

**PENGARUH JUMLAH LAPISAN TIPIS SILVER NANOWIRES  
TERHADAP SIFAT OPTIK DAN LISTRIK MENGGUNAKAN METODE  
MEYER-ROD COATING**

**(TESIS)**

**DEWI PUSPITASARI**

**2127041004**



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

**2024**

## ABSTRAK

### PENGARUH JUMLAH LAPISAN TIPIS *SILVER NANOWIRES* TERHADAP SIFAT OPTIK DAN LISTRIK MENGGUNAKAN METODE *MAYER-ROD COATING*

Oleh

**DEWI PUSPITASARI**

Telah dilakukan pembuatan lapisan tipis *silver nanowires* menggunakan metode *Mayer-Rod coating* dengan variasi 1, 2, dan 3 lapisan. Koloid *silver nanowires* disintesis dengan menggunakan metode poliol pada suhu 140 °C. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat optik (transparansi), listrik (resistansi dan konduktivitas), morfologi (sebaran dan ketebalan lapisan tipis *silver nanowires*) dan mekanik yang difabrikasi dengan *mayer-rod coating* di atas substrat *polyethylene terephthalate* (PET). Analisis UV-Vis diperoleh transparansi masing-masing lapisan yaitu 95,57%; 36,99%; dan 31,12%. Analisis I-V meter diperoleh besar masing-masing resistansi yaitu 476,77  $\Omega$ ; 189,9  $\Omega$ ; dan 185,14  $\Omega$ . Analisis konduktivitas masing-masing lapisan yaitu  $0,38 \times 10^{-7} \text{ Sm}^{-1}$ ;  $11,1 \times 10^{-7} \text{ Sm}^{-1}$ ; dan  $7,1 \times 10^{-7} \text{ Sm}^{-1}$ . Analisis SEM *cross-section* diperoleh ketebalan masing-masing lapisan yaitu 38,36  $\mu\text{m}$ ; 55,65  $\mu\text{m}$ ; dan 96,106  $\mu\text{m}$ . Panjang lapisan yang diperoleh masing-masing variasi yaitu  $8,81 \pm 5 \mu\text{m}$ ;  $8,20 \pm 2 \mu\text{m}$ ; dan 4,42  $\mu\text{m}$ .

Kata kunci: *silver nanowires*, lapisan tipis, *mayer-rod coating*, SEM-*cross section*.

## **ABSTRACT**

### **EFFECT OF NUMBER OF THIN SILVER NANOWIRE LAYERS ON OPTICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES USING MAYER-ROD COATING METHOD**

**By**

**DEWI PUSPITASARI**

Thin layer silver nanowires were prepared by the Mayer-Rod coating method with variations of 1, 2, and 3 layers. Colloidal silver nanowires were synthesized using polyol method at 140 °C. This study was conducted to determine the optical (transparency), electrical (resistance and conductivity), morphological (distribution and thickness of thin silver nanowires) and mechanical properties fabricated by the Mayer-Rod coating on polyethylene terephthalate (PET) substrate. UV-Vis analysis obtained the transparency of each layer, which is 95,57%; 36,99%; and 31,12%. I-V meter analysis obtained the amount of each resistance of 476,77  $\Omega$ ; 189,9  $\Omega$ ; and 185,14  $\Omega$ . The conductivity analysis of each layer is  $0,38 \times 10^{-7} \text{ Sm}^{-1}$ ;  $11,1 \times 10^{-7} \text{ Sm}^{-1}$ ; and  $7,1 \times 10^{-7} \text{ Sm}^{-1}$ . SEM cross-section analysis obtained the thickness of each layer is 38,36  $\mu\text{m}$ ; 55,65  $\mu\text{m}$ ; and 96,106  $\mu\text{m}$ . The length of the layer obtained for each variation is  $8,81 \pm 5 \mu\text{m}$ ;  $8,20 \pm 2 \mu\text{m}$ ; and 4,42  $\mu\text{m}$ .

Key words: silver nanowires, thin layer, mayer-rod coating, SEM-cross section.

**PENGARUH JUMLAH LAPISAN TIPIS SILVER NANOWIRE  
TERHADAP SIFAT OPTIK DAN LISTRIK MENGGUNAKAN METODE  
MAYER-ROD COATING**

Oleh

***DEWI PUSPITASARI***

Tesis

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

Pada

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



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

Judul Tesis : Pengaruh Jumlah Lapisan Tipis Silver Nanowires Terhadap Sifat Optik dan Listrik Menggunakan Metode Mayer-Rod Coating

Nama Mahasiswa : Dewi Puspitasari

Nomor Pokok Mahasiswa : 2127041004

Program Studi : Magister Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**MENYETUJUI**  
**1. Komisi Pembimbing**

Pembimbing I

Pembimbing II

**Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**  
NIP. 198206182008121001

**Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.**  
NIP. 195903081991031001

**2. Mengetahui**

Ketua Jurusan Fisika

Ketua Program Studi Magister Fisika

**Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 198010102005011002

**Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197512192000122003

**MENGESAHKAN**

**1. Tim penguji**

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

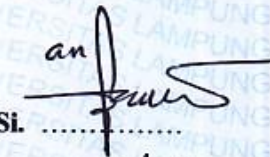


**Sekretaris : Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si, Ph.D**

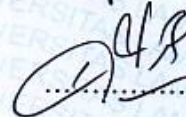


**Penguji**

**Bukan Pembimbing: 1. Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si, M.Si.**



**2. Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.**



**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Drs. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197110012005011002



**Direktur Program Pascasarjana**

**Prof. Dr. H. Murhadi, M.Si.**  
NIP. 196403261989021001



**Tanggal Lulus Ujian Tesis : 2 Juli 2024**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan tesiss ini yang berjudul **“Pengaruh Jumlah Lapisan Tipis Silver Nanowire Terhadap Sifat Optik dan Listrik Menggunakan Mayer-Rod Coating”** tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat 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 skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenakan sangsi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Juli 2024



Dewi Puspitasari  
NPM. 2127041004

## **RIWAYAT HIDUP**



Penulis dilahirkan di Metro, pada tanggal 26 Juni 1996 dari pasangan Bapak Sutejo dan Ibu Dwi Ruswati sebagai anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di TK Aisyiah Metro tahun 2002, SD Muhammadiyah Metro tahun 2008, MTs N Batanghari tahun 2011 dan SMA N 1 Metro tahun 2014.

Pada tahun 2020 penulis menyelesaikan pendidikan Strata-1 di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Universitas Lampung. Tahun 2021 penulis melanjutkan Program Magister Fisika dengan judul penelitian Pengaruh Jumlah Lapisan Tipis Silver Nanowire Terhadap Sifat Optik dan Listrik Menggunakan Mayer-Rod Coating di Universitas Lampung.



## **MOTO**

“Hadiah terbaik adalah apa yang kamu miliki dan takdir terbaik adalah apa yang kamu jalani. Nikmati dan syukuri apapun keadaannya”

Boleh jadi kamu membenci sesuatu padahal ia amat baik bagimu, dan boleh jadi pula kamu menyukai sesuatu padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui sedang kamu tidak mengetahui. (QS. Al Baqarah : 216)

Meskipun kamu tidak sempurna, tapi kamu limited edition (Kim Nam Joon )

## PERSEMBAHAN

**Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT,  
kupersembahkan karya ini kepada:**

***Suami (Bayu Saputro, S.Pi., M.Si.)***

*Terima kasih atas seluruh dukungan, kasih sayang, dan kebaikan do'a yang diberikan sehingga dapat menyelesaikan pendidikan Magister Sains.*

***Anak (Ali Rayyan Syauqi)***

*Terima kasih telah menemani dan menjadi penyemangat bunda dalam menyelesaikan pendidikan Magister Sains.*

***Kedua Orang Tua (Bapak Drs. Sutejo dan Ibu Dwi Ruswati)***

*Terima kasih telah memberikan motivasi, semangat, serta mendo'akan kesuksesan dan keberhasilanku.*

*dan*

*Almamater Tercinta  
Universitas Lampung*

## KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmaanirrahim,

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “**Pengaruh Jumlah Lapisan Tipis Silver Nanowires Terhadap Sifat Optik dan Listrik Menggunakan Meyer Rod Coating**” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains (M.Si) di Program Studi Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Tesis ini dilaksanakan dari bulan Januari 2024 sampai Juli 2024 bertempat di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penekanan tesis ini adalah dihasilkannya lapisan tipis pengganti ITO yang dapat diaplikasikan pada perangkat elektronik.

Penulis menyadari dalam penulisan dan penyusunan tesis ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk menuju suatu yang lebih baik. Semoga tesis ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi kita semua.

Bandar Lampung, Juli 2024

Penulis

## SANWACANA

Alhamdulillah, penulis menyadari bahwa tesis ini dapat terselesaikan dengan baik berkat dorongan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc., selaku Pembimbing I sekaligus Pembimbing Akademik yang telah membantu, memberikan motivasi, dan memberikan bimbingan serta nasehat selama kuliah dan menyelesaikan tesis.
2. Bapak Prof. Posman Manurung, Ph.D., selaku Pembimbing II yang senantiasa memberikan masukan-masukan serta nasehat ketika menyelesaikan tesis.
3. Bapak Dr. rer. nat. Roniyus Marjunus, S.Si., M.Si., selaku Penguji I yang telah mengoreksi kekurangan, memberikan kritik, dan saran selama penulisan tesis.
4. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D., sebagai Penguji II yang telah memberi kritik dan saran kepada penulis selama penulisan tesis.
5. Bapak Dr. Gurus Ahmad Pauzi, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak Drs. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Program Pascasarjana.
8. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.IPM, ASEAN Eng.Rektor Universitas Lampung.
9. Para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
10. Bapak Sutejo dan Ibu Dwi Ruswati selaku orang tua, yang selalu mendukung dan mendo'akan kesuksesan.
11. Bayu Saputro selaku suami, terimakasih atas semua kebaikan, dukungan, dan do'a yang diberikan.

12. Ali Rayyan Syauqi selaku anak, yang telah menemani dan selalu menjadi penyemangat dalam menyelesaikan tesis.
13. Mia Abi Nisa dan Indah Pratiwi selaku sahabat, terimakasih selalu berusaha ada ketika penulis membutuhkan dukungan kalian.
14. Dwina Nurizky Syahputri dan Larasati Handayani selaku adik tingkat, yang telah memberikan dukungan.
15. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis selama menyelesaikan tesis.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan atas segala usaha yang telah dilakukan oleh berbagai pihak sehingga tesis ini dapat selesai dan bermanfaat.

Bandar Lampung, Juli 2024

Penulis.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>MOTO</b> .....	<b>viii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>x</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xviii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Terkait .....	5
2.2 Perak Nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ).....	8
2.3 Ferit Klorida ( $\text{FeCl}_3$ ).....	9
2.4 Etilen Glikol (EG) .....	11
2.5 <i>Polyvinnyl Pyrrolidone</i> (PVP) .....	13
2.6 Teknik Pelapisan .....	14
2.6.1 <i>Mayer Rod Coating</i> .....	14
2.6.2 <i>Spray Coating</i> .....	15

	<b>Halaman</b>
2.6.3 <i>Drop Casting</i> .....	16
2.6.4 <i>Spin Coating</i> .....	17
2.7 Karakterisasi.....	18
2.7.1 <i>Four Point Probe (FPP)</i> .....	18
2.7.2 <i>Scanning Electron Microscopy</i> .....	20
2.7.3 <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i> .....	21
2.7.4 UV-Vis .....	22
2.7.5 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	24
<b>III. METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2 Alat dan Bahan.....	27
3.3 Metode Penelitian.....	28
3.3.1 Proses Preparasi Sampel .....	28
3.3.2 Proses Sintesis AgNWs .....	29
3.3.3 Proses Pembuatan Lapisan Tipis .....	30
3.3.4 Diagram Alir Penelitian .....	31
3.3.5 Karakterisasi dan Analisis Data .....	33
A. Sifat Optik AgNWs.....	33
B. Sifat Elektrik.....	33
C. Struktur Morfologi dan Ukuran AgNWs.....	33
D. Fleksibilitas .....	34
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Sintesis Koloid AgNWs .....	34
4.2 Karakterisasi Koloid AgNWs .....	35
4.2.1 Uji Morfologi dan Ukuran .....	35
4.2.2 Uji Ukuran dan Struktur Kristal .....	37
4.2.3 Uji Struktur Kimia .....	41
4.2.4 Uji Sifat Termal.....	42
4.3 Pembuatan Lapisan Tipis.....	43
4.4 Karakterisasi Lapisan Tipis .....	44
4.4.1 Uji Sifat Optik Lapisan Tipis .....	44
4.4.2 Uji Morfologi dan Ketebalan Lapisan Tipis .....	49
4.4.3 Uji Sifat Listrik.....	51

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Diagram Skematik Proses Reduksi Ion Ag <sup>+</sup> dan Proses Pertumbuhan AgNWs .....	9
<b>Gambar 2.2</b> Citra SEM Kawat Nano Perak dengan Dosis FeCl <sub>3</sub> yang Berbeda (A).....	12
<b>Gambar 2.3</b> Skematik Distribusi AgNWs Dalam EG .....	12
<b>Gambar 2.4</b> Struktur Molekul PVP .....	13
<b>Gambar 2.5</b> Teknik Pelapisan Batang Mayer .....	14
<b>Gambar 2.6</b> Skematik Sederhana Sistem Pirolisis Semprot .....	16
<b>Gambar 2.7</b> Skematik Prosedur <i>Drop Casting</i> .....	17
<b>Gambar 2.8</b> Proses <i>Spin Coating</i> .....	18
<b>Gambar 2.9</b> Rata-rata Resistansi Lembar dengan Beragam Ketebalan Lapisan Tipis .....	19
<b>Gambar 2.10</b> Transmittansi dan Resistansi Lembar Lapisan Tipis.....	19
<b>Gambar 2.11</b> Citra SEM Kawat Nano Perak .....	21
<b>Gambar 2.12</b> Grafik FTIR Sintesis Kawat Nano Perak .....	22
<b>Gambar 2.13</b> Berkas Tunggal Spektrum UV-Vis .....	23
<b>Gambar 2.14</b> Berkas Ganda Spektroskopi UV .....	24



	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.15</b> Puncak Difraksi dan Informasi yang Dapat Diekstraksi .....	25
<b>Gambar 2.16</b> Perbandingan Difraktogram XRD, (a) bahan amorf, (b) bahan semikristal dan (c) bahan kristal .....	26
<b>Gambar 2.17</b> Grafik XRD Kawat Perak Murni .....	26
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Blok Preparasi Sampel .....	29
<b>Gambar 3.2</b> Proses Sintesis AgNWs .....	30
<b>Gambar 3.3</b> Proses Pembuatan Lapisan Tipis AgNWs dengan Metode <i>Mayer Rod Coating</i> Menggunakan Substrat PET .....	31
<b>Gambar 3.4</b> Diagram Alir Penelitian.....	32
<b>Gambar 4.1</b> AgNWs pada mikroskop optik.....	34
<b>Gambar 4.2</b> (a) Hasil SEM koloid AgNWs (b) distribusi diameter koloid AgNWs (c) distribusi panjang koloid AgNWs.....	35
<b>Gambar 4.3</b> Hasil karakterisasi XRD AgNWs.....	36
<b>Gambar 4.4</b> Karakteristik spektroskopi EDX AgNWs.....	37
<b>Gambar 4.5</b> Difraktogram XRD pada <i>software</i> Origin (a) pengambilan puncak pencarian FWHM .....	38
<b>Gambar 4.6</b> Hasil <i>refinement</i> AgNWs.....	39
<b>Gambar 4.7</b> (a) Hasil TEM AgNWs dan (b) spektrum SAED AgNWs.....	41
<b>Gambar 4.8</b> Spektrum grafik FTIR koloid AgNWs .....	42
<b>Gambar 4.9</b> Grafik DTA/TGA koloid AgNWs .....	43
<b>Gambar 4.10</b> Perbandingan transmitansi antara (a) PET dan lapisan tipis AgNWs dengan variasi (b) 1 lapisan, (c) 2 lapisan, dan (d) 3 lapisan .....	44
<b>Gambar 4.11</b> Hasil transmitansi lapisan tipis AgNWs.....	45
<b>Gambar 4.12</b> Hasil absorbansi lapisan tipis AgNWs .....	46
<b>Gambar 4.13</b> Indeks bias lapisan AgNWs .....	47
<b>Gambar 4.14</b> Konduktivitas optik lapisan tipis AgNWs .....	47

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 4.15</b> Energi gap lapisan tipis AgNWs (a) 1 lapisan (b) 2 lapisan (c) 3 lapisan .....	49
<b>Gambar 4.16</b> Hasil SEM <i>cross-section</i> lapisan tipis AgNWs, (a) 1 lapisan (b) 2 lapisan (c) 3 lapisan .....	50
<b>Gambar 4.17</b> Distribusi hasil pengujian I-V meter .....	51
<b>Gambar 4.18</b> Transmittansi dan resistansi .....	52

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Table 2.1</b> Hasil Produk Menggunakan PVP dengan MWs yang Berbeda .....	14
<b>Tabel 3.1</b> Alat yang Digunakan Pada Penelitian .....	27
<b>Tabel 3.2</b> Bahan yang Digunakan Pada Penelitian .....	28
<b>Tabel 3.2</b> Bahan yang Digunakan Pada Penelitian .....	28
<b>Tabel 4.1</b> Jarak antar bidang XRD database.....	38
<b>Tabel 4.3</b> <i>Refinement</i> fasa Ag .....	40
<b>Tabel 4.4</b> Analisis data SAED .....	41

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dunia industri yang maju khususnya dalam bidang nanomaterial sangat menjadi sorotan para peneliti dan industri akhir-akhir ini. Salah satu bidang yang menarik adalah pengembangan silver nanowires (AgNWs) yang merupakan bahan utama pembuatan *transparent conductive electrodes* (TCEs). TCEs diaplikasikan untuk berbagai piranti optoelektronik seperti penampil (*display*) dan aplikasi layar sentuh (*touch screen*) dan elektroda transparan sel surya (Junaidi *et al.*, 2020). Salah satu bahan yang sering digunakan untuk TCEs adalah *indium tin oxide* (ITO) (Ellmer, 2012; Eda *et al.*, 2008). ITO memiliki beberapa keunggulan yakni, transmitansi yang tinggi ( $T > 90\%$  pada panjang gelombang 550 nm) dan resistansi ( $R_s$ ) yang rendah sebesar 10-30  $\Omega/\text{sq}$  (Lee *et al.*, 2020). Disamping itu, ITO memiliki kekurangan yakni harga yang cukup tinggi karena terbatasnya indium, proses sintesis membutuhkan suhu dan vakum yang tinggi untuk mengontrol ketebalan dan konsentrasi doping. Sifat keramik yang dimiliki membuatnya tidak fleksibel dan mudah rapuh (Minami, 2008; Lim *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013) berakibat meningkatnya indeks refraksi yang cukup tinggi sehingga tidak cocok untuk aplikasi layar sentuh (Hecht *et al.*, 2011).

Piranti-piranti optoelektronik yang dikembangkan dengan menggunakan AgNWs terbukti memiliki unjuk kinerja yang tinggi. Nilai konduktivitas listrik dan transparansi optik dari TCEs yang dikembangkan dengan AgNWs jauh lebih tinggi dibandingkan dengan material sejenis seperti *cooper nanowires* (CuNWs), *indium tin oxides* (ITO), dan *graphene* (Gerlein, 2021).

Banyak peneliti yang berusaha untuk memecahkan masalah dalam pembuatan elektroda konduktif, fleksibel dan transparan dengan menggunakan substrat *polyethylene terephthalate* (PET) (Gerlein *et al.*, 2021). Namun, pendekatan

tersebut tidak hanya menambah biaya produksi tetapi juga mengurangi kinerja optik dan listriknya.

Para peneliti telah melaporkan berbagai metode untuk membuat lapisan tipis. Adapun metode yang umum digunakan adalah *dip coating*, *spin coating*, *spray coating* dan *mayer rod coating*. Metode *dip coating* memiliki beberapa keunggulan yakni, biaya pelapisan yang murah, cara pelapisan yang mudah, dapat mengontrol ketebalan pelapisan yang diinginkan dan dapat dilakukan pada suhu kamar sehingga tidak mengubah sifat bahan pelapis (Ardhy *et al.*, 2020). *Dip coating* juga memiliki kelemahan yakni membutuhkan waktu pencelupan dan kecepatan yang konstan untuk memperoleh lapisan yang seragam (Luis *et al.*, 2016). Metode *spin coating* paling sering digunakan karena mudah dan murah, serta terdapat parameter yang dapat dikontrol yakni kecepatan putaran, jumlah siklus deposisi dan suhu saat proses anil (Smirnov *et al.*, 2010). *Spin coating* juga memiliki kelemahan yakni adanya ketebalan yang tidak merata dikarenakan volume penetesannya yang tidak stabil (Azka dan Asnawi, 2018). Metode *spray coating* merupakan metode sederhana menggunakan tekanan pada alat semprot yang mempengaruhi gaya dorong untuk terdispersinya cairan. Semakin besar tekanan maka kekuatan yang dihasilkan mendorong proses dispersi cairan menjadi lebih besar (Lee *et al.*, 2016). Namun metode ini memiliki kekurangan yakni, permukaan lapisan AgNW sangat kasar karena dispersi yang acak. Kekasaran AgNW yang disemprotkan mencapai beberapa ratus nanometer (Choi *et al.*, 2013).

Dari beberapa teknik pelapisan, teknik *mayer-rod coating* sering digunakan dan memiliki keunggulan dibandingkan dengan teknik yang lain seperti teknik *spray coating*, *spin coating*, dan *dip coating* (Yang *et al.*, 2016). Kelebihan dari *mayer-rod coating* yaitu dihasilkan permukaan yang luas dan homogen (Wang *et al.*, 2020), sehingga metode ini dapat mencegah timbulnya porositas yang berlebih.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah pembuatan lapisan tipis AgNWs menggunakan metode *mayer-rod coating* dengan memvariasi jumlah lapisan. Ada beberapa tahapan yang dilakukan yakni tahap yang pertama sintesis AgNWs dengan metode poliol menggunakan AgNO<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub>, *ethylene glycol*, dan *polyvinyl pyrrolidone*. Tahap yang kedua yakni pembuatan

lapisan tipis menggunakan metode *mayer-rod coating* dengan substrat *Polyethylene Terephthalate* (PET). Beberapa karakterisasi sampel yang digunakan, yakni *Ultra Violet Visible* (UV-Vis) dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui sifat optik lapisan tipis AgNWs, I-V meter untuk mengetahui nilai resistansi lembar. *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur permukaan dan ketebalan lapisan AgNWs. Selain itu juga dilakukan uji mekanik untuk mengetahui kekuatan dan kinerja dari TCEs dilanjutkan dengan uji tarik dan uji tekuk.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut.

- a. Bagaimana pengaruh variasi perulangan pelapisan pada pembuatan lapisan tipis AgNWs menggunakan teknik *mayer road coating*?
- b. Bagaimana transmitansi dan absorbansi lapisan AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan uji spektrofotometer *Ultra Violet Visible* (UV-Vis)?
- c. Bagaimana nilai resistansi lapisan AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan uji I-V meter?
- d. Bagaimana struktur permukaan dan ketebalan lapisan AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM)?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

- a. Mensintesis AgNWs dengan metode poliol.
- b. Membuat lapisan tipis AgNWs dengan metode *meyer-rod coating*.
- c. Mengetahui sifat optik (transparansi), listrik (resistansi lembar dan konduktivitas listrik), dan morfologi (sebaran dan ketebalan lapisan tipis AgNWs) yang difabrikasi dengan *mayer-rod coating* di atas substrat *polyethylene terephthalate* (PET) dengan variasi jumlah lapisan (1-3 lapisan).

## 1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, batasan masalah yang digunakan adalah:

- a. Lapisan tipis AgNWs dibuat dengan menggunakan teknik *meyer road coating* dengan variasi jumlah lapisan yaitu 1,2, dan 3 lapisan.
- b. Sintesis material menggunakan bahan  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{AgNO}_3$ , *Ethylene Glycol*, PVP dengan metode poliol pada suhu  $140\text{ }^\circ\text{C}$ .
- c. Larutan AgNWs yang digunakan memiliki konsentrasi 0,5 M.
- d. Substrat yang digunakan untuk membuat lapisan tipis AgNWs adalah *polyethylene terephthalate* (PET).

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat diantaranya:

- a. Dapat menjadi pengganti ITO sebagai bahan lapisan tipis yang dapat diaplikasikan pada perangkat elektronik seperti komponen elektronik, sel surya, OLED, dan lapisan pemanas.
- b. Sebagai referensi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pembuatan lapisan tipis AgNWs.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Pembuatan lapisan AgNWs dengan metode *mayer rod coating* dilakukan oleh Zhang *et al.*, (2019) dengan menggunakan substrat *polyethylene terephthalate* (PET). Kemudian cairan nanowire yang telah ditambahkan etanol dengan rasio volume 1:4 dituangkan ke atas substrat PET dan digunakan metode *mayer road coating*. Dilakukan penguapan pelarut untuk mengoptimalkan prosedur pengeringan. Terdapat tiga cara penguapan pelarut yang dilakukan yakni pengeringan alami, pemanasan statis, dan pemanasan dinamis.

Pemanasan alami hanya menggunakan udara bebas sampai semua cairan mengering. Pemanasan statis menggunakan lampu xenon sampai semua pelarut kering. Pemanasan dinamis dilakukan juga menggunakan lampu xenon tetapi dengan tambahan gerak relatif bolak-balik antara elektroda dan lampu dengan kecepatan 0,05 m/s . Daya lampu xenon 500 W dan jarak vertikal antara elektrode dan lampu adalah 35 cm.

Nilai resistansi dari lembaran lapisan diuji dengan *four point probe* setelah sebelumnya dilakukan anil suhu rendah untuk masing-masing sampel. Perubahan listrik elektroda dapat diukur dengan membandingkan resistansi lembaran elektroda sebelum dan sesudah proses anil suhu rendah. Pada anil suhu konstan, ketika suhu dibawah 130 °C, persentase penurunan resistansi lembaran elektroda meningkat dengan ekstensif waktu anil. Ketika suhu di atas 130 °C, persentase penurunan resistansi lembaran elektroda menurun dengan ekstensif waktu anil. Proses anil optimal pada suhu 150 °C dalam waktu 20 menit. Maksimum persentase penurunan lembaran elektroda adalah 34% (ukuran elektrik terbaik).



Junaidi *et al.*, (2020) membuat lapisan tipis AgNWs menggunakan substrat polikarbonat berukuran 15 x 20 cm<sup>2</sup> dengan memvariasi jumlah ukuran menggunakan pelapis batang (RDS-20). Substrat ini di ultrasonik dengan etanol pada suhu ruang dan dikeringkan pada kondisi sekitar. Koloid *silver nanowire* tersebar dalam larutan etanol dengan konsentrasi 10%. Kemudian lapisan *flexible transparent conductive* (FTC) perak kawat nano dikeringkan dengan oven pada suhu 90 °C dalam waktu 15 menit.

Karakterisasi menggunakan spektroskopi *Ultraviolet Visible* (UV-Vis), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (JSM-6510). *Four Point Probe* (FPP) juga digunakan untuk mengukur elektrik dari lapisan FTC dengan memvariasi arus elektrik dari 0 sampai 0,5 mA. Spektroskopi UV-Vis digunakan untuk mengukur sifat optik lapisan kawat nano perak FTC dengan menggunakan panjang gelombang 300 sampai 800 nm. SEM digunakan untuk melihat morfologi, ukuran, dan ketebalan lapisan FTC kawat nano perak.

Kawat perak nano tumbuh optimal ketika disintesis pada suhu sekitar 90 °C sampai 130 °C. Sifat optik dan elektrik lapisan FTC kritis bergantung pada jumlah lapisan larutan kawat nano perak. Ketebalan lapisan FTC sekitar 30 µm, dengan resistansi dan konduktivitas optik masing-masing adalah 3,4 Ω/sq dan 4,7 x 10<sup>5</sup> sampai 13,1 x 10<sup>5</sup> S/m. Selanjutnya indeks bias dari lapisan FTC sekitar 1,2 sampai 1,7. Dalam pembuatan lapisan tipis masalah utama yang dihadapi adalah sulitnya mendapat lapisan seragam dan homogen. Kondisi ini disebabkan karena banyak faktor, seperti tekanan, kecepatan proses pelapisan, dan suhu untuk mengeringkan lapisan setelah pelapisan.

Zhang *et al.*, (2020) membuat lapisan tipis kawat nano perak menggunakan substrat PET yang dilapis dengan menggunakan batang meyer, kecepatan pelapisan 30 mm/s. Sintesis AgNWs menggunakan AgNO<sub>3</sub> 99,8%, EG 98%, PVP, dan FeCl<sub>3</sub> 98%. Tinta konduktif AgNWs berbahan dasar air disiapkan dengan menggunakan larutan AgNWs 5 mg, HPMC 2,56 mg, Zonyl FSO-100 1 mg dan air deionisasi. HPMC digunakan sebagai perekat untuk meningkatkan distribusi homogen AgNWs, dan Zonyl FSO-100 digunakan sebagai pengubah permukaan untuk meningkatkan kemampuan pembasahan. Tinta *graphene oxide* (GO) dengan tiga

konsentrasi yang berbeda (0,5; 0,75; dan 1 mg/ml), dibuat dengan menggunakan larutan GO yang mengencerkan gel *graphene oxide*.

Substrat PET dengan ukuran 10 x 15 cm<sup>2</sup> diultrasonik dengan etanol selama 15 menit, dibilas dengan air destilasi. Lalu diolah melalui UV / ozone (UVO) dengan penyinaran UV 300 W selama 10 menit untuk membuat hidrofilisitas meningkat. Tinta AgNWs yang sudah disiapkan dilapisi di permukaan PET yang telah diolah sebelumnya menggunakan batang meyer untuk membentuk lapisan konduktif transparan kawat nano perak yang dapat diproses dengan larutan. Kecepatan lapisan dan suhu masing-masing di atur pada 10 mm/s dan 50 °C. Setelah permukaannya menguap secara alami, lapisan GO dilapisi pada lapisan AgNWs yang sudah disiapkan dengan kecepatan pelapisan 30 mm/s dan suhu 50 °C untuk membentuk lapisan pelindung. Setelah menguap, lapisan GO/AgNWs hibrida dipanaskan pada 110 °C selama 20 menit untuk menghilangkan sisa air dan larutas organik.

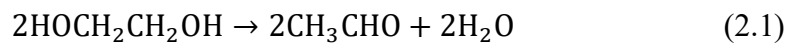
Karakterisasi morfologi dan mikrostruktur sampel diamati dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) SU-8010 dan *Transmission Electron Microscope* (TEM) JEM-1230. Bubuk pola difraksi sinar-x diamati dengan Shimadzu XRD-6000 difraktometer. Spektrum transmisi optik diamati dengan UV-Vis (DU800). Spektrum raman diamati dengan mikroskop raman (LabRAM HR Evolution). Kekasaran permukaan lapisan diukur dengan *Scanning Probe Microscopy* (SPM). Resistansi lembaran dan kabut hibrida film diselidiki dengan pengukur konduktivitas four-probe (RTS-9). Perbedaan statis sudut kontak lapisan hibrid dikarakterisasi dengan video pengukur sudut kontak (Dataphysics OCA20). *X-ray Photoelectron Spectroscopy* (XPS) digunakan untuk karakterisasi komposisi permukaan.

Berdasarkan penelitian Zhang ini, diperoleh hasil resistansi lembar 25  $\Omega$  s/q, transmitansi 87,5% pada 550 nm dan kekasaran RMS 4,86 nm, menampilkan oksidasi termal yang sangat baik dan stabilitas mekanik dibawah kondisi suhu 80°C dan kelembaban relatif 75% selama 16 hari, pada suhu kamar di udara sekitar 3 bulan, dan pembengkakan mekanis masing-masing 2.200 kali.

## 2.2 Perak Nitrat ( $\text{AgNO}_3$ )

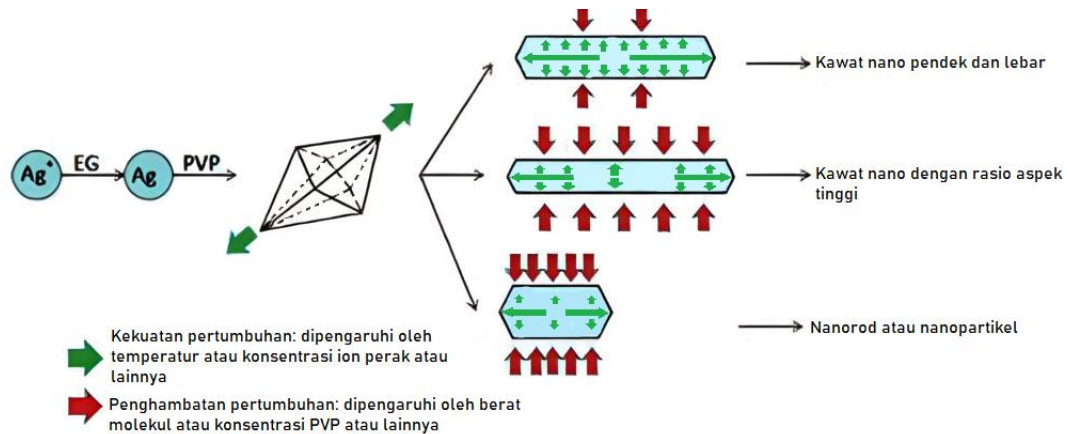
Perak nitrat dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan bakteri tertentu dengan membuat zona hambat pada area sekitar yang digunakan (Pratama *et al.*, 2019). Larutan perak nitrat tidak berwarna dan tidak berbau. Penggunaan larutan perak nitrat diikuti dengan natrium pernis fluoride untuk mengobati karies terbukti efektif dalam menahan karies gigi (Gao *et al.*, 2018).

Perak nitrat juga dapat digunakan sebagai produksi *silver nanowires* (AgNWs) yang baik menggunakan metode poliol dengan menginjeksinya kedalam etilen glikol (EG) dan polivinil pirolidon (PVP). Reaksi kimia reduksi ion perak dengan etilen glikol dalam larutan etilen glikol anhidrat, seperti pada referensi Persamaan (2.1) dan (2.2).



Langkah pertama, etilen glikol dipanaskan dan didekomposisi menjadi asetaldehida. Kemudian perak ion direduksi oleh asetaldehida menjadi atom perak. Selanjutnya atom perak berkumpul bersama-sama dan membentuk inti kristal yang berbentuk dekahedron kecil. Dekahedron Ag terdiri dari sepuluh bidang  $\{111\}$ . Bidang tersebut terbentuk karena adanya PVP yang berperan sebagai pertumbuhan bidang kristalografi inti Ag dalam larutan.

Pertumbuhan struktur nano perak dapat dibagi menjadi tiga pola, seperti pada Gambar 2.1. Pola pertama yakni ketika penghambat PVP untuk pertumbuhan perak lebih lemah daripada kuat pertumbuhannya, inti akan tumbuh menjadi kawat nano perak yang pendek dan lebar. Pola kedua Ketika penghambat PVP untuk pertumbuhan perak dan kuat pertumbuhan perak sebanding, inti akan tumbuh menjadi kawat nano perak yang Panjang. Pola ketiga Ketika penghambat PVP untuk pertumbuhan kawat nano perak berlebih, inti akan tumbuh menjadi kawat perak nano atau partikel nano perak (Chen *et al.*, 2018).



**Gambar 2.1** Diagram skematik reduksi ion  $\text{Ag}^+$  dan proses pertumbuhan AgNWs (Chen *et al.*, 2018).

Larutan perak nitrat juga beracun dan korosif, serta dapat menimbulkan noda jika mengenai kulit ataupun pakaian. Noda permanen pada kulit akan hilang dalam waktu satu sampai dua minggu, noda ini sementara karena tidak menembus ke dalam dermis. Jika larutan ini mengenai kornea dapat berakibat fatal, yakni menyebabkan kebutaan karena larutannya dapat membakar atau mengaburkan kornea. Oleh karenanya operator harus memperhatikan keselamatan kerja seperti, memakai alat pelindung diri, menyimpan larutan dalam jumlah kecil, dan berhati-hati dalam mengaplikasikan larutan perak nitrat (Gao *et al.*, 2018).

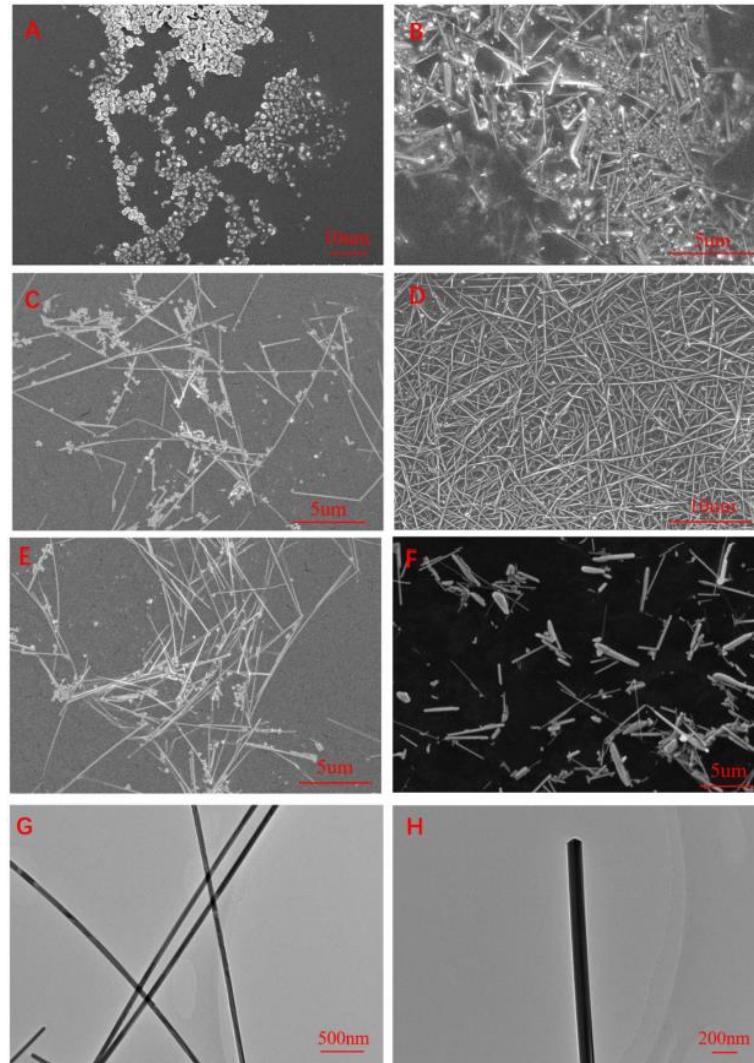
### 2.3 Ferit Klorida ( $\text{FeCl}_3$ )

Ferit klorida adalah garam asam yang terbentuk dari basa lemah ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) dan asam kuat ( $\text{HCl}$ ). Dalam teori Bronsted, larutan besi klorida dalam air bertindak sebagai asam karena hidrolisis  $\text{Fe}^{3+}$  dan menghasilkan bentuk kompleks yang berbeda (Marcotullio *et al.*, 2011).  $\text{FeCl}_3$  merupakan reagen kimia dengan kapasitas penyangga yang kuat dan dapat memberikan ion hydrogen dalam larutan air. Fe(III)oksida/hidroksida aglomerasi memiliki efisiensi penghilangan kromium yang tinggi pada keadaan pH netral (Zelmanov *and* Semiat, 2011).

Klorida dapat bereaksi dengan ion perak dalam etilen glikol untuk membentuk partikel  $\text{AgCl}$  yang tidak larut. Selama proses nukleasi, konsentrasi ion perak bebas dalam larutan secara bertahap menurun, yang dapat membatasi pertumbuhan benih kristal berkelanjutan. Klorida juga dapat membatasi polimerisasi dan pertumbuhan

benih kristal melalui interaksi elektrostatik. Ion  $\text{Fe}^{3+}$  dapat menghilangkan atom oksigen dari permukaan kristal benih perak, mencegah pertumbuhan struktur nano perak dan etsa oksidasi oksigen di udara (Fang *et al.*, 2020).

Penambahan dosis  $\text{FeCl}_3$  berpengaruh pada morfologi kawat nano perak. Semakin banyak dosis yang ditambahkan, maka panjang kawat nano perak akan semakin meningkat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Citra SEM kawat nano perak dengan dosis  $\text{FeCl}_3$  yang berbeda (A) 0 mL; (B) 0,5 mL; (C) 1 mL; (D) 1,5 mL; (E) 2 mL; (F) 2,5 mL; dan citra TEM (G), (H) kawat perak nano dengan dosis  $\text{FeCl}_3$  1,5 mL (Fang *et al.* 2020).

Ketika dosis  $\text{FeCl}_3$  0 mL, hanya ada partikel perak nano yang tampak dan tidak tampak kawat nano perak. Penambahan dosis  $\text{FeCl}_3$  0,5 mL sampai 1,5 mL,

meningkatkan panjang kawat nano perak dari 5  $\mu\text{m}$  sampai 15  $\mu\text{m}$ , partikel silver secara bertahap terus berkurang dan morfologi dari kawat nano perak cenderung memiliki struktur yang seragam. Ketika dosis  $\text{FeCl}_3$  meningkat dari 2 sampai 2,5 mL, kawat nano perak secara bertahap menjadi pendek, tebal, dan banyak partikel perak tidak beraturan muncul. Dapat disimpulkan bahwa kawat nano perak relatif seragam dan teratur saat dosis  $\text{FeCl}_3$  1,5 mL. Hal ini menunjukkan bahwa ion besi dapat mengurangi etsa oksidatif kawat nano perak oleh atom oksigen dalam larutan. Ketika dosis  $\text{FeCl}_3$  terlalu tinggi, ion klorida yang berlebihan akan menimbulkan korosi kembar kwintet dan menghasilkan penurunan panjang AgNWs dalam proses pertumbuhan, atau bahkan tidak ada AgNWs yang dihasilkan. Citra TEM kawat nano perak pada dosis  $\text{FeCl}_3$  1,5 mL ditunjukkan pada Gambar 2.2 G dan H. Seperti yang ditunjukkan, permukaan kawat nano perak halus berdiameter 100 nm dan panjang 200, yang merupakan karakteristik khas kawat nano perak (Fang *et al.*, 2020).

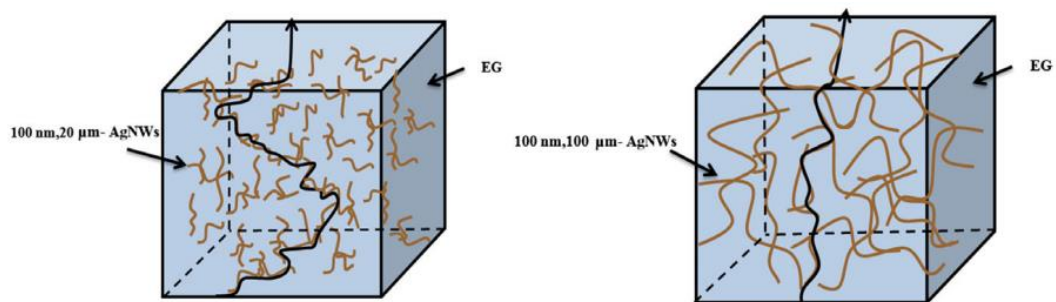
#### **2.4 Etilen Glikol (EG)**

Etilen glikol umumnya digunakan sebagai antibeku, pendingin dan pelarut dalam industri. Dalam penggunaan etilen glikol biasanya diencerkan 50% dengan larutan encer (Brent, 2001).

Etilen glikol dalam tubuh akan dimetabolisme di hati menjadi glikoldehida oleh alcohol dehydrogenase. Kemudian dioksidasi menjadi asam glikolat, asam gliksilat dan akhirnya menjadi asam oksalat. Etilen glikol sendiri dapat menyebabkan keracunan, karena akumulasi metabolit toksik yang berpotensi fatal dan gagal ginjal (Brent, 2001).

Etilen glikol dalam nanofluida yang mengandung nanopartikel karbon hitam mampu meningkatkan konduktivitas termal dan memiliki kemampuan penyerapan energi matahari yang tinggi, secara efektif dapat meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari. Hal ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Bagian berwarna biru merupakan dasar fluida dan garis berwarna coklat merupakan AgNWs. EG mempunyai konduktivitas yang lemah, tetapi perpindahan panas akan meningkat jika ditambahkan AgNWs. Semakin panjang AgNWs, energi akan

menyebar lebih jauh. Jika AgNWs lebih panjang lagi, maka semakin banyak yang bengkok.

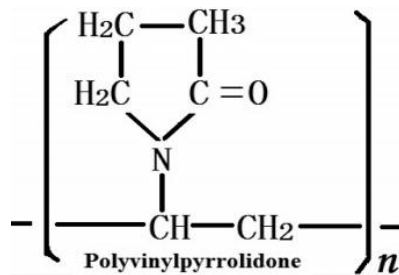


**Gambar 2.3** Skematik distribusi AgNWs dalam EG (Zhu, *et al.*, 2019).

### 2.5 Polyvinyl Pyrrolidone (PVP)

PVP merupakan polimerasi dari 1-vinilpirolidon-2-on atau  $(C_3H_4O_2)_n$ . Bentuknya berupa serbuk putih atau kekuningan, berbau lemah atau tidak berbau dan higroskopis dan memiliki densitas  $0,29 - 0,39 \text{ g/cm}^3$  dan pH  $3,0 - 7,0$ . Secara kimia PVP merupakan bahan tambahan yang inert dan tidak toksik, serta tidak bersifat antigenik. PVP merupakan salah satu jenis polimer yang relatif peka terhadap radiasi dan umumnya dipakai sebagai bahan dasar sintesis bahan biomaterial (Zainuddin *et al.*, 2002). PVP juga digunakan sebagai polimer hidrofilik, disintegran, zat pensuspensi, pembawa untuk obat 10-25% bahan pendispersi dan *suspending agent* dalam sediaan farmasi PVP dapat dibedakan dengan beberapa polimernya. Derajat polimerasi ditentukan oleh bobot molekul. Semakin besar bobot molekulnya maka viskositasnya akan semakin besar (Rowe *et al.*, 2009).

Struktur PVP dapat dilihat pada Gambar 2.4 PVP dapat disimpan dalam kondisi di bawah normal tanpa terjadi dekomposisi ataupun degradasi, tetapi harus dalam wadah tertutup rapat dan ditempat yang kering dan sejuk karena sifatnya yang higroskopis (Magfirah, 2021).



**Gambar 2.4** Struktur molekul PVP (Ingole and Kumbharkhane., 2020).

PVP juga digunakan sebagai *capping agent* sintesis kawat nanoperak, sehingga dihasilkan kawat nano perak yang seragam. (Sun *et al.*, 2003). Pada Tabel 2.1 dapat terlihat bahwa kawat nanoperak tidak seragam dalam ukuran dan bentuk, banyak partikel tidak beraturan juga muncul pada produk. Meningkatnya *Molecular Weights* (MWs) dari PVP, hasil kawat nanoperak juga bertambah pada produk.

**Tabel 2.1** Hasil produk menggunakan PVP dengan MWs yang berbeda

No	PVP	Hasil Produk (yields) dan ukuran nanowires
1	K17 (MW = 15.000)	Nanopartikel (~ 60%) dan nanowires (~ 40%); D: ~ 120 nm, L: ~3 $\mu$ m
2	K25 (MW = 38.000)	Nanopartikel (~ 50%) dan nanowires (~ 50%); D: ~ 100 nm, L: ~3 $\mu$ m
3	K30 (MW = 58.000)	Nanopartikel (~10%) dan nanowires (~ 40%); D: ~ 180 nm, L: ~8 $\mu$ m
4	K60 (MW = 200.000)	Nanopartikel (~5%) dan nanowires (~ 95%); D: ~ 120 nm, L: ~8 $\mu$ m
5	K90 (MW = 800.000)	Nanopartikel (~99%); D: ~ 100 nm, L: ~10 $\mu$ m

Ketika PVP dengan berat molekul lebih tinggi digunakan, kawat nanoperak dengan hasil dan rasio aspek tinggi diperoleh pada kondisi  $R = 1$  dengan suhu yang sama, indikasi bahwa berat molekul PVP juga merupakan parameter penting untuk sintesis kawat nanoperak (Zhu *et al.*, 2011).

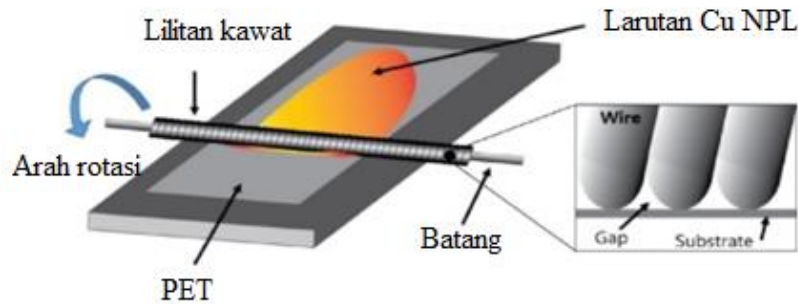
## 2.6 Teknik Pelapisan

### 2.6.1 Meyer Rod Coating

Proses pelapisan dengan batang meyer ini dapat menggunakan larutan yang dituangkan ke atas permukaan substrat, kemudian larutan yang bergelombang tersebut diratakan dengan menggunakan batang meyer, seperti pada Gambar 2.5. Ketebalan dari lapisan larutan menentukan konduktivitas dan transparansi dari film. Ketebalan



lapisan juga dapat diatur dengan memvariasikan diameter ulir batang meyer (Zhang *et al.*, 2021).



**Gambar 2.5** Teknik pelapisan batang meyer (Go *et al.*, 2020).

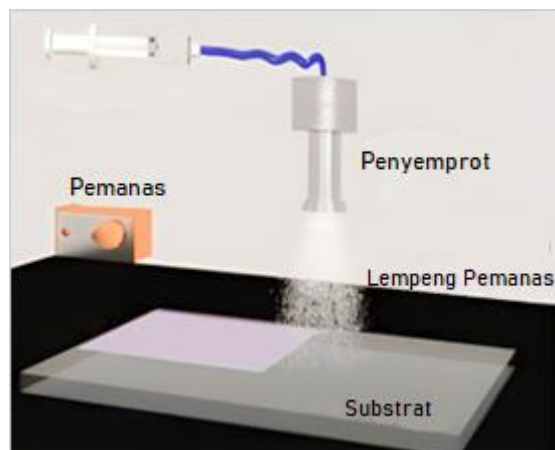
Batang meyer memiliki diameter ulir yang beragam seperti 12, 16, 20 dan 24. Masing-masing diameter tersebut memiliki ketebalan lapisan basah yakni 30,48; 40,64; 50,80; dan 60,96  $\mu\text{m}$  (Duong *and* Kim, 2018). Penggunaan batang meyer tersebut juga dapat menggunakan mesin pelapis seperti XT-300SL (Shijiazhuang Xixiti Machinery Technology Co.) yang dilengkapi dengan batang meyer diameter 400 mm. Batang meyer berpindah dua kali dengan kecepatan yang berbeda selama proses pelapisan. Ketika pelapisan pertama diaplikasikan, kecepatan gerak sebesar  $10 \text{ mms}^{-1}$  yang mengakibatkan tersebar larutan pada permukaan. Pada pelapisan kedua kecepatan ditingkatkan sebesar 45 mm/s untuk mendorong pemerataan larutan (Xu *et al.*, 2020).

### 2.6.2 *Spray Coating*

Teknik pelapisan dengan *spray coating* atau metode semprot merupakan teknik dengan biaya yang murah untuk pembuatan pelapisan di area yang luas dan pada lapisan tipis. Tetapi metode semprot ini prosesnya acak dan sulit untuk mengontrol pengulangan dan keseragaman penyemprotan lapisan. (Eslamian *and* Soltani, 2017). Metode semprot dikategorikan menjadi dua jenis, yakni metode semprot dua cairan dan ultrasonik. Metode semprot dua cairan melibatkan interaksi gas dan cairan berkecepatan tinggi. Sedangkan metode semprot melibatkan getaran ultrasonik untuk membuat droplet. Lapisan tipis yang dibuat oleh metode semprot

memiliki keunggulan dalam pelapisan area yang luas, keseragaman lapisan yang tinggi dan pemanfaatan material yang tinggi (Huang *et al.*, 2018).

Dalam metode penyemprotan, larutan AgNW dengan cepat dikabutkan melalui nosel dibawah gas terkompresi. Kemudian AgNWs dilekatkan secara seragam membentuk jaringan konduktif. Metode ini dapat menghasilkan lebih banyak lapisan konduktif seragam (Zhang *et al.*, 2021). Skematik metode semprot seperti pada Gambar 2.6 yang telah digunakan oleh Marouf *et al.*, (2017).



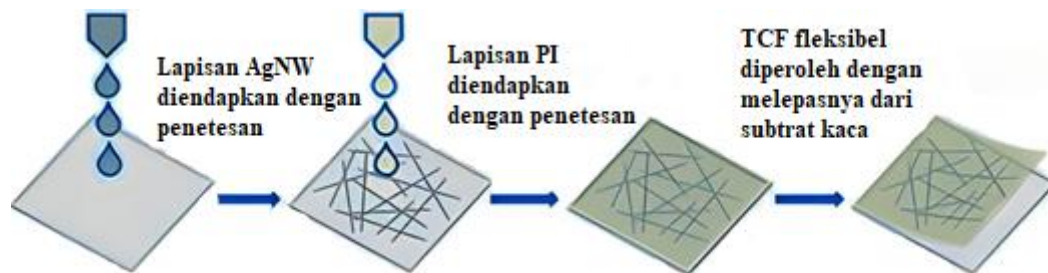
**Gambar 2.6** Skematik sederhana sistem pirolisis semprot dan tahapan utama (Marouf *et al.*, 2017).

Gas yang digunakan dalam semua percobaan adalah udara, yang disuplai oleh kompresor udara. Udara yang dihasilkan oleh kompresor pertama disaring dan dihubungkan ke pistol semprot kaca (alat penyemprot), diposisikan pada jarak 18 cm di atas substrat yang dipanaskan 300 °C (Marouf *et al.*, 2017).

### 2.6.3 Drop Casting

Metode *drop casting* atau penetesanan merupakan metode yang dapat digunakan ketika ketebalan lapisan dan keseragaman tidak terlalu diperhatikan. Larutan dengan jenis dan konsentrasi tertentu diteteskan ke substrat untuk menguapkan pelarut. Setelah menguap, larutan tersebut akan tertinggal di substrat atau dapat dipindahkan ke matriks lain. Dalam hal ini akan sulit untuk memastikan keseragaman larutan tersebut dalam lapisan selama dijatuhkan dan juga ketebalan lapisan tidak bisa dikontrol (Zhang *et al.*, 2021).

Senyawa yang digunakan sebagai pelarut adalah air atau alkohol (etanol, methanol, dan isopropanol). Skematik prosedur *drop casting* ini seperti pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Skematik prosedur *drop casting* (Guo *et al.*, 2015).

Larutan perak terdispersi dalam anhidrat larutan etanol yang diteteskan kaca K9 yang telah dibersihkan sebelumnya. Kemudian ditempatkan pada *hot plate* untuk menghilangkan pelarut (Guo *et al.*, 2015).

#### 2.6.4 *Spin coating*

*Spin coating* merupakan teknik yang menggunakan parameter kecepatan putaran, waktu putaran, akselerasi dan pembuangan asap. Proses ini memiliki empat tahap, yakni: tahap pengeluaran, akselerasi substrat, substrat berputar dengan laju konstan dan gaya viskositas fluida mendominasi penipisan fluida, terakhir tahap pemintalan dengan laju konstan dan tahap penguapan mendominasi penipisan pelapisan (Tyona, 2013).

*Spin coating* membentuk lapisan tipis seragam dengan menggunakan wadah yang berputar dengan gaya sentrifugal. Dalam prosesnya, pelarut akan menguap selama rotasi dan membentuk lapisan (Rahane *et al.*, 2020). Skematik proses ditunjukkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Proses *spin coating* (Amokrane *et al.*, 2018).

Metode *spin coating* ini sulit diterapkan pada produksi skala besar karena banyak kehilangan material selama rotasi dan sulit untuk mengontrol ketebalan (Rahane *et al.*, 2020). Namun, *spin coating* memiliki keunggulan kinerja, penghematan energi dan memiliki aplikasi luas dalam teknologi informasi mikroelektronik dan fotolistrik nano (Bergin *et al.*, 2012). Kecepatan putaran dari teknik *spin coating* memiliki pengaruh yang penting terhadap performa lapisan akhir selain kualitas AgNWs. Agar memiliki transmisi yang lebih tinggi dan area lapisan yang lebih besar maka kecepatan putaran konstan (300 sampai 5000 rpm) (Lang *et al.*, 2020).

## 2.7 Karakterisasi

### 2.7.1 *Four Point Probe* (FPP)

*Four Point Probe* (FPP) merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur resistansi lembar lapisan tipis. Lapisan tersebut berasal dari bahan organik, inorganik, logam, maupun campuran logam-organik yang memiliki sifat-sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor maupun insulator (Yunanto *et al.*, 2006).

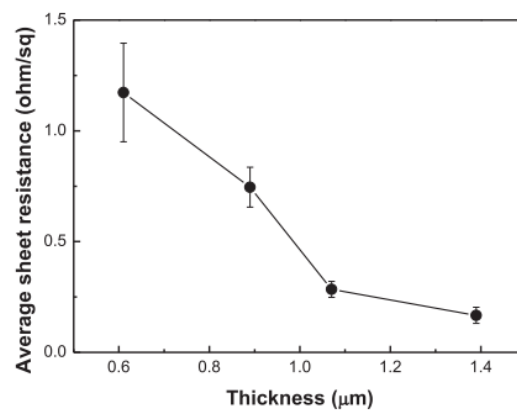
Prinsip kerja FPP menggunakan empat probe dengan jarak yang sama dan membutuhkan arus konstan yang berasal dari *power supply* DC. Arus listrik yang dialirkan melalui probe akan memancar ke ujung probe dan mengenai lapisan tipis, sehingga beda potensial dapat terukur pada kaki dua dan tiga probe (Santi *et al.*, 2019). Pembaca tegangan digunakan sebagai pengolah data untuk mengetahui besar tegangan yang terukur (Raharja *et al.*, 2019). Batas pengukuran tertinggi tahanan

FPP adalah  $100 \text{ k}\Omega$ , untuk mengukur tahanan yang lebih tinggi dari batas tersebut dapat menggunakan ohm meter digital yang memiliki besar tahanan sampai  $1000 \text{ M}\Omega$  (Yunanto dkk., 2006). Hubungan antara ketebalan lapisan tipis dan keelektrikannya ditunjukkan pada Persamaan (2.3).

$$R_s = \rho \frac{L}{Wt} \quad (2.3)$$

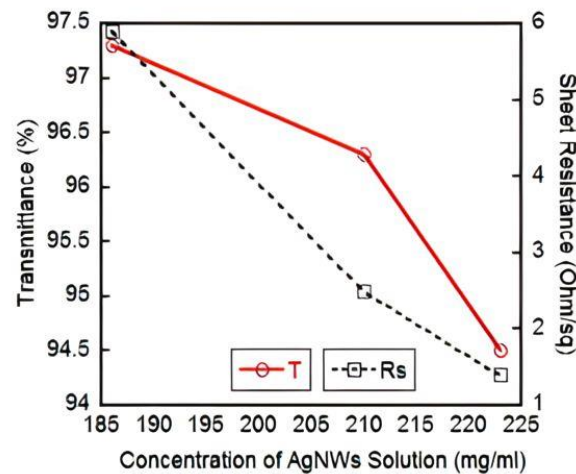
dengan  $R_s$  adalah resistansi lapisan,  $\rho$  adalah koefisien resistansi,  $L$  adalah Panjang,  $W$  adalah lebar dan  $t$  adalah ketebalan lapisan (Pan *et al.*, 2018).

Pengaplikasian dari penggunaan FPP dilakukan salah satunya pada penelitian lapisan tipis yang dilakukan oleh Pan *et al.* (2018). Penelitian tersebut diperoleh grafik hubungan antara ketebalan dan rata-rata resistansi lembar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Rata-rata resistansi lembar dengan beragam ketebalan lapisan (Pan *et al.*, 2018).

Pada Gambar 2.9, resistansi lembar lapisan AgNWs menurun ketika ketebalan meningkat. Pada penelitian lainnya, diperoleh hubungan antara lembar resistansi dengan konsentrasi AgNWs yang dilakukan oleh Junaidi *et al.*, (2019). Pada penelitian tersebut, FPP digunakan untuk mengukur resistansi lapisan tipis AgNWs yang dilapis menggunakan metode batang meyer dengan konsentrasi yang berbeda. Semakin tinggi konsentrasi larutan AgNWs, dapat menurunkan resistansi dan transmisi lembar lapisan tipis AgNWs, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Transmittansi dan resistansi lembar lapisan tipis AgNWs (Pan *et al.*, 2018)

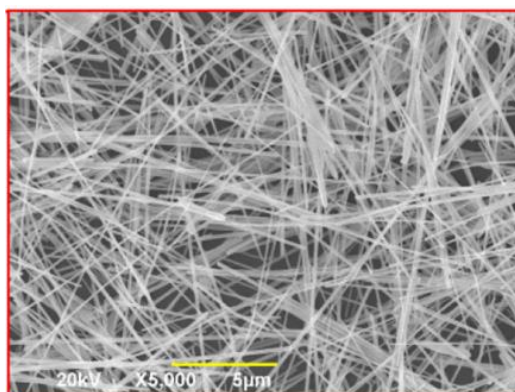
### 2.7.2 Scanning Electron Microscopy (SEM)

SEM merupakan mikroskop elektron yang dapat menghasilkan gambar beresolusi tinggi dari sebuah sampel. Alat ini digunakan untuk menganalisis morfologi dan ketebalan permukaan lapisan tipis. Analisis morfologi ini dapat mengetahui keadaan lapisan, seperti keretakan, pelapisan tidak merata, ataupun erosi permukaan.

Prinsip kerja SEM menerapkan difraksi elektron yang pengukurannya sama dengan mikroskop optik. Elektron yang ditembakkan akan dibelokkan oleh lensa elektromagnetik dalam SEM (Marpaung & Sinulingga, 2020). Karena benda ditembakkan dengan berkas elektron yang berenergi tinggi maka permukaan benda harus konduktif. Permukaan benda yang dikenai berkas elektron tersebut akan dipantulkan kembali atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Tetapi hanya pada satu arah berkas tersebut dipantulkan dengan intensitas tinggi. Kemudian detektor didalam SEM akan mendeteksi elektron yang dipantulkan dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi (Didik, 2020).

Hasil citra SEM diolah sehingga diperoleh profil histogram dan kurva distribusi. Diameter dari setiap butiran partikel citra SEM diukur dalam skala pixel dan

dikonversi ke dalam skala nanometer dengan menggunakan garis skala yang tertera pada citra SEM (Hidayat & Winata, 2019), seperti pada Gambar 2.11.

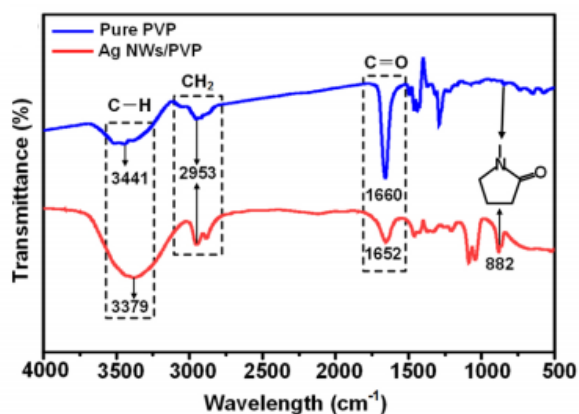


**Gambar 2.11** Citra SEM kawat nano perak (Chen *et al.*, 2018).

Butiran partikel tersebut menunjukkan morfologi yang bervariasi. Beberapa morfologi yang diamati tersebut ada yang berbentuk bola, kristal, dan ada juga yang tidak beraturan (*amorf*) (Nugraha *et al.*, 2021).

### 2.7.3 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

FTIR adalah spektroskopi inframerah yang merupakan salah satu instrument digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa dan menganalisis campuran dari sampel yang dianalisis tanpa merusak sampel (Sari *et al.*, 2018). Beberapa radiasi inframerah diserap oleh sampel dan sebagian dilewatkan atau ditransmisikan (Hulungo *et al.*, 2022). Identifikasi senyawa tersebut dapat dianalisis sesuai dengan hasil grafik FTIR seperti contoh pada Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Grafik FTIR sintesis kawat nano perak (Chen *et al.*, 2018).

Spektra FTIR dari PVP murni dan AgNWs yang dilapisi dengan PVP ditampilkan pada Gambar 2.12. Identifikasi senyawa berdasarkan puncak absorpsi. Puncak absorpsi sekitar  $3441\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur C-H,  $2953\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur  $\text{CH}_2$  dan  $1660\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi ulur C=O.

Transformasi Fourier ini lebih sering digunakan daripada metode dispersive atau analisis spektral filter inframerah. Panjang gelombang inframerah dibagi menjadi tiga daerah, yaitu IR dekat ( $1.4000\text{-}4.000\text{ cm}^{-1}$ ) yang peka terhadap vibrasi overtone, IR sedang ( $400\text{-}4.000\text{ cm}^{-1}$ ) berkaitan dengan transisi energi vibrasi dari molekul yang memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut, dan IR jauh ( $400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$ ) untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa anorganik tapi butuh teknik khusus. Prinsip kerja FTIR adalah interaksi antara energi dan materi. Inframerah yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang tertuju pada sampel. Kemudian beberapa inframerah diserap oleh sampel dan yang lainnya di transmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar infra merah lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer dan direkam dalam bentuk puncak-puncak.

Metode *fourier transform infrared* (FTIR) yang merupakan metode bebas reagen, tanpa penggunaan radioaktif dan dapat mengukur kadar hormon secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis gugus fungsi suatu sampel dilakukan dengan membandingkan pita absorpsi yang terbentuk pada spektrum inframerah menggunakan spektrum senyawa pembanding (yang sudah diketahui). Spektrofotometer FTIR merupakan alat yang dapat digunakan untuk identifikasi senyawa, khususnya senyawa organik, baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

- a. Analisis kualitatif Analisis kualitatif dengan spektroskopi FTIR secara umum digunakan untuk identifikasi gugus-gugus fungsional yang terdapat dalam suatu senyawa yang dianalisis.
- b. Analisis kuantitatif Analisis kuantitatif dengan spektroskopi FTIR secara umum digunakan untuk menentukan konsentrasi analit dalam sampel (Sari, 2018).

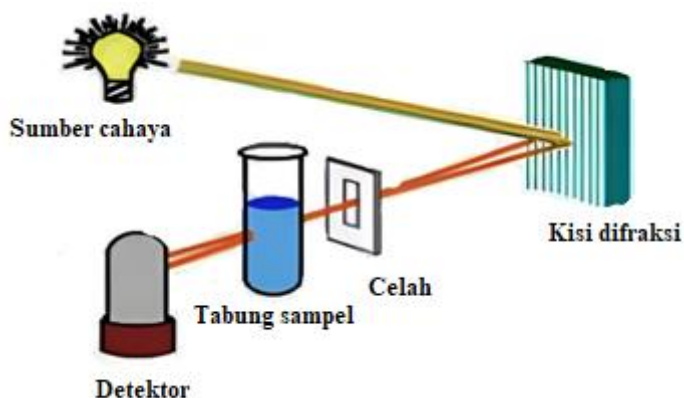


#### 2.7.4 UV-Vis

Spektroskopi UV-Vis adalah istilah yang digunakan untuk evaluasi analitik berbagai jenis pelarut dan zat. Analisis spektroskopi UV-Vis dibutuhkan untuk menentukan beberapa aspek, yakni identitas, kekuatan, kualitas dan kemurnian senyawa. Spektroskopi ultraviolet menggunakan rentang cahaya tampak, ultraviolet dan kisaran infra merah. Hal tersebut didasarkan pada hukum Beer-Lambert yang menyatakan bahwa absorbansi larutan berbanding lurus dengan konsentrasi penyerapan larutan.

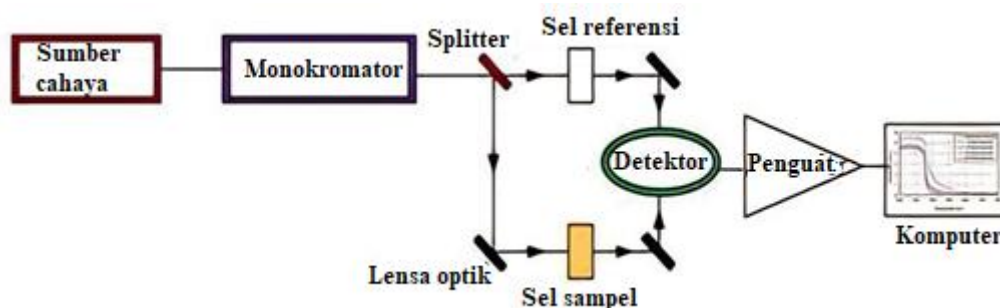
Metode analisis didasarkan pada pengukuran penyerapan cahaya monokromatik oleh senyawa tidak berwarna di dekat jalur spektrum ultraviolet (200-400 nm). Prinsip dasar operasi spektrofotometer yang menutupi daerah UV terdiri dari cahaya dengan panjang interval gelombang tertentu melewati sel dengan pelarut dan jatuh ke sel fotolistrik yang mengubah energi radiasi menjadi energi listrik diukur dengan galvanometer. Pada spektroskopi yang dianalisis adalah absorbansi energi cahaya atau radiasi elektromagnetik, yang membangkitkan elektron dari keadaan dasar ke keadaan singlet pertama. Wilayah energi UV-Vis terletak pada spektrum elektromagnetik mencakup 1,5 – 6,2 eV dengan panjang gelombang 200 – 800 nm.

Terdapat dua tipe absorbansi yang digunakan untuk mengumpulkan spektrum UV-Vis, yakni spektrum berkas tunggal dan spektrum berkas ganda. Kedua instrument ini memiliki sumber cahaya (biasanya lampu deuterium atau tungsten), sebuah pegangan sampel dan detektor, tetapi beberapa memiliki penyaring untuk menyeleksi satu gelombang pada satu waktu. Instrumen berkas tunggal, seperti pada Gambar 2.13 memiliki penyaring atau sebuah monokromator diantara sumber dan sampel untuk analisis satu gelombang pada satu waktu.



**Gambar 2.13** Berkas tunggal spektrum UV-Vis (Verma *and* Mishra, 2018).

Instrumen berkas ganda seperti pada Gambar 2.14, memiliki sebuah sumber tunggal, monokromator, pemisah, dan serangkaian cermin untuk mendapatkan berkas sampel referensi dan sampel dianalisis. Hal ini memungkinkan monokromator lebih akurat antara sampel dan sumber. Sebagai gantinya, instrumen berkas ganda memiliki susunan detektor diode linier yang memungkinkan instrument untuk secara bersamaan mendeteksi absorbansi semua panjang gelombang (Verma *and* Mishra, 2018).



**Gambar 2.14** Berkas ganda spektroskopi UV (Alshehawy *et al.*, 2021).

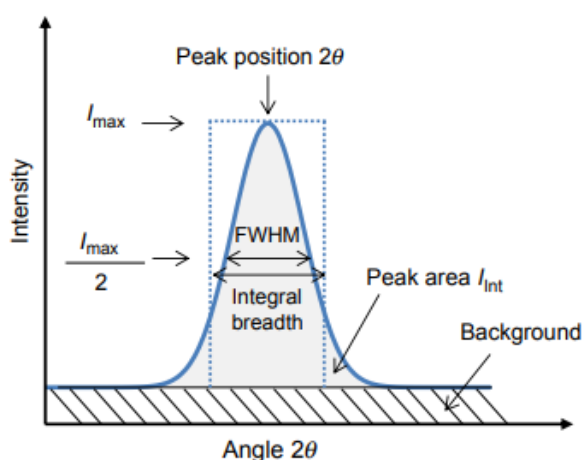
Efek pada spektrum absorpsi suatu senyawa ketika diencerkan dalam pelarut akan bervariasi, bergantung pada struktur kimia yang terlibat. Pelarut non-polar dan molekul non-polar menunjukkan efek paling kecil. Molekul polar menunjukkan perbedaan yang cukup dramatis ketika berinteraksi dengan pelarut polar. Interaksi antara zat terlarut dan pelarut menyebabkan perluasan pita serapan dan berakibat pada pengurangan resolusi struktural (Verma *and* Mishra, 2018).

### 2.7.5 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan instrument yang digunakan untuk menentukan atom dan struktur molekul kristal dengan mendifraksikan berkas sinar-X ke segala arah. Secara umum, XRD digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis fasa dari suatu material, berupa bubuk atau padat dari sampel anorganik, dalam bentuk polikristalin dan amorf (Fatimah *et al.*, 2022).

Prinsip dasar analisis XRD adalah membelokkan cahaya melalui celah kristal. Difraksi cahaya oleh kisi atau kristal dapat terjadi jika radius difraksi berasal dari panjang gelombang yang setara dengan jarak antar atom, yaitu sekitar 1 Amstrong. Radiasi yang digunakan berupa radiasi sinar-X, elektron, dan neutron. Sinar-X adalah foton dengan energi tinggi yang memiliki panjang gelombang mulai dari 0,5 hingga 2,5 Amstrong. Ketika sinar-X berinteraksi dengan suatu bahan, beberapa sinar akan diserap, ditransmisikan, dan Sebagian dihamburkan. Difraksi tersebar ini yang dideteksi XRD. Berkas sinar-X yang dihamburkan akan ditiadakan satu sama lain karena fasenya berbeda dan ada pula yang saling menguatkan karena fasenya sama. Sinar-X yang menguatkan satu sama lain disebut berkas difraksi. Ketika sinar-X ditembakkan ke kisi bahan kristal yang akan diuji, sinarnya dibiaskan dan membentuk pola tertentu yang disebut sidik jari (Hakim *et al.*, 2019; Bunaclu *et al.*, 2015).

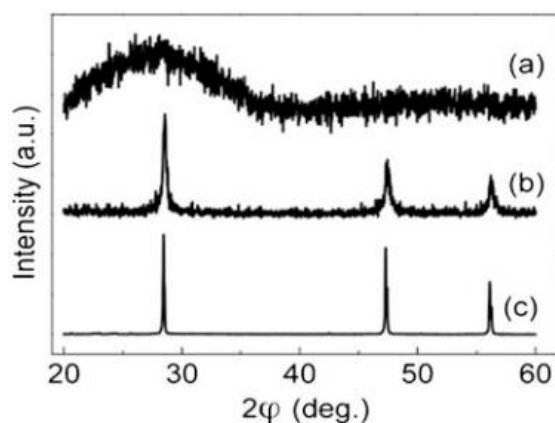
Secara umum, data difraksi direpresentasikan sebagai distribusi intensitas fungsi dari sudut  $2\theta$ . Hal ini seperti yang terdapat pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Puncak difraksi dan informasi yang dapat diekstraksi (Epp, 2016).

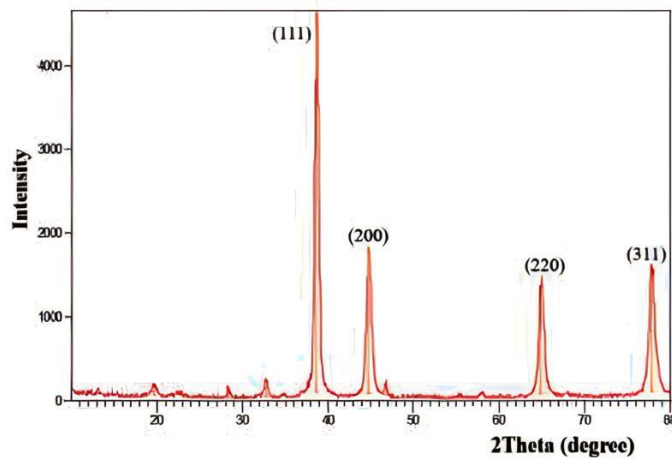
Setelah pengurangan latar belakang, intensitas puncak maksimum ( $I_{max}$ ) dapat ditentukan sebagai intensitas terintegrasi ( $I_{int}$ ) (area di bawah puncak). Posisi puncak dapat ditentukan dengan beberapa metode (pusat gravitasi, kesesuaian fungsi matematika yang berbeda). Lebar puncak umumnya dapat dicirikan dengan lebar penuh di setengah maksimum (FWHM) sesuai dengan lebar puncak setengah dari maksimum intensitas atau dengan lebar integral (IB), yang sesuai dengan lebar persegi panjang dengan intensitas maksimal dan terintegrasi yang sama dengan puncak yang dipertimbangkan. Tergantung pada tujuan pengukuran dan perbedaan parameter puncak yang digunakan (Epp, 2016).

Analisis XRD senyawa kristal memberikan pola difraksi yang terdefinisi dengan baik, sempit, tajam dan puncak yang signifikan. Sementara, bahan amorf tidak memberikan pola puncak yang jelas atau pola sinyal memiliki derau, puncak belepotan atau memiliki benjolan pendek (Chauhan *and* Chauhan, 2014). Hal ini seperti yang terdapat pada Gambar 2.16.



**Gambar 2.16** Perbandingan difraktogram XRD, (a) bahan amorf, (b) bahan semikristal dan (c) bahan kristal (Shabir, *et al.*, 2011).

Grafik pola XRD ditunjukkan pada Gambar 2.17 dari sintesis kawat perak murni (AgNWs).



**Gambar 2.17** Grafik XRD kawat perak murni (Karimi-Chaleshtori *et al.*, 2021).

Nilai puncak difraksi  $2\theta$  pada Gambar 2.6 adalah  $38.6^\circ$ ,  $44.8^\circ$ ,  $64.9^\circ$  dan  $77.9^\circ$  Sesuai dengan refleksi dari bidang  $\{111\}$ ,  $\{200\}$ ,  $\{220\}$ , dan  $\{311\}$  dalam struktur *face centered cubic* (FCC) perak masing-masing. Pola XRD yang diperoleh dari sampel ini menunjukkan bahwa intensitas puncak difraksi pada bidang  $\{111\}$  perak adalah sekitar 2,5 kali (nilai rasio teoritis) lebih dari intensitas puncak difraksi pada bidang  $\{200\}$  (Karimi-Chaleshtori *et al.*, 2021).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung pada bulan Januari hingga Juni 2024. Dilakukan uji transmitansi, absorbansi dan karakterisasi SEM serta XRD di LPPT UGM.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini terlihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1.** 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.	Aluminium foil	Menutup <i>sample</i>
6.	Jarum suntik	Inject larutan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
7.	Tisu	Membersihkan alat dan larutan yang tumpah
8.	Statif	Menjepit erlenmeyer saat proses sintesis
9.	Kertas label	Memberi label pada <i>sample</i>
10.	Spatula besi	Mengambil bahan penelitian dan mengaduk larutan
11.	Stopwatch	Mengukur waktu
12.	Pipet tetes	Mengambil <i>sample</i>
13.	Cover <i>glass</i> dan kaca <i>preparate</i>	Menjadi tempat objek yang akan diamati pada mikroskop
14.	Beker <i>glass</i>	Wadah larutan
15.	Burret tetes	Untuk meneteskan larutan kedalam <i>sample</i> secara konsisten

No.	Nama Alat	Fungsi
16.	Sarung tangan non powder	Melindungi kulit dari larutan
17.	Botol <i>sample</i>	Tempat menyimpan larutan <i>sample</i>
18.	<i>Centrifuge</i>	Pemisah suspensi nws dengan larutan lainnya
19.	Botol <i>centrifuge</i>	Tempat sampel untuk di <i>centrifuge</i>
20.	Oven	Pemanas <i>sample</i>
21.	Timbangan digital	Menimbang bahan-bahan penelitian
22.	Gelas aluminium	Media transfer panas dari minyak

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terlihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2.** Bahan yang digunakan dalam penelitian

No.	Nama bahan	Fungsi
1.	AgNO <sub>3</sub> ( <i>silver nitrate</i> ) 99%	Sumber perak
2.	FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O 99%	Sumber ion klorida
3.	Ethylene Glycol (EG) 99,5%	Pelarut
4.	Polyvinyl Pyrrolidone (PVP)	<i>Capping agent</i>
5.	Ethanol 96%	Bahan pencuci <i>sample</i>
6.	Minyak sayur	Media transfer panas

### 3.3 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.

#### 3.3.1 Proses Preparasi *Sample*

Langkah pertama dalam sintesis AgNWs adalah preparasi *sample* 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 AgNO<sub>3</sub> dan FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O dan PVP.

Larutan AgNO<sub>3</sub> dibuat pada konsentrasi 0,5 M dalam 40 ml EG dengan AgNO<sub>3</sub> sebanyak 16,98 g. Selanjutnya larutan FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O dibuat pada konsentrasi 0,1 M dalam 10 ml EG dengan FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O sebanyak 0,16 g. Proses pelarutan di dalam

larutan EG dilakukan pada suhu ruang dan diputar lebih kurang 10 menit hingga terlarut. Larutan tersebut disimpan didalam wadah untuk persiapan proses selanjutnya. Kemudian menyiapkan PVP sebanyak 4,99 g kedalam wadah erlenmayer yang akan diberi pelarut EG sebanyak 100 ml.

### 3.3.2 Proses Sintesis AgNWs

Proses sintesis ditunjukkan pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Proses Sintesis AgNWs

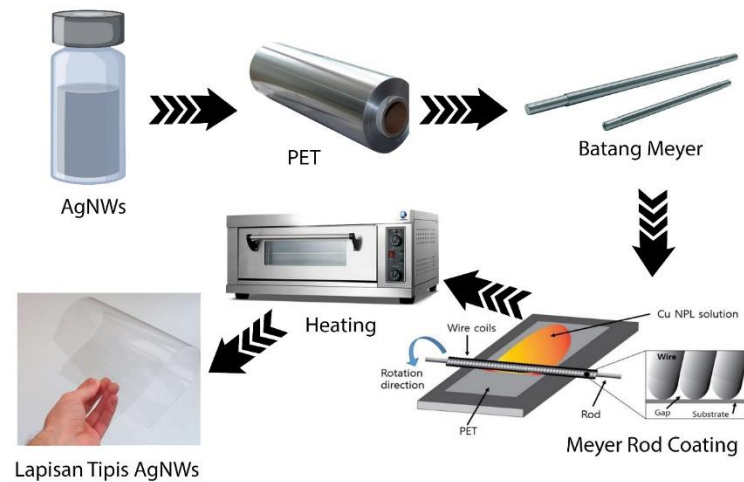
Dalam proses sintesis AgNWs yang pertama dilakukan adalah menyiapkan bahan pada proses preparasi bahan. Kemudian memanaskan *oil bath* pada *hotplate stirrer* sampai suhu stabil 140 °C yang dikontrol menggunakan *thermometer digital*. Selanjutnya dilarutkan 4,99 g PVP dalam 100 ml EG menggunakan erlenmeyer dan distirrer selama 20 menit. Selanjutnya larutan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  sebanyak 0,25 ml diinjeksikan menggunakan suntikan selama lebih kurang 5 menit. Lalu memasukkan larutan  $\text{AgNO}_3$  sebanyak 40 ml menggunakan buret tetes selama lebih kurang 30 menit. Setelah itu larutan di stirrer selama lebih kurang 2 jam sampai berubah warna menjadi abu silver.

Pembentukan AgNWs dilihat menggunakan mikroskop optik. Jika sudah terbentuk AgNWS maka larutan *sample* AgNWs didinginkan dalam suhu ruang selama lebih kurang 30 menit. Kemudian AgNWs di *centrifuge* dengan kecepatan 3.000 rpm selama 5 menit menggunakan etanol 70% sebanyak 3 kali pengulangan. Endapan AgNWs hasil *centrifuge* dipisahkan ke dalam botol penyimpanan.



### 3.3.3 Proses Pembuatan Lapisan Tipis AgNWs

Pembuatan lapisan tipis AgNWs menggunakan metode *Mayer rod coating* dapat dilihat pada Gambar 3.3.

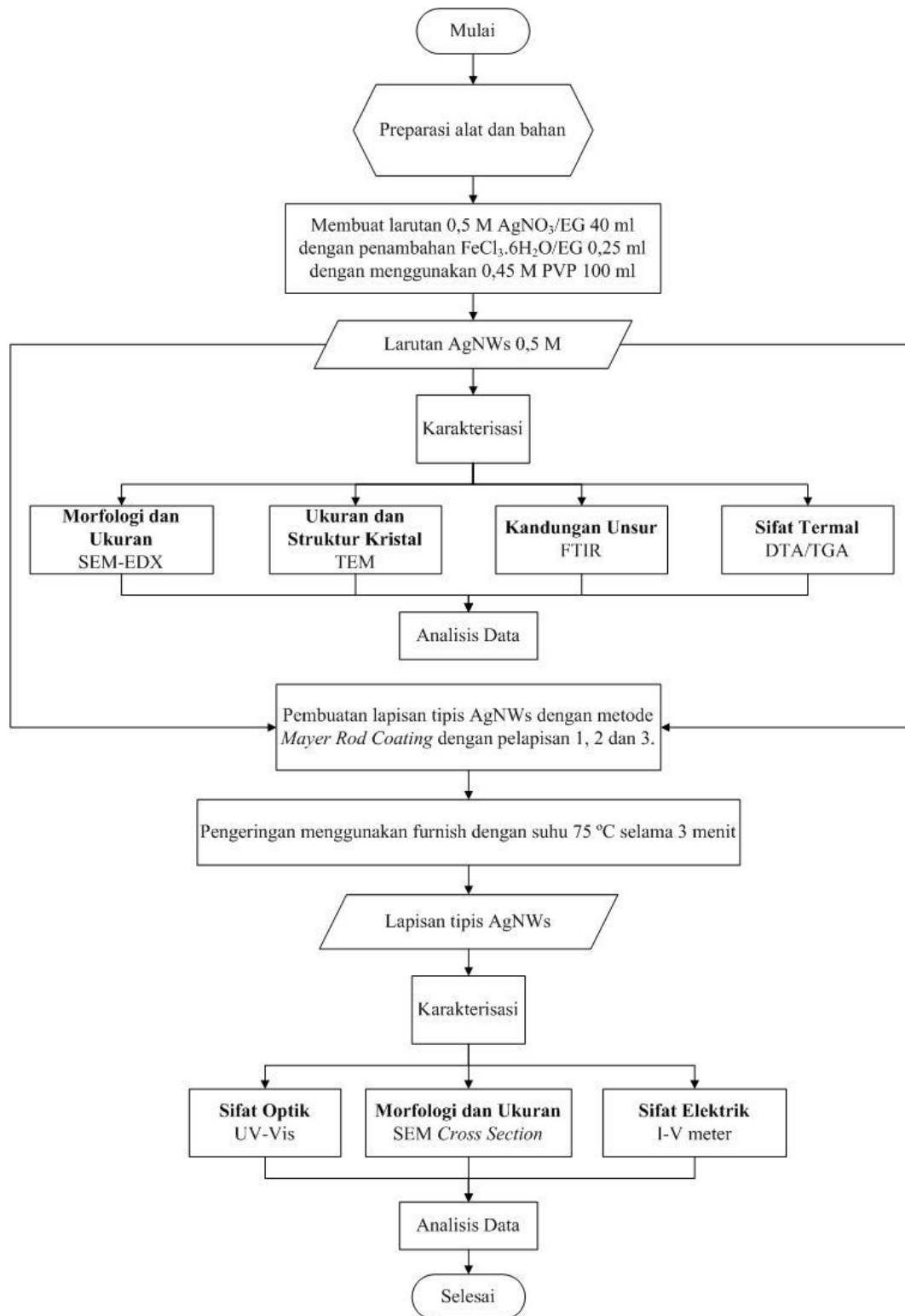


**Gambar 3.3.** Proses pembuatan lapisan tipis AgNWs dengan metode *mayer rod coating* menggunakan subtrat PET

Pada proses ini larutan AgNWs dituangkan diatas subtrat PET sebagai sumber pelapis. Selanjutnya AgNWS disebar secara merata dengan batang mayer dengan variasi pelapisan 1, 2 dan 3 lapis. Setelah bahan pelapis tersebar merata, dilakukan pengeringan lapisan dengan cara di furnish pada suhu 75 °C selama 3 menit. Kemudian terbentuklah lapisan tipis AgNWs.

### 3.3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Diagram alir penelitian

### 3.3.5 Karakterisasi dan Analisis Data

#### A. Sifat Optik AgNWs

Untuk mengetahui sifat optik pada AgNWs digunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui puncak penyerapan AgNWs pada panjang gelombang 300-800 nm. Alat yang digunakan adalah Spektrofotometer UV-Vis Carry 100. Panjang gelombang yang digunakan 300 sampai 800 nm. Hasil transmitansi dan absorbansi kemudian dianalisis untuk mengetahui nilai reflektansi, indeks bias, konduktivitas optik, dan energi gap menggunakan Persamaan 3.1 sampai 3.6 dan diolah menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dan Origin. Perhitungan reflektansi ( $R$ ) dapat menggunakan Persamaan (3.1).

$$A + T + R = 1 \quad (3.1)$$

dengan  $A$  (absorbansi) dan  $T$  (transmitansi) dapat diperoleh nilai koefisien absorbansi ( $\alpha$ ) dengan Persamaan (3.2).

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

dengan  $d$  (tebal lapisan AgNWs). Berdasarkan nilai reflektansi dan koefisien absorbansi dapat diperoleh nilai indeks bias ( $n$ ) dengan Persamaan (3.3) dan (3.4).

$$n = \left( \frac{1+R}{1-R} \right) + \left( \frac{4R}{(1-R)^2} - k^2 \right)^{1/2} \quad (3.3)$$

$$k = \frac{\alpha \lambda}{4\pi} \quad (3.4)$$

dimana  $n$  (indeks bias) dan  $k$  (koefisien ekstensi). Sehingga akan diperoleh konduktivitas optik lapisan AgNWs dengan Persamaan (3.5).

$$\sigma = \frac{\alpha nc}{4\pi} \quad (3.5)$$

dengan  $c$  (kecepatan cahaya  $3 \times 10^8$  m/s) dapat diperoleh energi gap dengan Persamaan (3.6).

$$(\alpha h\nu) = B(h\nu - E_g)^n \quad (3.6)$$

dengan  $\nu$  (frekuensi gelombang cahaya (Hz) sama seperti nilai  $(c / \lambda)$ .  $B$  adalah nilai faktor transisi, dan  $n = 1/2$  saat transisi langsung terjadi dan  $n = 2$  saat langsung transisi terjadi

## B. Sifat Elektrik

Untuk mengetahui nilai resistansi lapisan tipis AgNWs dilakukan dengan menggunakan I-V meter. Pada pengukuran resistansi lapisan AgNWs dilakukan dengan cara menerapkan empat probe sejajar di atas lapisan AgNWs. Terdapat empat probe yang terhubung sejajar dengan jarak antar probe yang sama. Dua probe bagian terluar merupakan nilai arus dan dua probe bagian dalam adalah nilai tegangan. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik untuk mendapatkan hasil yang optimum.

## C. Struktur Morfologi dan Ukuran AgNWs

Untuk melihat struktur morfologi permukaan dan ketebalan, lapisan AgNWs dikarakterisasi menggunakan SEM. Hasil struktur morfologi permukaan dan ketebalan lapisan dianalisis dengan menggunakan ImageJ untuk mengetahui diameter dan panjang AgNWs serta ketebalan lapisan yang diperoleh. Dapat ditentukan ukuran partikel dengan menggunakan Persamaan *Scherer* (3.7).

$$L = \frac{k\lambda}{B \cos \theta} \quad (3.7)$$

dengan  $L$  merupakan ukuran partikel (nm),  $k$  merupakan konstanta bahan nano yang besarnya 0,94,  $\lambda$  merupakan panjang gelombang dari Sinar- $X$  yang digunakan yaitu 0,15 nm,  $\theta$  merupakan sudut hamburan partikel pada puncak difraksi ( $^{\circ}$ ) dan  $B$  merupakan lebar penuh pada setengah intensitas maksimum atau FWHM (*Full Width at High Maximum*) ( $^{\circ}$ ). Nilai FWHM harus dikonversi kedalam satuan radian dengan besar nilai yaitu 0,017 rad

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh jumlah lapisan tipis silver nanowires terhadap sifat optik dan listrik menggunakan metode Meyer-Rod *coating* diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Sintesis AgNWs dengan metode poliol diperoleh distribusi diameter dan panjang koloid AgNWs sebesar  $185,79 \pm 3,69$  nm dan  $16,98 \pm 0,63$   $\mu$ m.
2. Uji sifat optik dengan variasi lapisan 1, 2, dan 3 lapis AgNWs menggunakan UV-Vis diperoleh transparansi masing-masing 95,57%, 36,99% dan 31,12%.
3. Konduktivitas masing-masing lapisan AgNWs sebesar  $0,38 \times 10^{-7}$   $\text{Sm}^{-1}$ ;  $11,1 \times 10^{-7}$   $\text{Sm}^{-1}$ ; dan  $7,1 \times 10^{-7}$   $\text{Sm}^{-1}$ . Besar energi gap yang diperoleh masing-masing lapisan yakni 3,5 eV; 3,85 eV; dan 3,85 eV.
4. Uji morfologi dan ketebalan lapisan AgNWs diperoleh panjang masing-masing lapisan yakni  $8,81 \pm 5,46$   $\mu$ m;  $8,20 \pm 2,01$   $\mu$ m; dan  $4,42 \pm 0,20$   $\mu$ m. Ketebalan masing-masing lapisan yakni 38,36  $\mu$ m; 55,65  $\mu$ m; dan 96,10  $\mu$ m.
5. Uji sifat listrik lapisan AgNWs diperoleh resistansi lembar masing-masing lapisan yakni 476,77  $\Omega$ ; 189,9  $\Omega$ ; dan 185,14  $\Omega$ .

### 5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan perlakuan tambahan pada pelapisan agar koloid dapat menempel pada substrat sehingga tidak mudah tergores dan menyebabkan adhesi yang dapat merusak hasil karakterisasi. Pada saat pembuatan koloid juga diharapkan pada ruang vakum tersendiri agar koloid tidak mudah terkontaminasi dengan bahan luar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ashkarran, A. A., and Maryam, D. 2015. The effect of  $\text{FeCl}_3$  in the shape control polyol synthesis of silver nanospheres and nanowires. *Journal of Cluster Science*. 26(5), 1901-1910.
- Alshehawy, A.M., Mansourm D.E.A., Ghalu, M., Lehtonen, M., and Darwish, M.F. 2021. Photoluminescence spectroscopy measurements for effective condition assessment of transformer insulating oil. *Processes*. 9(5), 732.
- Ardhy, S., Gunawarman, Affo J., dan Yetri, Y. 2020. Karakteristik permukaan pelapisan hidroksiapatit pada material implan Ti-6Al-4V ELI: studi literatur. *Prosiding Seminar Nasional Teknik (SENASTIKA 2020)*.
- Azka, S. dan Asnawi. 2018. Pengaruh kecepatan dan waktu putar *spin coating* terhadap ketebalan lapisan tipis material berbasis polimer PMMA (*Polymethyl Methacrylate*). *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*. 07(01). 1-4.
- Bazargan, A.M., Farhad, S., Saeedah, M., and Nima, N. 2017. A high quality ITO/PET electrode for flexible and transparent optoelectronic devices. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 28(3), 2962-2969.
- Bergin, S.M., Chen, Y.H., Rathmell, A.R., Charbonneau, P., Li, Y.Z., and Wiley, B.J. 2012. The effect of nanowire length and diameter on the properties of transparent, conducting nanowires films. *Nanoscale*. 4, 1996-2004.
- Brent, J. 2001. Current management of ethylene glycol poisoning. *Drugs*. 61(7), 979-988.
- Bunaclu, A.A., Udristiolu, E. G., and Aboul-Enein, H.Y. 2015. X-Ray diffraction: instrumentation and applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 45, 289-299.
- Chauhan, P., and Chauhan, A. 2014. Powder XRD technique and its applications in science and technology. *Journal of Analytical and Bioanalytical Techniques*. 5(5).
- Chen, J.J., Liu, S.L., Wu, H.B., Sowade, E., Baumann, R.R., Wang, Y., Gu, F.Q., Liu, G.R.L., and Feng, Z.S. 2018. Structural regulation of silver nanowires and their application in flexible electronic thin films. *Materials and Design*. 154, 266-274.
- Chen, T.R., Wang, H.F., Yang, H., Guo, X.Z. 2018. Synthesis and characterizing of high aspect ratio silver nanowires by polyol process. *Key Engineering Materials*. 768, 75-84.

- Choi, Y. D., Kang, W. H., Sung, J. H., and Kim, S. S. 2013. Annealing-free, flexible silver nanowire-polymer composite electrodes via a continuous two-step spray-coating method. *Nanoscale*. 5, 977-983.
- Coskun, S., Aksoy, B., and Unalan, H. E. 2011. Polyol synthesis of silver nanowires: an extensive parametric study. *Crystal Growth and Design*. 11, 4963-4969.
- De, S., and Coleman, J. N. 2011. The effects of percolation in nanostructured transparent conductors. *Materials Research Society Bulletin*. 36(10), 774-781.
- Duong, T.H., and Kim H.C. 2018. Extremely simple and rapid fabrication of flexible transparent electrodes using ultralong copper nanowires. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 57(8), 3076-3082.
- Didik, L.A. 2020. Penentuan ukuran butir kristal  $\text{CuCr}_{0.98}\text{Ni}_{0.02}\text{O}_2$  dengan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM). *Indonesian Physiscal Review*. 3(1), 6-14, P-ISSN: 2615-1278, E-ISSN: 2614-7904.
- Epp, J. 2016. *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Foundation Institute of Materials Science. Bremen, Germany. 86-87.
- Eslamian, M., and Soltani K.F. 2017. Development of multiple-droplet drop-casting method for the fabrication of coatings and thin solid films. *Journal of coatings Technology and Research*. 15(2), 271-280.
- Fang, L., Liu, L., Zhao, X., Kong, F., Chen, H., and Wang, S. 2020. Preparation and characterization of cellulosic conductive paper. *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 41(1), 34-45.
- Gao, S.S., Zhao, I., Dhuffin, S., Duangthip, D., Lo, E., and Chu, C. 2018. Revitalising silver nitrate for caries management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15(1), 80.
- 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.
- Ginley, D., Hosono, H., and Paine, D.C. 2010. Handbook of transparent conductors. *Springer Science and Business Media*.
- 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. *MDPI Coatings*. 10(88).

- Hakim, L., Dirgantara, M., and Nawir, M. 2019. Karakterisasi struktur material pasir bongkahan galian golongan c dengan menggunakan X-Ray Difrraction (X-RD) di kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*. 1(1), 22-51.
- Hecht, D. S., Hu, L., and Irvin, G. 2011. Emerging transparent electrodes based on thin films of carbon nanotubes, graphene, and metallic nanostructures. *Advanced Materials*. 23(13), 1482-1513.
- Hemmati, S., Michael, T. H., and Dale, P. B. 2020. Polyol silver nanowire synthesis and the outlook for a green process. *Journal of Nanomaterial:Hindawi*. 2020, 1-25.
- Hidayat, A.F. dan Winata, T. 2019. Investigasi pengaruh daya RF terhadap morfologi silicon nanowire berbantuan katalis nikel pada penumbuhan dengan metode PECVID. *Jurnal Fisika*. 9(1), 1-8.
- Huang, J.J., Hsueh, Y.L., and Zhang, Y.X. 2018. Silver nanowire doped active carbon thin film electrode by ultrasonic spray coating for high performance supercapacitor. *Surface and Coatings Technology*. 350, 788-794.
- Hulungo, C., Wenas, D., dan Rondonuwu, A. 2022. Identifikasi komposisi Mineral batuan teralterasi menggunakan spektroskopi SEM-EDX dan FTIR pada daerah menifestasi panas bumi di desa mototompiaan kecamatan modoyag kabupaten bolaang mongondow timur. *Jurnal Fisika dan Terapan*. 3(1), 8-12.
- Ingole, S.A., and Kumbharkhane, A. 2020. Temperature dependent broadband dielectric relaxation study of aqueous polyvinylpyrrolidone (PVP K-15, K-30, & K-90) using a TDR. *Physics and chemistry of liquids*. 1(11).
- Junaidi, Lina A., Posman M., Simon S., Kuwat T., and Sutopo H. The crystal structure analysis of silver nanowires using rietveld method for optoelectronic application. *Journal of Nano Research*. 71, 1-12.
- Junaidi, Maulidiasani K., Triyana K., and Khairurrijal. 2020. Thin Films of Silver Nanowires for flexible, Transparent, Conductive (FTC) Electrodes. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. 10(1), 2088-5334.
- Junaidi, Triyana, K. Harsojo, and Suharyadi, E. 2017. High-performance silver nanowire film on flexible substrate prepared by mayer-road coating. *IOP Conference Series Materials Science & Engineering*. 1-7.
- 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.



- Khan, M.A.A., Sushil, K., Maqusood, A., Salman, A.A., and Mohammad, S.A. 2011. Structural and thermal studies of silver nanoparticles and electrical transport study of their thin films. *Nanoscale Research Letters*. 6, 434.
- Karimi-Chaleshtori, R., Nassajpour-Esfahani, A.H., Saeri, M.R., Rezal, P., and Doostmohammadi, A. 2021. Silver nanowire-embedded PDMS with high electrical conductivity: nanowires synthesis, composite processing and electrical analysis. *Materials Today Chemistry*. 21, 100496.
- Kisi, E.H. 1994. Rietveld analysis of powder diffraction patterns. *Materials Forum*. 18, 135-155.
- Kreyling, W.G., Manuela, S.B., and Qasim, C. 2010. A complementary definition of nanomaterial. *Nano Today*. 5, 165-168.
- 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), 7445-7641.
- Lang, K., Klein, M., Domann, G., and Loebman, P. 2020. Transparent conductive organic-inorganic hybrid composites based on Ag nanowires. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 96, 121-129.
- Lee, H. S., Yeon, W. K., Jong, E. K., Sung, W. Y., Tae, Y. K., Jin, S. N., and Kwang, S. S. 2015. Synthesis of dimension-controlled silver nanowires for high conductive and transparent nanowire films. *Acta Materialia*. 83, 84-90.
- Lee, S., Jiseong J., Teajun P., Young M. P., Joon S. P., Yoon-Kee K., Hyoung-Keun L., Eun-Chae J., Doh-Kwon L., Byungmin A. and Choong-Heui C. 2020. Electrodeposited silver nanowire transparent conducting electrodes for thin-film solar cells. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 12(5) : 6169-6175.
- Lee, Y. J., Shin D., and Park, J. 2016. Fabrication of silver nanowire-based stretchable electrodes using spray coating. *Thin Solid Films*. 608, 34-43.
- Lin, J.Y., Yu, L. H., Jung, J. H. 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, L., Wenta, W., Jiale, H., Qingbiao, L., Daohua, S., Huixuan, W., Ning, H., Yuanpeng, W. 2010. Nature factory of silver nanowires: plant-mediated synthesis using *Cassia Fistula* leaf. *Chemical Engineering Journal*. 162, 852-858.
- Lim, J. W., Cho, D. Y., Jihoon-Kim, Na, S. I., and Kim, H. K. 2012. Simple brush-painting of flexible and transparent Ag nanowire network electrodes as an alternative ITO anode for cost-efficient flexible organic solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 107, 348-354.

- Luis, S., Loza M. D., Guerrero V. H., and Reza D. 2016. Mechanical and electronic systems of an open source based spin and dip coater. *Revista Politenica*. 37, 2.
- Magfirah, 2021. Pengaruh PVP K30 dan HPMC Sebagai Bahan Pengikat Terhadap Sifat Fisik Granul Kombinasi Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera Lamk.*) dan Ekstrak Bawang Dayak (*Eleutherine americana* (Aubl.) Merr.). *Skripsi*. Universitas Hasanuddin.
- Marcotullio, G., Krisanti, K., Giuntoli, J., De Jong, W. 2011. Selective production of hemicellulose-derived carbohydrates from wheat straw using dilute HCl or FeCl<sub>3</sub> solutions under mild conditions. X-ray and thermos-gravimetric analysis of the solid residues. *Bioresour Technology*. 102, 5917-5923.
- Marouf, S., Beniaiche, A., Kardarian, K., Mendes, M.J., Sanchez-Sobrado, O., Aguas, H., Fourtunato, E., and Martins, R. 2017. Low-temperature spray-coating of high-performing ZnO:Al films for transparent electronics. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 127, 299-308.
- Marpaung, T.N. dan Sinulingga, K. 2020. Pengaruh variasi suhu terhadap karakteristik struktur kristal dan morfologi lapisan nano TiO<sub>2</sub> pada pelapisan logam anti korosi dengan metode sol-gel spin coating. *Einstein*. 8(2), 2407-747.
- Minami, T. 2008. Present status of transparent conducting oxide thin-film development for indium-tin-oxide (ITO) substitutes. *Thin Solid Films*. 516, 5822-5828.
- Nghia, N. V., Nguyen N. K. T., Nguyen, M. T., and Nguyen, P. H. 2012. Synthesis of nanowire-shaped silver by polyol process of sodium chloride. *International Journal of Materials and Chemistry*. 2(2), 75-78.
- Nugraha, S.M., Saefumillah, A., dan Sopaheluwakan, A. 2021. Karakteristik kimia dan morfologi dari total suspended particulate (TSP) di Jakarta dan Puncak-Bogor pada masa pembatasan social berskala besar. *Ecolab*. 15(2), 121-132, P-ISSN: 0216-0897.
- Pan, C.T., Yang, T.L., Wang, S.Y., Yen, C.K., Ju, S.P., Hung, C.W., and Shiue, Y.L. 2018. Study on optical films with AgNWs using UV laser patterning. *Optical Materials*. 77, 55-66.
- Pratama, M.A., Rahmadita, G., and Yuwono. 2019. The effect of silver nitrate addition on antibacterial prosperties of bone scaffold chitosan-hydroxyapatite. *The 4<sup>th</sup> Biomedical Engineering's Recent Progress in Biomaterials, Drugs Development, Health, and Medical Devices : Proceedings of The International Symposium of Biomedical Engineering (ISBE)*. 2193, 020014-1-020014-6.

- Raharja, A.E., Suhendi, A., dan Darmawan, D. 2019. Pengukuran resistivitas pada pelat konduktor tipis menggunakan metode four point probe. *E-Proceeding of Engineering*. 6(2), 5305.
- Rowe, R.C., Sheskey, P.J. and Quinn, M.E. 2009. *Handbook of Pharmaceutical Excipient, 6<sup>th</sup> Edition*. American Pharmacist Association: USA.
- Santi, W.N., Toifur, M., Widodo, dan Okimustava. 2020. Sintesis lapisan tipis Cu/Ni dengan metode electroplating berbantuan dengan magnet luar sejajar arus ion. *Monograf*. K-Media Yogyakarta. ISBN: 978-602-451-892-9.
- Sari, N.W., Fajri, M.Y., dan Anjas, W. 2018. Analisis fitokimia dan gugus fungsi ekstrak etanol pisang gorocho merah (*Musa Acuminata (L)*). *Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity*. 2(1)
- Shabir, Q., Pokale, A., Loni, A., Johnson, D.R., Canham, L.T., Fenollosa. 2011. Medically biodegradable hydrogenated amorphous silicon microspheres. *Silicon*. 3(4), 173-176.
- Smirnov, M., Christian, B., and Gheorghe, I. R. 2010. Structural and optical characteristic of spin-coated ZnO thin films. *Applied Surface Science*. 256(8), 2405-2408.
- Song, J.Y., Jing, C., Jing, Y., and Tong, Z. 2014. Applications of Silver Nanowires on Transparent Conducting Film and Electrode of Electrochemical Capacitor. *Plasmonics and Nanophotonics*, 193201.
- Sun, Y., Mayers, B., Herricks T., and Xia, Y. 2003. Polyol synthesis of uniform silver nanowires: a plausible growth mechanism and the supporting evidence. *Nano Letters*. 3(5), 675-679.
- Triambulo, R.E., Jin-Hoon K. and Jin-Woo, P. 2019. Highly flexible organic light-emitting diodes on patterned Ag nanowire network transparent electrodes. *Organic Electronics*. 71, 220-226.
- Tyona, M.D. 2013. A theoretical study on spin coating technique. *Advances in Materials Research*. 2(4), 195-208.
- Verma, G. and Mishra, M. 2018. Development and optimization of UV-Vis spectroscopy – a review. *World Journal of Pharmaceutical Research*. 7(11), 170-1180.
- 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, 123644.

- Xu, J., Xin, B., Du, X., Wang, C., Chen, Z., Zheng, Y., and Zhou M. 2020. Flexible, portable and heatable non-woven fabric with directional moisture transport functions and ultra-fast evaporation. *Royal Society of Chemistry*. 10(46), 27512-27522.
- Yang, Y., Ding, S., Araki, T., Jiu, J. Sugahara T., Wang, J., Vanfleteren, J., Sekitani, T., and Suganuma, K. 2016. Facile fabrication of stretchable Ag nanowire/polyurethane electrodes using high intensity pulsed light. *Nano Research*. 9(2), 401-414.
- Yunanto, Atmono, T., Wirjoadi, Siswanto, B., dan Sulamdari, S. 2006. Deposisi Lapisan Tipis ZnO sebagai lapisan tipis tipe n dan jendela sel surya CuInSe<sub>2</sub>. *Jurnal Sains Material Indonesia*. ISSN : 1411-1098, 183-187.
- Zainuddin, Justin, J. C., and David, J. T. H. 2002. The effect of hydrogel dressing polymer poli(vinylpirrolidone) (PVP) carrageenan prepared by radiation and healing times on the radius reductions burn injured of wistar white rat. *Journal of Biomaterials Science*. 13(9), 1007-1020.
- Zelmanov, G. and Semiat, R. 2011. Iron (Fe<sup>3+</sup>) oxide/hydroxide nanoparticles-based agglomerates suspension as adsorbent for chromium (Cr<sup>6+</sup>) removal from water and recovery. *Separation and Purification Technology*. 80(2):330-337.
- 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, S., Liu, X., Lin, T., and He, P. 2019. A method to fabricate uniform silver nanowires transparent electrode using meyer rod coating and dynamic heating. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*. 30, 18702-18709.
- Zhang, Y., Bai, S., Chen, T., Yang, H., and Guo, X. 2020. Facile preparation of flexible and highly stable graphene oxide-silver nanowire hybrid transparent conductive electrode. *Materials Research Express*. 7(1), 016413.
- Zhu, D., Huang, G., Zhang, L., He, Y., Xie, Y., and Yu, W. 2019. Silver nanowires contained nanofluids with enhanced optical absorption and thermal transportation properties. *Energy and Environmental Materials*. 0, 1-8.
- Zhu, J.J., Kan, C. K., Wan, J. G., Han, M., and Wang, G. H. 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(40), 1-7.