

**PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN *SILVER NANOWIRES*
TERDEPOSISI MENGGUNAKAN METODE *MAYER ROD* TERHADAP
SIFAT OPTIK DAN LISTRIK UNTUK APLIKASI ELEKTRODA
KONDUKTIF, FLEKSIBEL DAN TRANSPARAN**

(Tesis)

Indah Pratiwi

2127041002



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN *SILVER NANOWIRES* TERDEPOSISI MENGGUNAKAN METODE *MAYER ROD* TERHADAP SIFAT OPTIK DAN LISTRIK UNTUK APLIKASI ELEKTRODA KONDUKTIF, FLEKSIBEL DAN TRANSPARAN

Oleh

INDAH PRATIWI

Penelitian tentang pengaruh konsentrasi larutan *silver nanowires* (AgNWs) terdeposisi menggunakan metode *mayer rod* terhadap sifat optik dan listrik untuk aplikasi elektroda konduktif, fleksibel dan transparan telah berhasil dilakukan. Penelitian dilakukan dalam 2 tahapan, yaitu tahap sintesis koloid AgNWs dan tahap pembuatan lapisan tipis AgNWs. Sintesis AgNWs dilakukan menggunakan metode *polyol* pada suhu *oil bath* 140 °C. Bahan-bahan yang digunakan dalam sintesis AgNWs adalah perak nitrat (AgNO_3) sebagai material utama, etilen glikol (EG) sebagai pelarut, polivinil pirolidon (PVP) sebagai *capping agent*, dan besi (III) klorida hexahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) sebagai pengontrol ukuran. Pembuatan lapisan tipis AgNWs dilakukan menggunakan metode *mayer rod coating* yang dideposisi di atas substrat polietilena tereftalat (PET) berukuran 10 x 15 cm². Hasil sintesis AgNWs menunjukkan bahwa telah terbentuk AgNWs dengan ukuran diameter dan panjang masing-masing sebesar (290 ± 7) nm dan (15 ± 1) μm dengan ketebalan lapisan tipis sebesar 0,986 μm ; 1,220 μm ; 1,929 μm . Uji sifat optik dari koloid AgNWs dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis diperoleh puncak serapan panjang gelombang 350-390 nm. Uji sifat kristal dari sampel koloid AgNWs dengan menggunakan XRD dan TEM dihasilkan struktur kristal *face centered cubic* (fcc) dengan 5 bidang kristal, yaitu (111), (200), (220), (311) dan (222). Nilai transparansi optik dari lapisan tipis AgNWs adalah sebesar 80-95% dengan nilai konduktivitas optik diperoleh sebesar $2,15 \times 10^7 \text{ S.m}^{-1}$; $1,31 \times 10^7 \text{ S.m}^{-1}$; dan $1,23 \times 10^7 \text{ S.m}^{-1}$ serta energi gap sebesar 2,0 eV dan 3,6 eV. Hasil uji sifat listrik dari lapisan tipis AgNWs diperoleh nilai resistansi lebar sebesar 59,5 $\Omega \cdot \text{sq}^{-1}$; 20,8 $\Omega \cdot \text{sq}^{-1}$; dan 14,1 $\Omega \cdot \text{sq}^{-1}$.

Kata kunci: *silver nanowires*, *polyol*, *mayer rod*, karaktersisasi, lapisan tipis

ABSTRACT

SOLUTION CONCENTRATION EFFECT OF SILVER NANOWIRES DEPOSITED USING THE MAYER ROD METHOD ON OPTICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES FOR CONDUCTIVE, FLEXIBLE AND TRANSPARENT ELECTRODE APPLICATIONS

By

INDAH PRATIWI

Research on the effect of the concentration of silver nanowires (AgNWs) solution deposited using the mayer rod method on the optical and electrical properties for conductive, flexible and transparent electrode applications has been successfully carried out. The research was carried out in 2 stages, namely the AgNWs colloidal synthesis stage and the AgNWs thin layer manufacturing stage. Synthesis of AgNWs was carried out using the polyol method at an oil bath temperature of 140 °C. The materials used in the synthesis of AgNWs are silver nitrate (AgNO_3) as the main material, ethylene glycol (EG) as a solvent, polyvinyl pyrrolidone (PVP) as a capping agent, and iron (III) chloride hexahydrate ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) as a controller of morphology and size. The manufacture of thin films of AgNWs was carried out using the Mayer rod coating method which was deposited on a polyethylene terephthalate (PET) substrate measuring 10 x 15 cm². The results of AgNWs synthesis show that AgNWs have been formed with a diameter and length of (290 ± 7) nm and (15 ± 1) μm respectively with a thin film thickness of 0.986 μm ; 1,220 μm ; 1.929 μm . Testing the optical properties of the AgNWs colloids using a UV-Vis spectrophotometer obtained an absorption peak with a wavelength of 350-390 nm. Testing the crystal properties of AgNWs colloidal samples using XRD and TEM resulted in a face centered cubic (fcc) crystal structure with 5 crystal planes, namely (111), (200), (220), (311), and (222). The optical transparency value of the AgNWs thin film is 80-95% with an optical conductivity value of $2.15 \times 10^7 \text{ S.m}^{-1}$; $1.31 \times 10^7 \text{ S.m}^{-1}$; and $1.23 \times 10^7 \text{ S.m}^{-1}$ and gap energies of 2.0 eV and 3.6 eV. The electrical properties test results of the AgNWs thin layer obtained a wide resistance value of 59.5 Ω ; 20.8 Ω ; and 14.1 Ω .

Key words: silver nanowires, polyol, mayer rod, characterization, thin film

**PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN *SILVER NANOWIRES*
TERDEPOSISI MENGGUNAKAN METODE *MAYER ROD* TERHADAP
SIFAT OPTIK DAN LISTRIK UNTUK APLIKASI ELEKTRODA
KONDUKTIF, FLEKSIBEL DAN TRANSPARAN**

Oleh

INDAH PRATIWI

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS**

Pada

**Program Studi Magister Fisika Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Tesis : **PENGARUH KONSENTRASI LARUTAN
SILVER NANOWIRES TERDEPOSISI
MENGUNAKAN METODE MAYER ROD
TERHADAP SIFAT OPTIK DAN LISTRIK
UNTUK APLIKASI ELEKTRODA
KONDUKTIF, FLEKSIBEL DAN
TRANSPARAN**

Nama Mahasiswa : **Indah Pratiwi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2127041002

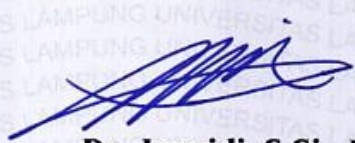
Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

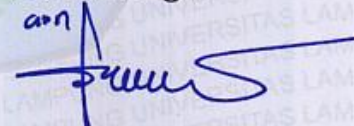
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.
NIP 19820618 200812 1 001

Pembimbing II



Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.
NIP 19770318 200012 1 003

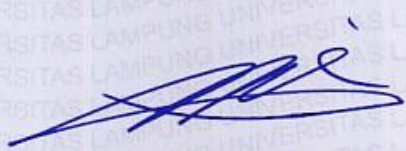
2. Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP 19801010 200501 1 002

Ketua Program Studi Magister Fisika

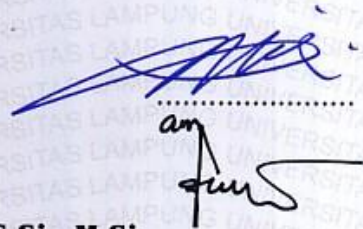


Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.
NIP 19820618 200812 1 001

MENGESAHKAN

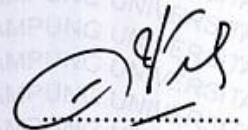
1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Junaldi, S.Si., M.Sc.**



Sekretaris : **Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si.**

Penguji Anggota 1 : **Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.**



Penguji Anggota 2 : **Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP 19711001 200501 1 002



3. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP 19640326 198902 1 001



Tanggal Lulus Ujian Tesis : **8 Mei 2024**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa tesis ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.



Bandar Lampung, 08 Mei 2024

Indah Pratiwi
NPM 2127041002

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta Utara pada tanggal 31 Maret 1997, anak pertama dari 4 bersaudara pasangan Bapak M.Aska Aminika dan Ibu Kartini. Penulis menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SDN. 1 Palapa tahun 2009, sekolah menengah pertama di SMPN. 25 Bandar Lampung tahun 2012 dan sekolah menengah atas di SMAN. 10 Bandar Lampung tahun 2015. Pada tahun 2021 penulis menyelesaikan pendidikan Strata-1 di Jurusan Fisika,

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dan menyelesaikan Studi Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dengan judul penelitian “**Pengaruh Konsentrasi Larutan *Silver Nanowires* Terdeposisi Menggunakan Metode *Mayer Rod* Terhadap Sifat Optik dan Listrik untuk Aplikasi Elektroda Konduktif, Fleksibel dan Transparan**” pada tahun 2024.

MOTTO

“Put Allah first, then you’ll never be last.”

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu selesai (dari suatu urusan) kerjakan dengan sungguh-sungguh urusan yang lain dan hanya kepada Allah hendaknya kamu berharap”

----- QS. Al - Insyirah: 6-8 -----

“Big Things Come From The Small Things.”

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, karya ini dipersembahkan kepada:

Kedua Orang Tua Ayahanda M. Aska dan Ibunda Kartini

Terimakasih atas segala doa, motivasi dan pengorbanan yang telah diberikan sehingga aku mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Magister.

Bapak-Ibu Dosen

Terimakasih atas segala ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah membuka hati dan wawasan.

Sahabat dan Teman Seperjuangan

Terimakasih atas segala kebaikan dan kebersamaan kalian.

Almamaterku Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis ucapkan atas karunia dan kesempatan yang Allah SWT berikan hingga akhirnya dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Pengaruh Konsentrasi Larutan *Silver Nanowires* Terdeposisi Menggunakan Metode *Mayer Rod* Terhadap Sifat Optik dan Listrik untuk Aplikasi Elektroda Konduktif, Fleksibel dan Transparan”**. Tujuan penulisan tesis ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Magister Sains (M.Si.) dan juga melatih mahasiswa untuk berpikir cerdas dalam penulisan karya ilmiah ini. Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penelitian maupun penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca sangat diharapkan untuk memperbaiki kekurangan tersebut. Semoga skripsi ini dapat menambah wawasan literasi keilmuan serta rujukan untuk mengembangkan riset selanjutnya yang lebih baik.

Bandar Lampung, 08 Mei 2024

Penulis,

Indah Pratiwi

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan atas karunia dan kesempatan yang Allah SWT berikan hingga akhirnya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Konsentrasi Larutan *Silver Nanowires* Terdeposisi Menggunakan Metode *Mayer Rod* Terhadap Sifat Optik dan Listrik untuk Aplikasi Elektroda Konduktif, Fleksibel dan Transparan”**. Berhasilnya penelitian dan penulisan tesis ini tidak hanya dilakukan oleh penulis sendiri namun adanya kontribusi beberapa pihak yang turut menyukseskan dan membuat hasil karya ini menjadi lebih baik. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah ikut serta membantu penulis, diantaranya:

1. Kedua Orangtuaku, Ayahanda M. Aska dan Ibunda Kartini yang telah banyak memberikan dukungan secara moril dan materil, senantiasa terus mendoakan dan memberi semangat.
2. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama sekaligus Dosen pembimbing Akademik dan Ketua Program Studi Magister Fisika yang telah memberikan ilmu serta masukannya dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tesis.
3. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan ilmu, saran dan bimbingannya selama pelaksanaan penelitian dan penulisan tesis.
4. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D., selaku Dosen Pembahas Utama atas kritik dan saran yang telah diberikan sehingga penulisan tesis ini dapat lebih baik.

5. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D., selaku Dosen Pembahas Kedua atas kritik dan saran yang telah diberikan sehingga penulisan tesis ini dapat lebih baik.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
9. Para Dosen Program Studi Magister Fisika FMIPA Universitas Lampung atas ilmu pengetahuan yang diberikan sebagai penunjang bagi penulis dalam menyelesaikan pendidikan dan bekal untuk masa mendatang.
10. Rekan penelitian dan sahabat baik Dewi Puspitasari dan Mia Abi Nisa serta yg terkasih Abi yang selalu sedia memberikan dukungan serta membantu dalam proses penyelesaian tesis.

Serta berbagai pihak yang telah ikut serta membantu dalam menyelesaikan tesis dan masa studi penulis yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga Allah SWT membalas dengan kebaikan dan kemudahan dalam segala urusannya. Aamiin.

Bandar Lampung, 08 Mei 2024
Penulis,

Indah Pratiwi

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Penelitian.....	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 <i>Silver Nanowires</i> (AgNWs).....	9
2.3 Metode <i>Polyol</i>	11
2.4 <i>Mayer rod Coating</i>	13
2.5 <i>Tranparant Conductive Electrodes</i> (TCEs).....	14
2.6 Metode Karakterisasi Material.....	16

III. METODE PENELITIAN	26
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	26
3.3 Diagram Alir Penelitian	28
3.4 Metode Penelitian	29
3.4.1 Proses Preparasi Sampel	29
3.4.2 Proses Sintesis AgNWs	30
3.4.3 Proses Pembuatan Lapisan Tipis AgNWs	31
3.4.4 Karakterisasi dan Analisis Data	31
3.4.4.1 Analisis Sifat Optik AgNWs	31
3.4.4.2 Analisis Sifat Kristal AgNWs	33
3.4.4.3 Analisis struktur permukaan dan struktur kristal.....	34
3.4.4.4 Struktur Morfologi dan Ukuran AgNWs.....	35
3.4.4.5 Analisis Sifat Listrik AgNWs.....	35
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Proses Sintesis Larutan AgNWs	36
4.2 Karakterisasi Koloid AgNWs	38
4.2.1 Uji Sifat Optik Koloid AgNWs	38
4.2.3 Uji Morfologi dan Ukuran Koloid AgNWs.....	44
4.2.4 Uji Ukuran dan Struktur Kristal Koloid AgNWs	45
4.3 Pembuatan Lapisan Tipis AgNWs.....	47
4.4 Karakterisasi Lapisan Tipis AgNWs.....	48
4.4.1 Uji Sifat Optik Lapisan Tipis AgNWs.....	48
4.4.2 Uji Morfologi dan Ketebalan Lapisan Tipis AgNWs	53
4.4.3 Uji Sifat Listrik Lapisan Tipis AgNWs	55
V. SIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Simpulan	58
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Skema pembentukan AgNWs. 10
Gambar 2.2	Skema proses <i>polyol</i> 12
Gambar 2.3	Ilustrasi skematis <i>mayer-rod coating</i> 13
Gambar 2.4	<i>Tranparant Conductive Electrodes</i> (TCEs). 15
Gambar 2.5	Diagram skematik SEM. 17
Gambar 2.6	Hasil SEM AgNWs pada suhu (a) 60 °C, (b) 90 °C, (c) 110 °C, dan (d) 130 °C (e-f) FTC AgNWs. 18
Gambar 2.7	Prinsip kerja TEM. 19
Gambar 2.8	(a) Gambar hasil TEM sampel AgNWs (b) Pola SAD AgNWs berindeks difraksi. 20
Gambar 2.9	Prinsip kerja spektrometer UV-Vis..... 21
Gambar 2.10	Spektrum UV-Vis transmitansi FTC AgNWs. 22
Gambar 2.11	Hasil absorbansi larutan AgNWs. 24
Gambar 2.12	Hasil transmitansi lapisan AgNWs. 25
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian..... 28
Gambar 3.2	Diagram blok preparasi sampel..... 29
Gambar 3.3	Proses sintesis AgNWs. 30
Gambar 3.4	Proses pembuatan lapisan tipis AgNWs dengan metode <i>mayer rod coating</i> menggunakan substrat PET..... 31
Gambar 4.1	Proses sintesis koloid AgNWs menggunakan metode <i>polyol</i> 36
Gambar 4.2	Pembentukan AgNWs setelah (a) 60 menit, (b) 90 menit dan (c) 120 menit pada mikroskop optik. 37
Gambar 4.3	Sampel koloid AgNWs dengan variasi konsentrasi (a) 10 wt.%, (b) 15 wt.%, dan (c) 20 wt.%. 37
Gambar 4.4	Sepktra UV-Vis sampel koloid AgNWs 38
Gambar 4.5	Pola difraksi sampel koloid AgNWs untuk konsentrasi 0,3 M dan 0,5 M. 39

Gambar 4.6	Hasil <i>refinement</i> sampel koloid AgNWs (a) 0,3 M dan (b) 0,5 M.	42
Gambar 4.7	(a) Foto SEM koloid AgNWs konsentrasi 0,3 M, (b) EDX AgNWs, (c) distribusi diameter AgNWs dan (d) distribusi panjang AgNWs.	44
Gambar 4.8	(a) Foto TEM koloid AgNWs dan (b) cincin difraksi koloid AgNWs dengan konsentrasi 0,3 M.	45
Gambar 4.9	Proses Pembuatan lapisan Tipis AgNWs Menggunakan Alat <i>Mayer rod coating</i>	47
Gambar 4.10	Lapisan tipis AgNWs dengan variasi konsentrasi koloid AgNWs (a)10 wt.%, (b) 15 wt.% dan (c) 20 wt.%.	48
Gambar 4.11	Uji transmitansi lapisan tipis AgNWs.	49
Gambar 4.12	Kurva nilai indeks bias lapisan tipis AgNWs untuk variasi konsentrasi koloid AgNWs 10 wt.%, 15 wt.% dan 20 wt.%.	50
Gambar 4.13	Kurva konduktivitas optik dari lapisan tipis AgNWs dengan variasi konsentrasi koloid AgNWs 10 wt.%, 15 wt.%, dan 20 wt.%.	51
Gambar 4.14	Kurva energi gap dari lapisan tipis AgNWs dengan variasi konsentrasi koloid AgNWs (a) 10 wt.%, (b) 15 wt.%, dan (c) 20 wt.%.	52
Gambar 4.15	Foto SEM dari lapisan tipis AgNWs dengan variasi konsentrasi (a)10 wt.%, (b) 15 wt.% dan (c) 20 wt.%.	54
Gambar 4.16	Kurva pengaruh konsentrasi koloid AgNWs terhadap (a) diameter dan panjang AgNWs dan (b) ketebalan lapisan tipis AgNWs.	54
Gambar 4.17	Kurva I-V uji sifat listrik lapisan tipis AgNWs dengan variasi konsentrasi koloid AgNWs.	56
Gambar 4.18	Uji sifat optik dan listrik lapisan tipis AgNWs.	56

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	26
Tabel 3.2 Alat yang digunakan pada penelitian	27
Tabel 4. 1 Jarak antar bidang pada sampel koloid AgNWs yang diperoleh dari database Qual-X	41
Tabel 4.2 Informasi keluaran hasil <i>refinement</i> dari fasa Ag	42
Tabel 4.3 Perhitungan ukuran kristal sampel AgNWs-0,3 M dan AgNWs-0,5 M	43
Tabel 4.4 Indeks Miller Sampel Koloid AgNWs-0,3 M	46

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Dalam ilmu fisika, nanoteknologi merupakan teknologi yang berbasis pada rekayasa material dalam skala nanometer, yaitu 1-100 nm. Studi tentang nanomaterial terus berkembang pada material-material organik maupun anorganik. Dari berbagai hasil penelitian mengenai perubahan sifat dan kinerja material berskala nano menunjukkan karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan ketika memiliki ukuran dalam skala mikro (Solomon *et al.*, 2007; Udupudi *et al.*, 2012). Berdasarkan dimensinya, nanomaterial terbagi menjadi beberapa tipe, yaitu material nano berdimensi nol (nanopartikel), material nano berdimensi satu (*nanorods*, *nanotubes*, *nanowires*), material nano berdimensi dua (*thin films*) dan material nano berdimensi tiga (nanokomposit, nanograined, interkalasi) (Jeevanandam *et al.*, 2018; Machín *et al.*, 2021).

Nanowires (NWs) merupakan salah satu nanomaterial yang sedang berkembang dan menjadi minat banyak peneliti dalam beberapa tahun terakhir ini. NWs adalah material berstruktur nano berdimensi satu dengan diameter 10-200 nm dan panjang 5-100 μm (Zhang *et al.*, 2017; Garnett *et al.*, 2019; Machín *et al.*, 2021). NWs memiliki sifat luar biasa yang membuatnya berguna untuk diaplikasikan pada bidang optoelektronik (Ma *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2008). NWs memiliki rasio permukaan volume yang baik, memiliki sifat optik, konduktivitas listrik dan konduktivitas termal yang tinggi, yaitu $6,3 \times 10^7 \text{ S.m}^{-1}$ dan

429 W m⁻¹.K⁻¹ (Fitzgerald *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2021; Zhong and Wang, 2020). Keunggulan lain dari NWs adalah memiliki ukuran yang relatif kecil, ringan dan biaya produksi rendah sehingga baik untuk dikembangkan pada skala besar (Parente *et al.*, 2020).

Berbagai metode telah digunakan untuk mensintesis NWs, diantaranya adalah metode solvothermal (Khademalrasool and Farbod, 2015; Vijila *et al.*, 2016), metode ultraviolet (Chung *et al.*, 2016; Lin *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2022), metode litografi atau templet (lunak dan keras) (Naz *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2020), dan metode *polyol* (Cao *et al.*, 2020; Junaidi *et al.*, 2021; Teymouri *et al.*, 2018). Metode solvothermal merupakan metode sintesis NWs menggunakan tabung tertutup dengan suhu tinggi. Kelemahan metode ini adalah ketidakseragaman bentuk dan ukuran NWs yang dihasilkan (Li *et al.*, 2018).

Metode ultraviolet merupakan metode sintesis NWs menggunakan sinar ultraviolet, namun pada metode ini memerlukan waktu yang cukup lama dalam proses pembentukan NWs (Chung *et al.*, 2016). Metode litografi dan templet keras digunakan untuk menyiapkan AgNWs dengan dimensi yang terdefinisi dengan baik tetapi kedua metode ini menghasilkan NWs polikristalin dengan permukaan yang tidak rata (kasar) sehingga mempengaruhi sifat optik ketika diaplikasikan sebagai elektroda konduktif dan transparan (Naz *et al.*, 2021). Metode cetak merupakan metode sintesis NWs menggunakan *anodized aluminium oxide* (AAO), namun harga AAO cukup tinggi dan menghasilkan NWs yang terbatas atau aspek rasio yang rendah (Kawamura *et al.*, 2014). Dari berbagai metode sintesis NWs di atas, metode *polyol* merupakan sebuah metode yang paling mudah dilakukan. Metode *polyol* merupakan metode sintesis NWs menggunakan pemanas minyak (*oil bath*) sebagai media transfer panas (Teymouri *et al.*, 2018). Metode *polyol* paling sering digunakan karena lebih mudah, lebih simpel, *low cost* dan waktu reaksi untuk penyusunan NWs dengan rasio aspek yang lebih tinggi (Naz *et al.*, 2021).

NWs dapat dibentuk dengan berbagai macam logam, diantaranya emas (Au), perak (Ag) dan tembaga (Cu). Salah satu kelemahan CuNWs adalah mudah teroksidasi, memiliki resistansi lembar yang besar dan mudah rusak (Wang and Ruan, 2016; Zhang and Engholm, 2018). Sementara kelemahan AuNWs selain harganya yang

mahal juga memiliki bentuk permukaan yang kurang jelas (Bai *et al.*, 2020; Jiang *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2008). AgNWs adalah NWs berbasis Ag yang menjadi fokus perhatian saat ini karena AgNWs memiliki konduktivitas listrik yang sangat baik dan transparansi optik yang tinggi ketika digunakan sebagai elektroda konduktif transparan. AgNWs juga dapat digunakan sebagai bahan pengganti *indium thin oxide* (ITO) (Kwon *et al.*, 2018).

ITO adalah salah satu bahan yang digunakan untuk aplikasi *transparent conductive electrodes* (TCEs). Penggunaan ITO sangat terbatas karena selain memiliki harga yang relatif mahal, ITO juga memiliki karakteristik mudah rusak dan rapuh (Bi *et al.*, 2019). Oleh karena itu para peneliti mencoba bahan alternatif yang digunakan sebagai pengganti ITO, seperti AgNWs, *carbon nanotubes* (CNTs) dan *reduced graphene oxide* (rGO) (Wu *et al.*, 2020). Film AgNWs mempunyai sifat optoelektronik yang unggul dibandingkan dengan film CuNWs dan CNTs. Film AgNWs memiliki konduktivitas listrik dan termal yang sangat baik, nilai transparansi yang tinggi dan dapat dibuat fleksibel pada substrat *polycarbonate* (PC) maupun *polyethylene terephthalate* (PET) (Gerlein *et al.*, 2021; Junaidi *et al.*, 2020a; Liu *et al.*, 2021).

Kemampuan menghantar listrik dan optik merupakan dua sifat utama dari film TCEs. Ada dua hal yang menjadi syarat utama dari TCEs, yaitu sifat transmitansi tinggi diatas 80% dan resistensi lembar rendah yaitu dibawah $100 \Omega \cdot \text{sq}^{-1}$ (Wu *et al.*, 2020). TCEs berbasis AgNWs dapat dibuat dalam beberapa metode diantaranya metode *spin coating*, *spray coating*, *dip coating* dan *mayer rod coating*. Metode *spin coating* menjadi metode yang mudah dan cepat, proses untuk membentuk film seragam pada *platform* berputar dengan gaya sentrifugal, tetapi menunjukkan hasil pelapisan AgNWs yang tidak homogen dan luas film yang kecil (Langley *et al.*, 2013; Lagrange, *et al.*, 2015). Nilai transmitansi dan resistansi lembar dari TCEs yang dideposisi menggunakan metode *spin coating* sudah mencapai $20 \Omega \cdot \text{sq}^{-1}$ dan 77-93% (Bernal *et al.*, 2016; Bai *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2022).

Metode *spray coating* dilakukan dengan menyemprotkan larutan AgNWs di atas substrat yang digunakan. Metode ini menghasilkan resistansi dan transmitansi

dibawah $10 \Omega.\text{sq}^{-1}$ dan diatas 87,4% (Junaidi *et al.*, 2020; Selzer *et al.*, 2015). Selain itu, metode *dip coating* dilakukan dengan mencelupkan substrat ke dalam larutan pelapis. Teknik ini membutuhkan bahan pelapis yang cukup banyak dan memerlukan waktu yang lama dalam proses pelapisan. Resistansi dan transmitansi yang dihasilkan masing-masing $100 \Omega.\text{sq}^{-1}$ dan 90% (Ahn *et al.*, 2015). Dari beberapa teknik pelapisan tersebut, teknik *mayer rod coating* lebih sering digunakan dan memiliki keunggulan dibandingkan dengan teknik yang lain. Kelebihan dari *mayer rod coating* yaitu dihasilkan permukaan yang luas dan homogen sehingga metode ini dapat mencegah timbulnya porositas yang berlebih. Metode ini menghasilkan resistansi dan transmitansi sebesar $1,4 \Omega.\text{sq}^{-1}$ dan 94,5% (Junaidi *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2020; Zhang and Engholm, 2018).

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui hasil sintesis AgNWs menggunakan metode *polyol* dengan pelarut *ethylene glycol* (EG). Penelitian ini menggunakan *polyvinyl pyrrolidone* (PVP) sebagai *capping agent*, FCC ($\text{FeCl}_3.6\text{H}_2\text{O}$) sebagai pengontrol ukuran dan AgNO_3 sebagai prekursor logam. Serta pembuatan lapisan tipis AgNWs dengan metode *mayer rod coating* untuk aplikasi elektroda konduktif, fleksibel dan transparan. Lapisan tipis AgNWs dibuat dengan memvariasi konsentrasi dari larutan AgNWs, yaitu 10 wt.% 15 wt.% dan 20 wt.%. Spektrofotometer *UltraViolet-Visible* (UV-Vis) digunakan untuk mengetahui sifat optik lapisan tipis AgNWs, yaitu transmitansi, indeks bias (penyerapan cahaya), reflektansi (kemampuan untuk memantulan cahaya), indeks bias konduktivitas optik dan energi gap. Uji sifat listrik lapisan tipis AgNWs dilakukan menggunakan I-V meter untuk mengetahui nilai resistansi lembar dari lapisan tipis AgNWs. Karakterisasi *scanning electron microscopy* (SEM) digunakan untuk mengetahui struktur permukaan dan ketebalan lapisan AgNWs. Ukuran dan struktur kristal dari lapisan tipis AgNWs dikarakterisasi menggunakan *transmission electron microscopy* (TEM) dan *X-ray diffraction* (XRD).

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang penelitian di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana proses sintesis AgNWs menggunakan metode *polyol* pada suhu 140 °C?
2. Bagaimana mengkararakteristik morfologi, ukuran dan struktur kristal dari koloid AgNWs menggunakan SEM, XRD dan TEM?
3. Bagaimana membuat lapisan tipis berbasis AgNWs dengan metode *mayer rod coating* dengan variasi konsentrasi larutan AgNWs?
4. Bagaimana mengetahui sifat optik, listrik dan ketebalan serta morfologi dari lapisan tipis AgNWs menggunakan UV-Vis, I-V meter dan SEM?

1.3 Batasan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah pada penelitian di atas, maka batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Proses sintesis AgNWs menggunakan metode *polyol* dengan menggunakan PVP sebagai *capping agent* dan EG sebagai pelarut.
2. Menggunakan logam perak (Ag) dan garam $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.
3. Pembuatan lapisan tipis menggunakan metode *mayer rod coating*.
4. Pengujian struktur dan pola difraksi dilakukan menggunakan XRD pada sudut 2-teta dari 20-90°.
5. Pengujian transmitansi dan absorbansi lapisan tipis AgNWs dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 300-800 nm.
6. Pengujian nilai resistansi lapisan tipis AgNWs dengan I-V meter.
7. Karakterisasi struktur permukaan dan ketebalan lapisan tipis AgNWs dengan SEM pada perbesaran 500-5.000x.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari batasan masalah penelitian di atas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan yaitu:

1. Mengetahui hasil sintesis AgNWs menggunakan metode *polyol*.

2. Mengetahui pengaruh sifat optik dan listrik pada variasi konsentrasi AgNWs pada pembuatan lapisan tipis dengan metode *mayer rod coating*.
3. Mengetahui struktur dan pola difraksi yang dihasilkan menggunakan uji XRD dan TEM.
4. Mengetahui nilai transmisi, reflektansi, indeks bias, konduktivitas listrik dan energi gap dari lapisan tipis AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan uji spektrofotometer UV-Vis.
5. Mengetahui nilai resistansi lapisan tipis AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan uji I-V meter.
6. Mengetahui struktur permukaan dan ketebalan lapisan tipis AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan karakterisasi SEM.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan di atas, manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Lapisan tipis AgNWs yang diperoleh dapat menjadi pengganti ITO dan dapat diaplikasikan pada perangkat optoelektronik, sel surya, OLED dan lapisan pemanas.
2. Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk mengkaji lebih mendalam tentang pelapisan AgNWs menggunakan teknik *mayer rod coating* pada pembuatan film TCFs AgNWs.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian tentang sintesis dan analisis struktur kristal AgNWs dengan menggunakan metode *polyol* telah dilakukan oleh Junaidi *et al.* (2022). Sintesis AgNWs dilakukan dengan memanaskan *oil bath* pada *hotplate stirrer* hingga suhu stabil 130 °C. Selanjutnya sebanyak 0,45 M PVP dalam 20 mL EG/PG dipanaskan dan distirrer dengan kecepatan 350 rpm selama 1 jam. Setelah 1 jam, 0,04 M $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 100 μl diinjeksikan ke dalam larutan PVP menggunakan mikropipet. Kemudian 0,3 M AgNO_3 sebanyak 8 ml disuntikkan tetes demi tetes menggunakan jarum suntik ke dalam larutan selama kurang lebih 40 menit. Setelah itu, larutan *distirrer* selama 2 jam hingga terbentuk AgNWs.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua sampel memiliki dua puncak absorbansi pada sampel AgNWs-PG pada puncak 350 nm dan 386 nm, AgNWs-EG pada puncak 368 nm dan 394 nm. Puncak serapan ini berkaitan dengan ukuran AgNWs. AgNWs-PG memiliki panjang dan diameter sebesar $(27 \pm 5) \mu\text{m}$ dan $(210 \pm 53) \text{ nm}$ sedangkan AgNWs-EG memiliki panjang dan diameter $(14 \pm 5) \mu\text{m}$ dan $(109 \pm 22) \text{ nm}$. Semakin besar diameter yang dihasilkan puncak serapannya semakin tinggi. Struktur kristal yang terbentuk pada kedua sampel adalah *face centered cubic* (fcc) dengan bentuk ujung dari NWs adalah dekahedral dan memiliki 5 bidang kisi (111), (200), (220), (311), (222) serta nilai konstanta kisi sebesar 4,082 Å.

Zhang *et al.* (2019) telah membuat elektroda konduktif transparan dengan metode *mayer rod coating* menggunakan substrat PET. AgNWs dibuat dengan metode *polyol* dengan diameter rata-ratanya 35-50 nm dengan panjang 10-30 μm . Koloid

AgNWs diencerkan dan dideposisi di atas substrat PET kemudian disebar dengan batang mayer sehingga AgNWs terdistribusi pada substrat secara merata. Lapisan tipis AgNWs selanjutnya dikeringkan dengan oven agar AgNWs dapat tersebar dan terdistribusi secara merata dan kuat pada substrat. Ketebalan PET yang digunakan adalah 0,1 mm. Substrat PET dibagi menjadi 25 bagian dengan ukuran $20 \times 40 \text{ mm}^2$. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin rapat AgNWs, sifat optiknya semakin menurun. Lapisan tipis AgNWs menghasilkan resistansi lembaran sekitar $24 \Omega.\text{sq}^{-1}$ dan transmitansi sebesar 91%.

Penelitian tentang pembuatan lapisan tipis AgNWs dikombinasi dengan *graphene oxide* (GO) telah dilakukan oleh Jia *et al.* (2021). Pada penelitiannya sintesis AgNWs dilakukan menggunakan bahan EG dengan kemurnian >99% dan PVP ($M_w = 58.000 \text{ g.mol}^{-1}$), Kalium bromida (KBr), *Silver chloride* (AgCl, kemurnian >98%) dan *silver nitrate* (AgNO_3 , kemurnian >99,8%). Sintesis AgNWs dilakukan dengan mencampurkan 668 mg PVP, 10 mg KBr dan 20 ml EG diteteskan dalam *erlenmeyer*. Kemudian, *erlenmeyer* ditempatkan di atas *oil bath* dan dipanaskan sampai suhu 170°C . Selanjutnya ditambahkan 50 mg AgCl dalam *erlenmeyer*. Setelah diaduk selama 3 menit, 2 ml larutan EG AgNO_3 dengan konsentrasi 110 mg.ml^{-1} ditambahkan tetes demi tetes dengan laju $0,003 \text{ ml.s}^{-1}$. Selanjutnya mengumpulkan substansi hasil sentrifugasi yang memiliki bobot jenis yang lebih rendah (*supernatan*) AgNWs hasil sentrifugasi pada 500 rpm selama 30 menit.

Supernatan disentrifugasi dengan kecepatan 8.000 rpm selama 30 menit dan diperoleh endapan AgNWs. AgNWs yang telah disiapkan didispersikan dalam air dengan konsentrasi 1 mg.ml^{-1} . Film AgNWs/GO dikembangkan menggunakan metode *self-assembly* yang dibuat secara vakum dan terdiri dari GO dan AgNWs sebagai penyusun filmnya. Sebanyak $12,87 \text{ mg.ml}^{-1}$ GO diencerkan sampai konsentrasinya sebesar 1 mg.ml^{-1} dengan cara diultrasonik selama 20 menit. Film AgNWs/GO divariasi jumlah lapisannya dari 3, 5, dan 7 lapisan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa film AgNWs/GO memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, yaitu sebesar $2255,8 \text{ S.cm}^{-1}$.

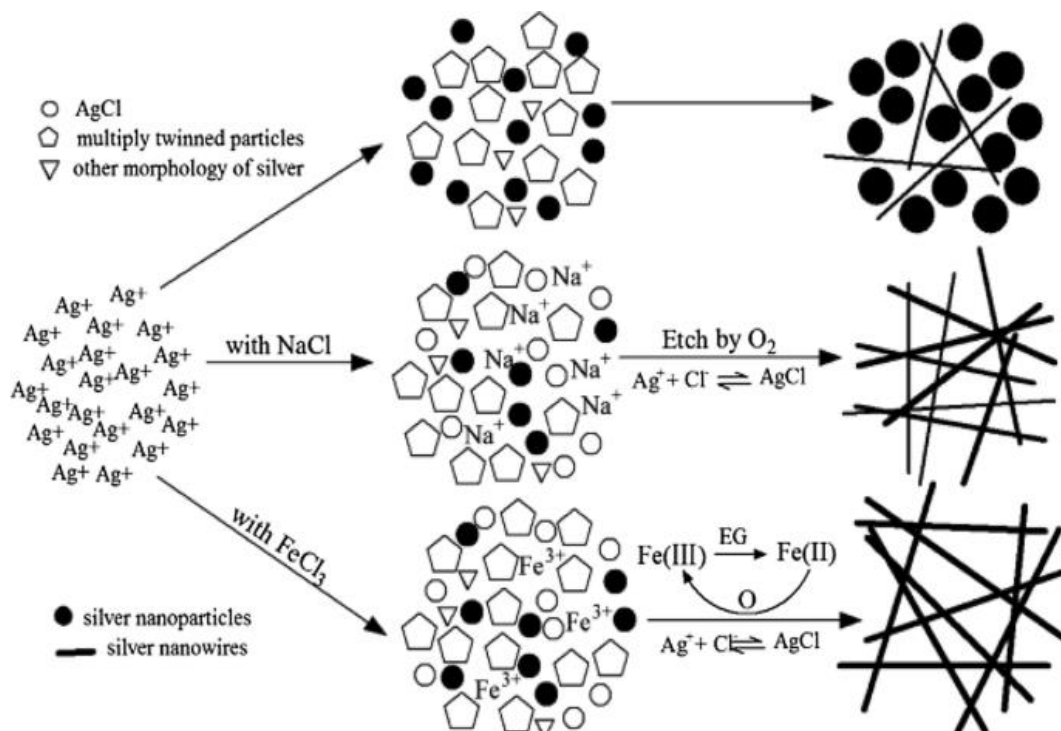
Junaidi *et al.* (2020a) melakukan sintesis AgNWs dengan mencampurkan PVP sebanyak 0,399 g dengan 8 ml EG pada kecepatan 350 rpm selama 5 menit. Selanjutnya $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ /EG 0,1 M sebanyak 10 μl ditambahkan ke dalam larutan PVP/EG dipanaskan pada suhu 90 °C selama 50 menit dan 4 ml larutan AgNO_3 /EG (0,3 M) diinjeksikan kedalam larutan setelah suhu stabil. PVP, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan AgNO_3 dalam larutan EG tersebut dipanaskan dan diaduk hingga diperoleh AgNWs. Fabrikasi *film transparent conductive* (FTC) AgNWs dilakukan pada substrat polikarbonat $15 \times 20 \text{ cm}^2$ dengan memvariasikan jumlah lapisan menggunakan *bar-coater* (RDS-20). Substrat PC ultrasonik dalam etanol pada suhu ruang. Koloid AgNWs tersebar dalam larutan etanol dengan konsentrasi 10 wt.%. AgNWs film FTC dikeringkan pada oven pada suhu 90 °C selama 15 menit. Ketebalan film FTC diperoleh sekitar 30 μm dengan resistensi lembaran dan konduktivitas optik masing-masing $3,4 \Omega \cdot \text{sq}^{-1}$ dan $4,7 \times 10^5$ hingga $13,1 \times 10^5 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$ dan memperoleh indeks bias film FTC sekitar 1,2 hingga 1,7.

2.2 Silver Nanowires (AgNWs)

AgNWs merupakan salah satu bahan yang digunakan sebagai elektroda yang dapat diregangkan karena konduktivitas, fleksibilitas, kemampuan meregang, dan keunggulan manufaktur berbiaya rendah. AgNWs merupakan struktur perak satu dimensi (1-D) yang memiliki diameter sekitar 10-200 nm dan memiliki panjang 5-100 μm (Zhang *et al.*, 2017). AgNWs secara luas dikembangkan dalam bidang optoelektronik untuk aplikasi elektroda konduktor transparan yang fleksibel. Sifat konduktivitas dan transmitansi merupakan parameter utama dalam menghasilkan elektroda konduktor transparan yang optimal. Oleh karena itu, karakteristik dan ukuran dari AgNWs sangat berperan penting agar dapat dihasilkan elektroda dengan tingkat konduktivitas dan transmitansi yang tinggi. AgNWs dengan ukuran yang panjang dan diameter yang kecil (rasio l/d yang tinggi) mampu meningkatkan sifat optik dan listriknya (Junaidi *et al.*, 2020b).

AgNWs disintesis menggunakan perak nitrat (AgNO_3) sebagai bahan metal dan EG sebagai pelarut dan juga dengan PVP sebagai *capping agent*. *Capping agent* membentuk film silinder di sekitar kristal perak, mendorong pertumbuhan hanya

dalam arah aksial. Hal ini mengarah pada pembentukan rasio aspek tinggi. Proses ini menggunakan redaman kimia sederhana untuk pengendapan NWs dan biaya yang relatif rendah untuk semua bahan kimia yang digunakan (Wang *et al.*, 2011). Proses serupa dapat diterapkan untuk sintesis NWs logam lain seperti tembaga, emas dan sebagainya. Namun, adanya lapisan penutup di sekitar NWs dapat meningkatkan resistansi kontakannya dengan NWs lainnya. Proses pembentukan AgNWs seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.

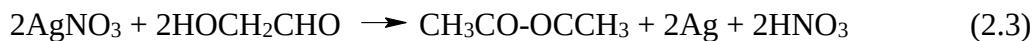


Gambar 2.1. Skema pembentukan AgNWs (Chen *et al.*, 2011).

Pada Gambar 2.1, AgNWs akan terbentuk ketika diberikan PVP yang berfungsi sebagai *capping agent* dan penstabil. Logam perak yang berasal dari perak nitrat akan tereduksi dengan bantuan ion klorida, sehingga terbentuk AgCl. Ketika dipanaskan secara terus menerus pada suhu tinggi, maka molekul AgCl akan terurai menjadi ion Ag. Proses pembentukan ion Ag ini juga dapat dilakukan tanpa bantuan ion klorida.

Ion Ag akan terurai ketika direaksikan dengan EG ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) yang berfungsi sebagai pelarut dan pereduksi perak nitrat. Ketika EG dipanaskan pada suhu tinggi, EG akan terurai menjadi glikol aldehyd (HOCH_2CHO) dan air (H_2O). Kedua unsur

inilah yang mereduksi perak nitrat menjadi Ag^+ dan Ag^0 seperti ditunjukkan pada Persamaan (2.1) - Persamaan (2.3).



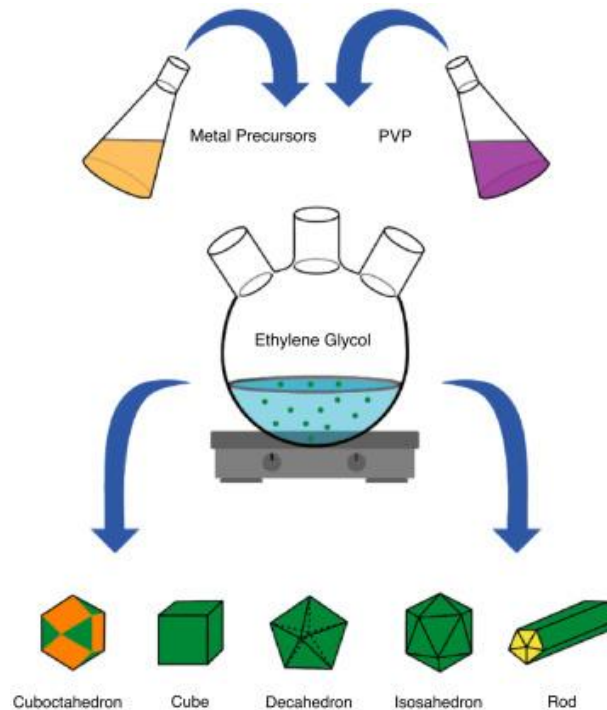
(Chen *et al.*, 2011).

Sintesis AgNWs dengan penambahan ion Cl^- sebagai pengontrol diameter AgNWs dengan menggunakan metode *polyol* telah dilakukan oleh Junaidi *et al.* (2020a). AgNWs dibuat dengan cara melarutkan serbuk AgNO_3 dalam larutan EG yang berfungsi sebagai pereduksi dan PVP sebagai pembungkus dan penstabil. Ukuran diameter dari AgNWs dikontrol dengan penambahan *potassium chloride* (KCl). Ketika KCl ditambahkan pada larutan AgNO_3 , AgCl akan terbentuk dengan sendirinya. Penambahan rasio molar $[\text{Cl}^-]/[\text{Ag}^+]$ dapat menurunkan diameter AgNWs yang dihasilkan (Zhu *et al.*, 2020).

2.3 Metode *Polyol*

Metode *polyol* merupakan reduksi material logam seperti perak (Ag) dengan bantuan pelarut dalam penangas minyak (*oil bath*). Metode *polyol* adalah teknik sintesis yang efektif untuk menghasilkan nanopartikel logam, termasuk AgNWs dengan kontrol yang baik terhadap ukuran dan bentuknya. Dalam proses ini, prekursor dicampur secara menyeluruh dengan *polyol* cair dan dipanaskan hingga titik didih *polyol*. Senyawa prekursor perak seperti AgNO_3 , dilarutkan dalam EG. PVP digunakan sebagai penstabil tambahan untuk mengontrol morfologi nanowires dan mencegah agregasi. Campuran reaksi dipanaskan dalam kondisi refluks. Pemanasan ini meningkatkan potensi reduksi EG, yang kemudian mereduksi ion perak Ag^+ menjadi Ag^0 . Ketika suhu meningkat, reduksi ion perak dimulai dan terjadi nukleasi pembentukan partikel perak. Ukuran partikel dapat dikontrol dengan menambahkan inti logam prekursor untuk proses nukleasi heterogen dan meningkatkan suhu untuk degradasi termal dari *polyol*.

Metode *polyol* memiliki beberapa keunggulan antara lain dapat dilakukan dengan peralatan yang mudah dan dapat menghasilkan AgNWs dalam skala besar (Ding *et al.*, 2016). Metode *polyol* dapat diilustrasikan pada Gambar 2.2.

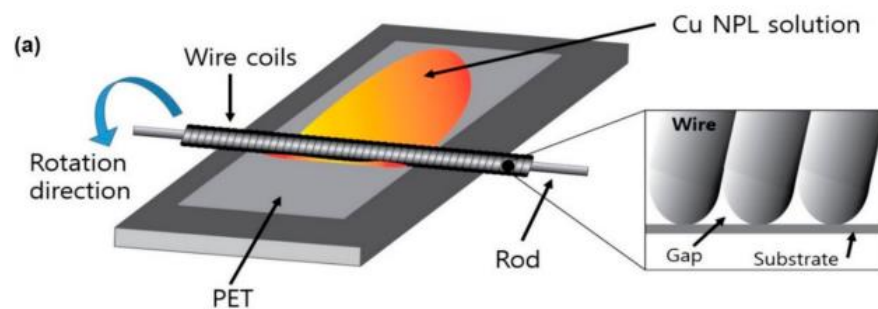


Gambar 2.2. Skema proses *polyol* (Al-Anazi, 2022).

Berdasarkan Gambar 2.2 skema proses *polyol* dibantu dengan prekursor logam, PVP dan EG. Prekursor logam yang dimasukkan ke dalam wadah berisi EG yang akan bereaksi dengan PVP menghasilkan produk berupa variasi nanostruktur berupa batang, decahedron, ikosahendron, kubus dan kubus octahedron. Metode *polyol* yang digunakan dalam mensintesis AgNWs menggunakan AgNO_3 sebagai prekursor logam untuk menghasilkan perak. Logam perak dalam senyawa AgNO_3 lebih mudah dibentuk menjadi nanostruktur seperti Ag nanopartikel (AgNPs), Ag nanorods (AgNRs) dan Ag nanowires (AgNWs). Parameter-parameter yang mempengaruhi morfologi dari AgNWs maupun sifat-sifatnya adalah suhu, kecepatan injeksi, rasio molaritas PVO; AgNO_3 , konsentrasi zat pengontrol, kecepatan pengadukan dan gas sintesis (Ma and Zhan, 2014).

2.4 Mayer rod Coating

Mayer rod coating adalah teknik pelapisan yang efisien dan serbaguna untuk aplikasi lapisan tipis pada berbagai substrat. Dengan keunggulan dalam kesederhanaan, kontrol ketebalan dan biaya efektif, metode ini terus menjadi pilihan utama dalam industri dan penelitian material. Teknik ini melibatkan penggunaan batang logam yang dililit dengan kawat berdiameter tertentu. Ketika batang ini digulung di atas permukaan yang akan dilapisi, cairan disebarkan di atas substrat dengan ketebalan yang ditentukan oleh diameter kawat dan tekanan yang diterapkan selama proses pelapisan. Bahan pelapis mengalir melalui alur batang dan lilitan kawat hingga terbentuk lapisan tipis. Diameter lilitan kawat mengontrol dan menentukan ketebalan dari lapisan yang dilapisi bahan pelapis. Teknik ini dapat digunakan untuk melapisi langsung pada PET, kaca dan substrat lainnya pada temperatur ruang. Pada Gambar 2.3 menunjukkan skematis *mayer rod coating*.



Gambar 2.3. Ilustrasi skematis *mayer rod coating* (Go *et al.*, 2020).

Aspek terpenting pada proses *mayer rod coating* adalah cairan pelapis yang digunakan. Cairan pelapis harus memiliki kepadatan yang cukup untuk membuat lapisan homogen. Tegangan permukaan cairan pelapis harus cukup rendah untuk membuat cairan pelapis menyebar luas setelah proses pelapisan, viskositas cairan pelapis harus cukup tinggi untuk membuat aliran sekunder lambat yang memungkinkan lapisan mengering tanpa mengalir (Dan *et al.*, 2009).

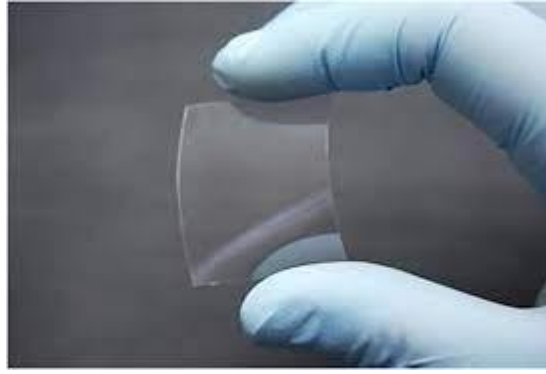
Junaidi *et al.* (2017) telah melakukan penelitian pembuatan lapisan AgNWs menggunakan metode *mayer rod coating* pada substrat polikarbonat menggunakan *bar coater* (RDS-20). AgNWs yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter (ϕ) dan panjang (l) berturut-turut sebesar 500 nm dan 10 μm .

Larutan dispersi AgNWs dilapisi ke substrat polikarbonat dengan ukuran 25 mm x 25 mm dan memvariasi jumlah lapisan, kemudian dikeringkan di atas plat pemanas pada suhu 90 °C selama 15 menit. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan satu lapisan, dua lapisan, tiga lapisan dan lima lapisan, transmitansi dan resistansi yang dihasilkan berturut-turut 89,5% dan 1470,5 $\Omega \cdot \text{sq}^{-1}$, 87,7% dan 454,2 $\Omega \cdot \text{sq}^{-1}$, 85,4% dan 43,9 $\Omega \cdot \text{sq}^{-1}$ dan 70,7% dan 12,1 $\Omega \cdot \text{sq}^{-1}$. Berdasarkan hasil tersebut semakin banyak jumlah lapisan maka transmitansi dan resistansi semakin kecil. Semakin kecil nilai resistansi maka konduktivitas yang dihasilkan akan semakin baik (Junaidi *et al.*, 2017).

2.5 *Tranparant Conductive Electrodes (TCEs)*

Fabrikasi elektroda konduktif transparan atau *transparent conductive electrodes* (TCEs) difokuskan kepada transmitansi dan resistansi lembar dari lapisan tipis berbasis AgNWs. Para peneliti masih terus mengembangkan metode dalam fabrikasi TCEs sehingga diperoleh transmitansi di atas 90% dan resistansi lembar di bawah 20 $\Omega \cdot \text{sq}^{-1}$. Pembuatan TCEs berbahan dasar AgNWs dilakukan dengan menggunakan metode *meyer-rod coating*, *spin coating*, *spray coating*, *dip-coating*, dan *brush-painting*. Deposisi larutan AgNWs dilakukan di atas substrat kaca transparan, kaca kuarsa, PET dan ITO (Gerlein *et al.*, 2021).

Pembuatan TCEs difokuskan pada konduktivitas optik (σ_{op}), konduktivitas listrik (σ_{dc}), resistansi lembar (R_s), dan transmitansi (T). Penambahan polimer lain seperti *carbon nanotubes* (CNTs), *graphene oxide* (GO), *polyaniline* (PANi), dan poly(3,4-ethylenedioxy-thiophene):poly(styrenesulfonate) atau PEDOT:PSS dalam pembuatan TCEs mampu meningkatkan konduktivitas dari TCEs. TCEs dari lapisan tipis CNTs/AgNWs, GO/AgNWs/GO-TCFs, PANi/AgNWs, dan PEDOT:PSS/ AgNWs memiliki konduktivitas dan stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan lapisan tipis AgNWs murni. Contoh TCEs seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. *Tranparant Conductive Electrodes (TCEs)* (Andrés *et al.*, 2015).

Deposisi AgNWs dengan penambahan polimer PEDOT:PSS telah dilakukan dengan berbagai metode, seperti: (1) *spin coating* di atas substrat ITO berukuran $1 \times 1 \text{ cm}^2$ dengan nilai $R_s = 6,7\text{-}8,4 \text{ } \Omega.\text{sq}^{-1}$ dan $T = 76,5\text{-}79,7\%$ (Chen *et al.*, 2012); (2) metode *mayer rod coating* di atas substrat PET dengan $R_s < 300 \text{ } \Omega.\text{sq}^{-1}$ dan $T \geq 90\%$ (Kumar *et al.*, 2013; Junaidi *et al.*, 2017); (3) metode *dip coating* di atas substrat kaca berukuran $50 \times 100 \text{ mm}^2$ dengan $R_s = 15 \text{ } \Omega.\text{sq}^{-1}$ dan $T = 85\%$ (Bi *et al.*, 2019); (4) metode *spray coating* di atas substrat PET pada suhu $80 \text{ } ^\circ\text{C}$ dengan $R_s = 18 \text{ } \Omega.\text{sq}^{-1}$ dan $T = 86\%$ berbahan PEDOT:PSS/AgNW (Margulis *et al.*, 2013). Nilai $R_s = 20 \text{ } \Omega.\text{sq}^{-1}$, $T \geq 80\%$ dan *haze* $< 3\%$ agar dapat digunakan untuk aplikasi elektroda sel surya (Jia *et al.*, 2021). Efek penambahan polimer terhadap lapisan tipis AgNWs adalah meningkatnya keburaman (*haze*) dan menurunkan tingkat transmitansi optik dari TCEs. Kondisi ini berdampak buruk terhadap kinerja dari TCEs ketika digunakan untuk aplikasi optoelektronik (Junaidi *et al.*, 2020b; Zhu *et al.*, 2020).

TCEs berbasis AgNWs telah dibuat dan sintesis AgNWs dilakukan pada suhu *oil bath* $170 \text{ } ^\circ\text{C}$ menggunakan metode *polyol* (Zhu *et al.*, 2020). AgNWs yang dihasilkan disimpan dalam larutan metanol. Diameter dan panjang AgNWs yang dihasilkan masing-masing adalah $60\text{-}100 \text{ nm}$ dan $20\text{-}30 \text{ } \mu\text{m}$. Puncak serapan AgNWs dihasilkan pada panjang gelombang 350 nm dan 390 nm . TCEs dibuat di atas substrat kaca dengan metode *spin coating* dengan kecepatan 5000 rpm selama 30 detik . Sampel lapisan tipis AgNWs kemudian dipanaskan pada suhu $200 \text{ } ^\circ\text{C}$ selama 30 menit . Transmitansi dan resistansi lembar lapisan tipis AgNWs diperoleh sekitar $87\text{-}90\%$ dan $19,7\text{-}23,2 \text{ } \Omega.\text{sq}^{-1}$.

Fabrikasi lapisan tipis untuk TCEs berbasis AgNWs juga telah dilaporkan oleh (Junaidi *et al.*, 2020b). AgNWs dengan diameter dan panjang rata-rata 90 nm dan 25 μm diperoleh dari *BlueNano Co.* TCEs dibuat di atas substrat *photopolymer* berukuran $2,5 \times 2,5 \text{ cm}^2$ dengan metode *spin coating* pada kecepatan 8.000 rpm selama 30 detik. Resistansi lembar lapisan tipis AgNWs yang dihasilkan sekitar $45,7 \Omega.\text{sq}^{-1}$ dengan transmitansi sekitar 80-90%. TCEs yang dihasilkan diaplikasikan untuk anoda *organic light emitting diode* (OLED).

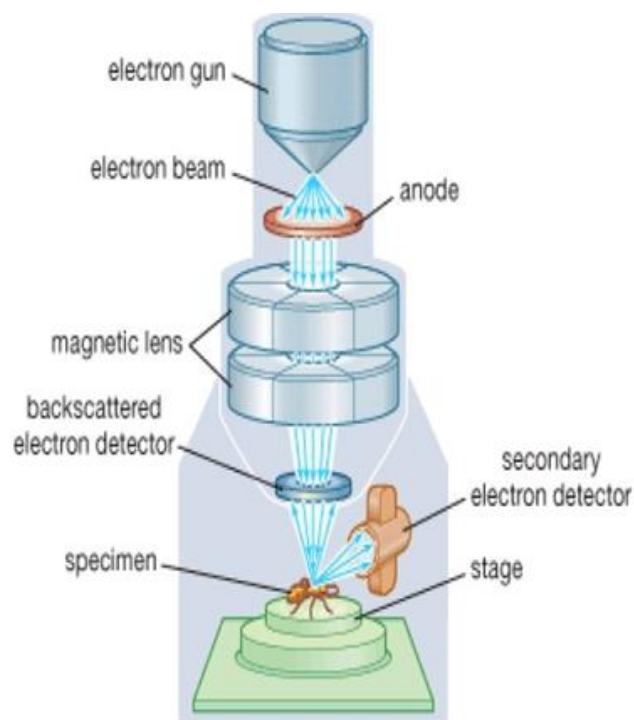
2.6 Metode Karakterisasi Material

Karakterisasi material melibatkan berbagai metode yang memberikan informasi rinci tentang sifat fisik, kimia, mekanik, dan struktural material. Karakterisasi material dilakukan untuk menganalisa sifat-sifat yang terdapat dalam suatu material. Hal ini penting dilakukan karena dalam proses penelitian diperlukan data-data ilmiah yang dapat dibuktikan secara kualitatif maupun kuantitatif. Berikut adalah beberapa jenis karakterisasi (uji) beserta prinsip kerjanya.

2.6.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah alat yang sangat berharga dalam penelitian dan industri karena kemampuannya untuk menghasilkan gambar resolusi tinggi dari permukaan sampel. SEM memungkinkan analisis mendetail dari morfologi, struktur dan komposisi material, termasuk nanomaterial seperti AgNWs. Dengan keuntungan seperti resolusi tinggi, kedalaman fokus yang besar, dan kemampuan analisis komposisi, SEM merupakan teknik esensial dalam banyak bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. SEM bekerja pada perbesaran tinggi mencapai 300.000x dan bahkan 1.000.000x (dalam beberapa model modern) dalam menghasilkan gambar yang sangat tepat dari berbagai macam bahan. *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDS) bekerja sama dengan SEM untuk memberikan hasil kualitatif dan semi-kuantitatif. Kedua teknik ini memiliki potensi untuk memperkenalkan informasi mendasar tentang komposisi material dari spesimen yang dipindai yang tidak dapat disediakan oleh tes laboratorium umum) (Abdullah and Mohammed, 2019).

Prinsip kerja SEM terlihat pada Gambar 2.5 dimulai dengan suatu sinar elektron dipancarkan dari *electron gun* yang dilengkapi dengan katoda filamen tungsten. Elektron dihasilkan dengan memanaskan filamen atau dengan menerapkan medan listrik yang kuat padanya. Filamen sering kali terbuat dari tungsten dan memiliki ujung yang sangat tajam sehingga aliran elektron yang dipancarkan sangat sempit. Elektron dipercepat menuruni kolom mikroskop oleh anoda. Anoda bermuatan negatif, sehingga menolak elektron yang bermuatan negatif memaksanya untuk berakselerasi. Elektron difokuskan ke sampel oleh lensa magnetik. Hal ini memastikan berkas elektron yang sangat sempit mengenai sampel. Sampel menghamburkan elektron. Jumlah hamburan dan jumlah yang terdeteksi pada detektor dapat bergantung pada banyak faktor seperti tinggi sampel, kimia sampel, dan struktur kristal sampel.

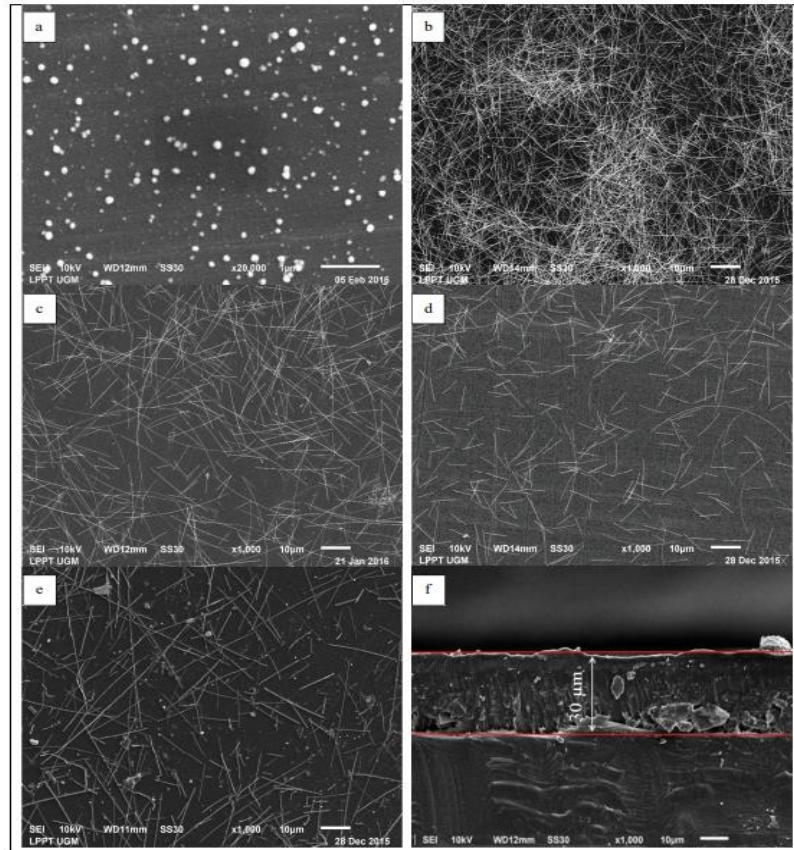


Gambar 2.5. Diagram skematik SEM (Zhow dan Wang, 2007).

Sinar-X juga dihasilkan oleh elektron yang menumbuk atom-atom dalam sampel. Kita dapat menganalisis Sinar-X ini untuk memberi tahu kita elemen mana yang ada dalam sampel. Sinar dipindai di seluruh sampel dan sinyal dari setiap titik terdeteksi. Ada banyak jenis detektor yang dapat mendeteksi elektron dengan energi berbeda yang bergerak ke arah yang berbeda. Menggunakan detektor yang

berbeda akan memberikan informasi yang berbeda pula mengenai sampel (Echlin, 2009).

Junaidi *et al.* (2022) melakukan uji SEM pada sampel AgNWs dengan varian suhu 60, 90, 110 dan 130 °C dapat dilihat pada Gambar 2.6.

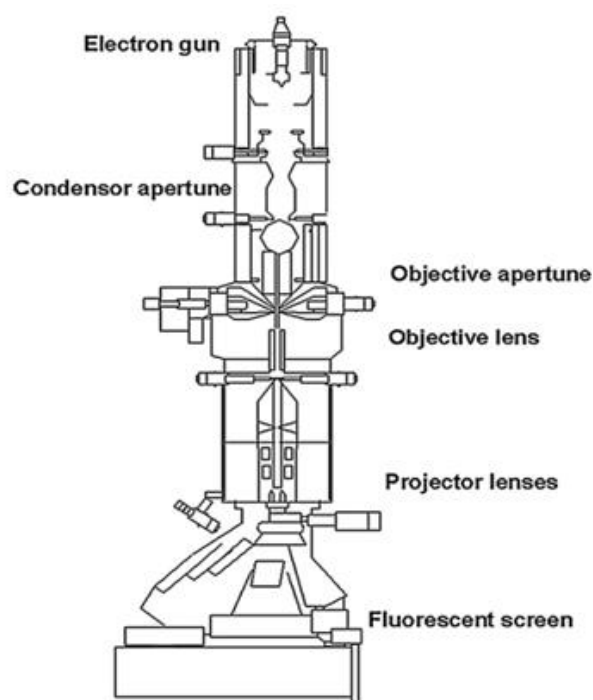


Gambar 2.6. Hasil SEM AgNWs pada suhu (a) 60 °C, (b) 90 °C, (c) 110 °C, dan (d) 130 °C (e-f) FTC AgNWs (Junaidi *et al.*, 2020b).

AgNWs yang digunakan untuk pembuatan *thin film* adalah hasil sintesis pada suhu 90 °C pada Gambar 2.6(b). NWs perak yang diendapkan pada substrat polikarbonat dengan teknik pelapisan batang mayer didistribusikan secara merata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6(e). Ketebalan lapisan tipis NWs perak diamati menggunakan SEM dengan teknik *cross-section*. Ketebalan *thin film* AgNWs diperoleh sekitar 30 μm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6(f).

2.6.2 Transmission Electron Microscopy (TEM)

Transmission Electron Microscopy (TEM) adalah teknik mikroskopi yang sangat kuat untuk karakterisasi material pada skala atom. TEM memberikan resolusi yang sangat tinggi, memungkinkan pengamatan detail struktur internal, analisis komposisi dan studi difraksi elektron. TEM digunakan untuk menentukan bentuk dan ukuran partikel yang sangat teliti karena memiliki resolusi yang tinggi serta untuk melihat pola difraksi yang terbentuk dengan menggunakan *Selected Area Diffraction* (SAD). Prinsip kerja TEM ditunjukkan Gambar 2.7.



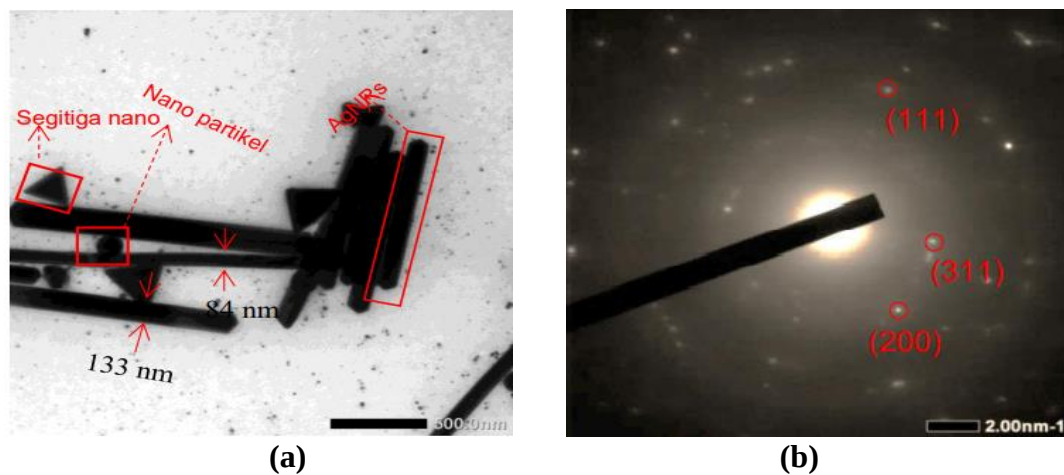
Gambar 2.7. Prinsip kerja TEM (Pennycook *and* Nellist, 2011).

Gambar 2.7 menunjukkan skema TEM dan mekanisme sistem pencitraan TEM. Berkas elektron yang dihasilkan dari *electron gun* dapat difokuskan secara dekat oleh lubang logam dan lensa elektromagnetik dalam kolom TEM. Mekanisme fenomena pemfokusan elektron didasarkan pada karakter gelombang elektron yang berperilaku sebagai partikel bermuatan negatif, kemudian dibelokkan oleh medan magnet atau listrik. Selama prosedur ini, elektron hanya dalam kisaran energi yang kecil yang dapat melewatinya, yang mengarah ke berkas elektron berenergi yang terdefinisi dengan baik. Kemudian, elektron yang ditransmisikan diterapkan pada spesimen dalam kolom TEM, yang ditempatkan pada tempat sampel atau disebut

kisi TEM, yang terdiri dari bingkai logam dan film berbasis karbon yang dilengkapi dengan lengan mekanis untuk mengontrol posisi dan memegang spesimen. Ketebalan spesimen TEM biasanya harus dalam 100 nm agar elektron dapat melewatinya. Banyak faktor dari spesimen yang dapat berdampak pada transmisi berkas elektron, seperti kepadatan atau komposisi spesimen.

Dengan menggunakan lensa kondensor pada TEM, informasi struktur kristal dari suatu spesimen juga dapat diperoleh dari berkas elektron yang diparalelkan. Elektron yang ditransmisikan difokuskan kembali dan kemudian diperbesar oleh sistem lensa elektromagnetik yang terdiri dari dua lensa setelah melewati spesimen dan diproyeksikan pada layar fosfor untuk mengubah informasi gambar elektron menjadi bentuk yang terlihat. Dalam seluruh sistem pencitraan, arah pancaran elektron dapat diubah dengan lensa elektromagnetik, seperti lensa kondensor, objektif dan proyektif (Pan *et al.*, 2017).

Junaidi *et al.* (2022) telah melakukan uji TEM pada sampel AgNWs untuk mengetahui diameter AgNWs dan mengetahui pola difraksi yang terbentuk untuk membuktikan nilai konstanta kisi yang diperoleh dari hasil XRD. Hasil TEM/SAD ditunjukkan Gambar 2.8.



Gambar 2.8. (a) Gambar hasil TEM sampel AgNWs (b) Pola SAD AgNWs berindeks difraksi (Junaidi *et al.*, 2022).

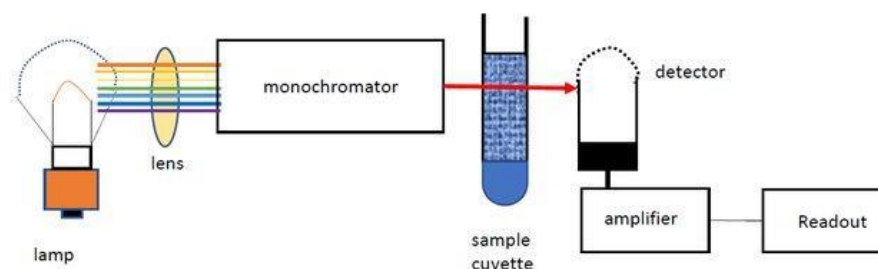
Gambar 2.8 (a) menunjukkan gambar TEM AgNWs yang memiliki diameter ~84 nm dan ~133 nm yang sesuai dengan data perhitungan SEM memiliki diameter (109

± 22) nm. Gambar 2.8 (a) juga menunjukkan selain NWs masih terdapat partikel lainnya seperti AgNPs dan segitiga nano yang terbentuk dari kristal tunggal.

Bagian dari AgNWs tunggal kemudian dianalisis menggunakan pola SAD seperti Gambar 2.8 (b) untuk membuktikan pola difraksi dan nilai dhkl yang terbentuk yang kemudian dicocokkan dengan ICCD No. 03-065-2871. Nilai konstanta kisi yang diperoleh dari perhitungan sebesar $4,082 \text{ \AA}$ (Junaidi *et al.*, 2022). Nilai yang diperoleh sesuai dengan teori nilai konstanta kisi yang dimiliki Ag sebesar $4,082 \text{ \AA}$ (Lee *et al.*, 2015).

2.6.3 Ultra Violet-Visible (UV-Vis)

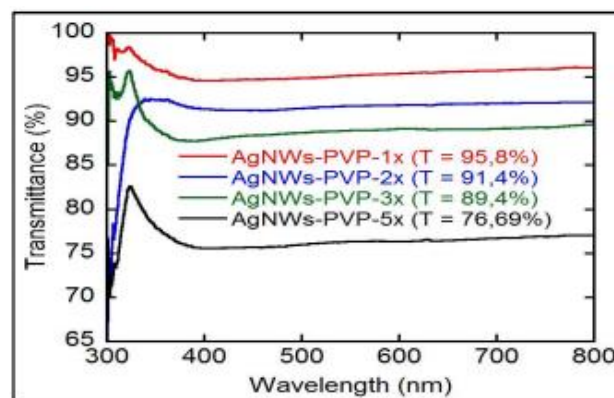
Spektrometer UV-Vis adalah alat untuk mengukur transmitansi atau absorbansi suatu sampel. Teknik analisis spektrometer yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultra violet dekat (190 nm – 380 nm) dan sinar tampak (380 nm – 780 nm) dengan menggunakan instrumen spektrometer (Behera *et al.*, 2012). Prinsip kerja spektrometer dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Prinsip kerja spektrometer UV-Vis (Rahman *et al.*, 2020).

Prinsip kerja spektrometer sering dijelaskan dengan menggunakan Hukum Lambert-Beer, yang menghubungkan penyerapan cahaya dengan konsentrasi zat penyerap dalam larutan. Bila cahaya monokromatik melalui suatu media (larutan) maka sebagian cahaya tersebut diserap, sebagian dipantulkan, dan sebagian lagi dipancarkan. Absorban adalah suatu polarisasi cahaya yang terserap oleh bahan atau komponen kimia tertentu pada panjang gelombang tertentu sehingga akan memberikan warna tertentu terhadap bahan. Sinar yang dimaksud bersifat monokromatis dan mempunyai panjang gelombang tertentu.

Cara kerja spektrometer yaitu ketika cahaya dari sumber radiasi diteruskan menuju monokromator, cahaya dari monokromator diarahkan terpisah melalui sampel dengan sebuah cermin berotasi. Detektor menerima cahaya dari sampel secara bergantian secara berulang-ulang, sinyal listrik dari detektor diproses, diubah ke digital dan dilihat hasilnya. Di dalam suatu molekul yang memegang peranan penting adalah elektron valensi dari setiap atom yang ada hingga terbentuk suatu materi. Elektron-elektron yang dimiliki oleh suatu molekul dapat berpindah (eksitasi), berputar, dan bergetar (vibrasi) jika dikenai suatu energi. Jika zat menyerap cahaya tampak dan UV maka akan terjadi perpindahan elektron dari keadaan dasar menuju keadaan tereksitasi. Junaidi *et al.* (2020b) melakukan uji transmitansi optik dari FTC berdasarkan AgNWs ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Spektrum UV-Vis transmitansi FTC AgNWs (Junaidi *et al.*, 2020b).

Pada Gambar 2.10 transmitansi FTC-AgNws sekitar 76-95%. Transmitansi optik FTC adalah stabil pada panjang gelombang 550 nm pada panjang gelombang cahaya tampak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa FTC AgtNWs dapat digunakan untuk elektroda konduktif transparan (TCE).

Spektrofotometer UV-Vis merupakan alat untuk mengukur transmitansi, absorbansi, dan reflektansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer berfungsi untuk menghasilkan sinar dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer sebagai alat pengukur intensitas cahaya yang diabsorbsi. Absorbansi dan transmitansi dalam spektrofotometer UV-Vis dapat digunakan untuk analisis kualitatif dan kuantitatif suatu zat kimia (Khopkar, 2002).

Absorbansi, transmitansi, dan reflektansi merupakan sifat optik dari suatu material yang ada kaitannya dengan interaksi antara material dengan gelombang elektromagnetik seperti cahaya, khususnya cahaya tampak. Jika cahaya dilewatkan pada suatu material, maka sebagian cahaya dilewatkan pada suatu bahan, sebagian lagi akan diserap (absorbansi), sebagian akan diteruskan (transmitansi), dan sebagian akan dipantulkan (reflektansi). Hal ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya yang datang adalah (I_0) sama dengan intensitas cahaya yang diserap (I_A), intensitas cahaya yang diteruskan (I_T), dan intensitas cahaya yang dipantulkan (I_R). Secara matematis dapat dituliskan seperti Persamaan (2.4).

$$A + T + R = 1 \quad (2.4)$$

dengan A adalah cahaya yang diserap atau absorbansi, T adalah cahaya yang diteruskan atau transmitansi, dan R adalah cahaya yang dipantulkan atau reflektansi (Miller *et al.*, 2009).

Pengukuran sifat optik menggunakan gelombang elektromagnetik dari ultraviolet sampai inframerah. Hubungan panjang gelombang dengan energi gap dirumuskan secara matematis pada Persamaan (2.5).

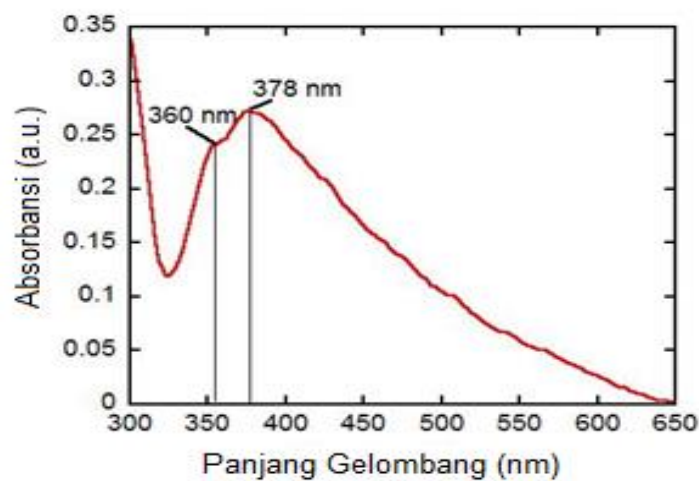
$$E_g = hc / \lambda \quad (2.5)$$

dengan E_g adalah energi gap (eV), h konstanta *planck* ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s), c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m.s⁻¹), dan λ adalah panjang gelombang cahaya (nm) (Halliday dan Resnick, 1991). Absorbansi menyatakan besarnya cahaya yang diserap oleh suatu bahan lapisan tipis dari cahaya total yang dipancarkan. Pengukuran absorbansi cahaya merupakan salah satu teknik yang penting untuk menentukan sifat optik suatu bahan lapisan tipis. Dalam pengukuran absorbansi, intensitas cahaya setelah melewati sampel (I_1) dengan ketebalan d sebanding dengan intensitas cahaya yang datang (I_0). Hubungan antara keduanya dapat dituliskan seperti pada Persamaan (2.6).

$$I_1 = I_0 e^{-\alpha d} \quad (2.6)$$

dengan α adalah koefisien absorbansi dan d ketebalan lapisan (cm). Banyaknya berkas cahaya yang diserap oleh suatu bahan tidak tergantung pada intensitas berkas cahaya datang (Miller *et al.*, 2009). Hal ini dapat terjadi karena di dalam

bahan tersebut tidak terjadi reaksi kimia atau proses fisis yang dapat dipicu oleh berkas cahaya yang datang. Hasil absorbansi AgNWs terdapat pada Gambar 2.11.



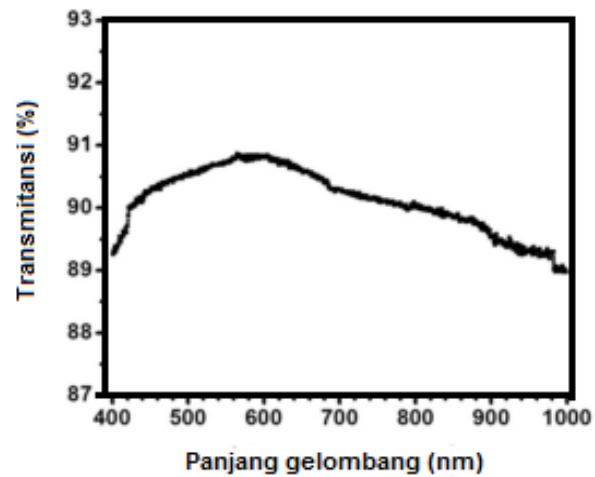
Gambar 2. 11. Hasil absorbansi larutan AgNWs (Junaidi *et al.*, 2016).

Pada Gambar 2.11 menggambarkan hasil absorbansi larutan AgNWs. Puncak absorbansi yang dihasilkan pada panjang gelombang 360 nm dan 378 nm. Karakteristik dan fenomena optik bahan logam nano, terutama perak nano mengenai spektrum penyerapan tergantung pada geometri dan ukuran. Puncak absorbansi yang terjadi berdasarkan panjang gelombang tertentu yang diperoleh dari interaksi cahaya dengan sampel (Junaidi *et al.*, 2016).

Transmitansi (T) merupakan interaksi antara intensitas cahaya yang datang. Berdasarkan hukum Lambert-Beer, banyaknya cahaya yang ditransmisikan dapat ditentukan dengan Persamaan (2.7).

$$T = \frac{I_0 e^{-\alpha d}}{I_0} \quad (2.7)$$

Ketika cahaya bertemu objek, cahaya datang dapat ditransmisikan, diserap atau dipantulkan. Rasio cahaya yang ditransmisikan dari cahaya datang dapat didefinisikan sebagai transmitansi objek, biasanya dinyatakan dalam persentase. Transmitansi suatu objek dapat merespon panjang gelombang cahaya yang datang (Miller *et al.*, 2009). Semua transmitansi dinyatakan pada panjang gelombang 550 nm seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Hasil transmitansi lapisan AgNWs (Preston *et al.*, 2014).

Berdasarkan grafik pada Gambar 2.12 tersebut transmitansi yang dihasilkan pada panjang gelombang 550 nm yaitu sebesar 91%. Hal tersebut sesuai dengan kriteria TCE. Semakin besar diameter dan panjang AgNWs maka transmitansi yang dihasilkan semakin besar (José-Andrés *et al.*, 2015).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Penelitian ini dilakukan pada bulan Mei 2023 hingga Januari 2024.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Bahan yang digunakan dalam penelitian.

No.	Nama bahan	Fungsi
1.	AgNO ₃ (99% Merck)	Sumber perak
2.	FeCl ₃ .6H ₂ O (98%, Merck)	Pengontrol ukuran
3.	EG (99% Merck)	Pelarut
4.	PVP (Mw. 55000 g/mol, Sigma Aldrich)	<i>Capping agent</i>
5.	EtOH (98%, Merck)	Bahan pencuci sampel
6.	Minyak sayur (Bimoli)	Media transfer panas

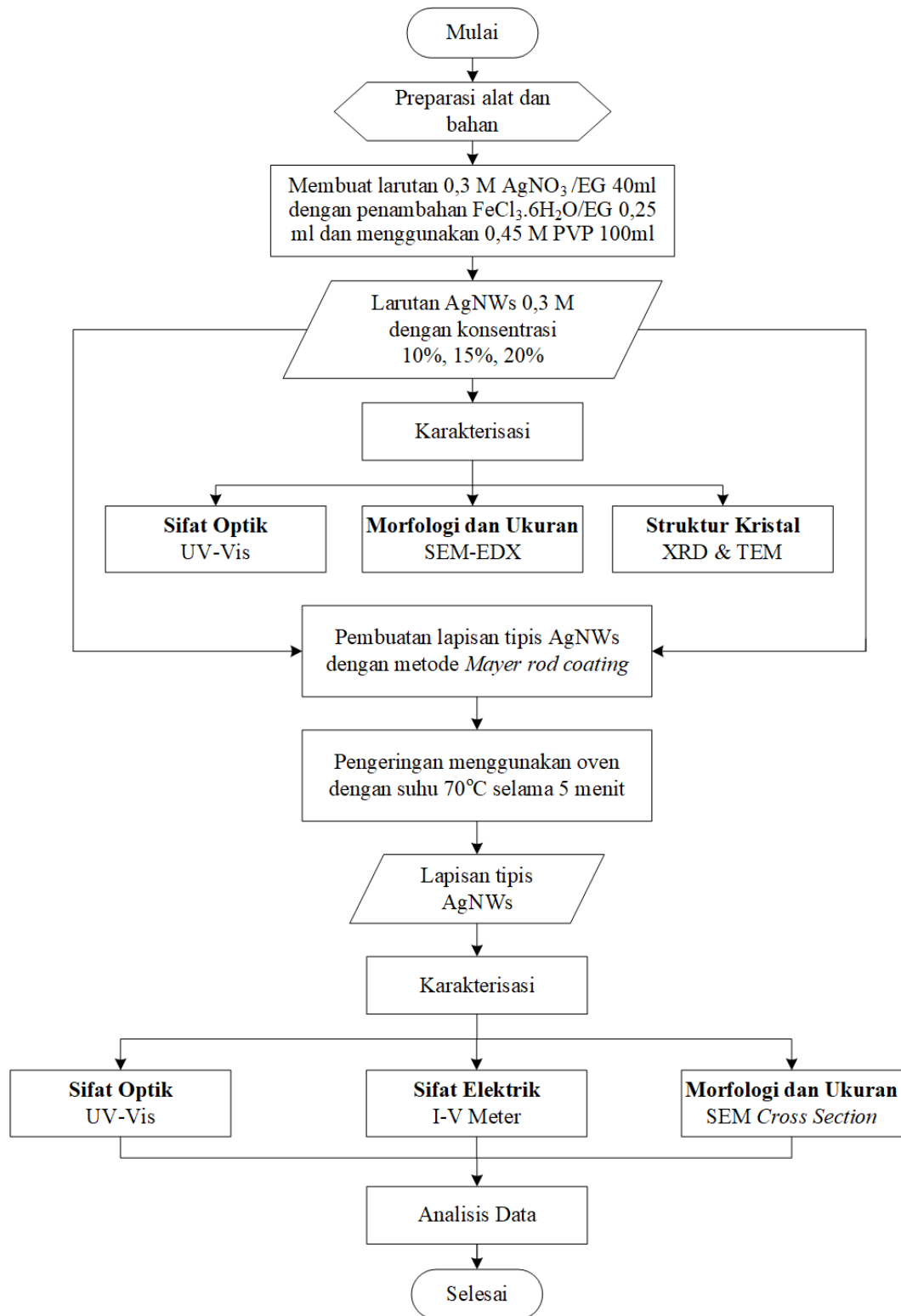
Alat yang digunakan pada penelitian ini terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Alat yang digunakan pada penelitian.

No	Nama Alat	Fungsi
1.	<i>Hot plate stirrer</i> Merk Diab Ms-H280 Pro	Memanaskan dan mengaduk larutan
2.	Thermokopel Merk Listron TM-920 C	Mengukur suhu <i>oil bath</i>
3.	Magnetik bar	Pengaduk larutan
4.	Erlenmeyer	Wadah sintesis NWs
5.	Alumunium foil	Menutup <i>sampel</i> dan sebagai alas pada alat yang digunakan
6.	Jarum suntik	Inject larutan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
7.	Tisu	Membersihkan larutan yang tumpah
8.	Statif	Menjepit erlenmayer saat proses sintesis
9.	Kertas label	Memberi label pada sampel
10.	Spatula besi	Mengambil bahan dan mengaduk larutan
11.	Stopwatch	Mengukur waktu
12.	Pipet tetes	Mengambil sampel
13.	Kaca preparat	Tempat objek yang akan diamati pada mikroskop
14.	Beker <i>glass</i>	Wadah larutan
15.	Burret tetes	Untuk meneteskan larutan kedalam sampel secara konsisten
16.	Sarung tangan non powder	Melindungi kulit dari larutan
17.	Botol sampel	Tempat menyimpan larutan sampel
18.	<i>Centrifuge</i>	Pemisah suspensi nws dengan larutan lainnya
19.	Oven	Pemanas sampel
20.	Timbangan digital	Menimbang bahan-bahan penelitian
21.	Penangas aluminium	Media transfer panas dari minyak

3.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



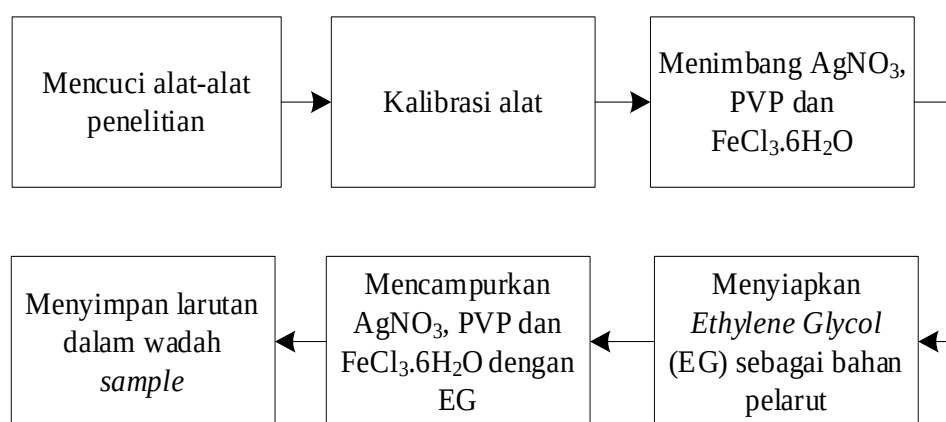
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

3.4 Metode Penelitian

Sintesis AgNWs ini dilakukan dengan menggunakan metode *polyol* dan dibuat lapisan tipis menggunakan metode *Mayer rod coating*. Sintesis AgNWs dibagi menjadi empat tahap yaitu proses preparasi sampel, sintesis AgNWs, pembuatan lapisan tipis dan karakterisasi.

3.4.1 Proses Preparasi Sampel

Secara garis besar proses preparasi sampel ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram blok preparasi sampel.

Langkah pertama dalam sintesis AgNWs adalah preparasi sampel yang meliputi pencucian dan pembersihan alat-alat yang akan dipakai pada proses penelitian serta melakukan kalibrasi pada *hot plate stirrer* dan timbangan digital. Tahap selanjutnya menimbang bahan-bahan yang akan digunakan seperti AgNO₃ dan FeCl₃.6H₂O dan PVP.

Larutan AgNO₃ dibuat pada konsentrasi 0,3 M dalam 40 ml EG dengan AgNO₃ sebanyak 2,038 g. Selanjutnya larutan FeCl₃.6H₂O dibuat pada konsentrasi 0,1 M dalam 10 ml EG dengan FeCl₃.6H₂O sebanyak 0,162 g. Proses pelarutan di dalam larutan EG dilakukan pada suhu ruang dan diputar $\pm$ 10 menit hingga terlarut. Larutan tersebut disimpan didalam wadah untuk persiapan proses selanjutnya. Kemudian menyiapkan PVP sebanyak 4,995 g kedalam wadah erlenmayer yang akan diberi pelarut EG sebanyak 100 ml.

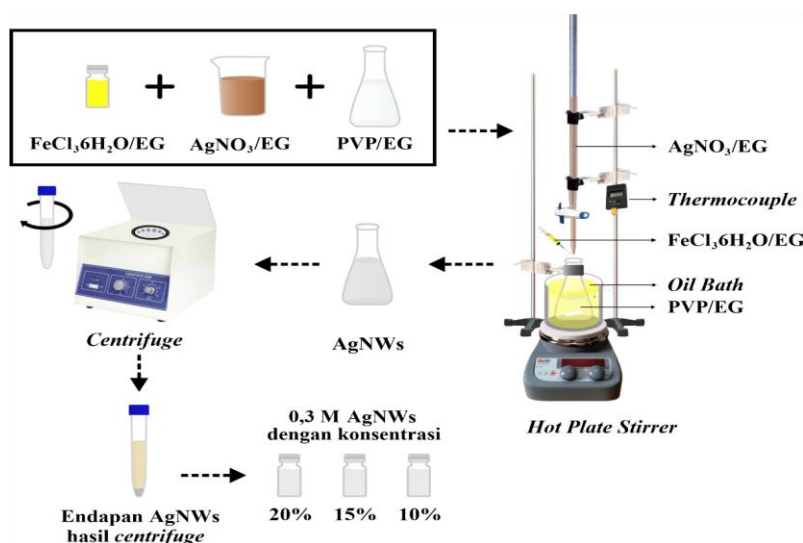
3.4.2 Proses Sintesis AgNWs

Dalam proses sintesis AgNWs yang pertama dilakukan adalah menyiapkan bahan yang telah disiapkan pada proses preparasi bahan. Kemudian memanaskan *oil bath* pada *hotplate stirrer* sampai suhu stabil 140 °C yang dikontrol menggunakan *thermometer digital*. Selanjutnya dilarutkan 4,995 g PVP dalam 100 ml EG menggunakan erlenmeyer dan distirrer selama 20 menit. Kemudian larutan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 0,25 ml diinjeksikan menggunakan suntikan selama ± 5 menit. Lalu memasukkan larutan AgNO_3 sebanyak 40 ml menggunakan buret tetes selama ± 30 menit. Setelah itu larutan di *stirrer* selama ± 2 jam sampai berubah warna menjadi abu *silver*.

Pembentukan AgNWs dilihat menggunakan mikroskop optik. Jika sudah terbentuk AgNWS maka larutan sampel AgNWs didinginkan dalam suhu ruang selama ± 30 menit. Kemudian AgNWs dicentrifuge dengan kecepatan 1.000 rpm selama 5 menit menggunakan etanol 70% sebanyak 3 kali pengulangan. Endapan AgNWs hasil *centrifuge* dipisahkan dan dibuat larutan AgNWs dalam konsentrasi 10%, 15% dan 20%. Untuk membuat larutan AgNWs 10%, 15% dan 20% berlaku rumus perhitungan seperti pada Persamaan (3.1).

$$Wt = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \times 100\% \quad (3.1)$$

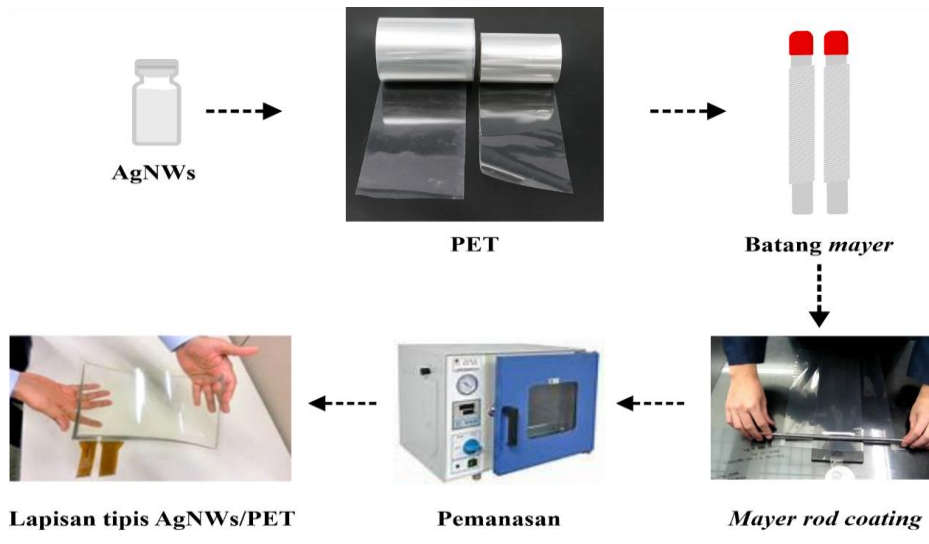
dengan Wt adalah konsentrasi larutan AgNWs (%), m_1 adalah massa AgNWs (g) dan m_2 adalah masa pelarut (g). Proses sintesis ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Proses sintesis AgNWs.

3.4.3 Proses Pembuatan Lapisan Tipis AgNWs

Pembuatan lapisan tipis AgNWs menggunakan metode *Mayer rod coating* dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Proses pembuatan lapisan tipis AgNWs dengan metode *mayer rod coating* menggunakan substrat PET.

Pada proses ini larutan AgNWs dituangkan diatas substrat PET sebagai sumber pelapis. Selanjutnya AgNWs disebarkan secara merata dengan batang mayer. Setelah bahan pelapis tersebar merata, dilakukan pengeringan lapisan dengan cara di oven pada suhu 70 °C selama 5 menit. Kemudian terbentuklah lapisan tipis berbasis AgNWs.

3.4.4 Karakterisasi dan Analisis Data

3.4.4.1 Analisis Sifat Optik AgNWs

Untuk mengetahui sifat optik pada AgNWs digunakan UV-Vis *spectroscopy* untuk mengetahui puncak penyerapan AgNWs. Alat yang digunakan adalah Spektrofotometer UV-Vis Carry 100 di Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LTSIT), Universitas Lampung. Panjang gelombang yang digunakan 300 sampai 800 nm. Kurva panjang gelombang terhadap transmitansi optik akan diplot menggunakan *software* OriginPro 9.0.

Karakteristik optik dari suatu logam dapat diidentifikasi melalui serapan optik yang muncul akibat gejala *surface plasmon resonance* (SPR) yang terjadi pada logam tersebut. Karakterisasi serapan optik (absorbansi dan transmitansi) dari masing-masing sampel larutan AgNWs dilakukan dengan menggunakan spektrometer UV-Vis (Shimadzu, UV-1700) di LPPT unit I, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Karakterisasi sampel dilakukan pada *range* panjang gelombang 300-800 nm. Data hasil spektrum serapan optik dari koloid AgNWs, disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara absorbansi dan panjang gelombang dengan menggunakan *software* kalaidegraph 4.0 dan OriginPro 9.0. Dari grafik hasil UV-Vis, dianalisis puncak–puncak absorbansi yang muncul untuk mengidentifikasi puncak SPR dari AgNWs dan AgNPs. AgNWs dan AgNPs memiliki karakteristik puncak SPR yang berbeda, sehingga dapat diamati perbedaan komponen antara larutan yang mengandung AgNWs dan AgNPs.

Untuk mengetahui sifat optik dari lapisan tipis AgNWs yang telah dibuat, dilakukan uji transparansi dengan spektrometer UV-Vis pada panjang gelombang 300 – 800 nm. Spektrometer UV-Vis digunakan untuk mengukur nilai absorbansi (A) dan transmitansi (T) dari sampel lapisan tipis AgNWs. Dari kedua nilai ini, dapat ditentukan nilai reflektansi (R), koefisien absorpsi (α), indeks bias (n), energi gap (E_g) dalam eV, sampai konduktivitas optik (σ) dalam S/m dari sampel lapisan tipis AgNWs. Nilai koefisien absorbansi dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (3.2).

$$\alpha = 2,303 \frac{A}{d} \quad (3.2)$$

dengan d adalah ketebalan dari lapisan tipis AgNWs. Dengan menggunakan nilai koefisien absorbansi pada diperoleh pada Persamaan (3.2), maka dapat dihitung nilai energi gap dari sampel lapisan tipis AgNWs. Perhitungan energi gap dilakukan dengan menggunakan Persamaan (3.3).

$$(\alpha h \nu) = B(h \nu - E_g)^\gamma \quad (3.3)$$

dengan ν = frekuensi gelombang cahaya (Hz) yang setara dengan nilai (c/λ). Konstanta c adalah nilai dari kecepatan cahaya yang setara dengan 3×10^8 m/s. Parameter B adalah nilai faktor kemungkinan transisi, dan γ adalah nilai indeks yang bergantung pada tipe transisi elektronik. Untuk lapisan tipis AgNWs, nilai γ

= $\frac{1}{2}$ ketika terjadi transisi langsung (*direct transtition*), dan $\gamma = 2$ ketika terjadi transisi tidak langsung (*indirect transtition*). Dari nilai koefisien absorptansi dan reflektansi, selanjutnya dapat ditentukan nilai indeks bias, koefisien ekstensi (k), dan konduktivitas optik (σ) dari sampel lapisan tipis AgNWs menggunakan Persamaan (3.4) - Persamaan (3.6).

$$n = \frac{1}{T} + \sqrt{\frac{1}{T} - 1} \quad (3.4)$$

$$k = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \quad (3.5)$$

$$\sigma = \frac{\alpha n c}{4\pi} \quad (3.6)$$

dengan λ adalah panjang gelombang (m) dan c adalah kecepatan cahaya (Abdullah dkk., 2015; Attia dan Abd El-Kader, 2013; Junaidi *et al.*, 2020b).

3.4.4.2 Analisis Sifat Kristal AgNWs

Proses pengujian XRD ini dilakukan dengan menggunakan XRD Shimadzu 6000 di Laboratorium Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Dalam pengujian difraktometer tersebut menggunakan sumber tabung Cu dengan panjang gelombang 1,5406 Å dalam rentang 20° hingga 90° , dengan kecepatan *scan* $5^\circ/\text{menit}$. Untuk mengidentifikasi struktur kristal AgNWs, dilakukan karakterisasi dengan menggunakan XRD. Hasil pola difraksi dibuat dalam bentuk grafik dengan menggunakan *software* OriginPro 9.0. Data pola difraksi tersebut akan dianalisa dengan menggunakan *software* Match 2 dan refinement dengan menggunakan Rietica yang bertujuan untuk menentukan puncak-puncak difraksi, sehingga diketahui unsur yang terkandung pada sampel tersebut. Dari pola difraksi tersebut digunakan untuk menentukan indeks miller, parameter kisi dan jarak antar bidang kristal. Untuk jarak antar bidang kristal dapat ditentukan dengan menggunakan Hukum Bragg seperti pada Persamaan (3.7),

$$d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta} , \quad (3.7)$$

dengan d adalah jarak antar bidang kristal, n adalah urutan difraksi, λ adalah panjang gelombang Sinar-X, dan θ adalah sudut. Selain itu, untuk menentukan parameter kisi dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (3.8),

$$a^2 = \frac{\lambda^2}{4 \sin^2 \theta} (h^2 + k^2 + l^2) , \quad (3.8)$$

dengan a merupakan parameter kisi dan (hkl) merupakan indeks Miller bidang kristal (Cullity and Stock, 2014; Saowadee *et al.*, 2017).

3.4.4.3 Analisis struktur permukaan dan struktur kristal

Karakterisasi struktur permukaan ini dilakukan dengan menggunakan TEM JEOL JEM-1400 di Laboratorium Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Untuk mengetahui struktur permukaan dan struktur kristal dari AgNWs dapat dilakukan dengan karakterisasi menggunakan TEM.

Selain itu, dari hasil karakterisasi dengan TEM akan diperoleh pola cincin difraksi dari AgNWs yang bertujuan untuk menentukan bidang-bidang kristal AgNWs. Pola cincin difraksi tersebut selanjutnya dianalisa menggunakan *software* ImageJ untuk menghitung jarak masing-masing cincin difraksi dari titik pusat lingkaran. Data difraksi tersebut nantinya akan dibandingkan dengan data difraksi dari hasil pengujian dengan menggunakan XRD, agar hasil yang diperoleh dapat diperkuat dari hasil XRD. Untuk mengetahui bidang-bidang kristal dari cincin difraksi tersebut dapat diperoleh menggunakan Persamaan (3.9) dan Persamaan (3.10).

$$R d = \lambda L , \quad (3.9)$$

$$d^2 = \frac{a^2}{h^2 + k^2 + l^2} , \quad (3.10)$$

dengan R adalah jarak cincin difraksi dari pusat lingkaran (nm), d adalah jarak antar bidang Bragg (nm), λ adalah panjang gelombang yang digunakan pada TEM (nm), L adalah jarak lensa (cm), a adalah tetapan kisi, dan h, k, l adalah indeks Miller (Bendersky and Gayle, 2001; Saowadee *et al.*, 2017).

3.4.4.4 Struktur Morfologi dan Ukuran AgNWs

Karakterisasi AgNWs dengan menggunakan SEM bertujuan untuk mengamati morfologi serta menghitung diameter dan panjang dari AgNWs serta ketebalan lapisan tipis AgNWs. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan SEM JEOL JSM-6510 LA di Unit Pelaksana Teknis Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LTSIT), Universitas Lampung. Selanjutnya, untuk mengukur diameter dan panjang dari tiap-tiap AgNWs dilakukan dengan menggunakan *software* ImageJ. Dengan menggunakan *software* OriginPro 9.0, data hasil pengukuran panjang dan diameter tersebut, masing-masing diolah dalam bentuk grafik batang yang menyatakan hubungan antara panjang atau diameter AgNWs terhadap frekuensi dari panjang dan diameter tersebut. Dari grafik batang tersebut selanjutnya dilakukan *fitting* data melalui pendekatan kurva Gaussian. Dari hasil tersebut akan diperoleh nilai x_c yang merupakan diameter puncak distribusi, serta nilai sigma yang merupakan ralat distribusi pada kurva tersebut.

3.4.4.5 Analisis Sifat Listrik AgNWs

Resistansi dari lapisan tipis AgNWs untuk semua sampel konsentrasi (10 wt%, 15 wt%, dan 20 wt%) dikarakterisasi dengan menggunakan *four point probe* Keithley 2401 *source meter* yang berlokasi di Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi (FISMATEL) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Pengukuran dilakukan dengan mengambil data arus dan tegangan (V-I) dimana arus divariasi dari -5 V sampai +5 V dengan arus tetap 0,05 mA dari sampel lapisan tipis AgNWs. Hasil penelitian kemudian diplot ke dalam grafik I-V atau V-I. Pembuatan grafik dilakukan dengan menggunakan *software* Kaleidagraph 4.0. dengan melakukan metode regresi linier, maka akan diperoleh nilai resistansi lembar (R_s) dengan satuan Ω/sq dari sampel lapisan tipis AgNWs. Pengukuran nilai resistansi awal juga dilakukan dengan menggunakan multimeter digital.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Dari hasil penelitian tentang pengaruh konsentrasi larutan silver nanowires terdepositasi menggunakan metode mayer rod terhadap sifat optik dan listrik untuk aplikasi elektroda konduktif, fleksibel dan transparan yang telah diperoleh, maka dapat diambil simpulan sebaga berikut:

1. Sintesis AgNWs menggunakan metode *polyol* telah berhasil dilakukan dengan variasi konsentrasi AgNWs sebesar 0,3 M dan 0,5 M.
2. Uji sifat optik dari koloid AgNWs dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis diperoleh 2 buah puncak serapan, yaitu pada 350 nm dan 387 nm untuk sampel koloid AgNWs-0,3 M serta 350 nm dan 390 nm untuk sampel koloid AgNWs-0,5 M.
3. Uji sifat kristal dari sampel koloid AgNWs dengan menggunakan XRD dan TEM dihasilkan struktur kristal *face centered cubic* (fcc) dengan 5 bidang kristal, yaitu (111), (200), (220), (311) dan (222) dengan ukuran kristal 28,58 nm dan 24,40 nm untuk masing-masing variasi konsentrasi.
4. Hasil SEM menunjukkan bahwa ukuran diameter dan panjang dari AgNWs masing-masing diperoleh sebesar (290 ± 7) nm dan (15 ± 1) μ m.
5. Uji sifat optik dari lapisan tipis AgNWs dengan variasi konsentrasi 10 wt%, 15 wt% dan 20 wt% diperoleh nilai transparansi optik masing-masing sebesar 95%, 82% dan 80%.
6. Nilai konduktivitas optik dari lapisan tipis AgNWs dengan konsentrasi 10 wt%, 15 wt% dan 20 wt% diperoleh sebesar $2,15 \times 10^7$ S.m⁻¹; $1,31 \times 10^7$ S.m⁻¹ dan $1,23 \times 10^7$ S.m⁻¹ dengan energi gap sebesar 2,0 eV dan 3,6 eV.

7. Ketebalan lapisan tipis AgNWs yang diuji menggunakan SEM dengan teknik *cross section* diperoleh sebesar 0,986 μm ; 1,220 μm ; 1,929 μm untuk masing-masing variasi konsentrasi AgNWs.
8. Hasil uji sifat listrik dari lapisan tipis AgNWs dengan menggunakan I-V meter diperoleh nilai resistansi lebar untuk masing-masing konsentrasi sebesar 59,5 Ω ; 20,8 Ω ; dan 14,1 Ω .
9. Nilai transparansi optik dan resistansi lembar dari lapisan tipis AgNWs bersifat linier terhadap konsentrasi larutan AgNWs.

5.2 Saran

Saran untuk perbaikan penelitian tentang pembuatan lapisan tipis AgNWs terdapat proses deposisi atau pelapisan AgNWs di atas substrat. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan metode lain dalam proses deposisi atau pembuatan lapisan tipis seperti *spray coating*, *spin coating* dan *electrospinning*. Penggunaan metode-metode tersebut nantinya sebagai pembandingan terkait lapisan tipis berbasis AgNWs yang dihasilkan. Selain itu, pengukuran ketebalan film juga diperlukan metode pengukuran yang lebih baik lagi, sehingga diperoleh hasil ketebalan yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, O.G., Azis, S.B., Omer, K.M., dan Salih, Y.M. 2015. Reducing The Optical Band Gap of Polyvinyl Alcohol (PVA) Based Nanocomposite. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26, 5303–5309.
- Abdullah, A., and Mohammed, A. 2019. Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review. *Proceedings of 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics - HERVEX*, 1, 77–85.
- Ahn, K., Kim, D., Kim, O., and Nam, J. 2015. Analysis of Transparent Conductive Silver Nanowire Films from Dip Coating Flow. *Journal of Coatings Technology and Research*, 12(5), 855–862.
- Al-Anazi, Abdulaziz. 2022. Iron-based magnetic nanomaterials in environmental and energy applications: a short review. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 36, 100794.
- Andres, L. J., Menendez, M. F., Gomez, D., Martines, A. L., Bristow, N., Kettle, J.P., Menendez, A., and Ruiz, B. 2015. Rapid Synthesis Ultra-Long Silver Nanowires for Tailor-Made Transparent Conductive Electrodes: Proof of Concept In Organic Solar Cells. *Nanotechnology*, 26(26), 265201.
- Attia, G., dan Abd El-Kader, M.F.H. 2013. Structural, Optical and Thermal Characterization of PVA/2HEC Polyblend Films. *International Journal of Electrochemical Science*, 8, 5672 – 5687.
- Bai, L., Jiang, F., Wang, R., Lee, C., Wang, H., Zhang, W., Jiang, W., Li, D., Ji, B., Li, Z., Gao, S., Xie, J., and Ma, Q. 2020. Ultrathin Gold Nanowires to Enhance Radiation Therapy. *Journal of Nanobiotechnology*, 18(1), 1–10.
- Behera, S., Affairs, P. R., More, A., Road, G. T., and Bengal, W. 2012. UV-Visible Spectrophotometric Method Development and Validation of Assay of Paracetamol Tablet Formulation. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques*, 3(12), 4945–4953.
- Bendersky, L.A. and Gayle, F.W. 2001. Electron Diffraction Using Transmission Electron Microscopy. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 106(6), 997-1012.
- Bernal, A. M., Ardila, A. ., and Verdugo, M. . 2016. Fabrication and Atudy of Thin Transparent Conductive Films Prepared by Spin Coating from Metal Nano-Wires. *Ingeniería y Competitividad*, 18(2), 125–132.

- Bi, Y. G., Liu, Y. F., Zhang, X. L., Yin, D., Wang, W. Q., Feng, J., and Sun, H. B. 2019. Ultrathin Metal Films as the Transparent Electrode in ITO-Free Organic Optoelectronic Devices. *Advanced Optical Materials*, 7(6), 1–23.
- Cao, L., Huang, Q., Cui, J., Lin, H., Li, W., Lin, Z., and Zhang, P. 2020. Rapid and Facile Synthesis of High-Performance Silver Nanowires by a Halide-Mediated, Modified Polyol Method for Transparent Conductive Films. *Nanomaterials*, 10(6), 1–13.
- Chen, D., Qiao, X., Qiu, X., Chen, J., and Jiang, R. 2011. Large-Scale Synthesis of Silver Nanowires Via a Solvothermal Method. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 22(1), 6–13.
- Chen, T. G., Huang, B. Y., Liu, H. W., Huang, Y. Y., Pan, H. Te, Meng, H. F., and Yu, P. 2012. Flexible Silver Nanowire Meshes for High-Efficiency Microtextured Organic-Silicon Hybrid Photovoltaics. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 4(12), 6857–6864.
- Chen, J. Z., Ahn, H., Yen, S.C., and Tsai, Y.J. 2014. Thermally induced percolational transition and thermal stability of silver nanowire networks studied by THz spectroscopy. *ACS Appl Mater Interfaces*, 6(23):20994-9.
- Chung, W. H., Kim, S. H., and Kim, H. S. 2016. Welding of Silver Nanowire Networks Via Flash White Light And UV-C Irradiation for Highly Conductive and Reliable Transparent Electrodes. *Scientific Reports*, 6, 1–11.
- Cullity, B.D., and Stock, S.R. 2014. *Element of X-Ray Diffraction-Third Edition*. Person Education Limited: USA.
- Dan, B., Irvin, G. C., and Pasquali, M. 2009. Continuous and Scalable Fabrication of Transparent Conducting Carbon Nanotube Films. *ACS Nano*, 3(4), 835–843.
- De, S., and Coleman, J. N. 2011. The Effects of Percolation In Nanostructured Transparent Conductors. *Materials Reaserch Society Bulletin*, 36(10), 774-781.
- De, S., Higgins T.M., Lyons, P.E., Doherty, E.M., Nirmalraj, P.N., Blau, W.J., Boland, J.J., and Coleman, J.N. 2009. Silver Nanowire Networks as Flexible, Transparent, Conducting Films: Extremely High DC to Optical Conductivity Ratios, *ACS Nano*, 3, 1767–1774.
- Ding, H., Zhang, Y., Yang, G., Zhang, S., Yu, L., and Zhang, P. 2016. Large Scale Preparation Of Silver Nanowires with Different Diameters By A One-Pot Method and Their Application In Transparent Conducting Films. *RSC Advances*, 6(10), 8096–8102.
- Echlin, P. 2009. *Handbook of Sample Preparation for Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. Springer Science & Business Media: German.
- Eda, G., Lin, Y. Y., Miller, S., Chen, C.W., Su, W.F., and Chhowalla, M. 2008. Transparent and conducting electrodes for organic electronics from reduced graphene oxide. *Applied Physics Letters*, 92(233305), 1-4.

- Ergun, O., Coskun, S., Yusufoglu, Y., and Unalan, H. E. 2016. High-Performance, Bare Silver Nanowire Network Transparent Heaters. *Nanotechnology*, 27(44), 1–9.
- Fitzgerald, M. L., Zhao, Y., Pan, Z., Yang, L., Lin, S., Sauti, G., and Li, D. 2021. Contact Thermal Resistance between Silver Nanowires with Poly(vinylpyrrolidone) Interlayers. *Nano Letters*, 21(10), 4388–4393.
- Garnett, E., Mai, L., and Yang, P. 2019. Introduction: 1D Nanomaterials/Nanowires. *Chemical Reviews*, 119(15), 8955–8957.
- Gerlein, L. F., Benavides-Guerrero, J. A., and Cloutier, S. G. 2021. High-Performance Silver Nanowires Transparent Conductive Electrodes Fabricated Using Manufacturing-Ready High-Speed Photonic Sinterization Solutions. *Scientific Reports*, 11(1), 1–11.
- Go, M., Alam, A., Choie, H. K., Zhong, Z., Lee, K. H., Seo, Y., Hwang, B., Woo, K., Kim, T. W., and Lim, S. 2020. Meyer-Rod Coated 2D Single-Crystalline Copper Nanoplate Film with Intensive Pulsed Light for Flexible Electrode. *Coatings*, 10(1), 1–10.
- Halliday dan Resnick. 1991. *Fisika Jilid I* (Terjemahan), Erlangga: Jakarta.
- Holder, C.F. and Schaak, R.E. 2019. Tutorial on Powder X-ray Diffraction for Characterizing Nanoscale Materials. *ACS Nano*, 13(7), 7359–7365.
- Irzaman, Sudiana, Y., Hikam, M., Loeksmanto, W. dan Barmawi, M. 2000. Analisis Struktur Kristal dan Full Width Half Maximum (FWHM) dengan Metode Rietveld (Studi Kasus: Kalsit (CaCO_3)). *Kontribusi Fisika Indonesia*, 11(2): 41–48.
- Jeevanandam, J., Barhoum, A., Chan, Y. S., Dufresne, A., and Danquah, M. K. 2018. Review on Nanoparticles And Nanostructured Materials: History, Sources, Toxicity And Regulations. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 9(1), 1050–1074.
- Jia, H., Yang, X., Kong, Q. Q., Xie, L. J., Guo, Q. G., Song, G., Liang, L. L., Chen, J. P., Li, Y., and Chen, C. M. 2021. Free-Standing, Anti-Corrosion, Super Flexible Graphene Oxide/Silver Nanowire Thin Films for Ultra-Wideband Electromagnetic Interference Shielding. *Journal Of Materials Chemistry A*, 9(2), 1180–1191.
- Jiang, X., Qiu, X., Fu, G., Sun, J., Huang, Z., Sun, D., Xu, L., Zhou, J., and Tang, Y. 2018. Highly Simple and Rapid Synthesis of Ultrathin Gold Nanowires with (111)-Dominant Facets and Enhanced Electrocatalytic Properties. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(36), 17682–17687.
- José Andrés, L., Fe Menéndez, M., Gómez, D., Luisa Martínez, A., Bristow, N., Paul Kettle, J., Menéndez, A., and Ruiz, B. 2015. Rapid Synthesis of Ultra-Long Silver Nanowires for Tailor-Made Transparent Conductive Electrodes: Proof of Concept In Organic Solar Cells. *Nanotechnology*, 26(26), 1–9.

- Junaidi, Yunus, M., Harsojo, Suharyadi, E., and Triyana, K. 2016. Effect of Stirring Rate on The Synthesis Silver Nanowires using Polyvinyl Alcohol as A Capping Agent by Polyol Process. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 6(3), 365–369.
- Junaidi, Triyana, K., Harsojo, and Suharyadi, E. 2017. High-Performance Silver Nanowire Film on Flexible Substrate Prepared by Meyer-rod Coating. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 202(1), 1–6.
- Junaidi, J., Riyanto, A., Triyana, K., and Khairurrijal, K. 2019. Silver Nanorods Layer Based on Polyvinyl Alcohol on Glass Substrates by Dip-Coating Method. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 9(1), 1–9.
- Junaidi, Asriyani, N., Sembiring, S., Manurung, P., and Hadi, S. 2020a. Conductive Layers Based On Silver Nanowires by Spray Coating Process. *Revista de Chimie*, 71(8), 136–147.
- Junaidi, Maulidiasani, K., Triyana, K., and Khairurrijal. 2020b. Thin Films of Silver Nanowires For Flexible, Transparent, and Conductive (FTC) Electrodes. *International Journal on Advanced Science, Engineering And Information Technology*, 10(1), 137–144.
- Junaidi, J., Saputra, M. W., Marjunus, R., Sembiring, S., and Hadi, S. 2021. The Quenching and Sonication Effect on The Mechanical Strength of Silver Nanowires Synthesized Using The Polyol Method. *Molecules*, 26(8), 1–10.
- Junaidi, Afrilaini, L., Manurung, P., Sembiring, S., Triyana, K., and Hadi, S. 2022. The Crystal Structure Analysis of Silver Nanowires Using Rietveld Method for Optoelectronic Application. *Journal of Nano Research*, 71, 1–12.
- Kawamura, G., Muto, H., and Matsuda, A. 2014. Hard Template Synthesis of Metal Nanowires. *Frontiers in Chemistry*, 2, 1–4.
- Khademalrasool, M., and Farbod, M. 2015. A Simple and High Yield Solvothermal Synthesis of Uniform Silver Nanowires with Controllable Diameters. *Journal Of Nanostructures*, 5(4), 415–422.
- Khopkar, S. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press: Jakarta.
- Kim, F., Sohn, K., Wu, J., and Huang, J. 2008. Chemical Synthesis of Gold Nanowires in Acidic Solutions. *Journal of the American Chemical Society*, 130(44), 14442–14443.
- Kumar, A.B.V.K., Bae, C.W., Piao, L., and Kim, S.H. 2013. Silver Nanowire Based Flexible Electrode with Improved Properties: High Conductivity, Transparency, Adhesion and Low Haze, *Material Research Bulletin*, 48, 2944-2949.
- Kwon, J., Suh, Y. D., Lee, J., Lee, P., Han, S., Hong, S., Yeo, J., Lee, H., and Ko, S. H. 2018. Recent Progress in Silver Nanowire Based Flexible/Wearable Optoelectronics. *Journal of Materials Chemistry C*, 6(28), 7445–7461.

- Langley, D., Giusti, G., Mayousse, C., Celle, C., Bellet, D., and Simonato, J. P. 2013. Flexible Transparent Conductive Materials Based on Silver Nanowire Networks: A review. *Nanotechnology*, 24(45), 1–20.
- Lee, H. S., Kim, Y. W., Kim, J. E., Yoon, S. W., Kim, T. Y., Noh, J.-S., and Suh, K. S. 2015. Synthesis of Dimension-Controlled Silver Nanowires for Highly Conductive and Transparent Nanowire Films. *Acta Materialia*, 83, 84–90.
- Lee, J.-Y., Shin, D. dan Park, J. 2016. Fabrication of Silver Nanowire-Based Stretchable Electrodes Using Spray Coating. *Thin Solid Films*, 608, 34–43.
- Lestari, K. R. 2021. *Sintesis, Klasifikasi dan Sintesis Bahan Nano*. LP UNAS: Jakarta.
- Li, Y., Guo, S., Yang, H., Chao, Y., Jiang, S., and Wang, C. 2018. One-Step Synthesis Of Ultra-Long Silver Nanowires of Over 100 mm and Their Application in Flexible Transparent Conductive Films. *RSC Advances*, 8(15), 8057–8063.
- Lin, J.Y., Hsueh, Y.L., and Huang, J.J. 2014. The Concentration Effect of Capping Agent for Synthesis of Silver Nanowire by Using The Polyol Method. *Journal of Solid State Chemistry*, 214, 2–6.
- Lin, Y., Yuan, W., Ding, C., Chen, S., Su, W., Hu, H., Cui, Z., and Li, F. 2020. Facile and Efficient Patterning Method for Silver Nanowires and Its Application to Stretchable Electroluminescent Displays. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 12(21), 24074–24085.
- Liu, C-H. and Yu, X. 2011. Silver Nanowire-Based Transparent, Flexible, and Conductive Thin Film. *Nanoscale Research Letters*, 6(75), 1–8.
- Liu, L., Jiang, J., Xu, Z., Zhou, J., and Li, Y. 2021. Enhanced Electrical Conductivity Of PEDOT-Encapsulated Silver Nanowire Film Pretreated with Surfactants. *Colloid and Polymer Science*, 299(4), 595–601.
- Luu, Q.N., Doorn, J.M., Berry, M.T., Jiang, C., Lin, C., and May, P.S. 2011. Preparation and Optical Properties of Silver Nanowires and Silver-Nanowire Thin Films. *Journal of Colloid and Interface Science*, 356, 151–158.
- Ma, C., Liu, Y. F., Bi, Y. G., Zhang, X. L., Yin, D., Feng, J., and Sun, H. B. 2021. Recent Progress in Post Treatment of Silver Nanowire Electrodes for Optoelectronic Device Applications. *Nanoscale*, 13(29), 12423–12437.
- Ma, J., and Zhan, M. 2014. Rapid Production of Silver Nanowires Based on High Concentration of AgNO₃ Precursor and Use of FeCl₃ as Reaction Promoter. *RSC Advances*, 4(40), 21060–21071.
- Machín, A., Fontánez, K., Arango, J. C., Ortiz, D., De León, J., Pinilla, S., Nicolosi, V., Petrescu, F. I., Morant, C., and Márquez, F. 2021. One-Dimensional (1D) Nanostructured Materials for Energy Applications. *Materials*, 14(10). 1-47.
- Miller, F.P., Vandome, A.F., and McBrewster, J. 2009. Beer-Lambert Law. VDM Publishing: Germany.

- Naz, G., Asghar, H., Ramzan, M., Arshad, M., Ahmed, R., Tahir, M. B., Ul Haq, B., Baig, N., and Jalil, J. 2021. High-Field Synthesis of Silver Nanowires for Transparent Conducting PET Films. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 12, 624–632.
- Pan, C. T., Yang, T. L., Hung, K. H., and Ju, S. P. 2017. A Parametric Study on Synthesis of Ag Nanowires with High Aspect Ratio. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(17), 12415–12424.
- Parente, M., Van Helvert, M., Hamans, R. F., Verbraekken, R., Sinha, R., Bieberle-Hütter, A., and Baldi, A. 2020. Simple and Fast High-Yield Synthesis of Silver Nanowires. *Nano Letters*, 20(8), 5759–5764.
- Pennycook, S.J., and Nellist, P.D. 2011. *Scanning Transmission Electron Microscopy: Imaging and Analysis*, New York: Springer.
- Preston, C., Fang, Z., Murray, J., Zhu, H., Dai, J., Munday, J. N., and Hu, L. 2014. Silver nanowire Transparent Conducting Paper-Based Electrode with High Optical Haze. *Journal of Materials Chemistry C*, 2(7), 1248–1254.
- Rahman, H., Arini, S. F., and Utomo, V. 2020. Tannins Extraction of Tea Leaves by Ultrasonic Method: Comparison with The Conventional Method. *Jurnal Teknologi*, 8(1), 84–95.
- Saowadee, N., Agersted, K., Bowen, J.R. 2017. Lattice Constant Measurement from Electron Backscatter Diffraction Patterns. *Journal of Microscopy*, 266(2), 200–210.
- Selzer, F., Weiß, N., Knepe, D., Bormann, L., Sachse, C., Gaponik, N., Eychmüller, A., Leo, K., and Müller-Meskamp, L. 2015. A Spray-Coating Process for Highly Conductive Silver Nanowire Networks as The Transparent Top-Electrode for Small Molecule Organic Photovoltaics. *Nanoscale*, 7(6), 2777–2783.
- Solomon, S.D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A.V., Rutkowsky, S.A., and Boritz, C., 2007. Synthesis and Study of Silver Nanoparticles. *Journal of Chemical Education*, 84 (2), 322–325.
- Teymouri, Z., Naji, L., and Fakharan, Z. 2018. The Influences of Polyol Process Parameters on The Optoelectronic Characteristics of AgNWs-Based Flexible Electrodes and Their Application in ITO-Free Polymer Solar Cells. *Organic Electronics*, 62, 621–629.
- Tsai, C. H., Hsu, S. Y., Huang, T. W., Tsai, Y. T., Chen, Y. F., Jhang, Y. H., Hsieh, L., Wu, C. C., Chen, Y. S., Chen, C. W., and Li, C. C. 2011. Influences of Textures In Fluorine-Doped Tin Oxide on Characteristics Of Dye-Sensitized Solar Cells. *Organic Electronics*, 12(12), 2003–2011.
- Udapudi, B., Naik, P., Suvadatti, S.P., Sharma, R., and Balgi, S. 2012. Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 2(3), 10–14.
- Vijila, C. V. M., Rahman, K. K. A., Parvathy, N. S., and Jayaraj, M. K. 2016.

- Synthesis of silver Nanowires Using Hydrothermal Technique for Flexible Transparent Electrode Application. *AIP Conference Proceedings*, 1731, 1–4.
- Wang, G. H., Zhu, J. J., Kan, C. X., Wan, J. G., and Han, M. 2011. High-yield Synthesis of Uniform Ag Nanowires with High Aspect Ratios by Introducing The Long-Chain PVP in an Improved Polyol Process. *Journal of Nanomaterials*, 2011, 1–7.
- Wang, G., Hao, L., Zhang, X., Tan, S., Zhou, M., Gu, W., and Ji, G. 2022. Flexible and Transparent Silver Nanowires/Biopolymer Film for High-Efficient Electromagnetic Interference Shielding. *Journal of Colloid and Interface Science*, 607, 89–99.
- Wang, R., and Ruan, H. 2016. Synthesis of Copper Nanowires and Its Application to Flexible Transparent Electrode. *Journal of Alloys and Compounds*, 656, 936–943.
- Wang, X., Zhou, J., Zhu, Y., Cheng, W., Zhao, D., Xu, G., and Yu, H. 2020. Assembly of Silver Nanowires And PEDOT:PSS with Hydrocellulose Toward Highly Flexible, Transparent and Conductivity-Stable Conductors. *Chemical Engineering Journal*, 392, 1–22.
- Wu, X., Zhou, Z., Wang, Y., and Li, J. 2020. Syntheses of Silver Nanowires Ink and Printable Flexible Transparent Conductive Film: A review. *Coatings*, 10(9), 1–22.
- Xu, H., Liu, P., Huang, B., Jiang, X., Gao, Q., and Liu, L. 2022. Preparation of Double-Layer Crossed Silver Nanowire Film and Its Application to Oled. *Coatings*, 12(1), 1–12.
- Xue, Q., Yao, W., Liu, J., Tian, Q., Liu, L., Li, M., Lu, Q., Peng, R. dan Wu, W. 2017. Facile Synthesis of Silver Nanowires with Different Aspect Ratios and Used as High-Performance Flexible Transparent Electrodes. *Nanoscale Research Letters*, 12(1), 1–12.
- Zhang, L., Song, T., Shi, L., Wen, N., Wu, Z., Sun, C., Jiang, D., and Guo, Z. 2021. Recent Progress for Silver Nanowires Conducting Film for Flexible Electronics. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 11(3), 323–341.
- Zhang, P., Wyman, I., Hu, J., Lin, S., Zhong, Z., Tu, Y., Huang, Z., and Wei, Y. 2017. Silver Nanowires: Synthesis Technologies, Growth Mechanism and Multifunctional Applications. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 223, 1–23.
- Zhang, R., and Engholm, M. 2018. Recent Progress on The Fabrication and Properties of Silver Nanowire-Based Transparent Electrodes. *Nanomaterials*, 8(8), 1–17.
- Zhang, S., Liu, X., Lin, T., and He, P. 2019. A Method to Fabricate Uniform Silver Nanowires Transparent Electrode Using Mayer rod Coating and Dynamic Heating. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(20), 18702–18709.

- Zhang, W., Chen, P., Gao, Q., Zhang, Y., and Tang, Y., 2008, High-Concentration Preparation of Silver Nanowires: Restraining in Situ Nitric Acidic Etching by Steel-Assisted Polyol Method, *Chemistry Materials*, 20, 1699-1704.
- Zhong, J., and Wang, Y. 2020. Transparent Conductive Silver Nanowires Films on Glass Substrate. *Micro and Nano Letters*, 15(14), 988–991.
- Zhu, X., Xu, J., Qin, F., Yan, Z., Guo, A., and Kan, C. 2020. Highly Efficient and Stable Transparent Electromagnetic Interference Shielding Films Based on Silver Nanowires. *Nanoscale*, 12(27), 14589–14597.