 kali dengan skala satu mikrometer, terlihat bahwa batang-batang ZnO dengan bentuk heksagonal yang tumbuh di atas permukaan mikrokantilever. Batang ZnO (ZnO rods) tumbuh merata di atas permukaan mikrokantilever. Hampir seluruh ZnO rods yang terbentuk mengarah ke atas, tetapi bentuk ZnO rods yang terbentuk tidak semua utuh berbentuk heksagonal. Banyak ZnO rods yang

tumbuh bertubrukan dengan ZnO *rods* yang lain, sehingga menyebabkan bentuk ZnO *rods* tidak sempurna berbentuk heksagonal.



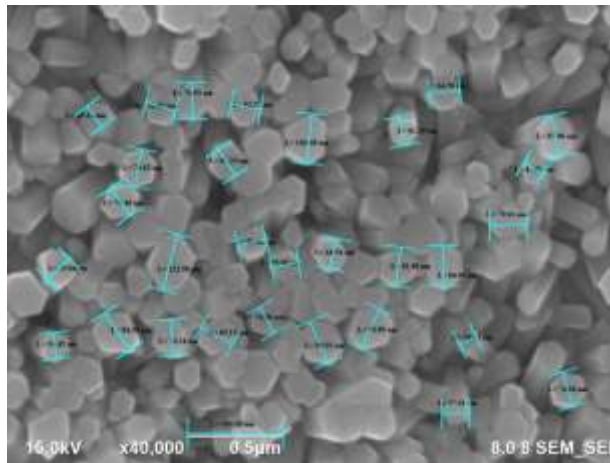
(a)



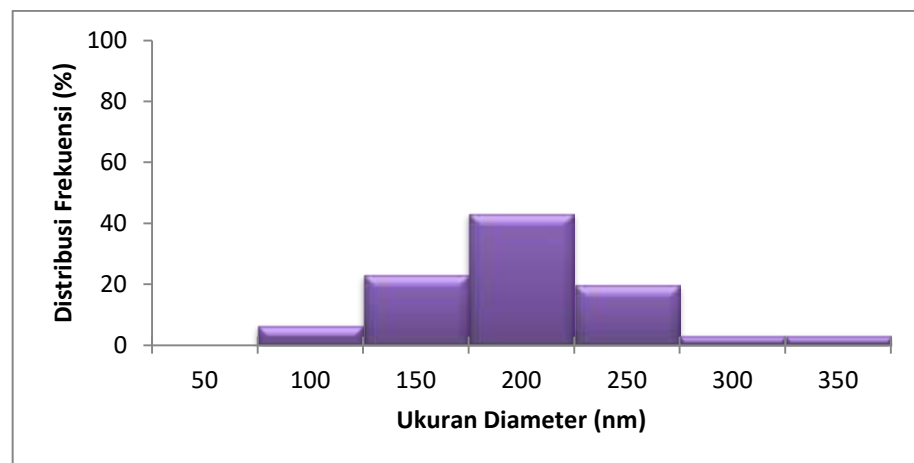
(b)

Gambar 4.9. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO *rods* di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 4 jam

Gambar 4.9 (b) menunjukkan grafik sebaran ukuran diameter penumbuhan ZnO *rods* di atas permukaan mikrokantilever dengan variasi waktu penumbuhan 4 jam. Distribusi frekuensi terbanyak yaitu pada ukuran diameter 400-450 nm.



(a)

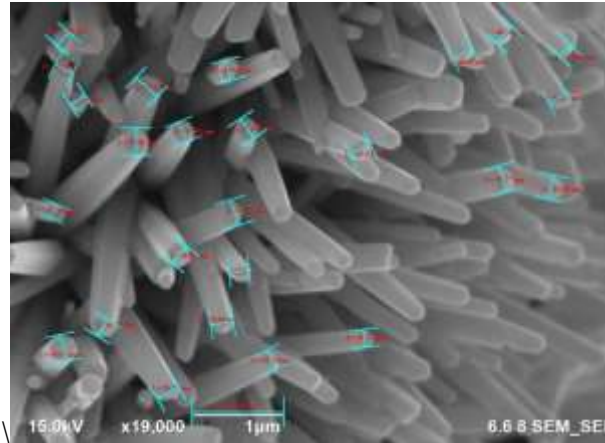


(b)

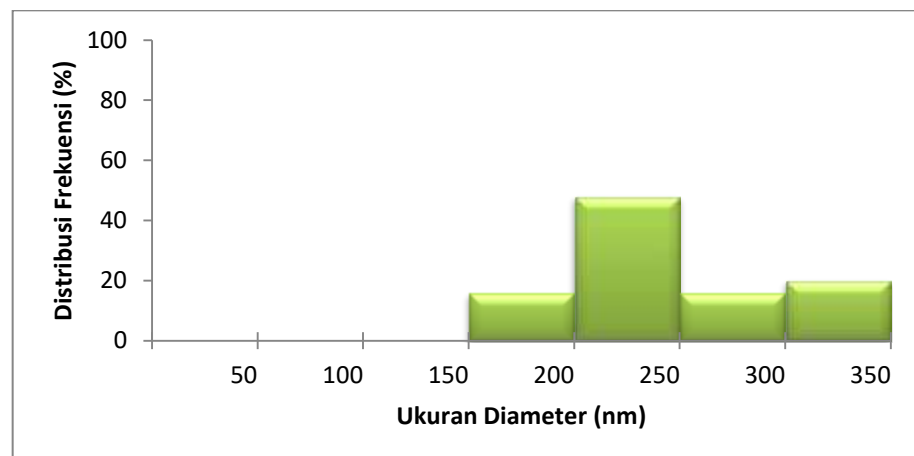
Gambar 4.10. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas holder mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 4 jam

Gambar 4.10 (a) merupakan hasil gambar uji karakterisasi FE-SEM penumbuhan ZnO rods di atas holder mikrokantilever dengan variasi waktu penumbuhan 4 jam. Didapatkan batang ZnO dengan bentuk heksagonal dengan arah merata ke atas. Sedangkan pada gambar 4.10(b) merupakan grafik sebaran ukuran diameter penumbuhan ZnO rods yang tumbuh di atas holder mikrokantilever frekuensi terbesar pada range ukuran 150-200 nm. Ukuran tersebut lebih kecil dibandingkan ZnO rods yang tumbuh di atas mikrokantilever pada variasi waktu yang sama.

4.2.6. Analisa sebaran ukuran diameter ZnO rods pada waktu penumbuhan 5 jam.



(a)

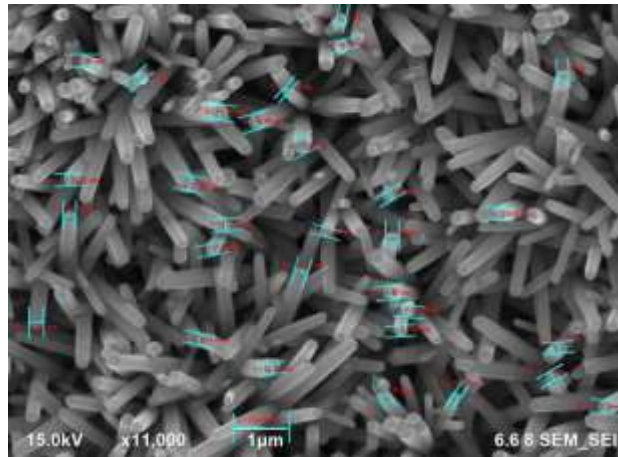


(b)

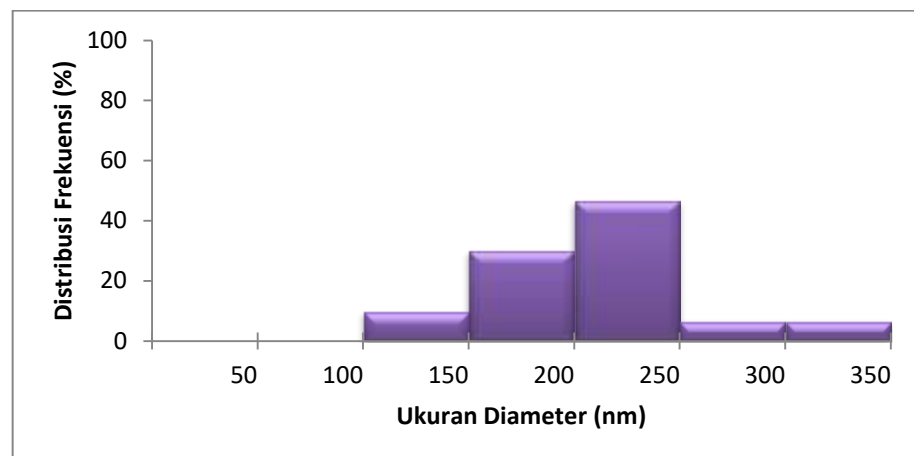
Gambar 4.11. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 5 jam

Gambar 4.11 (a) menunjukkan gambar penumbuhan ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever yang didapatkan dari hasil uji karakterisasi FE-SEM. Dari hasil uji karakterisasi tersebut, dapat dilihat bentuk morfologi ZnO yang terbentuk yaitu heksagonal. Banyak batang ZnO yang tumbuh mengarah ke samping. Sedangkan pada gambar 4.11 (b) didapatkan grafik sebaran

ukuran diameter yang didapatkan dari gambar FE-SEM tersebut, dan frekuensi terbanyak adalah pada range ukuran sebaran 200-250 nm.



(a)



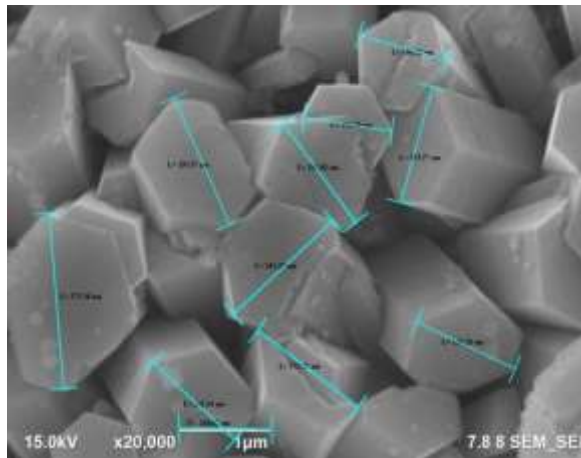
(b)

Gambar 4.12. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di holder permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 5 jam

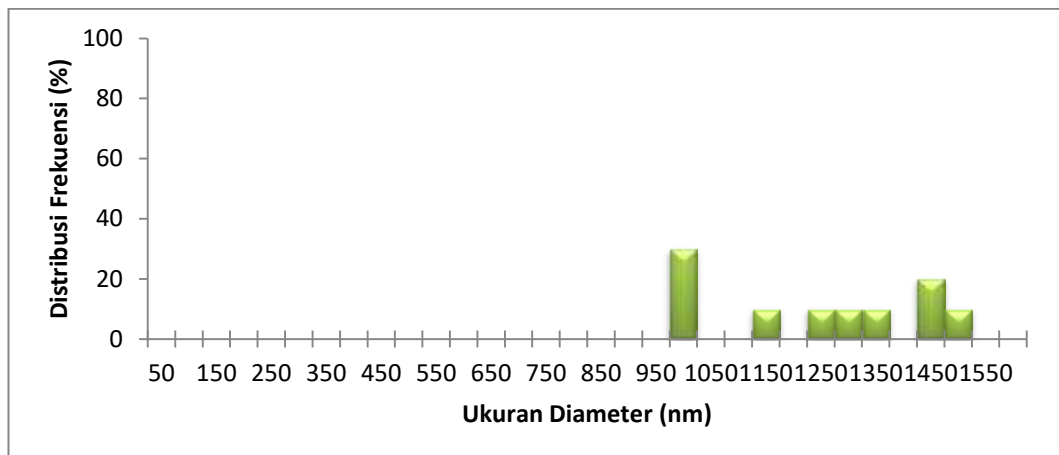
Sedangkan pada gambar 4.12(a) merupakan gambar FE-SEM penumbuhan ZnO rods di atas permukaan holder mikrokantilever. Dari hasil grafik sebaran gambar 4.12(b) didapatkan frekuensi sebaran terbanyak pada penumbuhan ZnO rods di atas holder variasi waktu ini yaitu pada ukuran 200-250 nm.

4.2.7. Analisa sebaran ukuran diameter ZnO rods pada waktu penumbuhan 6 jam.

Gambar 4.13 menunjukkan hasil gambar FE-SEM dari sample ZnO dengan variasi waktu penumbuhan 6 jam yang ditumbuhkan dengan temperatur 95°C. Pada gambar dengan perbesaran 20.000 kali dengan skala 1 mikrometer, terlihat bahwa dengan jelas batang-batang ZnO dengan bentuk heksagonal yang tumbuh di atas permukaan mikrokantilever. Batang ZnO (*ZnO rods*) tumbuh merata di atas permukaan mikrokantilever. Hampir seluruh *ZnO rods* yang terbentuk mengarah ke atas, tetapi bentuk *ZnO rods* yang terbentuk tidak semua masih utuh berbentuk heksagonal. Banyak *ZnO rods* yang tumbuh bertubrukan dengan *ZnO rods* yang lain, sehingga menyebabkan bentuk *ZnO rods* tidak sempurna berbentuk heksagonal.



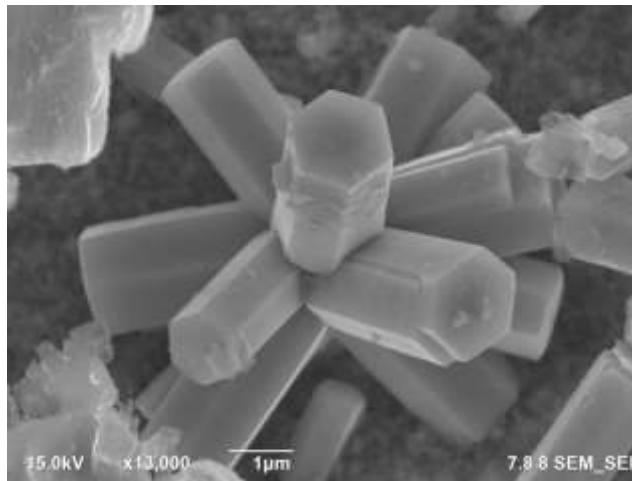
(a)



(b)

Gambar 4.13. (a) Gambar FE-SEM dan (b) grafik sampel sebaran ukuran diameter ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever pada variasi waktu penumbuhan 6 jam

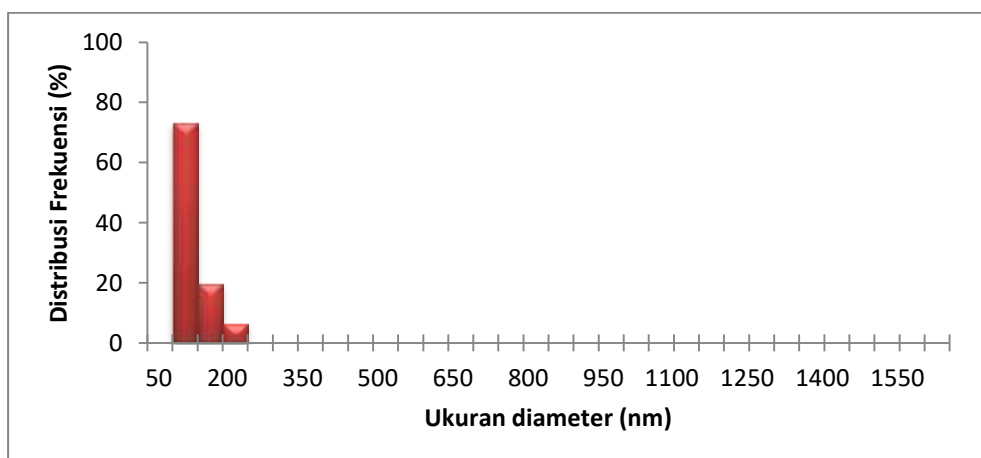
Terlihat pada gambar 4.13(b) bahwa sebaran ukuran ZnO yang terbentuk di atas permukaan mikrokantilever yang memiliki frekuensi terbanyak yaitu di range ukuran 950-1000 nm.



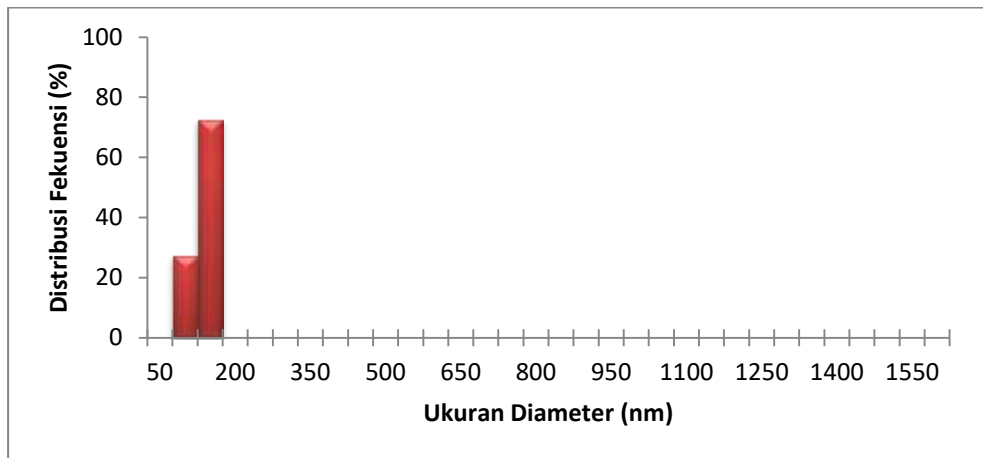
Gambar 4.15. Gambar FE-SEM menyerupai bentuk flower (bunga) di salah satu permukaan penumbuhan ZnO holder mikrokantilever

Tidak hanya ditemukan bentuk batang ZnO yang mengarah ke atas saja pada permukaan holder dengan variasi waktu penumbuhan 6 jam ini. Tetapi saat dilakukan uji karakterisasi FE-SEM didapatkan juga batang ZnO yang mengarah ke berbagai arah dengan bentuk menyerupai *flower* (bunga) yang dapat ditunjukkan pada gambar 4.15.

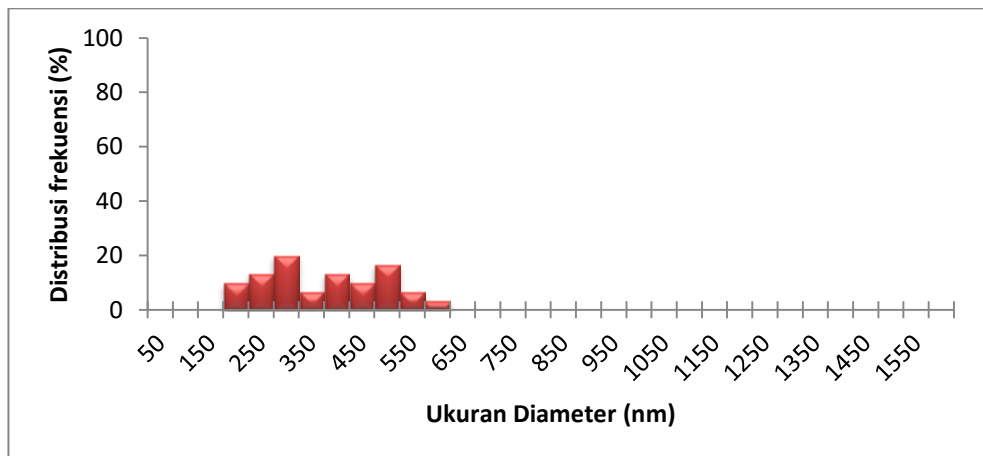
4.2.8. Analisa sebaran ukuran diameter terhadap distribusi frekuensi variasi waktu penumbuhan ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever satu sampai enam jam



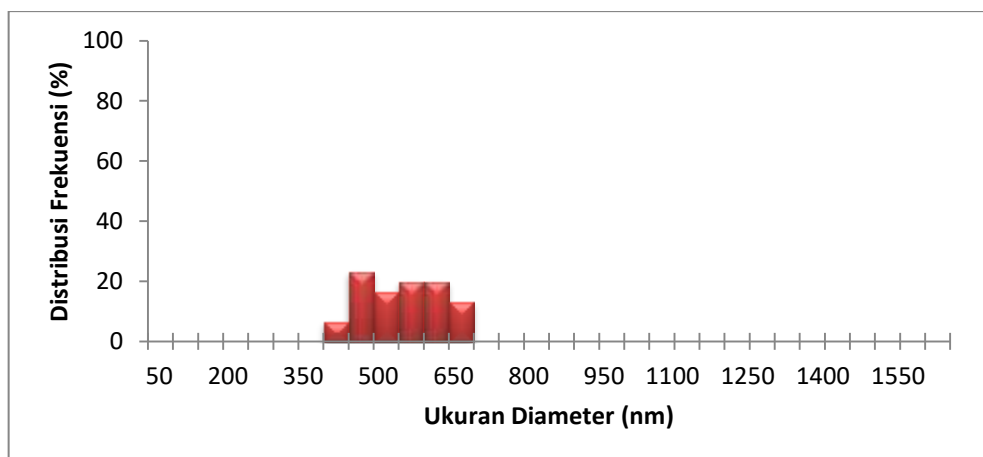
(a)



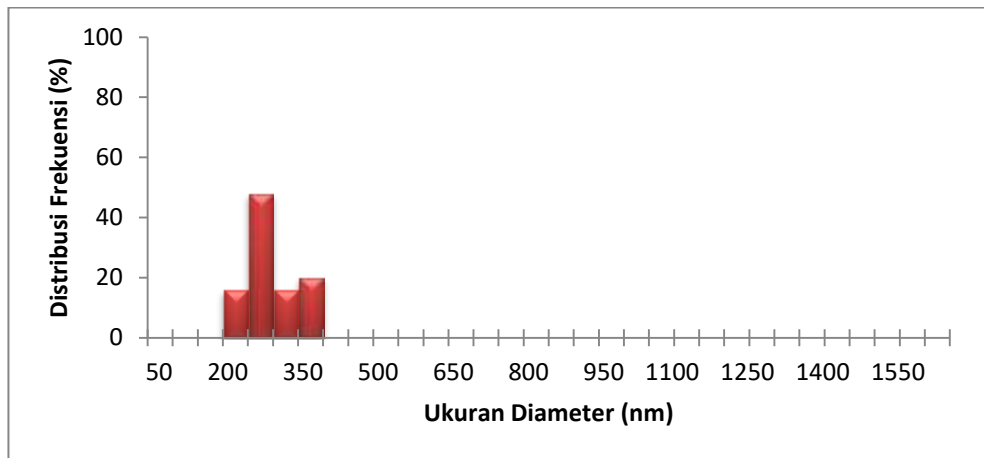
(b)



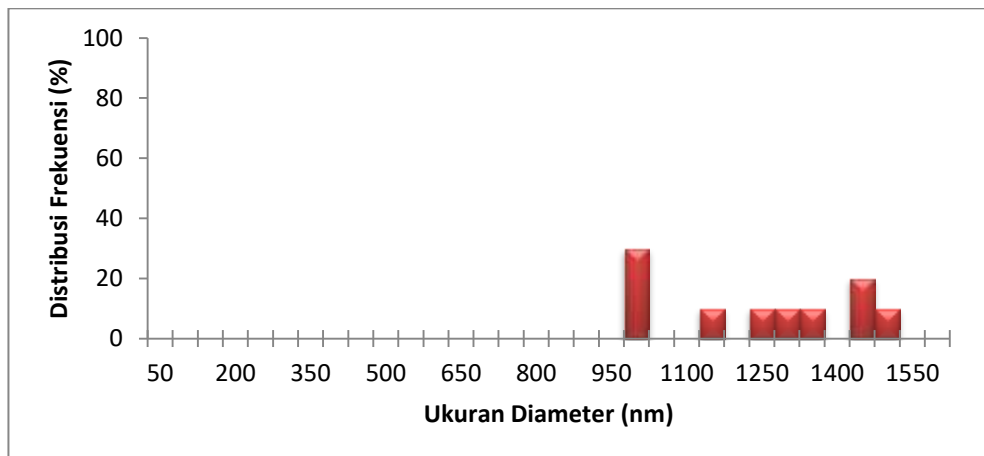
(c)



(d)



(e)

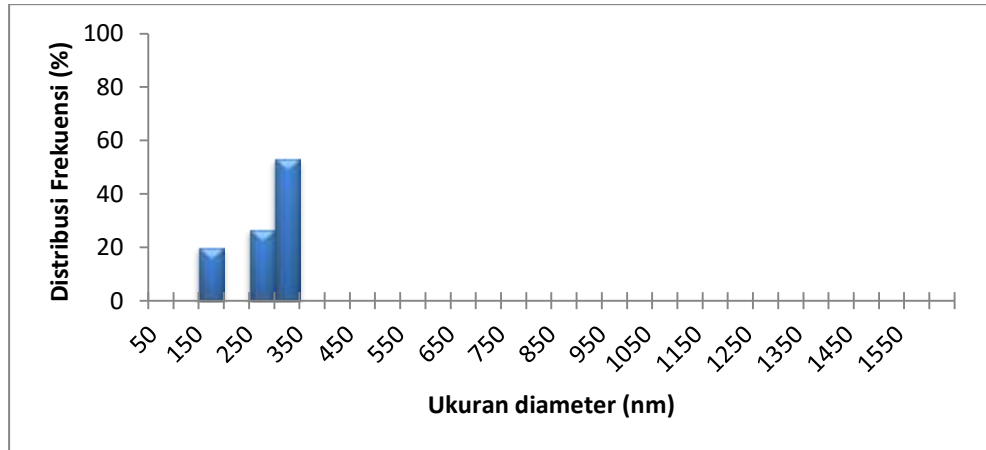


(f)

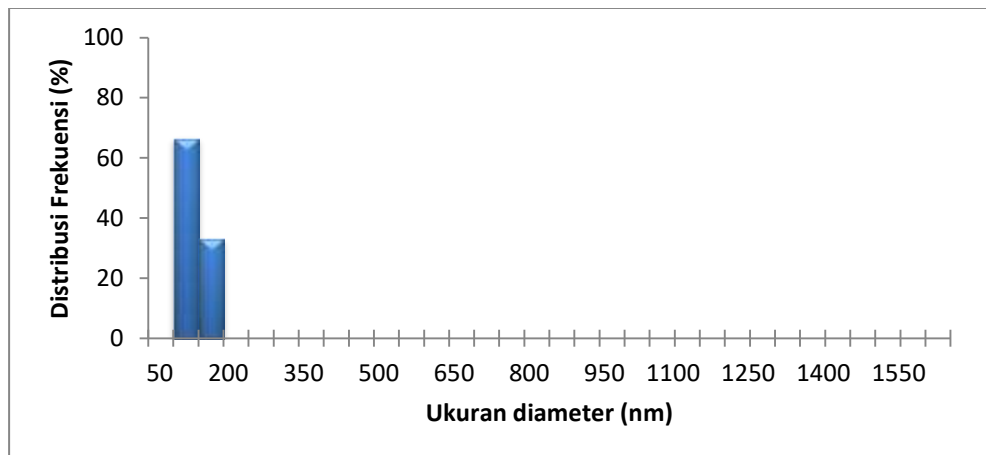
Gambar 4.16. Grafik pengaruh waktu penumbuhan terhadap sebaran ukuran diameter ZnO rods (a) 1 jam, (b) 2 jam, (c) 3 jam, (d) 4 jam, (e) 5 jam, dan (f) 6 jam

Dari gambar 4.16 (a) sampai (f) dapat dilihat penumbuhan ZnO rods dalam variasi waktu penumbuhan 1 sampai 6 jam terjadi pergeseran sebaran ukuran diameter maksudnya diameter ZnO rods semakin membesar seiring dengan bertambahnya waktu penumbuhan. Pada waktu penumbuhan ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever 4 jam dan 5 jam didapatkan tidak banyak terdapat perubahan pada grafik.

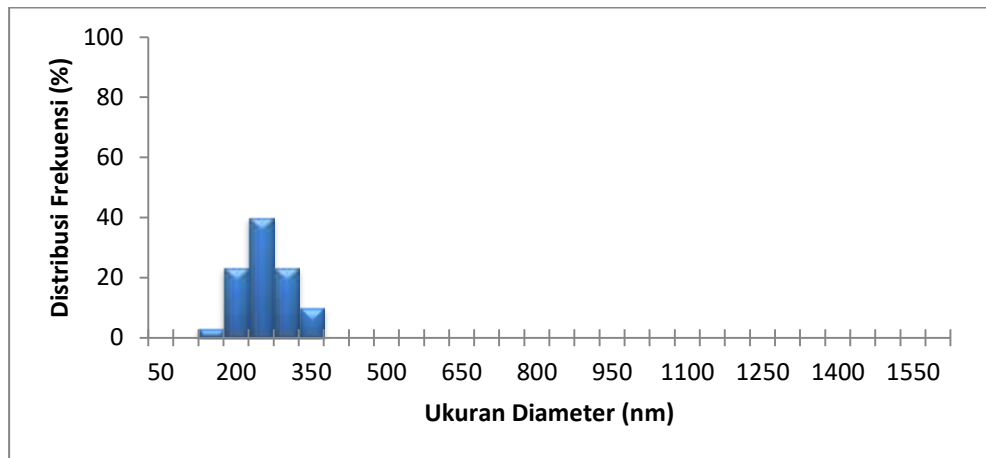
4.2.9. Analisa sebaran ukuran diameter terhadap distribusi frekuensi variasi waktu penumbuhan ZnO rods di atas holder mikrokantilever satu sampai enam jam



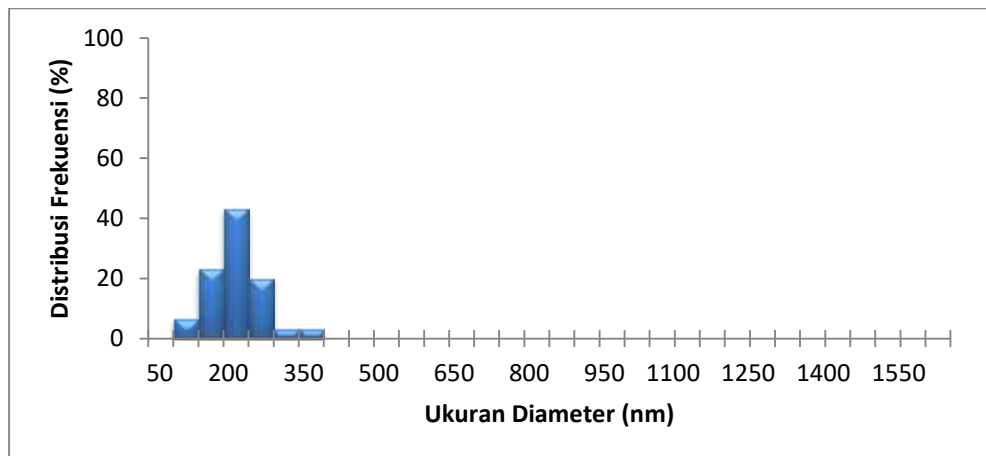
(a)



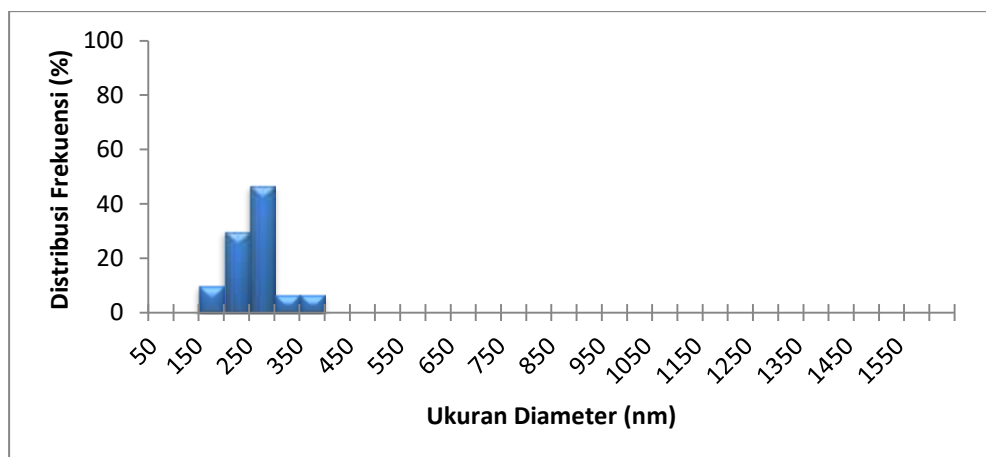
(b)



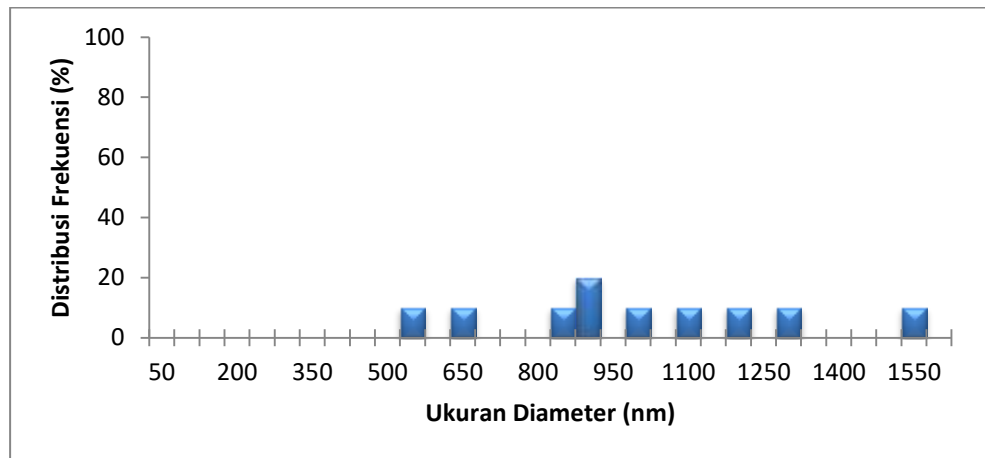
(c)



(d)



(e)

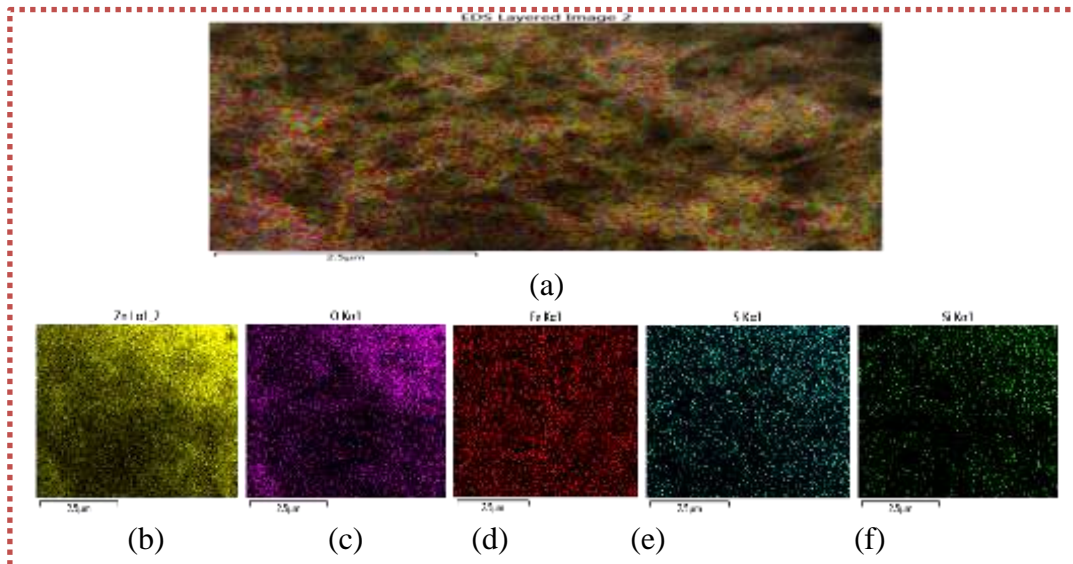


(f)

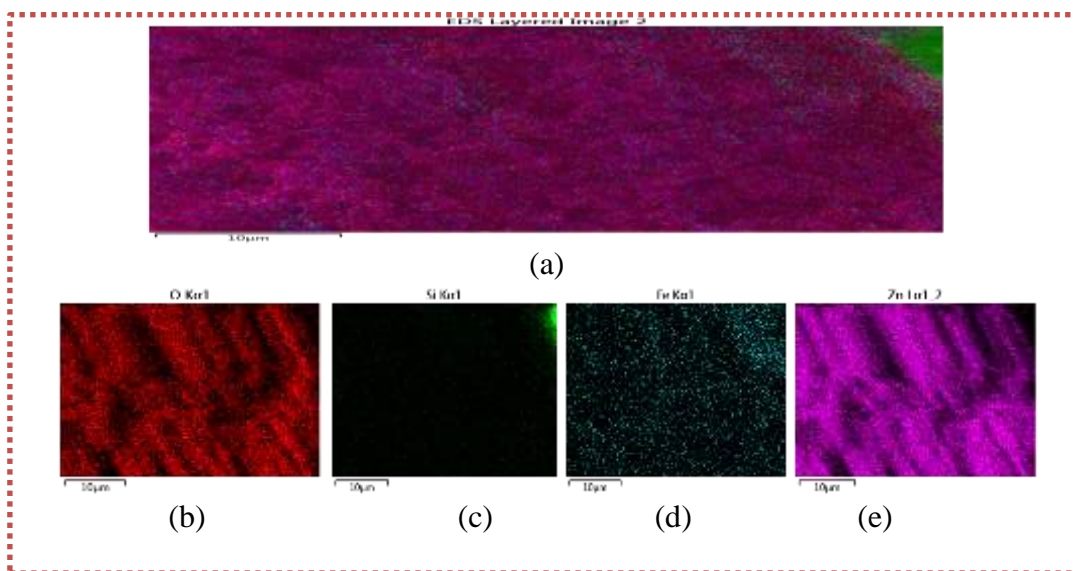
Gambar 4.17. Grafik pengaruh waktu penumbuhan terhadap sebaran ukuran diameter ZnO rods (a) 1 jam, (b) 2 jam, (c) 3 jam, (d) 4 jam, (e) 5 jam dan (f) 6 jam

Gambar 4.17 (a) sampai dengan (e) merupakan grafik sebaran ukuran diameter terhadap distribusi frekuensi penumbuhan ZnO rods di atas holder mikrokantilever 1 jam sampai 6 jam. Untuk waktu penumbuhan 1 jam didapatkan hasil sebaran yang besar karena ZnO tidak heksagonal dan masih jarang ditemui butir disetiap perbesaran uji karakterisasi FE-SEM yang didapatkan. Dapat dilihat pada gambar 4.17 (a) sampai (f) terjadi pergeseran range sebaran ataupun terdapat pembesaran ukuran diameter ZnO rods ketika waktu penumbuhan diperpanjang. Dapat disimpulkan bahwa variasi waktu penumbuhan tidak hanya berpengaruh pada ukuran ZnO rods yang terbentuk di atas permukaan mikrokantilever, tetapi juga berpengaruh pada ZnO rods yang tumbuh di atas holder mikrokantilever.

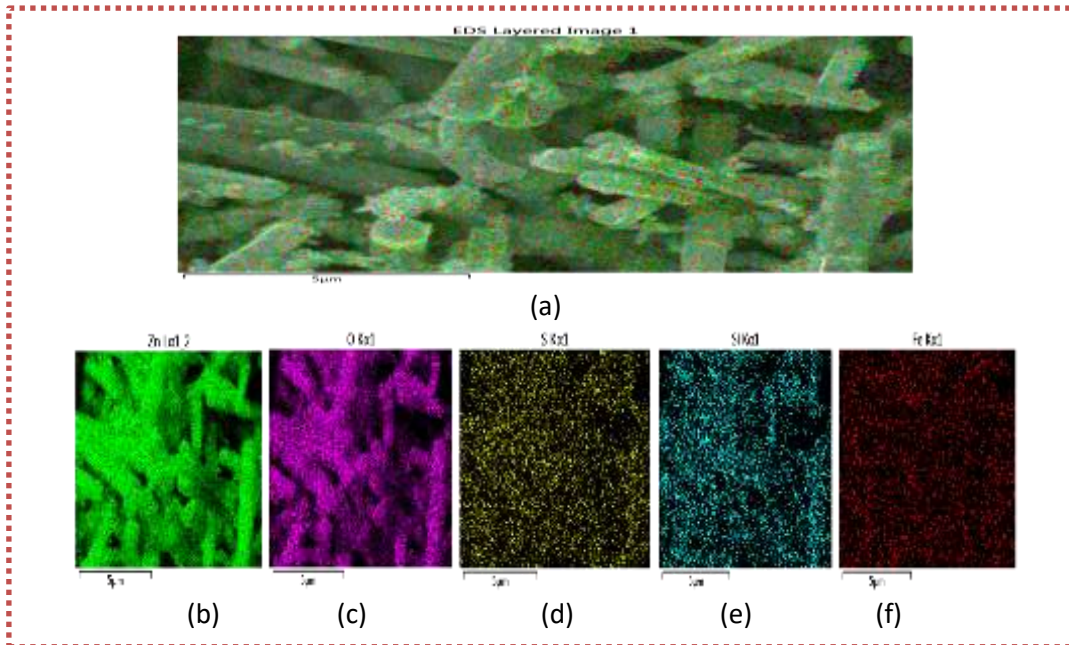
4.3. Komposisi persentase sebaran unsur kimia pada variasi waktu penumbuhan ZnO rods satu jam sampai enam jam



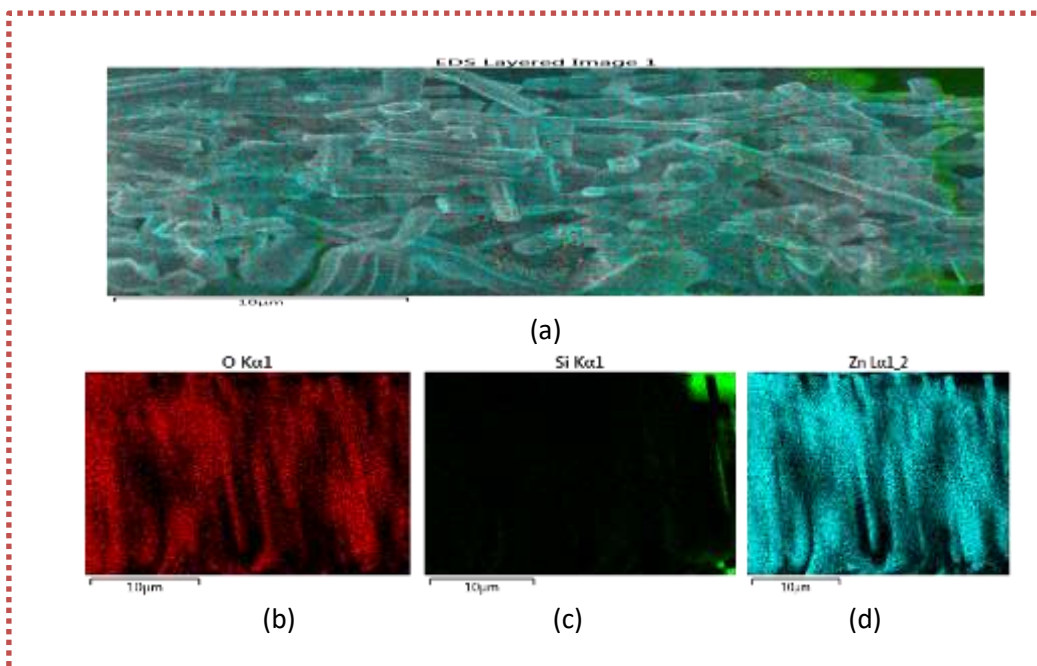
Gambar 4.18. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran Zn, (c) Sebaran O, (d) Sebaran Fe, (e) Sebaran S, (f) Sebaran Si, pada endapan penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 1 jam



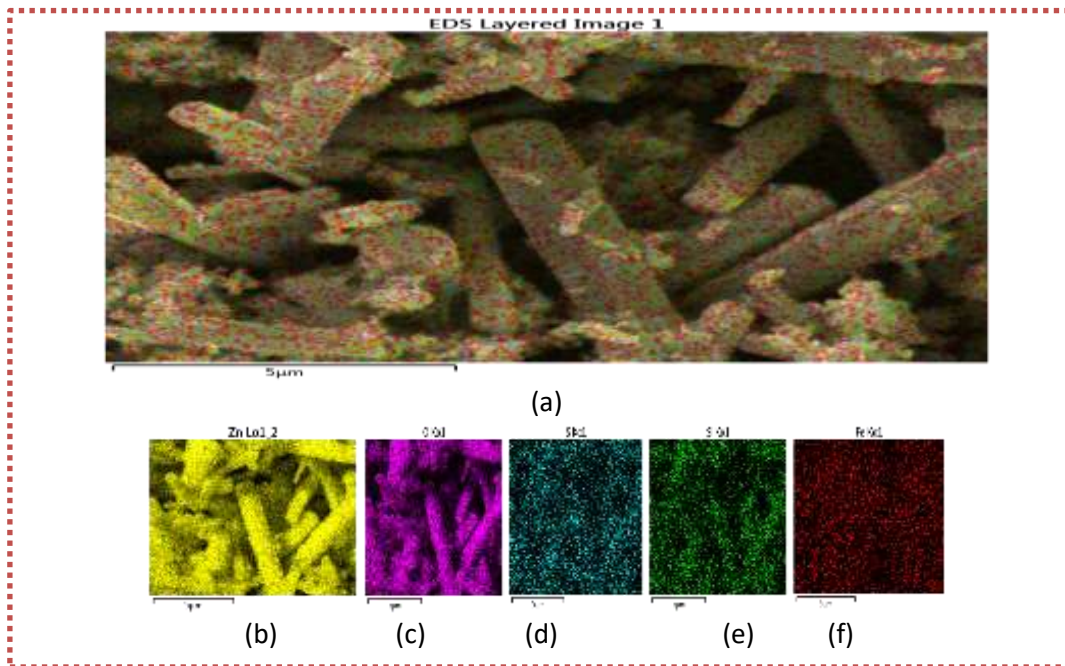
Gambar 4.19. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran O, (c) Sebaran Si, (d) Sebaran Fe, (e) Sebaran Zn, pada penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 2 jam



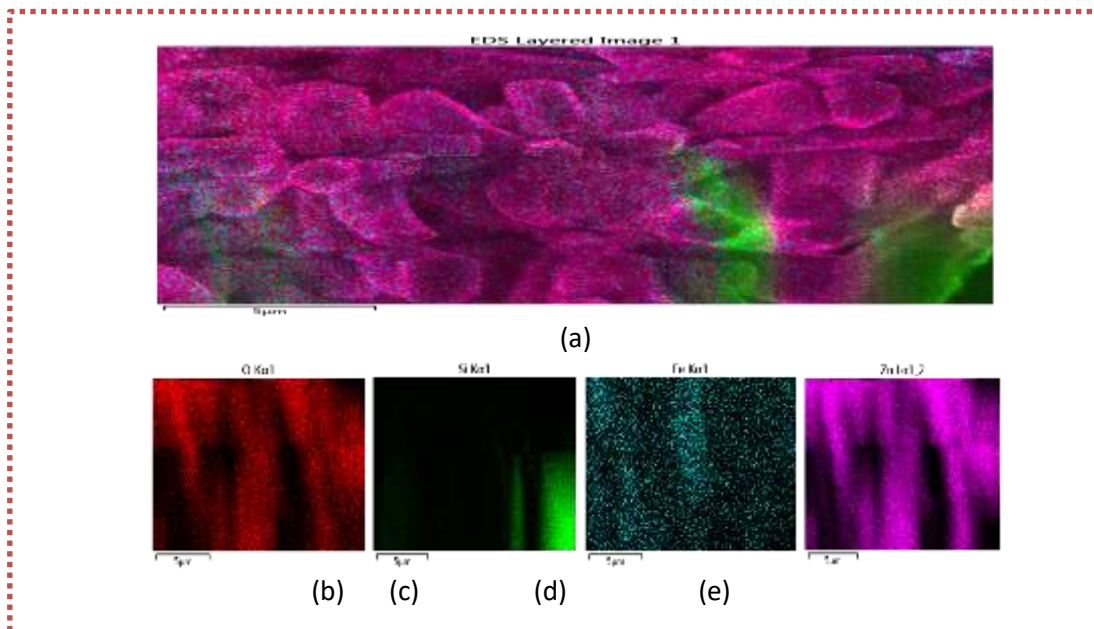
Gambar 4.20. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran Zn, (c) Sebaran O, (d) Sebaran S, (e) Sebaran Si, (f) Sebaran Fe, pada endapan penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 3 jam



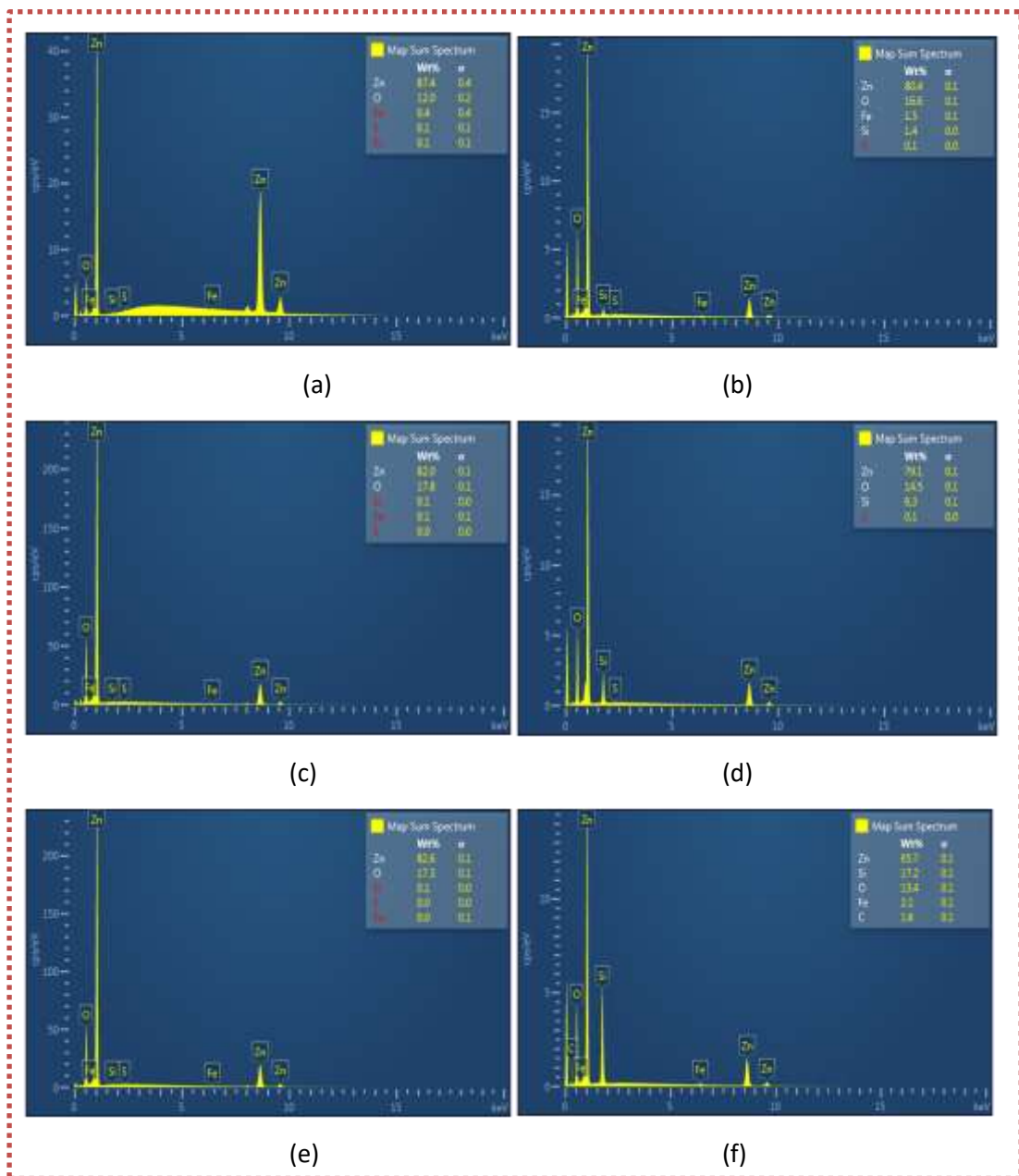
Gambar 4.21. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran Zn, (c) Sebaran O, (d) Sebaran S, (e) Sebaran Si, (f) Sebaran Fe, pada penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 4 jam



Gambar 4.22. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran Zn, (c) Sebaran O, (d) Sebaran S, (e) Sebaran Si, (f) Sebaran Fe ,pada endapan penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 5 jam



Gambar 4.23. Gambar hasil uji karakterisasi EDS (a) sebaran unsur yang ada, (b) Sebaran O, (c) Sebaran Si, (d) Sebaran Fe, (e) Sebaran Zn, pada penumbuhan ZnO di atas mikrokantilever variasi waktu 6 jam

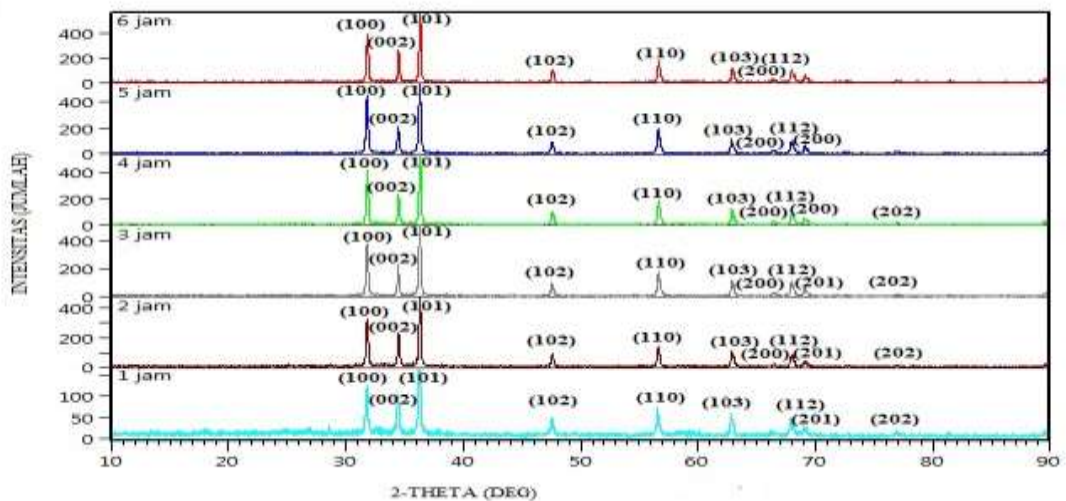


Gambar 4.24. Sebaran EDS komposisi penumbuhan ZnO rods variasi waktu penumbuhan (a) 1 jam, (b) 2 jam, (c) 3 jam, (d) 4 jam, (e) 5 jam dan (f) 6 jam

Gambar 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 dan 4.23 merupakan gambar sebaran hasil uji karakterisasi *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS) pada variasi waktu penumbuhan ZnO rods 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6

jam. Gambar (a) pada setiap gambar merupakan sebaran beberapa unsur yang ada dalam ZnO rods yang ditumbuhkan di atas permukaan mikrokantilever. Dapat dilihat pada setiap variasi waktu penumbuhan, unsur Zn dan O memiliki persentase yang paling banyak dari unsur lainnya. Zinc (Zn) memiliki persentase lebih dari 80% sedangkan Oksigen (O) memiliki persentase sekitar 10-18% dan sisanya merupakan beberapa unsur lain yaitu Si, S dan Fe. Hal ini dapat dibuktikan pada gambar 4.24. Besi (Fe) pada variasi penumbuhan ini kemungkinan ada dikarenakan alat yang digunakan untuk proses *seed layer* dan penumbuhan ZnO mengandung Fe dan berkarat, karat tersebut bereaksi dengan larutan. Sedangkan silikon (Si) didapatkan dari bahan utama pada mikrokantilever merupakan Si, karena belum meratanya penumbuhan ZnO rods pada permukaan mikrokantilever Si masih terdeteksi dengan EDS. Catatan bahwa, yang dimaksud pengukuran EDS menggunakan sampel endapan adalah penggunaan serbuk endapan dari cairan penumbuhan yang secara detail (dijelaskan di bab 3 pada bagian 3.6.2)

4.4. Pengaruh waktu penumbuhan terhadap struktur kristal ZnO rods.



Gambar 4.25. Pola difraksi sinar-X ZnO rods dengan variasi waktu penumbuhan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam

Analisa pada XRD dimulai dari penentuan referensi yang digunakan. Dalam penelitian ini referensi yang digunakan adalah ICDD (*International Centre for Diffraction Data*). Pemilihan referensi yang digunakan dengan melihat nilai d terbesar pertama, kedua dan ketiga. d_1 dengan error $\pm 0,01$ sedangkan d_2 dan d_3 dengan error $\pm 0,02$. Bidang yang harus ada pada penumbuhan ZnO rods yaitu (002) yang membentuk heksagonal ke atas, selain bidang tersebut terdapat bidang lain yang membentuk struktur heksagonal. Bidang lain yang dapat membentuk heksagonal dapat di lihat dari referensi ICDD yang sesuai dengan hkl yang didapatkan saat karakterisasi XRD dilakukan.

Pada penelitian ini, karakterisasi difraksi sinar-X dilakukan pada sample endapan ZnO dengan variasi waktu penumbuhan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam dengan konsentrasi seed layer 0,3 M dan konsentrasi larutan penumbuhan 0,05 M. Penumbuhan dilakukan pada suhu 95°C selama variasi waktu penumbuhan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam. Bahan *seed layer* yaitu $(\text{Zn}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2)$, $(\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N})$ dan pelarut yang digunakan $(\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}_2)$. Sedangkan untuk bahan penumbuhan ZnO rods yaitu $(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$, $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4)$ dan pelarut yang digunakan Aqua Dm. Karakterisasi XRD menggunakan sampel serbuk endapan penumbuhan ZnO rods di atas permukaan mikrokantilever dengan waktu penumbuhan yang telah divariasikan. Karakterisasi XRD menggunakan radiasi $\text{CuK}\lambda$ ($\lambda=1,5406 \text{ \AA}$).

Pengolahan data pada setiap sample menggunakan aplikasi GSAS dan didapatkan nilai keakuratan (χ^2) 1,2 hingga 1,4 yang dapat dilihat secara detail pada tabel 2. Pada setiap sample penumbuhan ZnO variasi 1 jam sampai 6 jam didapatkan database pada aplikasi pengolahan hasil karakterisasi XRD yang sesuai yaitu dapat dilihat dari tabel 3.

Tabel 2. Nilai Chi² yang didapatkan dari pengolahan data GSAS variasi waktu penumbuhan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam

Variasi waktu (jam)	Chi ²
Variasi waktu 1 jam	1,2211
Variasi waktu 2 jam	1,2824
Variasi waktu 3 jam	1,3838
Variasi waktu 4 jam	1,4238
Variasi waktu 5 jam	1,4993
Variasi waktu 6 jam	1,348

Tabel 3. ICDD yang sesuai untuk variasi waktu penumbuhan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam

Variasi waktu penumbuhan	ICDD (<i>International Centre for Diffraction Data</i>)
1 Jam	ICDD(PDF-4+ 2015 RDB) nomor 04-005-4711
2 Jam	ICDD(PDF-4+ 2015 RDB) nomor 01-076-0704
3 Jam	ICDD(PDF-4+ 2015 RDB) nomor 04-008-8197
4 Jam	ICDD(PDF-4+ 2015 RDB) nomor 04-008-8197
5 Jam	ICDD(PDF-4+ 2015 RDB) nomor 01-076-0704
6 Jam	ICDD(PDF-4+ 2015 RDB) nomor 01-080-3004

Dalam masing-masing database ini ditunjukkan $a = b \neq c$ yang merupakan ketentuan suatu bidang berbentuk heksagonal. Didapatkan

hasil nilai parameter kisi masing-masing sampel pada tabel 3 terdapat perbedaan sekitar 0,001 Å pada setiap kisi dengan nilai parameter kisi referensi ICDD.

Tabel 4. Nilai parameter kisi variasi waktu penumbuhan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4jam dan 6 jam

Variasi waktu (jam)	a (Å)	b (Å)	c (Å)
Variasi waktu 1 jam	3,2533	3,2533	5,210
Variasi waktu 2 jam	3,2541	3,2541	5,2087
Variasi waktu 3 jam	3,2507	3,2507	5,2082
Variasi waktu 4 jam	3,2542	3,2542	5,2109
Variasi waktu 5 jam	3,2510	3,2510	5,2090
Variasi waktu 6 jam	3,2542	3,2542	5,2109

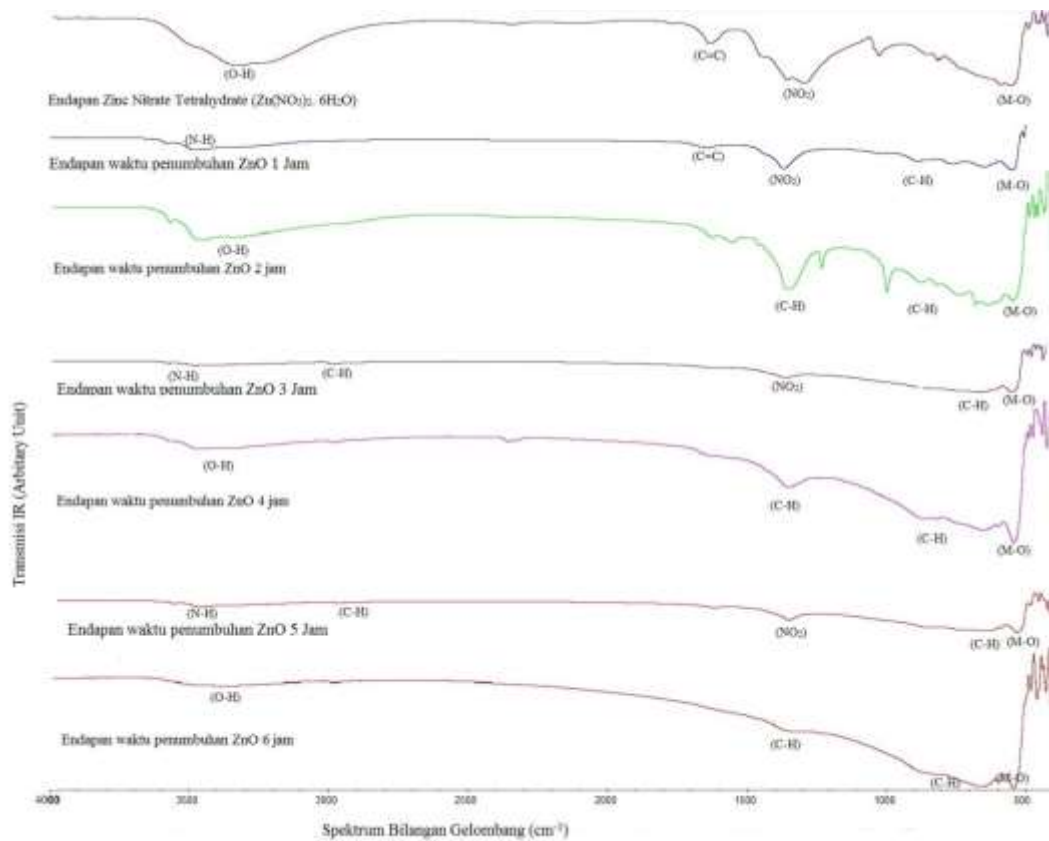
Dari analisa yang dilakukan pada hasil sample karakterisasi XRD didapatkan puncak difraksi $2\theta \approx 32^\circ, 34^\circ, 36^\circ$ sesuai dengan hkl (100), (002), (101) yang mengkonfirmasi bahwa struktur yang terbentuk adalah heksagonal. Puncak tertinggi pada hasil karakterisasi variasi ini yaitu (101) dan belum mengarah keseluruhan ke bidang (002). Sesuai dengan uji karakterisasi FE-SEM yang dilakukan bahwa arah penumbuhan ZnO *rods* belum keseluruhan mengarah ke atas.

4.5. Pengaruh waktu penumbuhan terhadap ikatan logam oksida ZnO

rods

Gambar 4.25 menunjukkan spektrum FTIR dari bahan dasar penumbuhan batang ZnO (ZnO *Rods*) yaitu *Zinc Nitrate Tetrahydrate* ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), dan juga spektrum FTIR endapan penumbuhan batang ZnO dengan waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam. Panjang gelombang 574 cm^{-1} dan 540 cm^{-1} menunjukkan pembentukan ikatan Zn-O untuk waktu penumbuhan 1 jam dan 2 jam, Panjang gelombang 545 cm^{-1} dan 547 cm^{-1} untuk waktu penumbuhan 3 jam dan 4 jam sementara

panjang gelombang masing-masing $546,54 \text{ cm}^{-1}$ dan $547,27 \text{ cm}^{-1}$ untuk waktu penumbuhan batang ZnO (ZnO rods) 5 jam dan 6 jam. Diketahui dari publikasi sebelumnya^[28] bahwa spektrum bilangan gelombang penumbuhan ZnO nanopartikel adalah 532 cm^{-1} .



Gambar 4.26. Spektrum dari *Zinc Nitrate Tetrahydrate* ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) dan endapan larutan ZnO yang digunakan untuk penumbuhan selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam.

Tabel 5. Peak (puncak/lembah) yang timbul pada bahan dasar *Zinc Nitrate Tetrahydrate*

Absorpsi IR (cm⁻¹)	Ikatan yang menyebabkan penyerapan (absorpsi)
3337,20	O-H
1637,35	C=C
1357,22	NO ₂

Tabel 6. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 1 jam

Absorpsi IR (cm⁻¹)	Ikatan yang menyebabkan penyerapan (absorpsi)
3473,47	N-H
1636,87	C=C
1362,69	NO ₂
879,95	C-H
758,47	C-H
642,54	C-H
574,44	M-O (Zn-O)

Tabel 7. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 2 jam

Absorpsi IR (cm⁻¹)	Ikatan yang menyebabkan penyerapan (absorpsi)
3347,18	O-H
1368,78	C-H
881,69	O-H
540,96	M-O (Zn-O)

Tabel 8. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 3 jam

Absorpsi IR (cm⁻¹)	Ikatan yang menyebabkan penyerapan (absorpsi)
3478,61	N-H
2979,92	C-H
1363,07	NO ₂
663,68	C-H
545,88	M-O (Zn-O)

Tabel 9. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 4 jam

Absorpsi IR (cm⁻¹)	Ikatan yang menyebabkan penyerapan (absorpsi)
3455,96	O-H
1356,20	C-H
825,69	C-H
548,27	M-O (Zn-O)

Tabel 10. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 5 jam

Absorpsi IR (cm⁻¹)	Ikatan yang menyebabkan penyerapan (absorpsi)
3479,94	N-H
2979,86	C-H
1366,45	NO ₂
656,19	C-H
546,54	M-O (Zn-O)

Tabel 11. Peak (puncak/lembah) yang timbul untuk waktu endapan penumbuhan ZnO 6 jam

Absorpsi IR (cm^{-1})	Ikatan yang menyebabkan penyerapan (absorpsi)
3369,97	O-H
1355,73	C-H
820,58	C-H
547,27	M-O (Zn-O)

Dari Tabel 5-11 dapat dilihat beberapa ikatan yang menyebabkan adanya penyerapan (*absorpsi*) pada bahan dasar *Zinc Nitrate Tetrahydrate* yaitu O-H, C=C, NO₂. Sedangkan ikatan yang menyebabkan penyerapan (*absorpsi*) pada endapan waktu penumbuhan 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam adalah O-H, C-H, N-H, NO₂ dan *Metal Oxide* (M-O) yang diprediksi sebagai *Zinc Oxide* (ZnO).

Ikatan O-H yang terserap pada daerah spektrum bilangan gelombang sekitar 3300 cm^{-1} semakin mengecil jika waktu penumbuhan batang ZnO (*ZnO rods*) semakin lama. Sedangkan ikatan C=C, NO₂ sudah tidak ada penyerapan lagi pada endapan dengan waktu penumbuhan 2 jam, 4 jam dan 6 jam. Sedangkan untuk waktu penumbuhan ZnO *rods* 1 jam, 3 jam dan 6 jam ikatan N-H semakin membesar jika semakin lama waktu penumbuhan. Adanya pergeseran adsorpsi IR pada ikatan N-H (1 jam, 3 jam dan 5 jam) menjadi O-H (2 jam, 4 jam dan 6 jam) dan juga terdapat pergeseran ikatan NO₂ (1 jam, 3 jam dan 5 jam) menjadi ikatan C-H (2 jam, 4 jam dan 6 jam). Ikatan *Metal Oxide* (M-O) yang diprediksi sebagai ikatan Zn-O terdapat pada spektrum bilangan gelombang antara 540-548 cm^{-1} . Karena itu, analisa karakterisasi FTIR ini mengkonfirmasi ikatan Zn-O pada penumbuhan ZnO dalam penelitian ini.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Hasil analisa menunjukkan bahwa variasi waktu pada proses penumbuhan ZnO *rods* pada permukaan mikrokantilever mempengaruhi sebaran ukuran diameter batang ZnO yang dihasilkan, dimana semakin lama waktu proses penumbuhan yang dilakukan cenderung menghasilkan sebaran ukuran diameter batang ZnO yang semakin besar. Hasil analisa EDS menunjukkan bahwa komposisi unsur kimia yang terbentuk pada permukaan mikrokantilever meliputi Zn, O, Fe, Si, C dan S, dimana sebaran frekuensi terbesar didominasi oleh unsur Zn dan O. Selain itu, struktur morfologi yang teramati melalui analisa FE-SEM menunjukkan bahwa bidang yang terbentuk pada permukaan mikrokantilever memiliki bidang heksagonal. Hal ini diperkuat dengan hasil analisa XRD, dimana nilai parameter kisi yang diperoleh yaitu $a = b \neq c$ yang menunjukkan bahwa bidang yang terbentuk merupakan bidang hexagonal. Hasil analisa XRD juga menunjukkan bahwa puncak difraksi yang teramati didominasi oleh bidang hkl (101), (100) dan (002), hal ini merupakan bukti telah terbentuknya struktur heksagonal pada permukaan mikrokantilever. Selain itu, berdasarkan hasil analisa FTIR diperoleh nilai absorpsi IR yang terukur yaitu dalam rentang $540 - 548 \text{ cm}^{-1}$, dimana nilai ini diprediksi merupakan ikatan logam Zn-O.

5.2.Saran

Mikrokantilever memiliki ukuran yang sangat kecil hingga skala mikrometer. Oleh karena itu, saat dilakukan sintesis pelapisan dan penumbuhan ZnO rods diperlukan alat penjepit mikrokantilever yang dapat mempermudah dalam melakukan sintesis. Tidak hanya dibutuhkan alat penjepit mikrokantilever, tetapi saat pemasangan mikrokantilever di alat penjepit menggunakan pinset penjepit agar mikrokantilever steril. Berikut ini adalah saran untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Diperlukan bahan alat penjepit mikrokantilever yang tidak bereaksi dengan larutan jika dilakukan pemanasan.
2. Dalam melakukan pemasangan mikrokantilver di holder, preparasi alat harus diperhatikan.
3. Dalam melakukan uji karakterisasi harus diperhatikan sample yang akan di uji (serbuk/mikrokantilever)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nardo Ramírez Frómeta, “*Cantilever Biosensors*”, *Biotecnología Aplicada* Vol.23, No. 4, 2006.
- [2] Raiteri, R.Grattarola M, Butt, H.Skladal,P. (2001), *Micromechanical cantilever-based biosensor*, *Sensor and Actuators B*, Vol. 79, halaman 115-126.
- [3] Vashist, S.K (2007), A review of *Microcantilevers for sensing Applications*, *Journal of Nanotechnology*, Vol. 3, halaman 1-15.
- [4] Dohn, S.Sandberg, W, Boisen, A. (2005), *Enhanced functionality of cantilever based mass sensors using higher modes*, *Applied physics Letter*, Vol. 86, halaman 233-501.
- [5] Ratno N, Lia A (2013), *Desain dan Pengukuran Gas dengan Mikrokantilever Piezoresistif melalui mode dinamis dan statis*. Prosiding InSinas 2012.
- [6] T. Contineau, Sergey N. Pronkin dkk., (2013), *Synthesis of vertically aligned titanium dioxide nanotubes on microcantilevers for new nanostructured micromechanical sensors for explosive detection*. *Sensors & Actuators : B. Chemical*. Vol. 182, Halaman 489-497.
- [7] N. Killinc, O. Cakmak (2014), *Fabrication of 1D ZnO nanostructures on MEMS cantilever for VOC sensor application*, *Sensors and Actuators B: Chemical*. Vol.202, Halaman 357-364.
- [8] Neha Singh dkk., (2012) , *effect of heat and time-period on the growth of ZnO nanorods by sol-gel technique*, *Optik-Internationl Journal for Light and Electron Optics*, Volume 123, Issue 15, Halaman 1340-1342.
- [9] S. Kumar dkk., (2014), *Synthesis of ZnO Nanorods using Hydrothermal Methodfor natural Dye Sensitized Photovoltaic Cell*.
- [10] “<http://www.qdzjchem.com/en/productdetail.aspx?id=194>.”
- [11] I. Iwantono, W. Nurwidya, L. R. Lestari, F. Y. Naumar, S. Nafisah, A. A. Umar, M. Y. A. Rahman, dan M. M. Salleh, (2015) “*Effect of growth temperature and time on the ZnO film properties and the performance of*

- dye-sensitized solar cell (DSSC),” J. Solid State Electrochem.*, vol. 19, no. 4, hal. 1217–1221.
- [12] Ü. Özgür, Y. I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M. A. Reshchikov, S. Doğan, V. Avrutin, S.-J. Cho, dan H. Morkoç (2005) “*A comprehensive review of ZnO materials and devices,*” *J. Appl. Phys.*, vol. 98, no. 4, hal. 041301.
- [13] K. G. Kanade, B. B. Kale, R. C. Aiyer, dan B. K. Das, (2006) “*Effect of solvents on the synthesis of nano-size zinc oxide and its properties,*” *Mater. Res. Bull.*, vol. 41, no. 3, hal. 590–600.
- [14] N. Syuhada, P. Lobo Gareso, dan E. Juarlin, (2014) “*Pengaruh Doping Nitrogen (N) Terhadap Sifat Optik dan Struktur Kristal ZnO,*” Univ. Hasanudin.
- [15] D. C. Look, J. W. Hemsky, dan J. R. Sizelove, “*Residual Native Shallow Donor in ZnO,*” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 82, no. 12, hal. 2552–2555, Mar 1999.
- [16] <http://www.ch.ntu.edu.tw/~ptchou/about.htm>.
- [17] Nuryadi, R., (2012) *Sensor Berbasis Mikrokantilever: Sensitivitas dan Mekanisme Kinerja*, Prosiding Seminar Nasional Fisika, Palembang, 4 Juli 2012, pp 7-12.
- [18] Abu Bakar, M. H., Ibrahim, M. H., Kassim, N. M., Mohammad, A. B. *A Preliminary Investigation on MEMS Based Immunosensor for E. coli O157:H7 Detection*. Proceedings.
- [19] Lisa, O. (2005) *Novel Sensor For Rapid Detection Of Blood Cell Types Using Magnetostrictive Microcantilevers*, Thesis, Auburn University.
- [20] Kim T.S, dkk. (2006) *Micromanufacturing and Nanotechnology*. Springer-Verlag berlin heidelberg. Germany
- [21] Sadeep Kumar. (2007) *A review of Microcantilevers for Sensing Applications*. Azojono Nanotechnology Journal.
- [22] Roberto raiteri. (2001) *Microchemical cantilever-based biosensor*. Elsevier B. V Sensor and Actuator.
- [23] M. Abdullah dan Khairurrijal, (2009) “*Review: Karakterisasi Nanomaterial,*” *J. Nanosains Nanoteknologi*, vol. 2, no. 1.

- [24] <http://chemwiki.ucdavis.edu/@api/deki/files/232/xrd.png?size=bestfit&width=323&height=237&revision=1>.
- [25] “<http://cnx.org/contents/uieDnVBC@20.16:gbsDEZju@2/Photoluminescence-Spectroscopy>,” diakses pada tanggal Desember-2016.
- [26] M. Abdullah dan Khairurrijal, (2009) “*Review: Karakterisasi Nanomaterial*,” *J. Nanosains Nanoteknologi*, vol. 2, no. 1.
- [27] Anam, Choirul. Sirojudin dkk. April (2007). *Analisis Gugus Fungsi Pada Sampel Uji, Bensin Dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FT-IR*. Berkala Fisika. Vol 10 no.1. 79 – 85
- [28] Samira Bagheri dkk., (2013), *Facile Synthesis of nano-sized ZnO by direct precipitation method*. Scholars Research Library, Der Pharma Chemica 5(3):265-270.

LAMPIRAN I

Perhitungan Konsentrasi Larutan ZnO

a. Mol ZNT ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) = $0,75\text{M} \times 40\text{ml}$
= $0,75\text{mmol/ml} \times 40\text{ml}$
= $30\text{ mmol} = 0,03\text{ mol}$

$$\text{Mol ZNT} = \text{gram/Mr}$$

$$\text{Mr Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} = 261,4572\text{ gram/mol}$$

$$\text{Gram} = \text{mol ZNT} \times \text{Mr}$$

$$= 0,03\text{ mol} \times 261,4572\text{ gram/mol}$$

$$= 7,843716\text{ gram}$$

Maka massa ZNT yang digunakan adalah

- 7,843716 gram dari 40 ml
- 15,687432 gram dari 80 ml
- 19,60929 gram dari 100 ml

b. Mol DEA ($\text{C}_4\text{aH}_{11}\text{NO}_2$) = $0,75\text{ M} \times 40\text{ ml}$
= $0,75\text{ mmol/ml} \times 40\text{ ml}$
= $30\text{ mmol} = 0,03\text{ mol}$

$$\text{Mol DEA} = \text{gram/Mr}$$

$$\text{Mr C}_4\text{aH}_{11}\text{NO}_2 = 105,1359\text{ gram/ mol}$$

$$\text{Gram} = \text{mol DEA} \times \text{Mr}$$

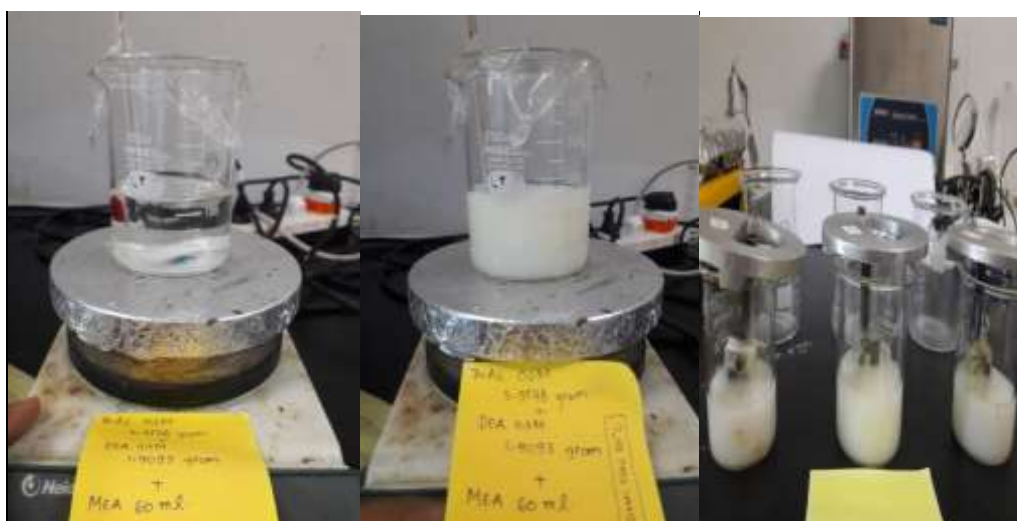
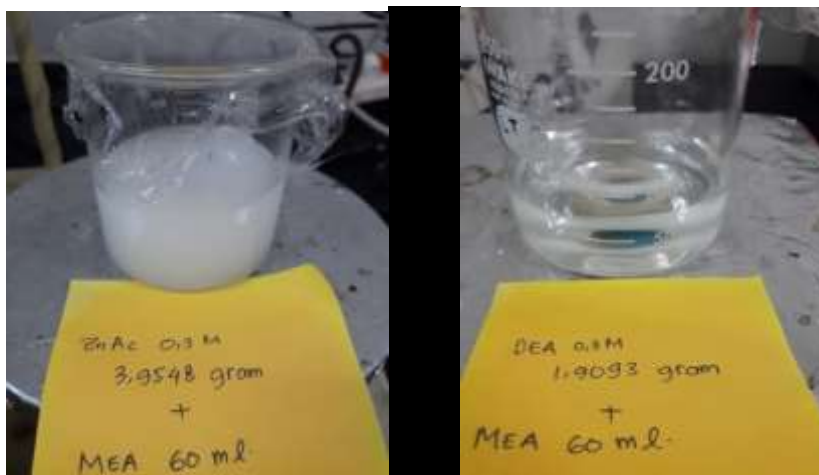
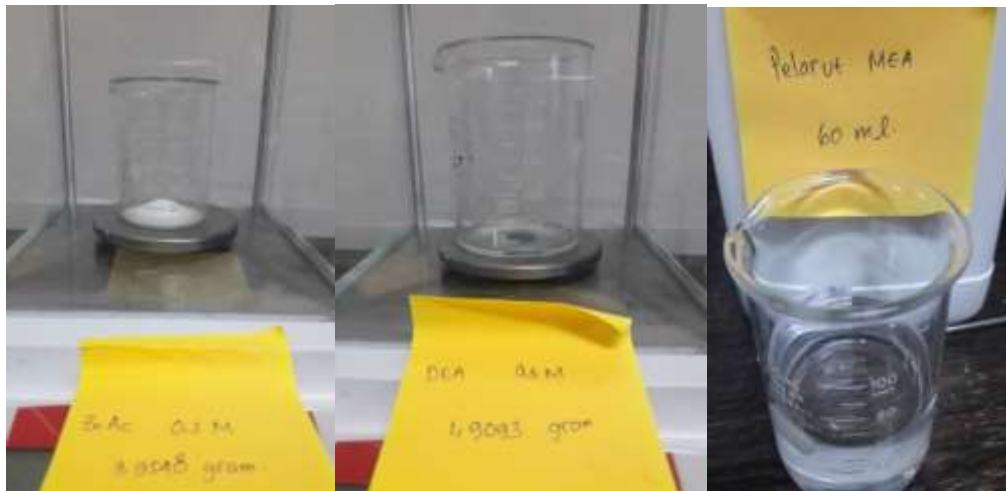
$$= 0,03\text{ mol} \times 105,1359\text{ gram/mol}$$

$$= 3,154077\text{ gram}$$

Massa DEA yang digunakan adalah

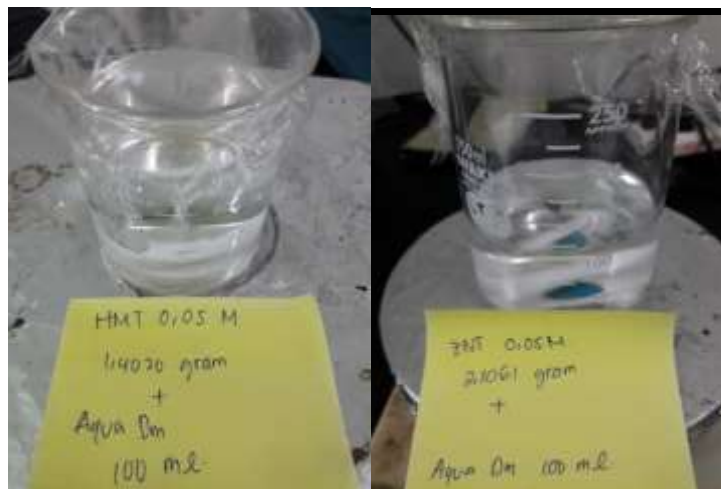
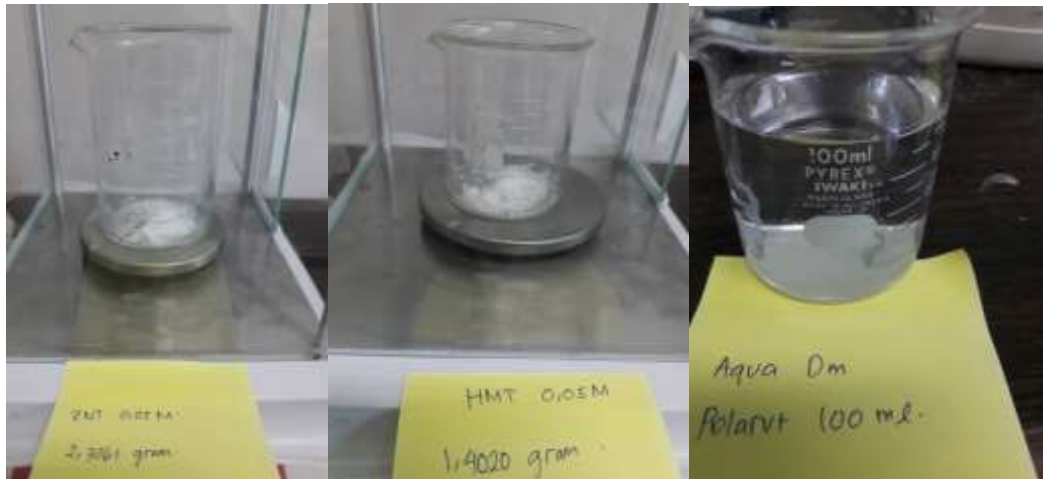
- 3,154077 gram dari 40 ml
- 6,308154 gram dari 80 ml
- 7,8851925 dari 100 ml

LAMPIRAN II
Proses Pelapisan benih (*seed layer*)



LAMPIRAN III

Proses Penumbuhan ZnO Rods



LAMPIRAN IV

Data Grafik Sebaran Ukuran Diameter Penumbuhan ZnO Rods di atas Permukaan Mikrokantilever

1. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 1 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	73,33333333
101-150	20
151-200	6,66666667
201-250	0
251-300	73,33333333
301-350	20
351-400	0
401-450	0
451-500	0
501-550	0
551-600	0
601-650	0
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	0
851-900	0
901-950	0
951-1000	0
1001-1050	0
1051-1100	0
1101-1150	0
1151-1200	0
1201-1250	0
1251-1300	0
1301-1350	0
1351-1400	0
1401-1450	0
1451-1500	0
1501-1550	0
1551-1600	0

2. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 2 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	27,5
101-150	72,5
151-200	0
201-250	0
251-300	0
301-350	0
351-400	0
401-450	0
451-500	0
501-550	0
551-600	0
601-650	0
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	0
851-900	0
901-950	0
951-1000	0
1001-1050	0
1051-1100	0
1101-1150	0
1151-1200	0
1201-1250	0
1251-1300	0
1301-1350	0
1351-1400	0
1401-1450	0
1451-1500	0
1501-1550	0
1551-1600	0

3. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 3 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	0
101-150	0
151-200	10
201-250	13,33333333
251-300	20
301-350	6,666666667
351-400	13,33333333
401-450	10
451-500	16,66666667
501-550	6,666666667
551-550	3,333333333
601-650	0
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	0
851-900	0
901-950	0
951-1000	0
1001-1050	0
1051-1100	0
1101-1150	0
1151-1200	0
1201-1250	0
1251-1300	0
1301-1350	0
1351-1400	0
1401-1450	0
1451-1500	0
1501-1550	0
1551-1600	0

4. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 4 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	0
101-150	0
151-200	0
201-250	0
251-300	0
301-350	0
351-400	6,666666667
401-450	23,33333333
451-500	16,66666667
501-550	20
551-600	20
601-650	13,33333333
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	0
851-900	0
901-950	0
951-1000	0
1001-1050	0
1051-1100	0
1101-1150	0
1151-1200	0
1201-1250	0
1251-1300	0
1301-1350	0
1351-1400	0
1401-1450	0
1451-1500	0
1501-1550	0
1551-1600	0

5. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 5 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	0
101-150	0
151-200	16
201-250	48
251-300	16
301-350	20
351-400	0
401-450	0
451-500	0
501-550	0
551-600	0
601-650	0
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	0
851-900	0
901-950	0
951-1000	0
1001-1050	0
1051-1100	0
1101-1150	0
1151-1200	0
1201-1250	0
1251-1300	0
1301-1350	0
1351-1400	0
1401-1450	0
1451-1500	0
1501-1550	0
1551-1600	0

6. Variasi waktu penumbuhan ZnO *rods* 6 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	0
101-150	0
151-200	0
201-250	0
251-300	0
301-350	0
351-400	0
401-450	0
451-500	0
501-550	0
551-600	0
601-650	0
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	0
851-900	0
901-950	0
951-1000	30
1001-1050	0
1051-1100	0
1101-1150	10
1151-1200	0
1201-1250	10
1251-1300	10
1301-1350	10
1351-1400	0
1401-1450	20
1451-1500	10
1501-1550	0
1551-1600	0

LAMPIRAN V

Data Grafik Sebaran Ukuran Diameter Penumbuhan ZnO

Rods di atas Holder Mikrokantilever

1. Variasi waktu penumbuhan ZnO *rods* 1 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	0
101-150	20
151-200	0
201-250	26,66666667
251-300	53,33333333
301-350	0
351-400	0
401-450	0
451-500	0
501-550	0
551-600	0
601-650	0
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	0
851-900	0
901-950	0
951-1000	0
1001-1050	0
1051-1100	0
1101-1150	0
1151-1200	0

2. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 2 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	66,66666667
101-150	33,33333333
151-200	0
201-250	0
251-300	0
301-350	0
351-400	0
401-450	0
451-500	0
501-550	0
551-600	0
601-650	0
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	0
851-900	0
901-950	0
951-1000	0
1001-1050	0
1051-1100	0
1101-1150	0
1151-1200	0

3. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 3 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	0
101-150	3,333333333
151-200	23,33333333
201-250	40
251-300	23,33333333
301-350	10
351-400	0
401-450	0
451-500	0
501-550	0
551-600	0
601-650	0
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	0
851-900	0
901-950	0
951-1000	0
1001-1050	0
1051-1100	0
1101-1150	0
1151-1200	0

4. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 4 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	6,666666667
101-150	23,33333333
151-200	43,33333333
201-250	20
251-300	3,333333333
301-350	3,333333333
351-400	0
401-450	0
451-500	0
501-550	0
551-600	0
601-650	0
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	0
851-900	0
901-950	0
951-1000	0
1001-1050	0
1051-1100	0
1101-1150	0
1151-1200	0

5. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 5 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	0
101-150	10
151-200	30
201-250	46,66666667
251-300	6,666666667
301-350	6,666666667
351-400	0
401-450	0
451-500	0
501-550	0
551-600	0
601-650	0
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	0
851-900	0
901-950	0
951-1000	0
1001-1050	0
1051-1100	0
1101-1150	0
1151-1200	0

6. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 6 jam

Ukuran Diameter (nm)	Distribusi Frekuensi (%)
0-50	0
51-100	0
101-150	0
151-200	0
201-250	0
251-300	0
301-350	0
351-400	0
401-450	0
451-500	0
501-550	10
551-600	0
601-650	10
651-700	0
701-750	0
751-800	0
801-850	10
851-900	20
901-950	0
951-1000	10
1001-1050	0
1051-1100	10
1101-1150	0
1151-1200	10

LAMPIRAN VI

Data *Energy Dispersive Spectroscopy* (EDS)

1. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 1 jam

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	5.25	0.01766	12.01	0.16	SiO ₂
Si	K series	0.02	0.00017	0.10	0.06	SiO ₂
S	K series	0.03	0.00027	0.12	0.08	FeS ₂
Fe	K series	0.11	0.00113	0.40	0.39	Fe
Zn	L series	21.90	0.21902	87.37	0.38	Zn
Total:				100.00		

2. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 2 jam

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	5.61	0.01888	16.58	0.08	SiO ₂
Si	K series	0.21	0.00166	1.43	0.04	SiO ₂
S	K series	0.02	0.00020	0.15	0.03	FeS ₂
Fe	K series	0.21	0.00210	1.48	0.11	Fe
Zn	L series	10.38	0.10380	80.36	0.13	Zn
Total:				100.00		

3. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 3 jam

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	51.21	0.17234	17.84	0.10	SiO ₂
Si	K series	0.12	0.00096	0.09	0.03	SiO ₂
S	K series	0.01	0.00012	0.01	0.03	FeS ₂
Fe	K series	0.12	0.00123	0.07	0.08	Fe
Zn	L series	124.30	1.24302	81.99	0.12	Zn
Total:				100.00		

4. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 4 jam

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	4.73	0.01593	14.47	0.08	SiO ₂
Si	K series	0.92	0.00731	6.34	0.05	SiO ₂
S	K series	0.02	0.00015	0.12	0.03	FeS ₂
Zn	L series	10.28	0.10282	79.08	0.09	Zn
Total:				100.00		

5. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 5 jam

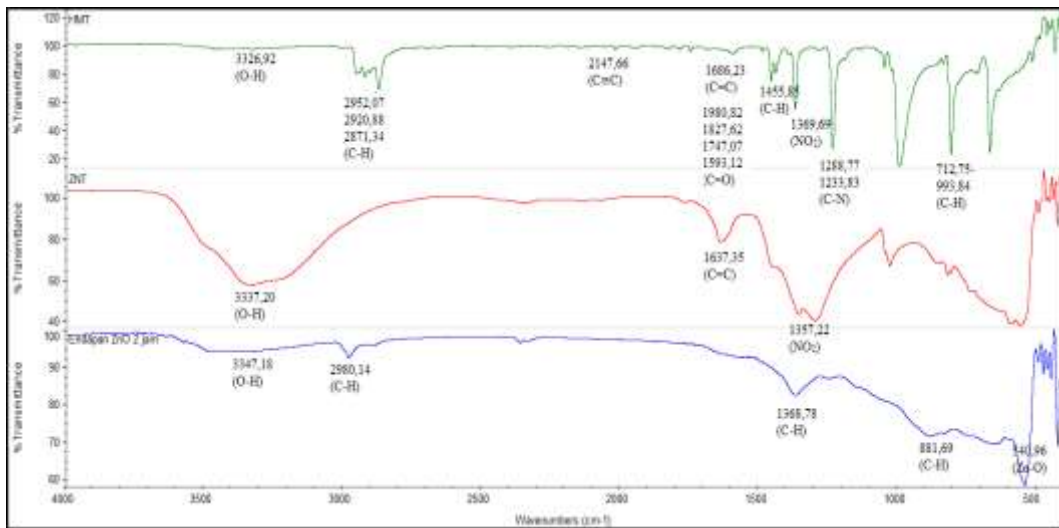
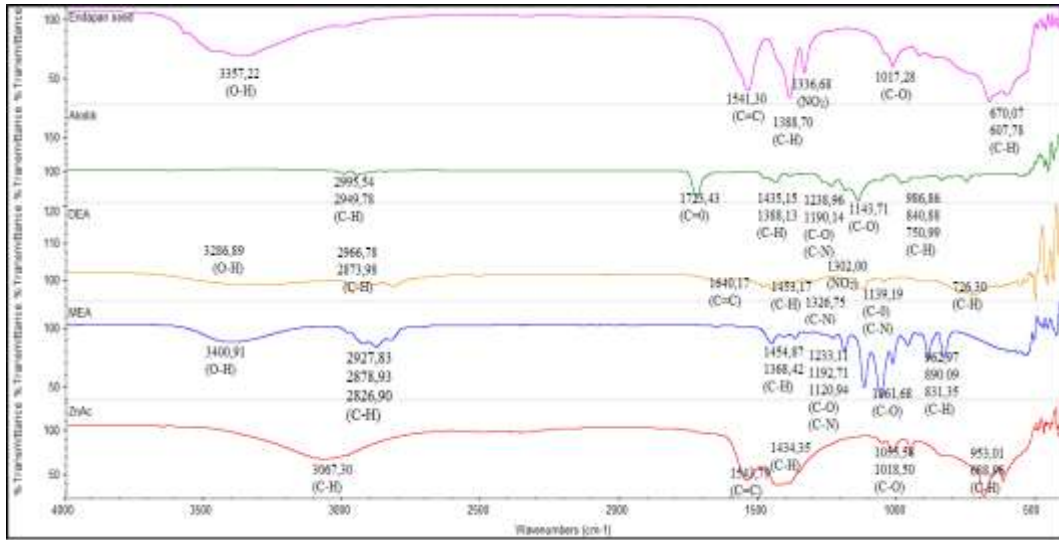
Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
O	K series	48.68	0.16380	17.27	0.09	SiO ₂
Si	K series	0.12	0.00096	0.09	0.03	SiO ₂
S	K series	0.00	0.00003	0.00	0.03	FeS ₂
Fe	K series	0.00	0.00001	0.00	0.08	Fe
Zn	L series	124.23	1.24230	82.64	0.11	Zn
Total:				100.00		

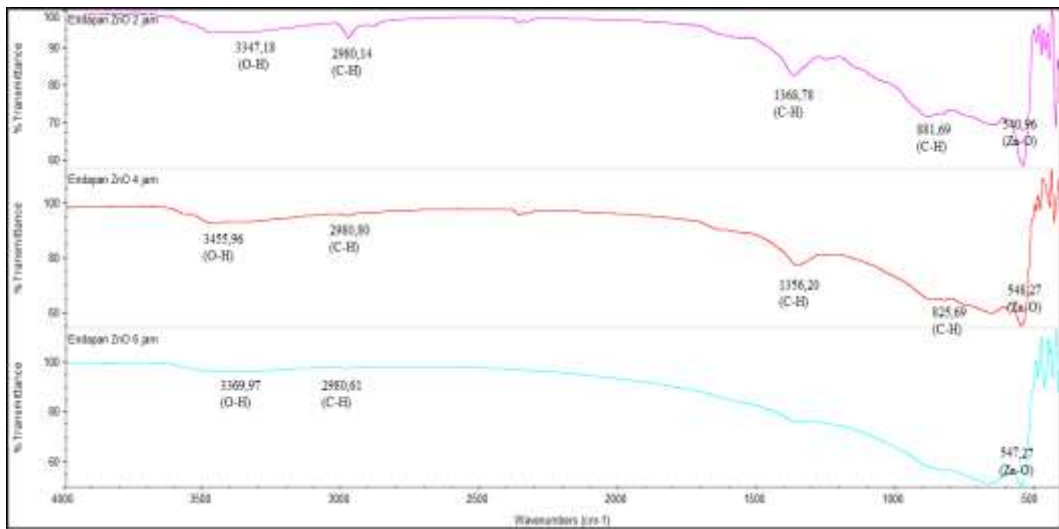
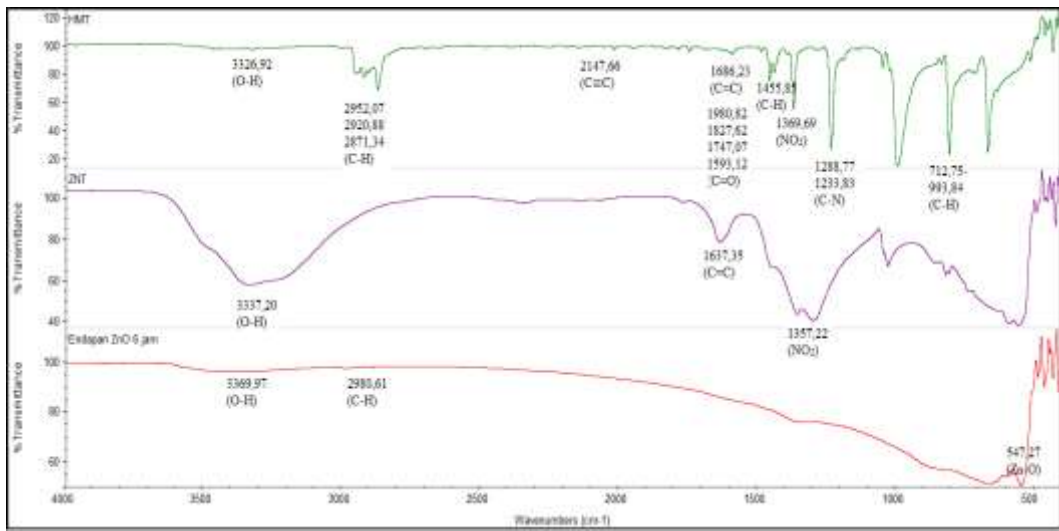
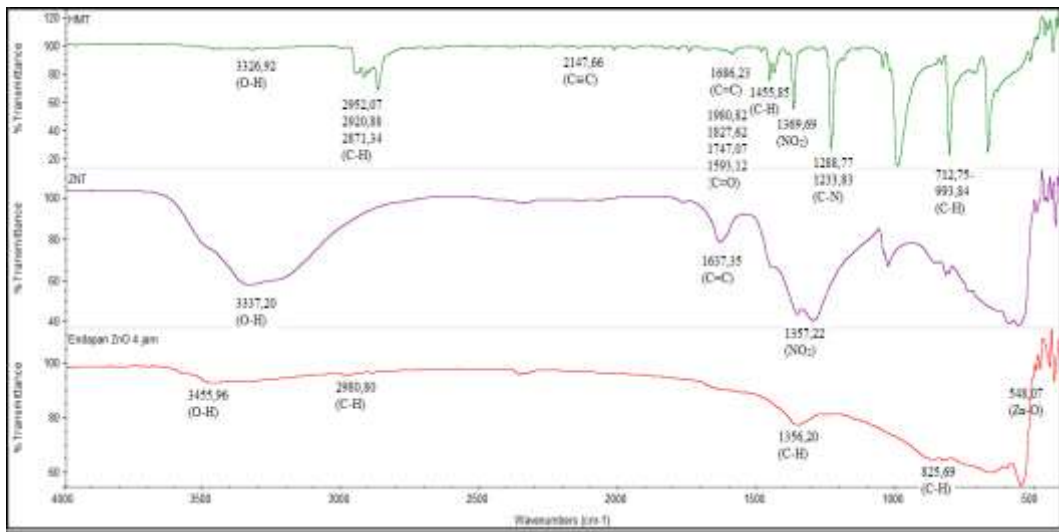
6. Variasi waktu penumbuhan ZnO rods 6 jam

Element	Line Type	Apparent Concentration	k Ratio	Wt%	Wt% Sigma	Standard Label
C	K series	0.09	0.00088	1.64	0.05	C Vit
O	K series	3.79	0.01275	13.39	0.06	SiO ₂
Si	K series	2.31	0.01829	17.16	0.06	SiO ₂
Fe	K series	0.27	0.00266	2.14	0.09	Fe
Zn	L series	7.45	0.07447	65.67	0.10	Zn
Total:				100.00		

LAMPIRAN VII

Grafik Uji Karakterisasi FTIR Bahan Dasar dengan Endapan yang Dihasilkan





RIWAYAT HIDUP



Mia Yuliana Frestika lahir di Ngawi, 28 April 1995 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Listiyono dan Suwarni. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 03 pagi Jakarta dan melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 116 Jakarta. Kemudian pada tahun 2010-2013 penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 40 Jakarta. Pada tahun yang sama dengan tahun kelulusan, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Jakarta melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Perkuliahan tersebut ditempuh penulis dari tahun 2013 hingga lulus pada tahun 2017, dengan skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Waktu Penumbuhan ZnO Rods Berbasis Hidrotermal di atas Permukaan Mikrokantilever”.