# PEMBUATAN LAPISAN TIPIS PERAK (Ag) *NANOWIRES* DENGAN VARIASI PERULANGAN MENGGUNAKAN TEKNIK *SPRAY COATING* UNTUK APLIKASI ELEKTRODA KONDUKTIF TRANSPARAN

(Skripsi)

Oleh

Nur Asriyani



FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM UNIVERSITAS LAMPUNG BANDAR LAMPUNG 2019

### ABSTRAK

## PEMBUATAN LAPISAN TIPIS PERAK (Ag) *NANOWIRES* DENGAN VARIASI PERULANGAN MENGGUNAKAN TEKNIK *SPRAY COATING* UNTUK APLIKASI ELEKTRODA KONDUKTIF TRANSPARAN

#### Oleh

### NUR ASRIYANI

Elektroda kondukif transparan (TCE) berbasis AgNWs dibuat pada substrat polikarbonat (PC) dengan variasi perulangan menggunakan teknik *spray coating*. AgNWs disintesis mengunakan *polyvinyl pyrrolidone* (PVP) dengan metode *polyol*. AgNWs yang diperoleh memiliki diameter dan panjang masing-masing 176,13 nm dan 28,58  $\mu$ m. Lapisan AgNWs menghasilkan resistansi terendah pada 3 perulangan sebesar 4,98 .sq<sup>-1</sup> dengan transmitansi 23,81%. Konduktivitas optik lapisan AgNWs diperoleh sekitar 1,8-2,32 x 10<sup>5</sup> S.m<sup>-1</sup>, indeks bias sekitar 1,93 hingga 2,26 dan energi gap lapisan AgNWs diperoleh sekitar 3,79 hingga 3,84 eV. Meningkatnya perulangan, mengakibatkan ketebalan dan konduktivitas optik semakin meningkat serta resistansi dan transmitansi semakin menurun.

Kata kunci: Energi gap, Ketebalan Lapisan, Konduktivitas Optik, Lapisan AgNWs, Transmitansi

### ABSTRACT

## FABRICATION SILVER (Ag) NANOWIRES THIN LAYER WITH VARIATION CYCLE USING SPRAY COATING TECHNIQUE FOR TRANSPARENT CONDUCTIVE ELECTRODE APPLICATION

#### By

### NUR ASRIYANI

Transparent Conductive Electrode (TCE) film based on silver nanowires (AgNWs) were fabricated onto a polycarbonate (PC) substrate with variation cycle using spray coating technique. AgNWs were synthesized using polyvinyl pyrrolidone (PVP) by polyol method. AgNWs obtained has diameter and length of 17.13 nm and 28.58  $\mu$ m, respectively. The AgNWs film produces lowest sheet resistance at 3 cycle of 4.98 /sq with a transmittance of 23.81 %. The optical conductivity of AgNWs film was obtained about 1.8-2.32 x 10<sup>5</sup>Sm<sup>-1</sup>, the refractive index obtained about 1,93 to 2.26 and the band gap energy obtained about 3.79 to 3.84 eV. Increased cycle, affect the thickness and optical conductivity increases and resistance and transmittance decreases.

Keywords: AgNWs Film, Layers Thickness, Optical Conductivity, Sheet Resistance, Transmittance

# PEMBUATAN LAPISAN TIPIS PERAK (AG) *NANOWIRES* DENGAN VARIASI PERULANGAN MENGGUNAKAN TEKNIK *SPRAY COATING* UNTUK APLIKASI ELEKTRODA KONDUKTIF TRANSPARAN

Oleh

Nur Asriyani

Skripsi

# Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar SARJANA SAINS

pada

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



## FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM UNIVERSITAS LAMPUNG BANDAR LAMPUNG 2019

Judul Skripsi

: Pembuatan Lapisan Tipis Perak (Ag) Nanowires dengan Variasi Perulangan Menggunakan Teknik Spray Coating untuk Aplikasi Elektroda Konduktif Transparan

Nama Mahasiswa

: Nur Asriyani

: Fisika

Nomor Pokok Mahasiswa : 1517041044

Jurusan

Fakultas

: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

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

Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. NIP, 19820682008121001

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

Arif Surtono, S.Si., MSi., M.Eng. NIP 197109092000121001

## MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Prof. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.

Sekretaris

: Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.\_

Pengguji Bukan Pembimbing : Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

CARNIERUL C S and ALMI lucas man., M.Sc. ra 06041990031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 25 September 2019

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi 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 skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 25 September 2019 MIETERAI FINTSDAFF995682955 6000 HAM MEURUPIAN Nur Asriyani NPM. 1517041044

### **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Gula Putih Mataram pada tanggal 12 Agustus 1997, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Suyanto dan Sri handayani.

Penulis memulai pendidikan Taman Kanak-kanak di TK Gula Putih Mataram tahun 2001 dan lulus tahun 2003. Melanjutkan Sekolah Dasar di SDS Gula Putih Mataram tahun 2003 dan lulus tahun 2009. Meneruskan ke tingkat Sekolah Menengah Pertama (SMP) di Madrasah Tsanawiyah (MTs) Walisongo Kotabumi tahun 2009 dan lulus tahun 2012. Kemudian meneruskan Sekolah Menengah Atas (SMA) di Madrasah Aliyah Negeri (MAN) 1 Bandar Lampung tahun 2012 dan lulus tahun 2015.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) pada tahun 2015. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Fisika Dasar I, Fisika Dasar II, Metode Pengukuran Kalibrasi, Fisika Eksperimen, dan Optik. Pada tahun 2018 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Loka Penelitian Teknologi Bersih (LPTB), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung. Dalam bidang organisasi yang pernah diikuti penulis sebagai anggota kominfo dan sosial masyarakat Himafi Universitas Lampung.

# PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya kecil ini kepada

Kedua orangtuaku

Papa & Mama tercinta

Dan

Adik yang aku sayangi

Keluarga besar yang selalu memberi dukungan doa dan semangat

Rekan-rekan seperjuangan FISIKA FMIPA UNILA 2015

Serta Alamamater Tercinta "UNIVERSITAS LAMPUNG"

# ΜΟΤΤΟ

"Gagal, BANGKIT! karena pelajaran dari kegagalan adalah kunci dari

keberhasilan"

&

"Berfikir positif (possible) meskipun orang lain berfikir impossible"

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas kasih sayang dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian dengan judul "Pembuatan Lapisan Tipis Perak (Ag) *Nanowires* dengan Variasi Perulangan Menggunakan Teknik *Spray Coating* untuk Aplikasi Elektroda Konduktif Transparan". Tujuan penulisan proposal penelitian ini adalah sebagai publikasi ilmiah dari hasil penelitian yang telah dilakukan sehingga pembaca mendapatkan pengetahuan baru.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam proposal ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membantu penyempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua.

Bandar Lampung, 25 September 2019

Penulis

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehhadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah member hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapatt menyelesaikan skripsi yan berjudul "**Pembuatan Lapisan Tipis Perak** (**Ag**) *Nanowires* **dengan Variasi Perulangan Menggunakan Teknik** *Spray Coating* **untuk Aplikasi Electroda Konduktif Transparan**". Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- Arif Surtono, S.Si., M.Si. selaku ketua jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
- 2. Drs. Suratman., M.Sc. selaku dekan FMIPA Universitas Lampung.
- 3. Prof. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. selaku pembimbing pertama yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, nasihat serta ilmunya.
- 4. Drs. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing kedua yang telah banyak memberikan bimbingan, nasihat, dan saran dalam penulisan skripsi.
- 5. Drs. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. selaku penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan dalam penulisan skripsi.
- Kedua Orangtuaku, Suyanto dan Sri Handayani yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan tak henti-hentinya mendoakanku.

- 7. Wahyudi Saputra, Lina Afriliani, dan Sayfudin sebagai tim seperjuangan dalam menyelesaikan tugas akhir.
- 8. "Hijrah Squad" yang selalu memberikan semangat disela kepenatan penulis.
- 9. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu

Semoga Tuhan membalas kebaikan yang telah diberikan.

Bandar Lampung, 25 September 2019

Nur Asriyani

# **DAFTAR ISI**

	Halaman
ABSTR	AKi
ABSTR	ACTii
HALAN	MAN JUDULiii
HALAN	IAN PERSETUJUANiv
HALAN	VAN PENGESAHANv
PERNY	vaTAANvi
RIWAY	<b>AT HIDUP</b> vii
PERSE	MBAHANviii
MOTT	0ix
KATA	PENGANTARx
SANWA	ACANAxi
DAFTA	<b>R ISI</b> xiii
DAFTA	<b>R GAMBAR</b> xvi
DAFTA	<b>R TABEL</b> xix
BAB I	PENDAHULUAN
	1.1 Latar Belakang

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tuiuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	

# BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait	7
2.2 Dasar Teori	11
2.2.1 TCE	11
2.2.2 Bahan Alternatif TCE	12
2.2.2.1 CNT	13
2.2.2.2 Graphene	16
2.2.2.3 Logam NWs	
2.2.3 TCE dengan AgNWs	21
2.2.4 Metode Pembuatan TCE AgNWs	21
2.2.4.1 Mayer-rod coating	22
2.2.4.2 Spin coating	23
2.2.4.3 <i>Dip coating</i>	25
2.2.4.4 Spray coating	27
2.2.5 Karakteristik TCE AgNWs	31
2.2.5.1 Transmitansi, absorbansi, dan reflektansi	31
2.2.5.2 Resistansi lapisan	34
2.2.6 Aplikasi TCE	36
2.6.1 Sel surya	36
2.6.2 Lapisan pemanas	38
2.6.3 OLED	39
2.6.4 Panel sentuh	40
2.2.7 Spektrofotometer UV-Vis	41
2.2.8 SEM	46

# **BAB III METODELOGI PENELITIAN**

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	53
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	53
3.2.1 Alat penelitian	53
3.2.2 Bahan penelitian	54
3.3 Metode Penelitian	54
3.3.1 Preparasi bahan	54
3.3.2 Pembuatan larutan AgNWs 10 %	55
3.3.3 Teknik pelapisan	56
3.3.4 Karakterisasi	58
3.3.4.1 FPP	58
3.3.4.2 Spektrofotometer UV-Vis	60
3.3.4.3 SEM	61
3.4 Diagram Alir Penelitian	65
-	

66

# BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran	86

DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

# DAFTAR GAMBAR

Halaman Gambar 2.1 Grafik hubungan antara suhu dan transmitansi terhadap resistansi lapisan
Gambar 2.2 Hasil transmitansi dan resistansi lapisan untuk empat bahan alternatif: <i>graphene</i> , SWNTs, CuNWs dan AgNWs
Gambar 2.3 Ilustrasi skematis <i>mayer-rod coating</i>
Gambar 2.4 Skematik <i>spin coating</i>
Gambar 2.5 Skematik <i>dip coating</i>
Gambar 2.6 Teknik <i>spray coating</i> 27
Gambar 2.7 Prinsip pelapisan MBS
Gambar 2.8 Prinsip pelapisan PFS
Gambar 2.9 Mekanisme pelapisan <i>air spray</i>
Gambar 2.10 Hasil absorbansi larutan AgNWs
Gambar 2.11 Hasil transmitansi lapisan AgNWs
Gambar 2.12 Skematik FPP35
Gambar 2.13 Skema operasi panel sentuh resistif 4-Ws dan lapisan fungsional
Gambar 2.14 Diagram alat spektrofotometer UV-Vis berkas tunggal42
Gambar 2.15 Skema spektrofotometer UV-Visberkas ganda43
Gambar 2.16 Hasil UV-VIS pada lapisan AgNWs, AgNWs:komposit polimer dan AgNWs/bilayer polimer
Gambar 2.17 Hasil UV-Vis dengan variasi kecepatan nosel45

Gambar 2.18 Diagram skematik SEM
Gambar 2.19 Hasil SEM pada jaringan AgNWs metode pelapisan semprot dengan kepadatan yang berbeda (a) 0,48 NW μm <sup>-1</sup> , (b) 0,57 NW μm <sup>-1</sup> dan (c) 1,59 NW μm <sup>-1</sup>
Gambar 2.20 Hasil SEM dengan kepadatan 0,57 NW $\mu m^{-1}$
Gambar 2.21 Hasil SEM lapisan AgNWs menggunakan GIS selama (a) 10 detik, (b) 50 detik dan (c) 800 detik
Gambar 3.1 Skematik pembuatan AgNWs55
Gambar 3.2 Skematis pembuatan AgNWs 10%56
Gambar 3.3 Teknik <i>spray coating</i> lapisan tipis AgNWs57
Gambar 3.4 VEECO FPP-5000
Gambar 3.5 Cary series UV-Vis spectrophotometer tipe cary 100 UV-Vis60
Gambar 3.6 (a) Alat <i>coating</i> quarum Q-150R ES dan (b) proses pelapisan61
Gambar 3.7 SEM ZEISS EVO MA10
Gambar 3.8 Langkah pertama analisis ImageJ63
Gambar 3.9 Langkah kedua analisis ImageJ63
Gambar 3.10 Langkah ketiga analisis ImageJ64
Gambar 3.11 Langkah keempat analisis ImageJ64
Gambar 3.12 Diagram alir penelitian
Gambar 4.1 Perbandingan transmitansi antara (a) polikarbonat dan lapisan tipis AgNWs dengan variasi (b) 1 perulangan, (c) 2 perulangan, dan (d) 3 prulangan
Gambar 4.2 Hasil transmitansi lapisan tipis AgNWs67
Gambar 4.3 Hasil absorbansi lapisan tipis AgNWs68
Gambar 4.4 Hasil indeks bias lapisan tipis AgNWs71
Gambar 4.5 Hasil konduktivitas optik lapisan tipis AgNWs72
Gambar 4.6 Hasil energgi gap lapisan tipis AgNWs

Gambar 4.7 Perbandingan resistivvitas listrik perak NWs dan perak bentuk Limpahan	75
Gambar 4.8 Hasil resistansi dan resistivitas lapisan tipis AgNWs	77
Gambar 4.9 Hasil SEM permukaan (a) larutan AgNWs 10%, lapisan AgNWs (b) 1 perulangan, (c) 2 perulangan, dan (d) 3 perulangan.	78
Gambar 4.10 Distribusi panjang (a) larutan AgNWs 10 %, lapisan AgNWs (b) 1 perulangan, (c) 2 perulangan, dan (d) 3 Perulangan	80
Gambar 4.11 Hasil SEM ketebalan lapisan AgNWs (a) 1 perulangan, (b) 2 perulangan, dan (c) 3 perulangan	82

# DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan fabrikasi elektroda konduktif transparan	
Tabel 3.1 Spesifikasi alat ukur FPP-5000	
1	

### BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan elekroda konduktif transparan (TCE) semakin meningkat bersamaan dengan meningkatnya kebutuhan untuk memproduksi dioda pemancar cahaya organik (OLED) (Jiang *et al.*, 2003), sel surya, komponen elektronik, dan layar sentuh (Zhang *et al.*, 2008; Johan *et al.*, 2014). Salah satu bahan TCE yang sering digunakan adalah indium timah oksida (ITO) (Ellmer, 2012; Eda *et al.*, 2008). Penggunaan utama ITO adalah sebagai lapisan tipis konduktif transparan yang digunakan dalam perangkat elektronik.

ITO memiliki keunggulan yaitu transmitansi (T) yang tinggi (T > 90% pada panjang gelombang 550 nm) dan resistansi (Rs) yang rendah sebesar 10-30 .sq<sup>-1</sup> (Ellmer, 2012; Eda *et al.*, 2008). Selain memiliki keunggulan, ITO juga memiliki kekurangan yaitu harganya mahal karena ketersediaan indium terbatas, proses sintesis membutuhkan suhu tinggi dan vakum tinggi untuk mengontrol ketebalan dan kosentrasi doping. ITO juga memiliki sifat keramik sehingga tidak fleksibel dan rapuh (Minami, 2008; Lim *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013) karena mudah aus dan retak saat digunakan, memiliki indeks refraksi yang tinggi (Wang *et al.*, 2015) sehingga tidak cocok untuk aplikasi layar sentuh (Hecht *et al.*, 2011).

Banyak peneliti yang berusaha untuk memecahkan masalah yang terkait dengan elektroda ITO transparan seperti membuat elektroda fleksibel mekanik dengan menggunakan substrat *polyethylene terephthalate* (PET) serta berbagai unsur rasio dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik lapisan (Hecht *et al.*, 2011). Namun, pendekatan tersebut tidak hanya menambah biaya produksi tetapi juga mengurangi kinerja optik dan listriknya. Oleh karena itu, banyak peneliti telah mencoba mencari bahan alternatif untuk menggantikan ITO dengan bahan yang lebih baik dari ITO (Khalig, 2016).

Bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti ITO diantaranya *carbon nanotube* (Yoon *et al.*, 2007), *graphene* (Bae *et al.*, 2010), dan logam *nanowires* (NWs) (Hecht *et al.*, 2011; Langley *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2013; Hu *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2016). *Carbon nanotube* memiliki transmitansi yang baik hingga mencapai 97%. Namun, memiliki resistansi yang sangat tinggi sekitar 3000-200 .sq<sup>-1</sup> (Yoon *et al.*, 2007). Lapisan *graphene* menunjukkan transmitansi sebesar 90% dan resistansi yang tinggi sebesar 125 .sq<sup>-1</sup>. Proses sintesis lapisan *graphene* membutuhkan suhu yang sangat tinggi hingga 1000 °C, sehingga proses sintesisnya mahal (Bae *et al.*, 2010).

Logam NWs memiliki kelebihan dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya dalam hal konduktivitas, fleksibilitas (Lee *et al.*, 2013), dan kemudahan mensintesis pada suhu rendah (Langley *et al.*, 2013). Transmitansi yang dihasilkan bisa mencapai 90% dan resistansi sekitar 10 .sq<sup>-1</sup>. Konduktivitas dan transmitansi yang dihasilkan mirip dengan ITO, sehingga cocok untuk aplikasi elektroda transparan (Hu *et al.*, 2010). Logam NWs yang sering digunakan yaitu tembaga NWs (CuNWs) dan perak NWs (AgNWs). Lapisan CuNWs memiliki konduktivitas yang hampir sama dengan AgNWs serta proses sintesisnya lebih murah. Namun, CuNWs memiliki ketidakstabilan di udara karena mudah bereaksi dengan oksigen, sehingga AgNWs dipilih sebagai bahan alternatif pada pembuatan TCE (Rathmell *et al.*, 2010).

TCE dengan AgNWs dapat dibuat dengan menggunakan berbagai teknik seperti teknik *mayer-rod coating* (Junaidi *et al.*, 2017), *spin coating* (Bernal *et al.*, 2016), *dip coating* (Ahn *et al.*, 2015), dan *spray coating* (Lee *et al.*, 2016). Teknik *mayer-rod coating* adalah metode yang sangat sederhana dan kompatibel dengan cara menggulingkan batang mayer di atas substrat (Gao *et al.*, 2016). Namun teknik ini bergantung pada viskositas bahan pelapis dan dapat bekerja dengan baik pada material yang memiliki viskositas rendah (Bid *et al.*, 2006). Resistansi dan transmitansi lapisan yang dihasilkan sebesar 12,1 .sq<sup>-1</sup> dan 70,1% (Junaidi *et al.*, 2017).

Teknik *spin coating* menjadi metode yang mudah dan cepat, tetapi menunjukkan hasil pelapisan AgNWs yang tidak homogen (Langley *et al.*, 2013; Lagrange *et al.*, 2015). Resistansi dan transmiansi yang dihasilkan masing-masing sebesar 20 .sq<sup>-1</sup> dan 77% (Bernal *et al.*, 2016). Teknik *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 .sq<sup>-1</sup> dan 90% (Ahn *et al.*, 2015).

Dari beberapa teknik pelapisan, teknik *spray coating* sering digunakan dan memiliki keunggulan dibandingkan dengan teknik yang lain yaitu dihasilkan permukaan yang sangat homogen (Coskun *et al.*, 2013), sehingga metode ini dapat mencegah timbulnya porositas yang berlebih. Resistansi dan transmitansi yang dihasilkan adalah 10 .sq<sup>-1</sup> dan 87,4% (Selzer *et al.*, 2015).

Pembuatan lapisan AgNWs dengan metode *spray coating* bergantung pada kecepatan *nozzle*, diameter, dan panjang AgNWs. Semakin tinggi kecepatan *nozzle* maka nilai transmitansi dan resistansi yang dihasilkan semakin tinggi, hal tersebut dikarenakan jumlah total AgNWs yang keluar semakin menurun (Han *et al.*, 2018) dan menyebabkan nilai kerapatan AgNWs semakin kecil (Ergun *et al.*, 2016). Resistansi yang tinggi dapat diatasi dengan menggunakan diameter dan panjang AgNWs yang lebih besar sehingga resistansi semakin rendah dan transmitansi semakin tinggi (Andres *et al.*, 2015).

Lee *et al.*, (2016) melakukan penelitian pembuatan lapisan AgNWs dengan variasi 1, 2, dan 3 lapisan dengan teknik *spray coating*. Diameter nosel yang digunakan sebesar 0,2 mm. Lapisan AgNWs yang paling homogen diperoleh meggunakan teknik tiga pelapisan dengan nilai resistansi terendah sebesar 19 .sq<sup>-1</sup>. Nilai resistansi yang dihasilkan sesuai dengan karakteristik ITO yaitu dibawah 30 .sq<sup>-1</sup>. Namun, pada penelitian ini tidak mencantumkan nilai transmitansi. Parameter karakteristik bahan TCE tidak hanya dilihat dari hasil resistansi tetapi juga dari hasil transmitansi.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka akan dilakukan pembuatan lapisan tipis AgNWs dengan teknik *spray coating*. Lapisan tipis AgNWs dibuat dengan memvariasi perulangan pelapisan AgNWs yaitu 1, 2, dan 3 perulangan. Lapisan yang dihasilkan akan diuji dengan spektrofotometer ultraviolet-visual (UV-Vis) untuk mengetahui transmitansi dan absorbansi lapisan, uji *four point probe* (FPP) untuk mengetahui nilai resistansi, dan karakterisasi *scanning electron microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur permukaan dan ketebalan lapisan AgNWs.

### 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

- a. Bagaimana pengaruh variasi perulangan pelapisan pada pembuatan lapisan tipis AgNWs menggunakan teknik *spray coating*?
- b. Bagaimana transmitansi dan absorbansi lapisan AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan uji spektrofotometer UV-Vis?
- c. Bagaimana nilai resistansi lapisan AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan uji FPP?
- d. Bagaimana struktur permukaan dan ketebalan lapisan AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan karakterisasi SEM?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah.

- a. Lapisan tipis AgNWs dibuat menggunakan teknik *spray coating* dengan variasi 1, 2, dan 3 perulangan.
- b. Bahan pelarut AgNWs yang digunakan adalah etanol 96 %.
- c. Substrat yang digunakan adalah polikarbonat.
- d. Pengujian transmitansi dan absorbansi lapisan tipis AgNWs dengan spektrofotometer UV-Vis.
- e. Pengujian nilai resistansi lapisan tipis AgNWs dengan FPP.
- f. Karakterisasi struktur permukaan dan ketebalan lapisan tipis AgNWs dengan SEM.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu:

- a. Mengetahui pengaruh variasi perulangan pelapisan pada pembuatan lapisan tipis AgNWs menggunakan teknik *spray coating*.
- Mengetahui transmitansi dan absorbansi lapisan tipis AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan uji spektrofotometer UV-Vis.
- c. Mengetahui nilai resistansi lapisan tipis AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan uji FPP.
- Mengetahui struktur permukaan dan ketebalan lapisan tipis AgNWs yang dihasilkan dengan menggunakan karakterisasi SEM.

# 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukan penelitian ini adalah

- Lapisan tipis AgNWs yang diproduksi dapat menjadi pengganti ITO dan dapat diaplikasikan pada perangkat elektronik seperti komponen elektronik, sel surya, OLED, dan lapisan pemanas.
- b. Penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk mengkaji lebih mendalam tentang pengaruh variasi perulangan pelapisan AgNWs menggunakan teknik *spray coating* pada pembuatan TCE AgNWs.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Pembuatan lapisan AgNWs dengan metode *spray coating* dilakukan oleh Andres *et al.*, (2015) dengan menggunakan substrat PET. Substrat PET dicuci dengan air deionisasi, diikuti dengan aseton, metanol, dan isopropanol. Dikeringkan dengan menggunakan nitrogen. AgNWs yang digunakan terdapat dua tipe yaitu tipe A (d = 200 nm, l = 110 µm) dan tipe B (d = 50 nm, l = 80 µm). Diameter nosel yang digunakan sebesar 0,5 mm dengan laju 0,06 ml dan tekanan penyemprotan sebesar 0,4 MPa.

Dengan mempertahankan tekanan dan kecepatan nosel yang konstan, kepadatan NWs dapat dikendalikan oleh jumlah lintasan di atas area sampel. Berdasarkan hasil penelitian, AgNWs yang memiliki NWs lebih panjang menghasilkan resistansi dan transmitansi yang baik. Hal tersebut dikarenakan semakin besar panjang dan diameter NWs maka hubungan NWs yang satu dengan yang lain memiliki hambatan yang lebih kecil untuk mentransfer aliran konduksi. Hasil resistansi dan transmitansi yang terbaik terdapat pada tipe A yaitu 20,2 .sq<sup>-1</sup> dan 94,7%.

Selzer *et al.*, (2015) menggunakan AgNWs dengan diameter 90 nm dan panjang sebesar 2,5 µm. AgNWs sebanyak 0,7 ml diencerkan dengan 3,5 ml etanol kemudian disonikasi. Larutan yang dihasilkan disentrifugasi selama 60 detik dengan 13.000 rpm. Larutan tersebut diencerkan lagi menjadi 0,2 mg.ml<sup>-1</sup> dengan menggunakan bahan *methylnonafluorono-n-butylether*. Substrat yang digunakan yaitu substrat kaca. Pada saat penyemprotan substrat dipanaskan dengan suhu 30 sampai 80 °C. Jarak penyemprotan, kecepatan gerak, dan tekanan semprot nosel adalah 12 cm, 1,5 cm.s<sup>-1</sup>, dan 200 Mbar.

Berdasarkan penelitian, pada saat substrat dipanaskan pada suhu 30°C menghasilkan lapisan yang optimal dan memiliki kinerja elektroda yang lebih baik. Diperoleh nilai resistansi terendah sebesar 10 .sq<sup>-1</sup> transmitansi sebesar 87,4% pada panjang gelombang 550 nm.

Lee *et al.*, (2016) menggunakan AgNWs dengan diameter ( $32 \pm 5$ ) nm dan panjang ( $25 \pm 5$ ) µm tersebar dalam isopropil alkohol (IPA). Tekanan nosel yang digunakan sebesar 14 psi. Semakin tinggi tekanan maka akan mendorong fragmentasi cairan menjadi lebih kecil. Diameter nosel yang digunakan sebesar 0,2 mm karena apabila diameter nosel penyemprot lebih besar akan menghasilkan pembentukan tetesan yang lebih besar. Hasil morfologi permukaan lapisan bervariasi tergantung pada suhu plat dan sifat pelarut. Pada suhu rendah, kemungkinan besar akan terjadi aglomerasi AgNWs sebelum pengeringan. Sehingga suhu plat yang digunakan sebesar 100 °C. Substrat yang digunakan memiliki luas 25 x 25 mm.

Terdapat variasi jumlah lapisan pada pembuatan lapisan AgNWs. Berdasarkan hasil mikroskop gaya atom atau AFM, satu lapisan menunjukkan banyak rongga sehingga nilai kekasaran sebesar 24,3 nm, dua lapisan memiliki nilai kekasaran sebesar 17,6 nm dan tiga lapisan memiliki nilai kekasaran sebesar 16,2 nm. Semakin kecil nilai kekasaran AgNWs maka resistansi yang dihasilkan semakin menurun dan konduktivitas akan semakin meningkat. Lapisan AgNWs dengan hasil yang homogen dapat diperoleh dengan menggunakan teknik tiga pelapisan.

Ergun *et al.*, (2016) melakukan penelitian pembuatan AgNWs pada pembuatan pemanas transparan. AgNWs yang dipakai disintesis dengan menggunakan metode *polyol*. Larutan AgNWs diendapkan ke substrat menggunakan *air bush* dan tekanan berasal dari nitrogen. Substrat PET ditempatkan di atas plat pemanas dan dipanaskan suhu 100 °C untuk menghilangkan etanol. Tekanan gas dan jarak *air bush* dan plat pemanas adalah parameter efektif pada teknik penyemprotan. Untuk proses *spray coating* tekanan dan jarak diatur pada 2 atm dan 10 cm.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut semakin besar nilai kerapatan NWs (0,6 sampai 1,6  $\mu$ .m<sup>-1</sup>) maka resistansi dan transmitansi semakin menurun. Diperoleh resistansi dan transmitansi terbaik sebesar 4,3 .sq<sup>-1</sup> dan 83,3% dengan kerapatan NWs sebesar 1,6  $\mu$ .m<sup>-1</sup>. Semakin besar nilai kerapatan AgNWs maka sifat termal akan semakin baik. Kerapatan AgNWs 1,6  $\mu$ .m<sup>-1</sup> memiliki ketahanan panas hingga 204 °C. Hasil SEM menunjukkan, pada saat sampel dengan kerapatan NWs 0,6  $\mu$ .m<sup>-1</sup> ditingkatkan suhunya maka AgNWs mulai mencair dan Ag mulai menumpuk pada persimpangan NWs sehingga mengakibatkan jaringan AgNWs mulai putus dan meningkatnya resistansi lapisan.

Hu *et al.*, (2017) menggunakan AgNWs yang diperoleh dengan metode polyol. Berdasarkan hasil *transmission electron microscopy* (TEM) AgNWs mamiliki diameter (47  $\pm$  6) nm dan panjang (4,2  $\pm$  1,5) µm. Dilakukan penyemprotan suspensi AgNWs ke permukaan substrat dengan sudut 15° dengan menggunakan *grazing incidence spraying* (GIS). Terdapat variasi lama waktu penyemprotan yaitu 10 s, 50 s, 100 s, 200 s, 400 s, dan 800 s. Berdasarkan hasil SEM, semakin lama waktu penyemprotan maka jumlah AgNWs yang tersebar pada substrat semakin banyak. Kepadatan dari lapisan tipis meningkat kuat pada tingkat orientasi dan jumlah lapisan kawat nano perak. Terdapat variasi jumlah lapisan yaitu 1, 2, 3, dan 4 lapisan. Semakin banyak jumlah lapisan maka efisiensi polarisasi semakin tinggi. Lapisan yang mengandung 4 lapisan kawat nano mencapai efisiensi polarisasi hingga 97% di wilayah dekat inframerah.

Han *et al.*, (2018) menggunakan AgNWs dengan diameter rata-rata 20 nm dan panjang 15  $\mu$ m. Dispersi AgNWs (10 mg.ml<sup>-1</sup> dalam isopropanol) diencerkan dengan etanol sebanyak 1,4 mg.ml<sup>-1</sup>. Kemudian dilakukan pelapisan penyemprotan ke substrat. Berdasarkan penelitian ini, resistansi dan transmitansi dari elektroda AgNWs berkurang secara eksponensial dengan penurunan kecepatan gerak nosel.

Penurunan resistansi dan transmitansi tersebut dikarenakan terjadi peningkatan kerapatan AgNWs pada permukaan substrat kaca. Penurunan kecepatan *spray coating* menyebabkan meningkatnya jumlah total bahan pelapis AgNWs yang keluar selama penyemprotan. Berdasarkan hasil SEM semakin tinggi kecepatan pelapisan penyemprotan maka AgNWs yang tersebar semakin sedikit dan terdapat banyak ruang kosong antara jaringan AgNWs. Semakin tinggi kecepatan nosel maka transmitansi dan resistansi semakin tinggi. Nilai transmitansi dan resistansi yang terbaik yaitu 85,4% dan 18 .sq<sup>-1</sup>.

### 2.2.1 TCE

TCE merupakan elektroda yang penting sekali untuk banyak perangkat elektronik dan opoelektronik seperti layar panel, OLED, sel surya, lapisan pemanas dan *liquid crystal display* (LCD). Material yang paling umum digunakan untuk elektroda transparan yaitu oksida konduktif transparan (TCO) seperti ITO dan aluminium doping zink oksida (AZO). Lapisan TCO transparan terhadap cahaya tampak, karena energi celah pita lebih tinggi dibandingkan energi foton. ITO memiliki energi celah pita sebesar 3,8 eV. Akibat celah pita tersebut, ITO menyerap sebagian besar cahaya dengan panjang gelombang di atas 1000 nm karena terkait dengan oksida kolektif pada pita elektron konduktif yang disebut dengan osilasi plasma. Transmitansi dan konduktivitas pada lapisan TCO bisa dikontrol dengan variasi ketebalan pada lapisan. Lapisan yang lebih tebal menghasilkan elektroda yang lebih konduktif tetapi kurang transparan (Ginley *et al.*, 2010).

Dalam dekade terakhir telah ada peningkatan yang terus-menerus pada aplikasi perangkat, yang membutuhkan lapisan yang lebih transparan dan tren itu diperkirakan akan terus berlanjut dimasa mendatang. Saat ini LCD merupakan perangkat yang menggunakan bahan konduktif transparan terbesar, tetapi banyak perangkat lain menunjukkan peningkatan popularitas yang cepat seperti panel sentuh (362 juta unit di 2010 dengan pertumbuhan tahunan 20% hingga 2013), kertas elektronik (pertumbuhan 30 kali lipat dari 2008 ke 2014), lapisan surya tipis (penjualan lebih dari 13 miliar dolar pada tahun 2017) dan tampilan fleksibel. Dengan demikian diperkirakan bahwa elektroda transparan akan tumbuh sekitar 5,1 miliar dolar pada tahun 2020 dari 1,9 miliar dolar pada tahun 2012 (Fenn, 2010). Teknologi perangkat baru membutuhkan fitur baru untuk elektroda transparan seperti fleksibilitas mekanik, proses pembuatan mudah, murah, dan ringan. ITO tidak dapat memenuhi semua harapan untuk generasi elektronik selanjutnya. ITO memiliki sifat keramik sehingga tidak fleksibel, indium merupakan elemen langka dan harga indium mahal, membutuhkan temperatur tinggi dan vakum tinggi untuk mengontrol ketebalan serta kosentrasi doping (Hecht *et al.*, 2011). ITO termasuk material yang rapuh (Minami, 2008; Lim *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013) karena mudah aus atau retak saat digunakan, dilapisi dengan teknik *sputtering* yang dapat merusak lapisan dan indeks refraktif yang dihasilkan tinggi (Wang *et al.*, 2015).

Penelitian ektensive telah dikhususkan untuk memecahkan masalah yang terkait dengan elektroda transparan ITO. Sebagai contoh, membuat elektroda yang fleksibel mekanik dengan menggunakan substrat seperti PET dan berbagai unsur rasio telah dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik lapisan. Namun, pendekatan ini tidak hanya menambah biaya produksi tetapi juga mengurangi kinerja optik dan listrik dari elektroda tersebut. Oleh karena itu banyak peniliti mencoba untuk mencari bahan alternatif pengganti ITO (Hecht *et al.*, 2011).

#### 2.2.2 Bahan Alternatif TCE

Bahan alternatif pembuatan TCE sebagai pengganti ITO harus memiliki transmitansi yang tinggi, resistansi lembar yang rendah, fleksibel, memiliki biaya produksi yang rendah dibandingkan dengan ITO. Resistansi yang dihasilkan dibawah 30 .sq<sup>-1</sup> dan transmitansi optik yang dihasilkan di atas 80% pada panjang gelombang 550 nm. Bahan yang digunakan sebagai pengganti ITO diantaranya *carbon nanotube* (CNT), *graphene*, dan logam NWs. Perbandingan fabrikasi elektroda konduktif transparan dapat dilihat pada Tabel 2.1

/				
Metode fabrikasi	TCO	Graphene	CNT	AgNWs
CVD	+++	+++	+	-
Sputtering	+++	-	-	-
Spin coating	-	+	++	++
Spray deposition	++	+	+++	+++
Screen printing		+	++	++
Biaya	Mahal	Mahal	Mahal	Medium
Temperatur (°C)	>200-1000	Temperatur ruang-1000	Temperatur ruang-700	Temperatur ruang-700
Homogen	+++	+++	++	++
Ketebalan (n)	100-300	<5	<10	25-600
Resistansi ( .sq <sup>1</sup> )	5-100	30-5000	60-300	1-50
Transmisi pada 550 <i>nm</i> (%)	80-97	80-96	80-91	80-96

**Tabel 2.1** Perbandingan fabrikasi elektroda konduktif transparan (Langley *et al.*, 2013).

### 2.2.2.1 CNT

CNT pertama kali disintesis pada tahun 1990 (Iijima *and* Ichihashi, 1993), memiliki sifat listrik dan optik yang unik seperti mobilitas elektron dapat mencapai lebih dari 100.000 cm<sup>2</sup>/V.s (Fuhrer *et al.*, 2000). CNT memiliki konduktivitas listrik, transparasi, fleksibilitas, dan modulus Young yang tinggi (Gao *et al.*, 2012). Sifat ini yang membuat CNT menarik untuk pengganti ITO. Salah satu hambatan utama adalah ketidakmampuan untuk mendapatkan CNT dengan kemurnian yang tinggi. Biasanya mengandung campuran bahan partikel katalis, pendukung katalis dan karbon amorf (Rinzler *et al.*, 1998; Dai, 2002). Lapisan tipis CNT muncul pada pertengahan tahun 2000-an sebagai bahan elektronik transparan (Artukovic *et al.*, 2005; Cao *et al.*, 2006). Salah satu kegunaan lapisan tipis CNT adalah elektroda transparan. Terdapat banyak teknik pembuatan CNT konduktif transparan lapisan yaitu dengan *spray coating* dan *mayer-rod coating* (Naranjo *et al.*, 2016). Hal penting untuk pembuatan lapisan CNT adalah kemampuan untuk melapisi lapisan dengan ketebalan yang seragam dan terkontrol. Lapisan CNT yang khas memiliki ketebalan kering 5-50 nm dan ketebalan basah sekitar 5-50 µm (Song *et al.*, 2008).

CNT memiliki kepadatan cukup tinggi sehingga arus yang mengalir dari ujung lapisan ke ujung lainnya melalui jaringan *nanotube* yang terhubung diantaranya (Kaempgen *et al.*, 2005). Meskipun konduktivitas CNT individu sangat tinggi, pada lapisan CNT terjadi resistansi persimpangan. Resistansi persimpangan yaitu resistansi tinggi antara CNT yang tumpang tindih pada lapisan sehingga menyebabkan lapisan resistansi dari keseluruhan jaringan menjadi lebih lebih tinggi. Besar resistansi antar tabung 200 k - 20 M (Fuhrer *et al.*, 2000) dan resistansi sepanjang satu mikrometer CNT adalah 10 k + 6 k .µm<sup>-1</sup>. Resistansi lapisan CNT sebagian besar didominasi oleh resistansi antara tabung (Nirmalraj *et al.*, 2009). Faktor tersebut menghasilkan konduktivitas sangat rendah untuk aplikasi elektroda transparan (Fuhrer *et al.*, 2000). Faktor lain yang mempengaruhi adalah kemurnian lapisan (adanya bahan selain CNT), tingkat doping, interaksi permukaan CNT, dan rasio semikonduktif (Li *et al.*, 2008).

Beberapa metode yang dilakukan untuk mengurangi ketahanan lapisan lapisan CNT salah satunya dengan perlakuan asam. Namun, ketahanan lapisan masih lebih tinggi dibandingkan ITO (Dan *et al.*, 2009). Terdapat grafik hubungan suhu dan transmitansi terhadap resistansi lapisan CNT pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Grafik hubungan antara suhu dan transmitansi terhadap resistansi lapisan CNT (Yoon *et al.*, 2007).

Pada Gambar 2.1, menggambarkan grafik hubungan antara suhu dan transmitansi terhadap resistansi lapisan CNT yang telah diteliti oleh Yoon *et al.*, (2007). Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan transmitansi semakin meningkat hingga mencapai 97% dan suhu menurun drastis, hal tersebut terjadi karena resistansi semakin meningkat dari 200-3500 .sq<sup>-1</sup> (Yoon *et al.*, 2007). Kepadatan dan panjang CNT sangat berpengaruh pada resistansi dan transmitansi lapisan. Ketika panjang CNT pendek, hubungan antara jaringan CNT meningkat dan terjadi peningkatan resistansi lapisan secara keseluruhan (Hu *et al.*, 2004; Behnam *et al.*, 2006).

Alternatif lain telah dilakukan oleh Zhou *et al.*, (2015) yaitu dengan menambahkan logam halida untuk membangun interkoneksi antara jaringan CNT. Berdasarkan hasil penelitiannya dengan menambahkan halida, dapat meningkatkan keseragaman lapisan untuk transportasi listrik sehingga dapat

meningkatkan konduktivitas listrik. Resistansi lapisan yang dihasilkan sangat stabil tanpa degradasi apapun setelah paparan udara selama 1000 jam atau dengan pemanasan 24 jam pada suhu 400 °C. Hal tersebut dikarenakan interkoneksi antara jaringan CNT yang lebih kuat. Resistansi yang dihasilkan 55-56 .sq<sup>-1</sup> dan 90-110 .sq<sup>-1</sup> dengan transmitansi 85% dan 90%. Hal tersebut menunjukkan bahwa konduktivitas yang dihasilkan masih lebih rendah dibandingkan dengan ITO.

### 2.2.2.2 Graphene

*Graphene* merupakan bahan alternatif lain untuk menggantikan ITO pada aplikasi elektroda transparan. Memiliki mobilitas elektron yang sangat tinggi (200.000 cm<sup>2</sup>/V.s) dan transparasi optik yang tinggi (97,7% untuk satu lapisan *graphene*) (Blake *et al.*, 2003). Satu lapisan *graphene* murni memiliki energi celah pita semikonduktor sebesar 0 eV dengan lebar hingga 50 µm dan ketebalan 0,34 nm sesuai dengan jarak antar lapisan grafit (Novoselov *et al.*, 2005). Elektron dalam satu lapisan *graphene* memiliki kecepatan Fermi yang sangat tinggi (v =  $10^6 \text{ m.s}^{-1}$ ) dan konduktivitas yang tinggi. Selain memiliki kekuatan mekanik yang unggul, juga memiliki stabilitas kimia yang luar biasa dan konduktivitas termal yang tinggi sebesar 5.0 x  $10^3 \text{ W.m}^{-1}$ .K<sup>-1</sup> (Blake *et al.*, 2003). Salah satu sifat menarik *graphene* adalah kemampuan menambahkan doping eksternal yang menghasilkan konduktivitas tinggi di bidang lapisan *graphene*.

Ketebalan lapisan *graphene* relatif transparan terhadap cahaya tampak. Oleh karena itu, hal utama yang harus diperhatikan pada pembuatan *graphene* adalah kompleksitas serta jaringan partikel yang dihasilkan. Jaringan partikel
menghasilkan resistansi lapisan yang sangat tinggi dalam kisaran beberapa k (Hecht *et al.*, 2011), karena terdapat hubungan resistansi yang tinggi di antara partikel (Schniepp *et al.*, 2008). Para peneliti telah melakukan berbagai metode untuk membuat lapisan *graphene* salah satunya menggunakan suhu tinggi dengan metode pengendapan uap kimia (CVD). Biaya menggunakan CVD relatif tinggi serta resistansi yang dihasilkan belum cukup rendah untuk digunakan di sebagian besar aplikasi (Obraztsov, 2009).

Bae *et al.*, (2010) telah melakukan suatu penelitian pada pembuatan lapisan *graphene* untuk aplikasi elektroda transparan dengan metode *roll to roll*. Pada proses sintesis menggunakan sistem CVD dengan suhu 1000 °C. Terdapat variasi jumlah lapisan sebesar 1, 2, 3, dan 4 lapisan. Pada jumlah lapisan sebesar 4 lapisan, menghasilkan nilai resistansi yang paling rendah dibandingkan 1, 2, dan 3 lapisan yaitu sebesar 30 .sq<sup>-1</sup> serta nilai transmitansi yang dihasilkan sebesar 90,1%. Hal tersebut menunjukkan tingkat resistansi dan transmitansi yang dihasilkan mendekati ITO, namun untuk mencapai kondisi tersebut memerlukan suhu yang sangat tinggi sebesar 1000 °C. Sehingga biaya yang digunakan untuk pembuatan CNT relatif mahal.

Alternatif lain telah dilakukan oleh Seo *et al*, (2018) dengan menambahkan doping lapisan 2D di atas elektoda *graphene* transparan. Penambahan doping tersebut bertujuan untuk menurunkan resistansi lapisan. TCE dibuat dengan cara menumpukkan doping lapisan 2D dan *graphene* secara bergantian. Transmitansi optik yang dihasilkan 90% dan resistansi lapisan sebesar  $50 ext{.sq}^{-1}$ . Dengan menggunakan alternatif ini konduktivitas listrik yang dihasilkan masih lebih rendah dibandingkan dengan ITO.

#### 2.2.2.3 Logam NWs

Logam merupakan bahan yang paling konduktif untuk aplikasi TCE karena memiliki kerapatan elektron bebas yang tinggi, sehingga sangat reflektif dan tidak terlalu transparan. Untuk menggunakan logam sebagai elektroda transparan ada tiga cara untuk mengatasi masalah optik. Pertama, lapisan logam dapat dibuat ultra tipis (sekitar 10 nm) (Pode *et al.*, 2004; O'Connor *et al.*, 2008). Lapisan ultra tipis logam tersebut dapat mempertahankan transmisi yang cukup dalam rentang optik untuk digunakan dalam beberapa aplikasi. Kedua, lapisan logam dapat dipola menjadi jaringan konduktif, karena memungkinkan transmitansi optik sebesar 100%. Ketiga, logam NWs dapat digunakan sebagai lapisan logam transparan dan kontinyu (Kang *and* Guo, 2007; Azulai *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2003).

Logam NWs memiliki diameter yang biasanya kurang dari (50-200 nm) dan panjang 1 µm atau lebih. Ukuran dan jarak dari NWs akan menyebabkan hamburan cahaya yang signifikan, sebuah fenomena yang dikenal dengan *haze*. Untuk mengurangi kekasaran permukaan, secara teori NWs dapat dibuat dengan diameter lebih kecil. NWs berdiameter lebih kecil akan meningkatkan resistivitas karena peningkatan permukaan dan penyebaran batas butir (Elechiguerra *et al.*, 2005; Stahlmecke *et al.*, 2006).

Logam NWs yang sering digunakan yaitu tembaga atau perak. Logam dapat disintesis dalam larutan dan dilapisi pada substrat transparan seperti plastik. Logam disinter, sehingga resistansi NWs dapat jauh lebih rendah daripada CNT. Transmitansi mencapai 90% dan resistansi di bawah 10 .sq<sup>-1</sup>, yang membuat transmitansi dan konduktivitas mirip dengan ITO sehingga cocok untuk aplikasi

elektroda transparan (Hu *et al.*, 2010). Pada Gambar 2.2, menggambarkan perbandingan nilai transmitansi terhadap resistansi pada *graphene*, *single wall nanotubes* (SWNTs), CuNWs dan AgNWs.



Gambar 2.2 Hasil transmitansi dan resistansi lapisan untuk bahan alternatif: *graphene*, SWNTs, CuNWs, AgNWs (De *and* Coleman, 2011).

Pada Gambar 2.2, menggambarkan grafik perbandingan nilai transmitansi dan resistansi lapisan untuk empat bahan alternatif pengganti ITO diantaranya *graphene*, SWNTs, CuNWs, dan AgNWs. Dari keempat bahan tersebut resistansi lapisan yang paling tinggi yaitu *graphene* sekitar 10<sup>3</sup> .sq<sup>-1</sup>. Elektroda lapisan CuNWs dan AgNWs menunjukkan kinerja yang unggul dibandingkan dengan lapisan *graphene*, dan CNT karena memiliki esistansi lapisan dibawah 10<sup>2</sup> .sq<sup>-1</sup> (Rathmell *and* Wiley, 2011).

Lapisan CuNWs merupakan TCE yang lebih murah dibandingkan perak dan konduktivitasnya hampir sama tinggi, dengan hambatan jenis tembaga sebesar  $1,67 \times 10^{-8}$  .m dan perak sebesar  $1,57 \times 10^{-8}$  .m. CuNWs memiliki ketidakstabilan di udara karena cepat dan mudah bereaksi dengan oksigen. Ketidakstabilan dan mudah teroksidasi tersebut yang menyebabkan CuNWs menjadi tidak konduktif. Rathmell *and* Wiley., (2011) pertama kalinya mereka membuat TCE CuNWs pada substrat fleksibel dengan resistansi lapisan 30 .sq<sup>-1</sup> dan transmitansi 85% dengan teknik *mayer-rod coating*. Mayousse *et al.*, (2014) menambahkan CuNWs dengan asam asetat glasial untuk membuat TCE CuNWs fleksibel yang menujukkan resistansi lembaran 55 .sq<sup>-1</sup> dan transmitansi 94% pada panjang gelombang 550 nm. Chu *et al.*, (2016) membuat TCE CuNWs dengan resistansi lembar 52,7 .sq<sup>-1</sup> dan transmitansi 90% pada panjang gelombang 400-700 nm menggunakan teknik *spray coating*. Terlepas dari upaya tersebut TCE berbasis CuNWs memiliki kekasaran permukaan yang tinggi ketika dilapiskan ke substrat kosong sehingga akan mudah teroksidasi dan lapisan kurang konduktif.

AgNWs dipilih sebagai bahan alternatif pada pembuatan TCE. Meskipun perak itu mahal, tetapi biaya materialnya lebih rendah dibandingkan dengan ITO (Rathmell *et al.*, 2010). AgNWs dapat disintesis dengan metode *polyol* menggunakan *polyvinyl pyrrolidone* (PVP) sebagai agen pereduksi. Metode ini membutuhkan proses sederhana, suhu rendah, biaya rendah untuk mensintesis dan mendapatkan AgNWs berkualitas tinggi dalam larutan (Coskun *et al.*, 2011).

Elektroda transparan terdiri dari jaringan AgNWs yang memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai konduktor transparan karena konduktivitas perak yang tinggi. Kunci dari pembuatan AgNWs yaitu berdiameter kecil, panjang, halus, dan sangat murni (Azulai *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2008). Apabila lapisan dibuat lebih padat, resistansi lapisan akan berkurang seiring dengan transmitansi optik. De *and* Coleman., (2011) mempelajari secara rinci konduktivitas optik elektroda transparan pada jaringan AgNWs. Resistansi lapisan 1 .sq<sup>-1</sup> dapat diperoleh dengan ketebalan diatas 300 nm. Konduktivitas optik meningkat dengan ketebalan dari 25 hingga 500 nm. Konduktivitas optik yang lebih tinggi menghasilkan kinerja yang baik sebagai elektroda transparan.

# 2.2.3 TCE dengan AgNWs

Lapisan AgNWs dapat dijadikan elektroda transparan yang memiliki potensi besar untuk mengganti bahan konvensional konduktif transparan, terutama dalam elektronik fleksibel. AgNWs dapat menunjukkan konduktivitas dan transmitansi yang sama dengan ITO, biaya murah serta bahan konduktif yang paling umum digunakan (Ye *et al.*, 2014). Selain memiliki kelebihan, AgNWs juga memiliki beberapa masalah yang harus diatasi yaitu ketidakstabilan AgNWs, kekasaran permukaan, dan adhesi lemah.

Ketidakstabilan AgNWs terjadi pada suhu tinggi. Ketika suhu tinggi (di atas 200 °C NWs akan berubah menjadi bentuk bola) (Khalig *and* Goldthorpe, 2013). Kekasaran permukaan terjadi akibat adanya persimpangan pada elektroda tiga atau lebih NWs bertumpukkan (Choi *et al.*, 2013; Pettersson, 1999). Lapisan yang lebih tebal ini akan mengurangi transmitansi dan juga efisiensi. Metode lain untuk mengurangi kekasaran permukaan yaitu metode pelapisan polimer konduktif dilapisi dengan NWs. Adhesi terjadi karena goresan atau tegangan geser pada permukaan yang dapat dengan mudah menghapus NWs pada permukaan (Langley *et al.*, 2013). Metode yang diusulkan untuk meningkatkan adhesi pada lapisan NWs dan mengurangi kekasaran permukaan secara signifikan yaitu dengan menambahkan lapisan tambahan di atas lapisan NWs sehingga dapat mengurangi kekasaran permukaan dan meningkatkan adhesi NWs secara drastis (Miller *et al.*, 2013).

#### 2.2.4 Metode Pembuatan TCE AgNWs

Terdapat beberapa metode pada pembuatan TCE AgNWs diantaranya teknik *mayer-rod coating*, *spin coating*, *dip coating*, dan *spray coating*.

# 2.2.4.1 Maye-rod coating

Metode *mayer-rod coating* mudah dilakukan dan lebih terkontrol (Cohen and Gutoff, 1992; Kristler and Schweizer, 1997). Batang pelapis terdiri dari batang stainless steel yang dililitkan kawat baja stainless. Substrat yang digunakan adalah substrat kaca yang memiliki permukaan yang halus dan rata. 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 (Cohen and Gutoff, 1992). 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* (Cohen *and* Gutoff, 1992).

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 dengan menggunakan metode *mayer-rod coating*. Pembuatan lapisan AgNWs dilakukan dengan cara, pertama substrat polikarbonat di ultrasonikasi dalam etanol pada suhu kamar selama 30 menit dan kemudian dibilas dengan air deionisasi. Substrat polikarbonat kemudian dikeringkan pada suhu kamar. AgNWs yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter ( ) dan panjang (*l*) berturut-turut sebesar 500 nm dan 10  $\mu$ m. AgNWs dikeringkan untuk menguapkan etanol pada suhu 60 °C. AgNWs didispersikan lagi dalam larutan etanol dengan kosentrasi berat 10 %. Larutan dispersi AgNWs dilapisi ke substrat polikarbonat dengan ukuran 25 mm x 25 mm dan memvariasi jumlah lapisan mengguanakan *bar coater* (RDS-20). Setelah melapisi AgNWs, sampel dikeringkan di atas plat pemanas pada suhu 90 °C selama 15 menit.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pada satu lapisan menghasilkan transmitansi dan resistansi berturut-turut 89,5% dan 1470,5 .sq<sup>-1</sup>. Pada dua lapisan menghasilkan transmitansi dan resistansi berturut-turut sebesar 87,7% dan 454,2 .sq<sup>-1</sup>. Pada tiga lapisan menghasilkan transmitansi dan resistansi berturut-turut sebesar 85,4% dan 43,9 .sq<sup>-1</sup>. Pada lima lapisan menghasilkan transmitansi dan resistansi berturut-turut sebesar 70,7% dan 12,1 .sq<sup>-1</sup>. 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).

# 2.2.4.2 Spin coating

*Spin coating* adalah teknik pembuatan lapisan tipis pada sejumlah kecil bahan pelapis yang diteteskan pada permukaan substrat kemudian substrat berputar dengan kecepatan tinggi. Akibat Gaya sentrifugal dapat menyebarkan bahan pelapis di atas substrat sehingga menghasilkan lapisan yang homogen. Skematik *spin coating* terdapat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skematik spin coating (Tyrionly, 2008).

Ada empat tahap metode *spin coating* (Al-Dahoudi, 2003). Tahap pertama bahan pelapis dijatuhkan pada media (Gambar 2.4.a). Tahap kedua, substrat berputar cepat hingga kecepatan putaran yang diinginkan. Pada tahap ini kisi spiral terbentuk (Gambar 2.4.b). Tahap ketiga, media berputar dengan kecepatan konstan. Selama tahap ini akan mengalami penurunan ketebalan lapisan (Gambar 2.4.c). Tahap keempat, proses pengeringan bertujuan untuk menguapkan bahan pelarut (Gambar 2.4.d).

Sifat dan ketebalan lapisan tergantung pada kecepatan putaran, waktu pemintalan, viskositas, laju pengeringan, dan kosentrasi bahan. Sebagian besar ketebalan lapisan akan berbanding terbalik dengan kecepatan putaran dan waktu putaran. Deposisi yang berulang dapat dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan ketebalan lapisan (Al-Dahoudi, 2003).

Bernal *et al.*, (2016) telah melakukan penelitian pembuatan lapisan tipis AgNWs menggunakan metode *spin coating*. AgNWs yang digunakan memiliki diameter () dan panjang (*l*) berturut-turut sebesar 35 nm dan 10 µm. Pelarut yang digunakan adalah etanol. AgNWs di dispersikan ke dalam etanol dengan kosentrasi berat 1,5 %. Untuk pembuatan lapisan digunakan substrat kaca. Larutan AgNWs di depositkan tegak lurus dengan pipet ketika gelas substrat mencapai kecepatan yang diinginkan. Kecepatan putar yang digunakan bervariasi antara 2000 sampai 9000 RPM. Setelah AgNWs terlapisi, lapisan AgNWs dikeringkan dengan proses pemanasan pada plate pemanas  $(100 \pm 3)$  °C selama 10 menit.

Frekuensi sudut antara 1000 sampai 5000 RPM menghasilkan resistansi mendekati linier. Pada panjang gelombang 541 nm transmitansi tertinggi sebesar 73,1%. Frekuensi sudut antara 7000 sampai 9000 rpm, hasil yang terbaik ditemukan pada 8000 dan 8500 rpm. Resistansi yang dihasilkan (38,4  $\pm$  2,4) .sq<sup>-1</sup> dan (19,4  $\pm$  2,7) .sq<sup>-1</sup>. Transmitansi yang dihasilkan 80,1% dan 77,1%. Apabila dikaitkan dengan hasil struktur morfologi lapisan dari 2000 sampai 9000 RPM. Aglomerasi material masalah utama yang ditemukan dalam pembuatan lapisin tipis sehingga lapisan tersebut tidak homogen. Semakin tinggi frekuensi sudut yang digunakan maka tingkat homogenitas semakin tinggi (Bernal *et al.*, 2016).

# 2.2.4.3 Dip coating

Salah satu metode pelapisan yang paling sederhana dan popular adalah *dip coating*, dengan cara mencelupkan substrat ke dalam larutan pelapis diikuti dengan menarik keluar substrat dengan kecepatan yang terkontrol. Ketika substrat ditarik, substrat akan dibasahi oleh larutan dan pelarut akan menguap. Bahan padat akan tertinggal di atas substrat membentuk lapisan tipis selama proses pengeringan. Ketebalan lapisan umumnya meningkat dengan kecepatan penarikan

yang lebih cepat (Basarir *et al.*, 2017). Semakin cepat penarikan maka ketebalan lapisan semakin meningkat. Pada Gambar 2.5, terdapat skematik *dip coating*.



Gambar 2.5 Skematik dip coating (Sachse et al., 2013).

Pada Gambar 2.5.a, substrat direndam di dalam larutan bahan pelapis pada laju konstan dan jangan ada guncangan atau getaran selama proses. Dalam tahap ini substrat tetap direndam penuh dan dibiarkan supaya ada kesempatan bahan pelapis lengket sendiri ke substrat. Pada Gambar 2.5.b, substrat ditarik dengan laju konstan untuk menghindari goncangan atau getaran. Semakin cepat substrat ditarik maka semakin tebal bahan pelapis yang diperoleh. Pada Gambar 2.5.c, proses pengeringan. Proses pengeringan dapat dilakukan secara normal dengan cara dikeringkan diudara dan secara cepat dikeringkan di oven.

Ahn *et al.*, (2015), telah melakukan penelitian pembuatan lapisan tipis menggunakan teknik *dip coating*. AgNWs didispersikan ke dalam pelarut IPA. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ketika fraksi areanya meningkat maka resistansi dan transmitasi yang dihasilkan semakin menurun. Resistansi dan transmitansi yang dihasilkan sekitar 100 .sq<sup>-1</sup> dan 90%. Pembuatan lapisan tipis dengan menggunakan metode ini harus lebih hati-hati dan terkontrol selama pembentukan lapisan tipis agar menghasilkan resistansi dan transmitansi mendekati ITO.

### 2.2.4.4 Spray coating

*Spray coating* merupakan pelapisan yang dilakukan dengan cara menyemprotkan bahan pelapis pada substrat. Ilustrasi skematik *spray coating* pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Teknik spray coating (Hsu and Liu, 2014).

Pada saat penyemprotan tekanan nosel, diameter nosel, dan laju kecepatan penyemprotan ditetapkan sesuai dengan kebutuhan pelapisan. Semakin tinggi tekanan maka akan mendorong fragmentasi cairan menjadi lebih kecil. Apabila diameter nosel yang digunakan semakin kecil maka butiran cairan yang keluar semakin kecil. Kecepatan penyemprotan harus dilakukan sesuai dengan yang dibutuhkan. Apabila kecepatan penyemprot lebih tinggi maka bahan pelapis yang tersebar pada substrat hanya sedikit.

Aplikasi *spray coating* sangat bervariasi, kategori pengunaannya bertujuan untuk meningkatkan ketahanan aus atau korosi suatu permukaan. Aplikasi lain sebagai hambatan termal, konduktor termal, konduktor listrik atau resistor, perisai elektromagnetik, dan untuk meningkatkan atau memperlambat radiasi (Robert *et al.*, 1994). Terdapat beberapa metode *spray coating* diantaranya *melt bath spraying* (MBS), *powder flame spraying* (PFS) dan *air spray* (Robert *et al.*, 1994). Teknik *spray coating* dengan MBS menggunakan bahan yang dicairkan di dalam wadah dan diatomisasi melalui nosel. Gas atomisasi dan udara terkompresi diterapkan dalam kondisi pra-panas. Aliran volume lelehan dapat dikontrol dengan menyesuaikan tekanan di dalam wadah. Pada Gambar 2.7 terdapat prinsip kerja MBS.



Gambar 2.7 Prinsip pelapisan MBS (Anonim 1).

Prinsip proses ini lebih sering digunakan untuk produksi bahan limpahan daripada untuk produksi pelapis. Substrat yang digunakan biasanya sangat kuat supaya ikatan metalurgi antara lapisan dan substrat dapat dicapai. Substrat yang peka terhadap suhu akan dapat mengalami panas yang berlebih (Leatham, 1999).

Teknik *spray coating* dengan PFS membutuhkan sumber energi berupa bahan bakar api dan oksigen. Di dalam jet gas pembakaran, partikel serbuk dipanaskan, dan dipercepat. Ilustrasi skematik pelapisan ini pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Prinsip pelapisan PFS (Anonim 1).

Transfer panas diperlukan pada bahan baku yang diterapkan tanpa injeksi gas tambahan sehingga akan membuat partikel serbuk lebih kuat dan semprotan jet yang lebih fokus. Kelompok bahan yang paling penting untuk PFS adalah paduan fluks berdasarkan sistem Ni-Cr-B-Si-C. Hubungan fitur *alloy* dengan suhu rendah akan mengakibatkan perubahan suhu cairan dan viskositas leleh lebih tinggi. Proses difusi selama pelapisan fusi menghasilkan ikatan metalurgi dan kekuatan ikatan yang tinggi. Fusi dapat dilakukan di *furnace*, dengan pemanasan induktif atau menyemprotkan nyala api tanpa injeksi serbuk (Wilden *et al.*, 2000).

Teknik *spray coating* dengan *air spray*. Pelapisan dengan metode semprotan ini merupakan salah satu teknik pelapisan dengan menyemprotkan cairan yang akan dilapiskan melalui *spray gun* dengan tekanan tertentu ke permukaan subsrat. Jenis yang paling umum digunakan ialah semprotan konvensional. Semprotan konvensional dibagi menjadi dua jenis yaitu *air spray* dan *airless spray*. Faktor *haze* pada *air spray* disebabkan oleh adanya pertemuan antara angin dan cat pada tudung *spray gun* (air cap, kepala *spray gun*) baik itu secara internal maupun eksternal, sehingga cat berinteraksi dengan angin terpecah menjadi sekumpulan partikel yang sangat halus dan lembut. Ilustrasi sekematik pelapisan ini pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Mekanisme pelapisan *air spray* (Anonim 2).

Pada Gambar 2.9 merupakan semprotan konvensional menggunakan kompresor yang kemudian diarahkan ke cairan pelapis (cat/varnish) sehingga cairan tersebut keluar melalui lubang nosel. Tekanan merupakan sumber tenaga yang besar sehingga mampu mengalirkan cat dari wadah ke tudung *spray gun* dan terjadi atomisasi pada tudung *spray gun* (air cap, kepala *spray gun*). Untuk dapat beratomisasi dengan baik, *air spray* membutuhkan tekanan angin sekitar 2 - 5 bar, selain itu rasio volume (cfm) dan cat harus di atur dengan baik untuk memastikan aplikasi pengecatan yang benar. Faktor *haze* pada *air spray gun* (*air cap*, kepala *spray gun*) baik itu secara internal maupun external sehingga cat berinteraksi dengan angin dan terpecah menjadi sekumpulan partikel yang sangat halus dan lembut (Wattler, 2010).

Selzer *et al.*, (2015) menggunakan AgNWs yang digunakan memiliki diameter 90 nm dan panjang sebesar 2,5 µm. Larutan AgNWs 0,7 ml diencerkan dengan 3,5 ml etanol kemudian di sonikasi. Larutan yang dihasilkan disentrifugasi selama 60 detik degan 13.000 rpm. Larutan tersebut diencerkan lagi menjadi 0,2 mg/ml dengan menggunakan bahan *methylnonafluorono-n-butylether*. Substrat yang digunakan yaitu substrat kaca. Pada saat penyemprotan substrat dipanaskan dengan suhu 30 sampai 80 °C. Jarak penyemprotan, kecepatan gerak, dan tekanan semprotan nosel adalah 12 cm, 1,5 cm.s<sup>-1</sup>, dan 200 Mbar.

Berdasarkan penelitian, pada saat substat dipanaskan pada suhu 30 °C menghasilkan lapisan yang optimal dan memiliki kinerja elektroda yang lebih baik. Diperoleh nilai resistansi terendah sebesar 10 .sq<sup>-1</sup> dan transmisi sebesar 87.4% pada panjang gelombang 550 nm.

#### 2.2.5 Karakteristik TCE AgNWs

TCE terdiri dari dua lapisan konduktif elektik dan transparan optik. Terdapat beberapa karakteristik TCE dalam hal transmitansi, absorbansi, reflektansi dan resistansi lapisan.

#### 2.2.5.1 Transmitansi, absorbansi, dan reflektansi

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 ( $I_A$ ), diteruskan ( $I_T$ ), dipantulkan ( $I_R$ ), dan disebarkan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$A + T + R = 1 \tag{2.1}$$

dengan A adalah cahaya yang diserap, T adalah cahaya yang diteruskan, dan R adalah cahaya yang dipantulkan.

Pengukuran sifat optik menggunakan gelombang elekromagnetik dari ultraviolet sampai inframerah. Hubungan panjang gelombang dengan energi gap dirumuskan secara matematis pada persamaan berikut:

$$E_g = hc / \} \tag{2.2}$$

dengan  $E_g$  adalah energi gap (eV), *h* konstanta *planck* (6,626 x 10<sup>-4</sup> J.s), *c* adalah kecepatan cahaya (3 x 10<sup>8</sup> m.s<sup>-1</sup>), dan adalah panjang gelombang cahaya (nm).

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 yaitu:

$$I_1 = I_0 e^{-rd} (2.3)$$

dengan  $\alpha$  (koefisien absorbansi) dan d (ketebalan lapisan). Banyaknya berkas cahaya yang diserap oleh suatu bahan tidak tergantung pada intensitas berkas cahaya datang. 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 2.10.



**Gambar 2.10** Hasil absorbansi larutan AgNWs (Junaidi *et al.*, 2016). Pada Gambar 2.10, 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 berikut:

$$T = \frac{I_0 e^{-rd}}{I_0}$$
(2.4)

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. Semua transmitansi dinyatakan pada panjang gelombang 550 nm seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Hasil transmitansi lapisan AgNWs (Preston et al., 2014).

Pada Gambar 2.11, menggambarkan hasil transmitansi lapisan AgNWs yang telah diteliti oleh Preston *et al.*, (2014). Berdasarkan grafik tersebut transmitansi yang dihasilkan pada panjang gelombang 550 nm yaitu sebesar 91%. Hal tesebut sesuai dengan kriteria TCE.

Transmitansi TCE yang diproses dengan metode *spray coating* bergantung pada kecepatan nosel, kerapatan dan diameter AgNWs. Semakin tinggi kecepatan nosel maka nilai transmitansi yang dihasilkan semakin tinggi hal tersebut dikarenakan jumlah total AgNWs yang keluar semakin menurun (Han *et al.*, 2018) dan menyebabkan nilai kerapatan AgNWs semakin menurun (Ergun *et al.*, 2016). Semakin besar diameter dan panjang AgNWs maka transmitansi yang dihasilkan semakin besar (Andres *et al.*, 2015).

### 2.2.5.2 Resistansi lapisan

Resistansi (R) adalah salah satu parameter dasar dari bahan. Simbol  $\rho$  dengan satuan .cm menunjukkan resistivitas suatu material. Rumus resistansi yaitu:

$$R = \dots \frac{L}{Wt}$$
(2.5)

dimana *L* adalah panjang sampel sepanjang arus mengalir, *W* dan *t* adalah lebar dan ketebalan sampel. Ketebalan lapisan seringkali sulit diukur, resistansi lapisan ( $R_S$ ) didefinisikan untuk mewakili resistansi per luas persegi lapisan tipis dengan satuan .sq<sup>-1</sup> dan diberikan oleh

$$R_s = \frac{m}{t} \tag{2.6}$$

$$R = R_s \frac{L}{W}$$
(2.7)

Berdasarkan skematik FPP pada Gambar 2.12, ketahanan lapisan tipis dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\dots = \frac{V}{I}CFt \tag{2.8}$$

dengan V (tegangan), I (arus), dan CF (faktor koreksi). Apabila  $t \ll s$  maka faktor koreksi bernilai  $\pi/\ln 2$  sehingga diperoleh persamaan resistivitas lapisan (Sze, 1981):

$$\dots = \frac{f}{\ln 2} \frac{V}{I} t \tag{2.9}$$

Apabila persamaan (2.9) disubtitusikan ke persamaan (2.6), maka akan dihasilkan persamaan resistansi lapisan lapisan sebagai berikut:

f V

Prob

$$R_{S} = \frac{f}{\ln 2} \frac{V}{I} = 4,53 \frac{V}{I}$$
(2.10)

Gambar 2.12 Skematik FPP (Krantz, 2016).

Larutan konduktor yang diproses

Ketahanan lapisan lapisan tipis biasanya diukur dengan metode pengukuran FPP. Pada metode ini, empat probe menyentuh lapisan dengan jarak yang sama (s), dua probe luar digunakan untuk mengukur arus yang menginduksi tegangan (V) melintasi dua probe dalam. Metode pengukuran FPP untuk lapisan AgNWs di satu area tidak menunjukkan sifat lisrik dari keseluruhan lapisan

karena hasil pengukuran bervariasi tergantung di mana tempat *probe* berada. Salah satu solusi untuk menentukan rata-rata resistansi lapisan NWs yaitu dengan menyelidiki area yang berbeda dan mengambil rata-rata nilai ukur yang diperoleh (Khalig, 2016).

# 2.2.6 Aplikasi TCE AgNWs

Elektroda berbasis AgNWs merupakan kadidat yang baik untuk perangkat dalam berbagai aplikasi karena memiliki resistansi lapisan yang rendah dan transmitansi yang tinggi. TCE AgNWs dapat diaplikasikan pada berbagai aplikasi seperti pembuatan sel surya, lapisan pemanas, dioda pemancar cahaya organik (OLED), dan panel sentuh.

# 2.2.6.1 Sel surya

TCE memiliki banyak aplikasi salah satunya seperti sel surya. Organik sel surya telah menjadi perangkat yang paling banyak digunakan seperti elektroda AgNWs. Elektroda AgNWs memiliki beberapa keunggulan diantaranya lapisan AgNWs menyebarkan lebih banyak cahaya dibandingkan dengan lapisan-lapisan ITO yang menghasilkan peningkatan penyerapan cahaya dan efisiensi yang lebih tinggi (Hung *et al.*, 2011). Lapisan AgNWs bersifat fleksibel secara mekanis sedangkan ITO mudah rapuh. AgNWs dapat dengan mudah disimpan di plastik sedangkan ITO harus disimpan di kaca karena sifat ITO lebih buruk dibandingkan plastik dan kaca. Biaya AgNWs lebih rendah dibandingkan ITO (Khalig, 2016).

Pada pembuatan sel surya faktor *haze* sangat mempengaruhi. Pada jaringan logam NWs memiliki faktor *haze* bervariasi antara 1 sampai 30%. Untuk

memperoleh faktor *haze* rendah maka menggunakan metode *spray coating* dan *dip coating* dengan faktor *haze* dibawah 2%. Untuk memperoleh faktor *haze* sekitar 30% maka menggunakan metode vakum filtrasi (Rathmell *et al.*, 2010).

Untuk aplikasi dalam sistem fotovoltaik faktor *haze* tinggi mengakibatkan hamburan cahaya masuk ke dalam perangkat dan menghasilkan penampang absorpsi efektif yang lebih besar (Hung *et al.*, 2011). Dengan menggunakan elektroda AgNWs terjadi peningkatan konversi efisiensi sekitar 10% (Gaynor *et al.*, 2009). Logam NWs memiliki jaringan *haze* rendah sehingga terdapat beberapa keuntungan diantaranya transmitansi di wilayah spektrum inframerah. Sel-sel ini menyerap sebagian cahaya di daerah inframerah, menghasilkan transmitansi rata-rata sekitar 61% dalam kisaran panjang gelombang 450-650 nm (Chen *et al.*, 2012).

Han *et al.*, (2018) telah melakukan penelitian pembuatan lapisan tipis AgNWs/ZnO untuk aplikasi sel surya. Terdapat variasi kecepatan nosel pada saat proses pembuatan lapisan tipis dengan metode *spin coating*. Berdasarkan penelitiannya semakin tinggi kecepatan *spin coating* maka AgNWs yang tersebar semakin sedikit dan terdapat banyak ruang kosong antara jaringan AgNWs. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan nosel maka faktor *haze* semakin rendah. Sehingga pada saat kecepatan pelapisan penyemprot paling rendah sebesar 4 mm.s<sup>-1</sup> mencapai efisiensi konversi daya tertinggi yaitu PCE 13,27% dengan rata-rata transmitansi cahaya tampak sebesar 16,3%.

Lapisan tipis partikel nano ZnO dilapisi elektroda AgNWs yang bertujuan untuk mengurangi resistansi lembaran dari elektroda komposit AgNWs/ZnO. Peningkatan konduktivitas seperti itu dianggap berasal dari perbaikan interkoneksi antara AgNWs dengan mengisi kekosongan jaringan AgNWs dengan nanopartikel ZnO. Sementara itu, karena efek hamburan cahaya partikel nano ZnO, transparasi cahaya dalam rentang cahaya tampak (400-800 nm) dari elektroda komposit AgNWs/ZnO sedikit meningkat setelah pelapisan ZnO. Kinerja perangkat dan reproduktivitas sel surya perovskite ditingkatkan dengan menggunakan elektroda AgNWs/ZnO.

# 2.2.6.2 Lapisan pemanas

Lapisan pemanas transparan merupakan aplikasi lain dari elektroda transparan yang dapat digunakan untuk mempertahankan suhu yang dibutuhkan untuk kristal cair, operasi tampilan serta berbagai aplikasi militer dan medis. Lapisan tipis ITO merupakan lapisan pemanas yang tersedia banyak dipasaran. Kelemahan ITO diantaranya biaya tinggi dan kerapuhan, sehingga para peneliti memperkenalkan pemanas transparan menggunakan bahan alternatif lainnya seperti AgNWs (Khalig, 2016).

Ergun *et al.*, (2016) telah melakukan penelitian pembuatan lapisan pemanas transparan AgNWs menggunakan metode *spray coating*. Pemanas transparan berbasis AgNWs menunjukkan kinerja pemanasan yang sangat baik. Untuk mengatasi ketidakstabilan jaringan AgNWs penting untuk menyelidiki dan menentukan batas kinerja termal dari pemanas transparan. Terdapat pengaruh kepadatan NWs, geometri kontak, bias yang diterapkan, aplikasi fleksibel, dan bias tambahan pada kinerja pemanas transparan dari jaringan AgNWs. Pemanas transparan berbasis jaringan AgNWs meghasilkan resistansi lembar 4,3 .sq<sup>-1</sup> dan transmitansi 83,3% dengan kepadatan 1,6 NW. $\mu$ m<sup>-2</sup> mencapai suhu maksimum 275 °C di bawah aplikasi bias tambahan (maksimum 5 V). Dengan kinerja ini, hasil penelitian yang dilakukan memberikan prespektif yang berbeda pada pemanas transparan berbasis jaringan AgNWs.

#### 2.2.6.3 OLED

Elektroda konduktif transparan juga merupakan komponen yang diperlukan dalam dioda pemancar cahaya organik atau OLED. Beberapa peneliti telah mengintegrasikan lapisan AgNWs ke dalam OLED dan terjadi peningkatan *electroluminescens* dari OLED dibandingkan OLED berbasis ITO. Gaynor *et al.*, (2013) membuat OLED dapat beroperasi pada 100 cd.m<sup>-1</sup>. Perangkat OLED tersebut berbasis AgNWs. Perangkat tersebut memiliki hamburan cahaya yang sangat baik dan efisiensi yang sangat tinggi dengan tampilan yang stabil dan emisi yang hampir sempurna (Gaynor *et al.*, 2013).

Cheong *et al.*, (2014) telah melakukan penelitian pembuatan OLED dengan elektroda transparan AgNWs. TCE yang diproduksi pada substrat polimer terdiri dari jaringan AgNWs dan TCO yang dilapiskan kembali di atas AgNWs. Analisis mikroskop elektron transmisi (TEM) menunjukkan bahwa TCO di atas dan di dekat AgNWs tumbuh sebagai Kristal karena AgNWs bertindak sebagai biji kristal, tetapi kristalinitas dari matriks TCO. Kristalinitas TCO dapat dikontrol dengan *sputtering*. Resistansi lembar TCE hibrida lebih kecil dari jaringan AgNWs karena resistansi sambungan berkurang secara signifikan karena penambahan TCO. Efek penambahan TCO diantaranya resistansi menurun dan kristalinitas matriks meningkat, karena adhesi antara AgNWs dan TCO ditingkatkan. Stabilitas TCE hibrida hampir setara dan lebih baik daripada jaringan AgNWs dalam keadaan lentur statis dan siklik. OLED yang fleksibel berhasil dibuat pada TCE hibrida hampir setara dengan yang ada pada TCO komersil.

## 2.2.6.4 Panel sentuh

Pada tahun 2007, perusahaan iPhone menggunakan panel sentuh, meskipun dari selusinan lapisan perangkat panel sentuh seperti inframerah, akustik dan optik tidak semua menggunakan lapisan konduktif transparan. Perangkat yang paling umum digunakan yaitu analog resistif dan kapasitif (permukaan diproyeksikan), keduanya pasti membutuhkan konduktor yang transparan. Gambar 2.13 panel sentuh AgNWs.



**Gambar 2.13** Skema operasi panel sentuh resistif 4-Ws dan lapisan fungsional (Sierros *et al.*, 2010).

Pada Gambar 2.13, menunjukkan struktur perangkat dasar dan pengaturan konduktor transparan untuk panel sentuh resistif analog empat *wire*. Panel ini menggunakan dua elektroda kontinu yang dipisahkan oleh layar *hemispheres* yang dicetak dari titik-titik polimeris dalam radius 10-100 µm dan terpisah 1-2.5 mm. hanya dibagian tepinya adalah elemen transparan berpola. Perangkat kapasitif permukaan memiliki tipe yang sama pada konduktor kontinu, perangkat kapasitif yang diproyeksikan menggunakan konduktor transparan bertujuan untuk memaksimalkan kepekaan sentuhan.

Resistansi lapisan sangat penting dalam desain sirkuit keseluruhan dan mempengaruhi aspek kinerja seperti waktu respons, akurasi representasi sentuh dan kekuatan aktivasi. Larutan konduktor transparan yang dilapisi juga harus memiliki keseragaman yang sangat baik, linearitas listrik yang sangat kuat yang dipengaruhi dan ditentukan oleh keseragaman ketebalan yang dilapisi. Panel sentuh resistif dirancang untuk beroperasi dengan ambang minimum kekuatan aktivasi. Kekuatan aktivasi merupakan fungsi dari beberapa faktor-faktor lapisan. Konduktor yang muncul biasanya pada permukaan diselangi dengan lapisan konduktif, hal tersebut dapat menambah resistansi antarmuka (Hu *et al.*, 2010).

# 2.2.7 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer adalah alat untuk mengukur transmitansi atau absorbansi suatu sampel. Ultraviolet jauh memiliki rentang panjang gelombang  $\pm 10 - 200$ nm, sedangkan ultraviolet dekat memiliki rentang panjang gelombang  $\pm 200-400$ nm. Interaksi senyawa organik dengan sinar UV dan sinar tampak, dapat digunakan untuk menentukan struktur molekul senyawa organik. Bagian dari molekul yang paling cepat bereaksi dengan sinar tersebut adalah elektron-elektron ikatan dan elektron-elektron nonikatan (elektron bebas). Sinar ultralembayung dan sinar tampak merupakan energi. Apabila mengenai elektron-elektron tersebut maka elektron akan tereksitasi dari keadaan dasar ke tingkat energi yang lebih tinggi.

Eksitasi elektron-elektron ini direkam dalam bentuk spektrum yang dinyatakan sebagai panjang gelombang dan absorbansi, sesuai dengan jenis elektron-elektron yang terdapat dalam molekul yang dianalisis. Makin mudah elektron-elektron bereksitasi makin besar panjang gelombang yang diabsorbsi, sehingga semakin banyak elektron yang bereksitansi, semakin tinggi absrobansi.

Pada spektrofotometri UV-Vis ada beberapa istilah yang digunakan terkait dengan molekul yaitu kromofor, auksokrom, efek batokromik atau pergeseran merah, efek hipsokromik dan hipokromik. Kromofor adalah molekul atau bagian molekul yang mengabsorbsi sinar dengan kuat di daerah UV-Vis misalnya heksana, aseton, asetilen, benzene, karbonil, karbondioksida, karbonmonoksida, dan gas nitrogen. Auksokrom adalah gugus fungsi yang mengandung pasangan elektron bebas berikatan kovalen tunggal yang terikat pada kromofor yang mengintensifkan absorbsi sinar UV-Vis pada kromofor tersebut baik panjang gelobang maupun intensitasnya.

Pada umumnya terdapat dua tipe instrument spektrofotometer yaitu berkas tunggal dan berkas ganda. Pada Gambar 2.14 terdapat diagram spektrofotometer UV-Vis berkas tunggal.



Gambar 2.14 Diagram alat spektrofotometer UV-Vis berkas tunggal.

Pada Gambar 2.14 merupakan spektrofotometer UV-Vis berkas tunggal yang dapat digunakan untuk kuantitatif dengan mengukur absorbansi pada panjang gelombang tunggal. Berkas tunggal instrumen mempunyai beberapa keuntungan yaitu sederhana dan harganya murah. Beberapa instrumen menghasilkan berkas tunggal instrumen untuk pengukuran sinar UV dan sinar tampak.

Sumber cahaya polikromatis merupakan sumber cahaya dengan berbagai macam rentang panjang gelombang. Untuk spektrofotometer UV menggunakan lampu deuterium atau disebut juga lampu hidrogen. Vis menggunakan tungsten yang sering disebut lampu wolfarm. UV-Vis menggunakan photodioda yang telah dilengkapi monokromator.

Monokromator berfungsi sebagai penyeleksi panjang gelombang yaitu mengubah cahaya yang berasal dari sumber sinar polikromatis menjadi cahaya monokromtis. Pada monokromator terdapat pendispersi atau penyebar cahaya. dengan adanya pendisprsi maka hanya satu jenis cahaya atau cahaya dengan panjang gelombang tunggal yang mengenai sel sampel. Sel sampel atau kuvet berfungsi sebagai tempat meletakkan sampel. Detektor akan menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik. Selanjutnya untuk spektrofotometer UV-Vis berkas ganda terdapat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Skema spektrofotometer UV-Vis berkas ganda.

Berkas ganda instrumen dibuat untuk digunakan pada panjang gelombang 190 sampai 750 nm. Berkas ganda mempunyai dua sinar yang dibentuk oleh potongan cermin yang berbentuk V yang disebut pemecah sinar. Sinar pertama melewati larutan dan sinar kedua secara serentak melewati sampel. Sumber cahaya pada spektrofotometer berkas ganda harus memiliki pancaran radiasi yang stabil dan intensitasnya tinggi.

Sumber cahaya yang digunakan ada dua yaitu lampu tungsten dan lampu deuterium. Lampu tungsten digunakan untuk mengukur sampel pada daerah tampak. Bentuk lampu ini mirip dengan bola lampu pijar biasa. Memiliki panjang gelombang antara 350-2200 nm. Spektrum radiasinya berupa garis lengkung. Umumnya memiliki waktu 1000 jam pemakaian. Lampu deuterium memiliki panjangg gelombang 190-380 nm. Memiliki waktu 500 jam pemakaian.

Spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan untuk penentuan terhadap sampel yang berupa larutan, gas atau uap. Pada umumnya sampel harus diubah menjadi suatu larutan yang jernih. Untuk sampel yang berupa larutan perlu diperhatikan beberapa persyaratan pelarut yang dipakai antara lain harus melarutkan sampel dengan sempurna, pelarut yang dipakai tidak mengandung ikatan rangkap terkonjugasi pada struktur molekulnya dan tidak berwarna (tidak boleh mengabsorpsi sinar yang dipakai oleh sampel), tidak terjadi interaksi dengan molekul senyawa yang dianalisis dan kemurniannya harus tinggi. (Suhartati, 2017).

Lee *et al.*, (2016) melakuakan pembuatan lapisan AgNWs menggunakan metode *spray coating* dengan variasi AgNWs, AgNWs polymer composit dan AgNWs polymer bilayer. Hasil transmitansi dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Hasil UV-VIS pada lapisan AgNWs, AgNWs:komposit polimer dan AgNWs/bilayer polimer (Lee *et al.*, 2016).

Pada Gambar 2.16, menggambarkan hasil transmitansi pada lapisan AgNWs, AgNWs:komposit polimer, dan AgNWs/bilayer polimer. Berdasarkan hasil UV-Vis pada panjang gelombang 550 nm lapisan AgNWs komposit polimer menghasilkan nilai transmitansi yang lebih besar dibandingkan dengan yang lain. Pada Gambar 2.17, terdapat hasil UV-Vis lapisan AgNWs dengan variasi kecepatan nosel pada saat penyemprotan.



Gambar 2.17 Hasil UV-Vis dengan variasi kecepatan nosel (Han et al., 2018)

Han *et al.*, (2018) melakuakan penelitian pembuatan lapisan AgNWs dengan metode *spray coating* dengan variasi kecepatan nosel. Pada Gambar 2.16,

menggambarkan hasil UV-Vis dengan variasi kecepatan nosel. Berdasarkan hasil tersebut pada panjang gelombang 550 nm semakin tinggi kecepatan nosel maka tranmitansi yang dihasilkan akan semakin besar. Nilai tertinggi hasil transmitansi tertinggi pada kecepatan nosel 20 mm.s<sup>-1</sup> sebesar 93,8% dan terendah pada kecepatan nosel 20 mm.s<sup>-1</sup> sebesar 67,3%.

#### 2.2.8 SEM

SEM adalah jenis mikroskop elektron yang mencitrakan permukaan sampel oleh pemindaian dengan pancaran tinggi elektron. Elektron ini memberikan inormasi topograi, morfologi, komposisi, orientasi butir dan informasi kristalografi dari suatu bahan. Morfologi menunjukkan bentuk dan ukurannya, sementara topografi menunjukkan fitur permukaan dari suatu objek, teksturnya, kehalusannya atau kekasarannya. Demikian juga, komposisi berarti unsur dan senyawa yang membentuk bahan sedangkan kristalografi berarti susunan atom dalam sampel (Goldstein *and* Yakowitz, 1975; Goldstein *et al.*, 1992; Brabazon *and* Raffer, 2010).

SEM terdiri dari sebuah penembak elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2 sampai 30 kV. Hamburan elektron dan volume interaksi tergantung pada nomor atom, kosentrasi atom dari sampel yan dianalisis dan energi elektron yang masuk. Meningkatnya energi elektron akan meningkatkan volume interaksi dan proses hamburan, jika konsentrasi atom serta jumlahh atom tinggi, maka volume interaksi dan hamburan akan rendah. Bahan-bahan yang memiliki nomor atom lebih tinggi menyerap atau menghentikan lebih banyak elektron karena menghasilkan volume interaksi yang lebih kecil. Jika tegangan tinggi maka akan menghasilkan elektron dengan energi yang tinggi dan akan menembus lebih jauh ke dalam sampel serta menghasilkan volume interaksi yang lebih besar. Hal tersebut akan memancarkan berbagai sinyal karena terdapatt interaksi muatan listrik dari elektron yang masuk dengan inti spesimen dan elekron, seperti elektron sekunder (SE), elektron hambur balik (BSE), foton (sinar-x yang digunakan untuk analisis), dan cahaya tampak (Alyamani *and* Lemine, 2012; Bondeson, 2007).

Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa magnetik untuk menghasilkan gambar berukuran sekitar 10 nm pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk lapisan fotografi ke dalam tabung layar. SEM sangat cocok digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan kasar dengan perbesaran antara 20 kali sampai 500.000 kali. Setelah melalui lensa magnetik terakhir *scanning raster* mendeflesikan berkas elektron untuk men-*scan* permukaan sampel. Hasil *scan* ini tersinkronisasi dengan tabung sinar katoda (CRT) dan gambar sampel akan tampak pada area yang di-*scan*.

Sinyal dikumpulkan oleh pengumpul elektron (detektor), yang kemudian dimanipulasi komputer untuk membentuk gambar yang diperlukan. Menurut sinyal yang terdeteksi (elektron sekunder, elektron hambur balik atau sinar-X) (McMahon, 2007). Dua elektron yang digunakan untuk pembuatan gambar sampel adalah elektron sekunder dan hambur balik. Elektron sekunder dianggap sebagai elektron untuk menunjukkan morfologi sampel dan topografi, sedangkan elektron hambur balik digunakan untuk menunjukkan kontras dalam komposisi sampel (Bondeson, 2007). Tingkat kontras yang tampak pada tabung sinar katoda timbul karena hasil refleksi yang berbeda-beda dari sampel. Sewaktu berkas elektron menumbuk permukaan sampel sejumlah elektron direfleksikan sebagai *back scattered electron* (BSE) dan yang lain membebaskan energi rendah *secondary electron* (SE). Emisi radiasi elektromagnetik dari sampel timbul pada panjang gelombang bervariasi tapi pada dasarnya panjang gelombang yang lebih menarik untuk digunakan adalah daerah panjang gelombang cahaya tampak dan sinar-X. Gambar 2.18, menjelaskan SEM secara skematik.



Gambar 2.18 Diagram skematik SEM (Anonim 3).

Penembak elektron menghasilkan berkas elektron dari filamen. Pada umumnya penembak elektron yang digunakan adalah tungsten hairpin dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan pada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel. Sinar elektron yang terfokus akan dipindai pada keseluruhan sampel dengan diarahkan ke koil pemindai. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron baik SE atau BSE dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT. SE berfungsi untuk menangkap informasi mengenai topografi dan BSE berfungsi untuk menangkap informasi mengenai nomor atom dan topografi. Gambar yang dihasilkan dari SEM dibuat berdasarkan deteksi SE atau BSE yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan elektron.

Elektron-elektron yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada monitor CRT. Di layar CRT inilah gambar struktur objek yang sudah diperbesar dapat dilihat. Struktur objek yang dapat dilihat berupa topografi, morfologi, komposisi dan informasi kristalografi. Topografi yaitu ciri-ciri permukaan dan teksturnya (kekerasan, sifat memantulkan cahaya dan sebagainya). Morfologi yaitu bentuk dan ukuran dari partikel penyusun objek. Komposisi yaitu data kuantitatif unsur dan senyawa yang terkandung di dalam objek. Informasi kristalografi yaitu informasi mengenai bagaimana susunan dari butir-butir di dalam objek yang diamati.

Ergun *et al.*, (2016) melakukan penelitian pada pembuatan lapisan tipis AgNWs untuk aplikasi lapisan pemanas. Larutan AgNWs dilapisi ke substrat menggunakan *air bush* dan tekanan berasal dari nitrogen. Lapisan AgNWs yang dihasilkan kemudian dipanaskan untuk mengetahui suhu maksmimum dari setiap lapisan. Hasil SEM lapisan tipis AgNWs dengan metode *spray coating* pada Gambar 2.19.



**Gambar 2.19** Hasil SEM pada jaringan AgNWs metode *spray coating* dengan kepadatan yang berbeda (a) 0,48 NW  $\mu$ m<sup>-1</sup>, (b) 0,57 NW  $\mu$ m<sup>-1</sup> dan (c) 1,59 NW  $\mu$ m<sup>-1</sup> (Ergun *et al.*, 2016).

Pada Gambar 2.19, menggambarkan hasil SEM pada jaringan AgNWs dengan metode *spray coating*. Hasil lapisan memiliki nilai kepadatan yang berbeda-beda. Kepadatan terendah pada Gambar 2.19.a, nilai kepadatan yang diperoleh sebesar 0,48 NW  $\mu$ m<sup>-1</sup> dan kepadatan tertinggi pada Gambar 2.19.c, dengan nilai kepadatan 1,59 NW  $\mu$ m<sup>-1</sup>. Nilai kepadatan tersebut mempengaruhi hasil resistansi dan transmitansinya. Peningkatan kepadatan lapisan AgNWs akan meningkatkan konduktivitas dan mengurangi resistansi. Di sisi lain, karena ada lebih banyak AgNWs pada sampel yang lebih padat maka transmitansi yang dihasilkan akan semakin berkurang.

Pada lapisan dengan kepadatan 0,48 NW  $\mu$ m<sup>-1</sup> mencapai suhu maksimum 175°C dengan potensial sebesar 11 V, lapisan dengan kepadatan 0,57 NW  $\mu$ m<sup>-1</sup> mencapai suhu maksimum 180 °C dengan potensial sebesar 9 V dan lapisan dengan kepadatan 1,59 NW  $\mu$ m<sup>-1</sup> mencapai suhu maksimum 204 °C dengan potensial 4 V. Pada lapisan dengan kepadatan 0,57 NW  $\mu$ m<sup>-1</sup> dikarakterisasi menggunakan SEM, hasil yang diperoleh terdapat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Hasil SEM dengan kepadatan 0,57 NW μm<sup>-1</sup> (Ergun *et al.*, 2016).

Pada Gambar 2.20, menggambarkan hasil SEM dengan lapisan AgNWs yang mempunyai kepadatan 0,57 NW  $\mu$ m<sup>-1</sup>. Lapisan dengan kepadatan ini gagal untuk menjati lapisan transparan. Hal tersebut dikarenakan pada Gambar 2.20.a, suhu mulai meningkat dengan potensial sebesar 11 V. Mencairanya AgNWs menyebabkan jaringan AgNWs semakin menipis pada Gambar 2.20.b. Saat suhu terus berlanjut AgNWs mulai patah pada Gambar 2.20.c. Hal ini menghasilkan AgNWs yang terputus-putus sehingga meningkatkan resistansi lapisan hingga kiloohms dan kemudian ke megaohms pada Gambar 2.20.d.

Hu *et al.*, (2017) melakukan penelitian pembuatan lapisan tipis AgNWs dengan menggunakan *grazing incidence spraying* (GIS) selama 10 s, 50 s, dan 800 detik. Hasil SEM yang diperoleh terdapat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Hasil SEM lapisan AgNWs menggunakan GIS selama (a) 10 s, (b) 50 s, dan (c) 800 s (Hu *et al.*, 2017).

Pada Gambar 2.21, menggambarkan hasil SEM pada lapisan AgNWs menggunakan *grazing incidence spraying* (GIS) selama 10 s, 50 s, dan 800 s. Semakin meningkatnya waktu penyemprotan dengan menggunakan GIS maka akan semakin meningkat juga jumlah AgNWs yang tersebar sehingga konduktivitas semakin meningkat dan resistansi semakin menurun. Namun, nilai transmitansi yang dihasilkan akan semakin berkurang. Gambar 2.21.c, terdapat AgNWs yang tidak seragam pada lingkaran warna merah. Bagian AgNWs yang tidak selaras menghasilkan nilai kerapatan yang rendah disekitarnya.
## BAB III METODE PENELITIAN

## 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan dari bulan Januari 2019 sampai Mei 2019 di Laboratorium Fisika Material, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung yang berlokasi di Jalan Prof. Dr. Soemantri Brodjonegoro, Bandar Lampung. Uji tansmitansi dan absorbansi di Laboratorium Kimia Analitik Universitas Lampung. Uji resistansi lapisan di Laboratorium Fisika Partikel, Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) Yogyakarta. Karakterisasi SEM di Unit Pusat Teknologi Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi (UPT LTSIT) Universitas Lampung.

## 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Alat penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya *hot plate stirrer* (merk Diab MS-H280-Pro), *gelas* ukur (merk Vitlab), labu *erlenmeyer* (Duran Schott made in Germany), *thermokopel* (merk Lutron TM-902), ultrasonik *cleaner* (Delta D68H, Taiwan), gelas *beaker* (Pyrex), gelas *stainless*, spatula besi, kompresor (Fini *air compressore*, Pioneer), elemen panas, neraca digital (TM *Electronic* 

*Scale*), pinset, tabung tembaga, botol sampel, oven (Kirin), sentrifuge (800D *Centrifuge*), tabung reaksi (Pyrex Iwaaki, Indonesia), jarum suntik 10 ml (*Disposable Sterile Syringe*), gunting, mikro pipet (*Laboratory System* LFA-100), *autoclap* (merk Isolb, Germany) dan alat semprot (*Air Brush Kit* kapasitas 7 CC, diameter nosel 0,2 mm, Merk Benz Werkz).

#### **3.2.2 Bahan penelitian**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya AgNO<sub>3</sub> (Sigma Aldrich), PVP K30 (Namhang Industrial, China), etilen glikol teknis (Citra Sari Kimia), FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O, etanol (Erkamed Alkohol 96%), aquadest, dan substrat polikarbonat.

### **3.3** Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan teknik pelapisan semprot dengan variasi jumlah lapisan sebanyak 1, 2, dan 3 lapisan. Bahan pelapis yang digunakan berupa AgNWs dan pelarut berupa etanol. Metode penelitian yang akan dilakukan meliputi preparasi bahan, pembuatan larutan AgNWs 10%, teknik pelapisan, dan karakterisasi.

#### 3.3.1 Preparasi bahan

Pada tahap ini, mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Hal pertama yang harus dilakukan yaitu mensterilkan alat dengan cara mencuci alat mengunakan ultrasonik *cleaner*. Bahan yang digunakan adalah substrat polikarbonat dan AgNWs. AgNWs diperoleh dengan menggunakan metode *polyol* menggunakan PVP sebagai agen pereduksi dan etilen glikol (EG) sebagai pelarut. PVP ditimbang sebanyak 1,531 gram, ditambah EG 30 ml, di*stirrer* pada suhu 130 °C dan 350 rpm selama 1 jam. Kemudian menambahkan FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O sebanyak 100 µl dengan kosentrasi 0,04 M, menambahkan AgNO<sub>3</sub> sebanyak 12 ml dengan kosentrasi 0,5 M dengan cara tetes demi tetes selama 1 jam, dan *stirrer* selama 2 jam. Setelah 2 jam, larutan AgNWs didinginkan pada suhu ruang selama 30 menit. Larutan AgNWs yang sudah didinginkan, dicuci mengguanakan etanol dengan cara menungkan larutan AgNWs ke tabung reaksi, ditambahkan etanol, disentrifuge selama 5 menit dengan kecepatan 3000 rpm sebanyak tiga kali sehingga akan terbentuk endapan AgNWs. Endapan AgNWs yang terbentuk dipindahkan ke *auto clap*. Skematik pembuatan AgNWs pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skematik pembuatan AgNWs.

### 3.3.2 Pembuatan larutan AgNWs 10%

Larutan AgNWs 10% merupakan sumber bahan pelapis yang akan dilapisi diatas substrat polikarbonat. Skematis pembuatan larutan AgNWs 10 % terdapat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skematis pembuatan AgNWs 10%.

Untuk membuat larutan AgNWs 10% berlaku rumus perhitungan sebagai berikut:

$$Kadar AgNWs = \frac{gram AgNWs}{gram etanol + gram AgNWs} \times 100\%$$
(3.1)

$$V = \frac{m}{\rho} \tag{3.2}$$

Cara melakukan penimbangan AgNWs yaitu botol sampel kosong ditimbang terlebih dahulu kemudian dicatat beratnya. Larutan AgNWs dituangkan ke dalam botol sampel kemudian menunggu larutan AgNWs tersebut menguap dan sampai setengah kering. Setelah setengah kering, ditimbang kembali dan dicatat beratnya. Berat AgNWs merupakan selisih berat antara botol sampel berisi AgNWs setengah kering dengan botol sampel kosong. AgNWs yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam gelas *beaker* dan ditambahkan etanol, kemudian di*stirrer* selama 10 menit.

## 3.3.3 Teknik pelapisan

Pada tahap ini dilakukan teknik pelapisan menggunakan teknik spray coating dengan variasi perulangan pelapisan sebanyak 1, 2, dan 3 perulangan.

Substrat yang digunakan untuk pelapisan yaitu substrat polikarbonat. Ilustrasi teknik pembuatan lapisan tipis AgNWs dengan *spray coating* (Gambar 3.3).



Gambar 3.3 Teknik spray coating lapisan tipis AgNWs.

Pada tahap ini dilakukan dengan cara menuangkan bahan pelapis berupa larutan AgNWs 10% ke dalam wadah yang berada pada alat semprot sebagai sumber pelapis. Setelah itu menyambungkan alat semprot dengan kompresor. Kompresor tersebut berfungsi untuk memberikan tekanan udara pada alat semprot sehingga larutan bisa tersebar pada substrat. Pada selang kompresor ditambahkan tabung tembaga yang dililitkan elemen panas yang bertujuan untuk mengalirkan tekanan udara berupa uap. Tabung tembaga dipanaskan dengan suhu 60 °C menggunakan plat pemanas.

Bahan pelapis yang digunakan untuk 1 perulangan pelapisan sebanyak 5 ml dalam 10% larutan AgNWs. Pada saat penyemprotan, substrat sambil dipanaskan di atas plat pemanas dengan suhu 90 °C, tekanan 1,5 bar sampai 1 bar, dan jarak semprot antara nosel dengan substrat sebesar 10 cm. Penyemprotan dilakukan sampai bahan pelapis habis dan tersebar merata di atas substrat. Setelah bahan pelapis tersebar merata, dilakukan pengeringan lapisan dengan cara di oven pada suhu 90 °C selama 15 menit. Terbentuk lapisan tipis AgNWs. Kemudian dilakukan berulang sesuai dengan jumlah perulangan pelapisan.

## 3.3.4 Karakterisasi

Lapisan tipis AgNWs yang dihasilkan akan diuji menggunakan FPP untuk mengetahui nilai resistansi, uji spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui nilai transmitansi dan absorbansi serta karakterisasi SEM untuk mengetahui struktur permukaan dan ketebalan lapisan.

### 3.3.4.1 FPP

Uji resistansi lapisan tipis AgNWs dilakukan dengan menggunakan alat FPP. Pada alat FPP terdapat 4 probe yang terhubung sejajar dengan jarak antar probe yang sama. Bagian dua probe terluar merupakan nilai arus dan bagian dua probe dalam adalah nilai tegangan. Pada pengukuran resistansi lapisan AgNWs dilakukan dengan cara menerapkan 4 probe sejajar di atas lapisan AgNWs. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik untuk mendapatkan hasil yang optimum. FPP yang digunakan yaitu VEECO FPP-5000 seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 VEECO FPP-5000.

VEECO FPP-5000 memiliki 4 titik probe yang dapat mengukur bahan bersifat semikonduktor dan film resistif. Alat ini merupakan elektronik berbasis mikroprosesor yang secara langsung akan mendeteksi perhitungan V / I, resistansi lapisan, resistivitas lapisan, ketebalan lapisan, dan pengujian tipe P-N. Alat ini beroperasi pada tegangan 220/240 V (AC)/50 Hz dengan spesifikasi jangkau ukur seperti ditunukkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Spesifikasi alat ukur FPP-5000.

Pengukuran	Batas Ukur
V/I()	$0,250 \ge 10^{-3} - 0,999 \ge 10^{5}$
Resistansi lapisan ( /sq)	$1,100 \ge 10^{-4} - 0,450 \ge 10^{\circ}$
Resistivitas ( cm)	$0,419 \ge 10^{-4} - 0,450 \ge 10^{3}$
Ketebalan (Å)	0 - 0,243 x $10^8$
Tipe	N atau P

Sampel yang akan diuji, dipotong dengan ukuran 1 x 2 cm dan dimasukkan ke tempat sampel pada posisi terbalik. Alat akan mendeteksi secara otomatis nilai V / I, resistansi lapisan, resistivitas lapisan, ketebalan lapisan, dan tipe P-N. Langkah-langkah pengujian FPP yaitu pertama menyiapkan sampel lapisan AgNWs yang akan diamati. Meletakkan sampel pada holder FPP-5000 dengan permukaan sampel yang diukur menghadap ke bawah dan posisi tegak. Menghidupkan unit FPP-5000 dengan menggeser saklar daya ke posisi on sehinggga LED menyala dan pada layar LED menampilkan angka 8,888 x 10<sup>8</sup>. Menutup sampel dengan *backing plate* yang sesuai pada FPP-5000.

Menekan tombol SELF TEST kemudian setelah itu menekan tombol CLEAR. Memulai pengukuran dengan cara menekan penutup FPP-5000 tepat dimana sampel berada dan menekan tombol TYPE sehingga indikator pada LED tombol V/I menyala dan pada layar FPP-5000 menunjukkan nilai resistansi dan tipe konduksi yang muncul dari sampel. Menekan tombol SHEET sehingga muncul pada layar, untuk mengetahui nilai resistansi lapisan. Menekan tombol SLICE sehingga muncul pada layar, untuk mengetahui nilai resistivitas jenis bahan. Menekan tombol THICK sehingga muncul pada layar, untuk mengetahui ketebalan lapisan tipis. Mencatat hasil yang diperoleh.

### 3.3.3.2 Spektrofotometer UV-Vis

Uji resistansi dan transmitansi menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis. Alat yang digunakan yaitu *cary series* UV-Vis *spectrophotometer* tipe *cary* 100 UV-Vis seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Cary series UV-Vis spectrophotometer tipe cary 100 UV-Vis.

Pada pengujian digunakan sumber cahaya berupa lampu UV dan blanko berupa polikarbonat. Sampel lapisan tipis AgNWs dipotong dengan ukuran 1 x 4 cm. Sampel diletakkan langsung tanpa menggunakan kuvet. Alat spektrofotometer akan membaca hasil transmitansi dan absorbansi yang dihasilkan sampel dari panjang gelombang 300 nm sampai 800 nm. Hasil transmitansi dan absorbansi kemudian dianalisis untuk mengetahui nilai reflektansi, indeks bias, konduktivitas optik, dan energi gap menggunakan aplikasi Microsoft Excel dan Origin.

#### 3.3.3.3 SEM

Karakterisasi SEM bertujuan untuk melihat struktur morfologi permukaan dan ketebalan lapisan. Sampel lapisan tipis AgNWs dipotong dengan ukuran 0,5 x 0,5 cm untuk melihat struktur morfologi permukaan dan 0,1 x 0,5 cm untuk melihat ketebalan lapisan. Sampel yang telah dipotong kemudian diletakkan di koil tempat untuk meletakkan sampel pada posisi datar dan posisi lintang. Pada posisi datar untuk melihat struktur morfologi permukaan lapisan dan posisi lintang untuk melihat ketebalan lapisan. Sebelum dilakukan pengujian SEM, sampel terlebih dahulu di*coating* dengan alat quarum Q-150R ES seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.6 (a) Alat *coating* quarum Q-150R ES dan (b) proses pelapisan.

Alat *coating* quarum Q-150R ES di vakum terlebih dahulu selama 30 menit. Setelah divakum, sampel yang telah diletakkan di koil kemudian dimasukkan ke alat *coating* untuk proses pelapisan dengan emas (Au). Pada saat pelapisan, sampel akan berputar dan disinari oleh Au sehingga sampel akan terlapisi dengan Au. Sampel yang sudah dilapisi Au kemudian dipindahkan ke alat SEM ZEISS EVO MA10 seperti Gambar 3.7.



Gambar 3.7 SEM ZEISS EVO MA10.

SEM ZEISS EVO MA10 akan mendeteksi struktur morfologi permukaan dan ketebalan lapisan. Setelah terdeteksi akan dilakukan pengambilan gambar. Sebelum melakukan pengambilan gambar dilakukan *control oke* terlebih dahulu di titik manapun, hal tersebut dilakukan untuk mengecek alat bermasalah atau tidak. Setelah alat tidak bermasalah selanjutnya dilakukan pengambilan gambar struktur morfologi permukaan lapisan menggunakan perbesaran 1000x, 5000x, dan 10000x serta ketebalan lapisan menggunakan perbesaran 500x.

Hasil struktur morfologi permukaan dan ketebalan lapisan dianalisis dengan menggunakan ImageJ untuk mengetahui diameter dan panjang AgNWs serta ketebalan lapisan yang diperoleh. Langkah-langkah menggunakan ImageJ sebagai berikut:

a. Langkah pertama, membuka aplikasi ImageJ→ File→ Open→ Data SEM (LAP 3 2), seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Langkah pertama analisis ImageJ.

b. Langkah kedua plih *straight*→ tarik garis pada skala → *analyze*→ *set scale*→*know distance* dan *unit of length* diubah sesuai dengan skala gambar. Dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Langkah kedua analisis ImageJ

c. Langgkah ketiga, analyze  $\rightarrow$  set measurement  $\rightarrow$  klik add to overlay dan

• × (Fiji Is Just) ImageJ File Edit Image Process Analyze Plugins Window Help TEM DOBOZA+ AARD M. M. 0 x=260.77 (452), y=38.08 (66), value=029.029.029 (#1d1d1d) Area 🔽 Mean gray value LAP 3 2.jpg (75%) 590 77x443 08 um (1074x768); RGB Standard dev Modal gray value Min & max gray value Centroid Center of mass Perimeter Fit ellipse Bounding rectangl Shape descriptors Feret's dia Integrated density Median Kurtosia Skewness Area fraction Stack positio Limit to threshold Display label Invert Y coordinates thic no Add to overla NaN empty cells Redirect to: IN \* Decimal places (0-9): 3 OK Cancel Help Mag = 500 X WD = 9.5 mm Signal A = SE1 EHT = 20.00 kV Date :25 May 2019 Time :12:36:58 UPTLTSIT 24

display label. Dapat dilihat pada Gambar 3.10.

Gambar 3.10 Langkah ketiga analisis ImageJ.

d. Langkah keempat, tarik garis pada bagian yang ingin diukur → CTRL M.

akan muncul *result*. Dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Langkah keempat analisis ImageJ.

#### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini dimulai dari preparasi bahan, membuat larutan AgNWs 10%, teknik *spray coating*, karakterisasi (sifat optik dengan spektrofotometer UV-Vis, sifat kelistrikan dengan FPP, struktur morfologi dan ketebalan lapisan dengan SEM), analisis data, dan penulisan laporan. Diagram alir penelitian terdapat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Diagram alir penelitian.

# BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1. Meningkatnya jumlah perulangan pelapisan mengakibatkan transmitansi dan resistansi semakin menurun dan konduktivitas semakin meningkat.
- Transmitansi lapisan tipis AgNWs dengan variasi 1, 2, dan 3 perulangan berturut-turut sebesar 46,16%; 34,20%; dan 23,81%. Hasil transmitansi berbanding terbalik dengan Absorbansi. Puncak absorbansi terbaik terdapat pada variasi 3 perulangan pada panjang gelombang 350 nm yang mengindikasikan Ag hanya dalam bentuk NWs.
- 3. Resistansi yang dihasilkan pada lapisan tipis AgNWs dengan variasi 1, 2, dan
  3 perulangan berturut-turut sebesar 119,2 .sq<sup>-1</sup>; 20,6 .<sup>-1</sup>; dan 4,98 .sq<sup>-1</sup>.
  Nilai resistansi pada variasi 2 dan 3 perulangan sesuai dengan nilai resistansi ITO.
- 4. Pada hasil morfologi permukaan menunjukkan terjadi deformasi panjang AgNWs antara larutan AgNWs 10% dan lapisan tipis AgNWs sehingga menyebabkan transmitansi yang dihasilkan sangat rendah. Semakin rendahnya transmitansi, ketebalan lapisan AgNWs semakin meningkat. Ketebalan lapisan

tipis AgNWs dengan variasi 1, 2, dan 3 perulangan berturut-turut sebesar 44,2  $\mu$ m; 69,1  $\mu$ m; dan 100,028  $\mu$ m.

## 5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, diharapkan untuk penelitian selanjutnya menggunakan alat *spray coating* otomatis untuk mendapatkan transmitansi dan resistansi yang lebih baik. Pada saat pembuatan lapisan AgNWs diharapkan pada kondisi ruang vakum untuk mencegah terjadinya interaksi larutan AgNWs dengan udara.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- 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-Dahoudi, N. 2003. Wet chemical deposition of transparent conducting coatings made of redispersable crystalline ITO nanoparticles on glass and polymeric substrates. *Doctoral Dissertation*. Universität des Saarlandes.
- Al-Jalali, M.A., and Saif, A.M. 2015. Phonon bloch gruneisen function and its application to noble metal resistivity. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. 102 (2), 233-245.
- Alyamani, A., and Lemine, O. M. 2012. FE-SEM characterization of some nanomaterial. Kazmiruk. London.
- 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.
- Anonim 1. 2019. Basic of thermal spray technology. *https://www.gtv-mbh.com/*. Diakses *online* pada tanggal 13 Januari 2019 pukul 09.00.
- Anonim 2. 2019. Spray gun. http://2.5.7.datschmeckt.de/wiring/paint-gundiagram.html. Diakses online pada tanggal 12 Januari 2019 pukul 15.00 WIB.
- Anonim 3. 2019. Scanning electron microscope (SEM) and how it works. http://emicroscope.blogspot.com/2011/03/scanning-electron-microscopesem-how-it.html. Diakses online pada tanggal 12 Januari 2019 pukul 15.30
- Anggraeni, N D. 2008. Analisa SEM (scanning electron microscopy) dalam pemantauan proses oksidasi magnetite menjadi hematite. *Seminar Nasional Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri*.

- Artukovic, E., Kaempgen, M., Hecht, D. S., Roth, S., and Grüner, G. 2005.Transparent and flexible carbon nanotube transistors. *Nano Letters*. 5(4), 757–760.
- Attia, G., and El-kader, A.M.F.H. 2013. Structural, optical and thermal characterization of PVA/2HEC polyblend films. *International Journal of Electrochemical Science*. 8(4), 5672-5687.
- Azulai, D., Belenkova, T., Gilon, H., Barkay, Z., and Markovich, G. 2009. Transparent metal nanowire thin films prepared in mesostructured templates. *Nano Letters*. 9(12), 4246–4249.
- Bae, S., Kim, H., Lee, Y., Xu, X., Park, J.-S., Zheng, Y., and Iijima, S. 2010. Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes. *Nature Nanotechnology*. 5(8), 574–578.
- Basarir, F., Irani, F. S., Kosemen, A., Camic, B. T., Oytun, F., Tunaboylu, B., and Choi, H. 2017. Recent progresses on solution-processed silver nanowire based transparent conducting electrodes for organic solar cells. *Materials Today Chemistry*. 3, 60–72.
- Behnam, A., Noriega, L., Choi, Y., Wu, Z., Rinzler, A. G., and Ural, A. 2006. Resistivity scaling in single-walled carbon nanotube films patterned to submicron dimensions. *Applied Physics Letters*, 89(9), 093107.
- Bernal, A M., Angel M. A, and Verdugo, M. V. 2016. Fabrication and study of thin transparent conductive films prepares by spin coating from metal nanowires. *Ingenieria y Competitividad*. 18(2), 125-132.
- Bid, A., Bora, A., and Raychaudhuri, A.K. 2006. Temperature dependence of the resistance of metallic nanowires of diameter \_15 nm: applicability of Bloch-Grüneisen theorem. *Physics Reviews*. 74, 035426.
- Blake, P., Paul, D. B., Rahul, R. N., Tim, J. B., Da, J., Fred, S., Leonid, A. P., Sergey, V. M., Helen, F. G., Ernie, W. H., Andre, K. G., and Kostya, S. N. 2003. Graphene-based liquid crystal device. *Nano letters*. Vol. 8. No.6. 1704-1708.
- Blake, P., Brimicombe, P. D., Nair, R. R., Booth, T. J., Jiang, D., Schedin, F., and Novoselov, K. S. 2008. Graphene-based liquid crystal device. Nano Letters. 8(6), 1704–1708.
- Bondeson, D. 2007. *Biopolymer-based nanocomposites: processing and properties*. Norwegian University of Science and Technology. Trondheim.
- Budhiraja, N., Sharma, A., Dahiya, S., and Parmar, R. 2013. Synthesis and optical characteristics of silver nanoparticles on different substrates. *Chemistry*, *physics, and astronomy*. 19, 80-88.

- Brabazon, D., and Raffer, A. 2010. *3 advanced characterization techniques for nanostructures*. William Andrew Publishing. Boston.
- Cao, Q., Hur, S. H., Zhu, Z. T., Sun, Y. G., Wang, C. J., Meitl, M. A., and Rogers, J. A. 2006. Highly bendable, transparent thin-film transistors that use carbon-nanotube-based conductors and semiconductors with elastomeric dielectrics. Advanced Materials. 18(3), 304–309.
- Cheong, H. G., Triambulo, R. E., Lee, G. H., Yi, I. S., *and* Park, J.W. 2014. Silver nanowire network transparent electrodes with highly enhanced flexibility by welding for application in flexible organic light-emitting diodes. *American Chemical Society Applied Materials and Interfaces*. 6(10), 7846–7855.
- Chen, T. G., Huang, B. Y., Liu, H. W., Huang, Y. Y., Pan, H. T., Meng, H.-F., and Yu, P. 2012. Flexible silver nanowire meshes for high-efficiency microtextured organic-silicon hybrid photovoltaics. *American Chemical Society Applied Materials and Interfaces*. 4(12), 6857–6864.
- Cheng, Z., Liu, L., Xu, S., Lu, M., *and* Wang, X. 2015. Temperature dependence of electrical and thermal conduction in single silver nanowire. *Scientific Reports*. 5(10728), 1-12.
- Choi, D. Y., Kang, H. W., Sung, H. J., Kim, S. S., Cohen, E., and Gutoff, E. 2013. Modern coating and drying technology. Choosing the Coating Method; Nanoscale. 5(3), 977–983.
- Chu, H. C., Chang, Y. C., Lin, Y., Chang, S.H., Chang, W. C., Li, G. A., and Tuan, H.Y. 2016. Spray-deposited large-area copper nanowire transparent conductive electrodes and their uses for touch screen applications. *American Chemical Society Applied Materials and Interfaces*. 8, 13009– 13017.
- Cohen, E., and Gutoff, E. 1992. Modern coating ang drying technology. In Choosing the Coating Method. 6-7.
- Coskun, S., Aksoy, B., *and* Unalan, H. E. 2011. Polyol synthesis of silver nanowires: An extensive parametric study. *Crystal Growth*. 11, 4963–4969.
- Coskun, S., Selen, A. E., *and* Unalan, H. E. 2013. Optimization of silver nanowire networks for polymer light emitting diode electrodes. *Nanotechnology*. 24(12), 1-8.
- Dai, H. 2002. Carbon nanotubes: opportunities and challenges. *Surface Science*. 500(1-3), 218–241.
- Dan, B., Irvin, G. C., and Pasquali, M. 2009. Continuous and scalable fabrication of transparent conducting carbon nanotube ilms. American Chemical Society Nanomaterials. 3(4), 835-843.

- De, S., Higgins, T. M., Lyons, P. E., Doherty, E. M., Nirmalraj, P. N., Blau, W. J., and Coleman, J. N. 2009. Silver nanowire networks as flexible, transparent, conducting films: extremely high DC to optical conductivity ratios. *American Chemical Society Nanomaterials*. 3(7), 1767–1774.
- De, S., and Coleman, J. N. 2011. The effects of percolation in nanostructured transparent conductors. *Materials Reaserch Society Bulletin.* 36(10), 774-781.
- 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.
- Elechiguerra, J. L., Larios-Lopez, L., Liu, C., Garcia-Gutierrez, D., Camacho-Bragado, A., and Yacaman, M. J. 2005. Corrosion at the nanoscale: the case of silver nanowires and nanoparticles. *Chemistry of Materials*. 17(24), 6042–6052.
- Ellmer, K. 2012. Past achievements and future challenges in the development of optically transparent electrodes. *Nature Photonics*. 6(282), 809–817.
- Ergun, O., Coskun, S., Yusufglu, Y., *and* Unala, H. E. 2016. High-performance, bare silver nanowire network transparent heaters. *Nanotechnology*. 27 (44), 1-9.
- Fenn, J. 2010. Society of Vacuum Coatings. Orlando.
- Friedler, I., Laalanne, P., Hugonim, J.P., Claudon, J., Gerard, J.M., Beveratos, A., and Robert-Philip, I. 2008. Efficient photonic mirrors for semiconductor nanowires. Optics Letters. 33(22), 2635-2637.
- Fuhrer, M. S., Nygård, J., Shih, L., Forero, M., Yoon, Y.G., Mazzoni, M. S. C., Choi, H. J., Ihm, J., Louie, S. G., Zettl, A., and Mceuen, P. L. 2000. Crossed nanotube junctions. *Science*. 288(5465), 494-497.
- Gadelmawla, E. S., Koura, M. M., Maksoud, T. M. A., Elewa, I. M., and Soliman, H. H. 2002. Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology*. 123(1), 133–145.
- Gao, H., Xiao, F., Ching, C. B., and Duan, H. 2012. Flexible all-solid-state asymmetric supercapacitors based on free-standing carbon nanotube/graphene and Mn3O4 nanoparticle/graphene paper electrodes. *American Chemical Society Applied Materials and Interfaces*. 4(12), 7020– 7026.
- Gao, J., Kempa, K., Giersig, M., Akinoglu, E. M., Han, B., and Li, R. 2016. Physics of transparent conductors. Advances in Physics. 65(6), 553– 617.

- Gaynor, W., Lee, J.Y., and Peumans, P. 2009. Fully solution-processed inverted polymer solar sells with laminated nanowire electrodes. American Chemical Society Nanomaterials. 4(1), 30–34.
- Gaynor, W., Hofmann, S., Christoforo, M. G., Sachse, C., Mehra, S., Salleo, A., and Leo, K. 2013. White OLEDs: color in the corners: ITO free white OLEDs with angular color stability. Advanced Materials. 25(29), 4060– 4060.
- Ghatak, A., *and* Thyagarajan, K. 1989. *Optical Electronics*. Physics Departement. Indian Institute of Technologi. New Delhi.
- Ginley, D., Hosono, H., and Paine, D.C. 2010. Handbook of transparent conductors. Springer Science and Business Media.
- Goldstein, J. K., and Yakowitz, H. 1975. *Practical scanning electron microscopy: electron and ion microprobe analysis*. Plenum Press. New York.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Echlin, P., and Joy, D. C. 1992. *Scanning electron microscopy and x-ray microanalysis*. Plenum Press. New York.
- Graco, 2015. The basic of airless spraying (information on basic component, spray techniques and safety). Minneapolis. North America.
- Guo, F., Azimi, H., Hou, Y., Przybilla, T., Hu, M., Bronnbauer, C., and Brabec, C. J. 2015. High-performance semitransparent perovskite solar cells with solution-processed silver nanowires as top electrodes. *Nanoscale*. 7(5), 1642–1649.
- Han, K., Xie, M., Zhang, L., Yan, L., Wei, J., Ji, G., Luo, Q., Lin, J., Hao, Y., and Ma, C-Q. 2018. Fully solution processes semi-transparent provskite solar cells with spray coated silver nanowires/ZnO composite to electrode. Solar Energy Materials and Solar Cells. 185, 399-405.
- Hecht, D., Hu, L., and Grüner, G. 2006. Conductivity scaling with bundle length and diameter in single walled carbon nanotube networks. Applied Physics Letters. 89(13), 133112.
- 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.
- Hewson, A. C., and Kondo, J. 2009. Efek kondo. Scholarpedia . 4(3). 7529.
- Hsu, H. W., and Liu, C. L. 2014. Spray-coating semiconducting conjugated polymers for organic thin film transistor applications. *Research Scinces Cemistru Advance*. 4, 30145–30149.

- Hu, L., Hecht, D. S., *and* Grüner, G. 2004. Percolation in transparent and conducting carbon nanotube networks. *Nano Letters*. 4(12), 2513–2517.
- Hu, L., Kim, H. S., Lee, J.Y., Peumans, P., and Cui, Y. 2010. Scalable coating and properties of transparent, flexible, silver nanowire electrodes. American Chemical Society Nano. 4(5), 2955–2963.
- Hu, H., Pauly, M., Felix, O., and Decher, G. 2017. Spray-assisted alignment of layer by layer assembled silver nanowires: a general approach for the preparation of highly anisotropic nano-composite film. *Nanoscale*. 9(3), 1307-1314.
- Hung, T Chin., Sui-Ying, H., Tsung-Wei, H., Yu-Tang, T., Yan-Fang, C., Jhang, Y. H., and Chung-Chun, L. 2011. Influences of textures in fluorine-doped tin oxide on characteristics of dye-sensitized solar cells. Organic Electronics. 12(12), 2003–2011.
- Iijima, S., and Ichihashi, T. 1993. Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter. Nature. 363(6430), 603–605.
- Jiang, X., Wong, F. L., Fung, M. K., and Lee, S. T. 2003. Aluminum-doped zinc oxide films as transparent conductive electrode for organic light-emitting devices. Applied Physics Letters. 83(9), 1875–1877.
- Johan, M. R., Azri, N., Aznan, K., Yee, S. T., Ho, I. H., Ooi, S. W., Singho, N. D., *and* Aplop, F. 2014. Synthesis and growth mechanism of silver nanowires through different mediated agents (CuCl<sub>2</sub> and NaCl) polyol process. *J. Nanomaterials.* 1-7.
- Junaidi., Triyana, K., Harsojo., and Suharyadi, E. 2016 Chloride ion addition for controlling shapes and properties of silver nanorods capped by polyvinyl alcohol synthesized by polyol method. International conference on advanced materials science and technology. 5.
- Junaidi, Triyana, K., Harsojo., and Suharyadi, E. 2017. High-performance silver nanowires film on flexible substrate prepares by meyer-rod Coating. The 4th International Conference on Advanced Materials Science and Technology. 49(202), 174-180.
- Kaempgen, M., Duesberg, G. S., and Roth, S. 2005. Transparent carbon nanotube coatings. Applied Surface Science. 252(2), 425–429.
- Kang, M. G., and Guo, L. J. 2007. Nanoimprinted semitransparent metal electrodes and their application in organic light-emitting diodes. Advanced Materials. 19(10), 1391–1396.
- Khalig, H. H. 2016. Silver nanowires transparent electrodes for device application. *Tesis*. University o Waterloo.
- Khaligh, H. H., *and* Goldthorpe, I. A. 2013. Failure of silver nanowire transparent electrodes under current flow. *Nanoscale Research Letters*. 8(1), 235.

- Khopkar, S. M. 2002. Konsep dasar kimia analitik., terjemahan basic concepts of analytical chemistry. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Kim, T., Canlier, A., Kim, G. H., Choi, J., Park, M., and Han, S. M. 2013. Electrostatic spray deposition of highly transparent silver nanowire electrode on flexible substrate. *American Chemical Society Applied Materials and Interfaces*. 5(3), 788–794.
- Kistler, S. F., *and* Schweizer, P. M. 1997. Liquid film coating: scientific principles and their technological implications. *Chapman and Hall*. New York.
- Kondo, J. 1969. Solid state physics. Academic. New York. 23, 184.
- Krantz, J. 2016. *Transparent and opaque electrode materials processes from solution for application in thin film organic electronics*. Technischen fakultat, Friedrich alexxander universitat. Erlangen Nurnberg.
- 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), 452001.
- Lagrange, M., Langley, D. P., Giusti, G., Jiménez, C., Bréchet, Y., and Bellet, D. 2015. Optimization of silver nanowire-based transparent electrodes: effects of density, size and thermal annealing. *Nanoscale*. 7(41), 17410–17423.
- Leatham, A. 1999. Spray forming: alloys, products *and* markets. *Metal Powder Report*. 54(28-37).
- Lee, J., Lee, I., Kim, T.S., *and* Lee, J.Y. 2013. Efficient welding of silver nanowire networks without post-processing. *Small*. 9(17), 2887–2894.
- Lee, J. Y., Dongkyun, S., and Jongwoon, P. 2016. Fabrication of silver nanowires based stretchable electrodes using spray coating. *Thin Solid Film*. 608, 34-43.
- Li, C., Thostenson, E. T., and Chou, T.-W. 2008. Sensors and actuators based on carbon nanotubes and their composites: a review. *Composites Science and Technology*. 68(6), 1227–1249.
- Li, B., Ye, S., Stewart, I. E., Alvarez, S., *and* B. J. 2015. Synthesis and purification of silver nanowires to make conducting films with a transmittance of 99%. *Nano Letters*. 15(10), 6722–6726.
- 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.
- Lu, W., Xie, P., and Lieber, C. M. 2008. Nanowire transistor performance limits and applications. Trans on Electro Device. 55(11), 2859-76.

- Matula, R.A. 1979. Electrical resistivity of copper, gold, palladium, and silver. *Physc Chemistry*. 8, 1147-1298.
- Mayousse C., Celle, C., Carella, A., and Simonato, J. P. 2014. Synthesis and purification of long copper nanowires. Application to high performance flexible transparent electrodes with and without PEDOT:PSS. Nano Research. 7, 315–324.
- Mi, H.-Y., Li, Z., Turng, L.-S., Sun, Y., *and* Gong, S. 2014. Silver nanowire/thermoplastic polyurethane elastomer nanocomposites: Thermal, mechanical, and dielectric properties. *Materials and* Design. 56, 398–404.
- Minami, T. 2008. Present status of transparent conducting oxide thin-film development for indium-tin-oxide (ITO) substitutes. *Thin Solid Films*. 516, 5822–5828.
- Miller, M.S., O'Kane, J.C., Niec, A., Carmichael, R.S., and Carmichael, T.B. 2013. Silver nanowire/optical adhesive coatings as transparent electrodes for flexible electronics. American Chemical Society Applied Materials and Interfaces. 5, 10165–10172.
- McMahon, G. 2007. Analytical instrumentation: A guide to laboratory, portable and miniaturized instruments (1st). Wiley. Chichester.
- Naranjo, E. J., González-Ortiz, L. J., Apátiga, L. M., Rivera-Muñoz, E. M., and Manzano-Ramírez, A. 2016. Transparent electrodes: a review of the use of carbon-based nanomaterials. *Journal of Nanomaterials*. 1–12.
- Nirmalraj, P. N., Lyons, P. E., De, S., Coleman, J. N., and Boland, J. J. 2009. Electrical connectivity in single-walled carbon nanotube networks. *Nano Letters*. 9(11), 3890–3895.
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Katsnelson, M. I., Grigorieva, I. V., and Firsov, A. A. 2005. Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene. *Nature*. 438(7065), 197–200.
- O'Connor, B., Haughn, C., An, K.H., Pipe, K. P., *and* Shtein, M. 2008. Transparent and conductive electrodes based on unpatterned, thin metal films. *Applied Physics Letters*. 93(22), 1-4.
- Obraztsov, AN. 2009. Chemical vapour deposition: making grapheme on a large scale. *Nature Nanotechnology*. 4, 212-213.
- Pettersson, L. A. A., Roman, L. S., and Inganäs, O. 1999. Enhanced photo conversion efficiency utilizing interference inside organic heteroj unction photovoltaic devices. Synthetic Metals. 102(1-3), 1107.
- Pode, R. B., Lee, C. J., Moon, D. G., and Han, J. I. 2004. Transparent conducting metal electrode for top emission organic light-emitting devices: Ca–Ag double layer. Applied Physics Letters. 84(23), 4614–4616.

- 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. J. Materials Chemistry. 2(7), 1248–1254.
- Rathmell, A. R., Bergin, S. M., Hua, Y.L., Li, Z.Y., *and* Wiley, B. J. 2010. The growth mechanism of copper nanowires and their properties in flexible, transparent conducting ilms. *Advanced Materials*. 22(32), 3558–3563.
- Rathmell, A.R., *and* Wiley, B.J. 2011. The synthesis and coating of long, thin copper nanowires to make flexible, transparent conducting films on plastic substrates. *Advanced Materials*. 23, 4798–4803.
- Rinzler, A. G., Liu, J., Dai, H., Nikolaev, P., Huffman, C. B., Rodríguez-Macías, F. J., and Smalley, R. E. 1998. Large-scale purification of single-wall carbon nanotubes: process, product, and characterization. Applied Physics Materials Science and Processing. 67(1), 29–37.
- Robert, C. T. 1994. Thermal spray coating. Surface Engineering. 5, 497-509.
- Sachse, C., Müller-Meskamp, L., Bormann, L., Kim, Y. H., Lehnert, F., Philipp, A., Beyer, B., and Leo, K. 2013. Transparent, dip-coated silver nanowire electrodes for small molecule organic solar cells. Organic Electronics, physics, Materials Applied. 14(1), 143–148.
- Schniepp, H. C., Kudin, K. N., Li, J. L., Prud'homme, R. K., Car, R., Saville, D. A., and Aksay, I. A. 2008. Bending properties of single functionalized graphene sheets probed by atomic force microscopy. American Chemical Society Nanomaterials. 2(12), 2577–2584.
- Selzer, F., Weib, N., Kneppe, D., Bormann, L., Sachse, C., Gaponik, N., Eychmuller, A., Leo, K., and Meskamp, L. M. 2015. A spray coating process for highly conductive silver nanowires network as the transparent top-electrode for small molecule organic photovoltaics. *The Royal Society of Chemistry*. 7(6), 2777–2783.
- Seo, Y.M., Cho, H.J., Jang, H.S., Jang, W., Lim, J.-Y., Jang, Y., and Whang, D. 2018. 2D Doping layer for flexible transparent conducting graphene electrodes with low sheet resistance and high stability. Advanced Electronic Materials. 4(6), 1700622.
- Setiawan, A. 2008. Uji sifat listrik dan optic Ba<sub>0,25</sub>Sr<sub>0,75</sub>TiO yang didadah niobium (BSNT) ditumbuhkan di atas substrat silicon tipe-p dan gelas korning dengen penerapannya sebagai fotodiode. Fisika. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sierros, K. A., Hecht, D. S., Banerjee, D. A., Morris, N. J., Hu, L., Irvin, G. C., and Cairns, D. R. 2010. Durable transparent carbon nanotube films for flexible device components. *Thin Solid Films*. 518(23), 6977–6983.

- Skoog, D.A., and J.J. Leary. 1992. Principles of Instrumental Analysis. 4 thed. Saunders College Publishing. USA. 535-564.
- Stahlmecke, B., Meyer zu Heringdorf, F.-J., Chelaru, L. I., Horn-von Hoegen, M., Dumpich, G., and Roos, K. R. 2006. Electromigration in self-organized single-crystalline silver nanowires. Applied Physics Letters. 88(5), 053122.
- Song, J.W., Kim, J., Yoon, Y.H., Choi, B.S., Kim, J.H., and Han, C.S. 2008. Inkjet printing of single-walled carbon nanotubes and electrical characterization of the line pattern. *Nanotechnology*, 19(9), 095702.
- Sudjatmoko, Wirjoadi, Sulamdari, S., Siswanto, B., and Wibowo, T. 2003. Optimasi indeks bias dan ketebalan lapisan anti refleksi TCO sebagai jendela sel surya a-Si:H. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya. 5(1), 252-260.
- Suhartati, T. 2017. Dasar-dasar spektrofotometri UV-Vis dan spektrometri massa untuk penentuan struktur senyawa organic. Aura. Bandar Lampung.
- Sun, Y., Yin, Y., Mayer, B.T., Herricks, T., and Xia, Y. 2002. Uniform silver nanowires synthesis by reducing AgNO<sub>3</sub> with ethylene glycol in the presence o seeds and poly (vinyl pyrrolidone). American Chemical Society. 14 (11), 4736-4745.
- Surono, A.T and Sutanto, H. 2014. Sifat optik zink oxide (ZnO) yang dideposisi di atas substrat kaca menggunkan metode chemical solution deposition (CSD) dan aplikasinya untuk degradasi zat warna methylene blue. *Younggster Physics Journal*. 2(1), 7-14.
- Sze, S. M. 1981. Physics of semiconductor devices. Wiley. New York.
- Tsuji, M., Nishizawa, Y., Matsumoto, K., Kubokawa, M., Miyamae, N., and Tsuji, T. 2006. Effects of chain length of polyvinylpyrrolidone for the synthesis of silver nanostructures by a microwave-polyol method. *Materials Letters*. 60(6), 834–838.
- Tyrionly. 2008. [Online]. Available: https://commons.wikimedia.org/w/index.php? tittle=User:TyrionLandaction=editandredlink=1. [Accessed 25 July 2015].
- Wahab, H. A., Salama, A. A., El-Saeid, A. A., Nur, O., Willander, M., and Battisha, I. K. 2013. Optical, structural and morphological studies of (ZnO) nano-rod thin films for biosensor applications using sol gel technique. *Results in Physics*. 3, 46–51.
- Wattler. 2010. Spray application of spray coating. Governer of Alberta Employment and Immigration.
- Wang, Z., Yuan, J., Zhang, J., Xing, R., Yan, D., and Han, Y. 2003. Metal transfer printing and its application in organic field-effect transistor fabrication. Advanced Materials. 15(12), 1009–1012.

- Wang, Z., Liu, J., Chen, X., Wan, J., and Qian, Y. 2005. A simple hydrothermal route to large-scale synthesis of uniform silver nanowires. *Chemistry - A European Journal*. 11(1), 160–163.
- Wang, J., Jiu J., Araki T., Nogi M., Sugahara T., Nagao., and Koga H. 2015. A highly sensitive and flexible pressure sensor with electrodes and elastomeric interlayer containing silver nanowires. Nanoscale. 7, 2926-2932.
- Wilden, J., Wank, A., and Schreiber, F. 2000. Wire for arc and high velocity flame spraying wire design, materials and coating properties. Proc. Int. Thermal Spray Conf. Advance Science Materials International. 609-617.
- Ye, S., Rathmell, A. R., Chen, Z., Stewart, I. E., and Wiley, B. J. 2014. Metal nanowire networks: the next generation of transparent conductors. Advanced Materials. 26(39), 6670–6687.
- Yoon, Y.H., Song, J.W., Kim, D., Kim, J., Park, J.K., Oh, S.K., and Han, C.S. 2007. Transparent film heater using single-walled carbon nanotubes. *Advanced Materials*. 19(23), 4284–4287.
- Zhang, W., P. Chen., Q. Gao., Y. Zhang., and Y. Tang. 2008. High-concentration preparation of silver nanowires: restraining in situ nitric acidic etching by steel-assisted polyol method. *Chemistry Materials*. 20(5) 1699–1704.
- Zhou, Y., Shimada, S., Saito, T., *and* Azumi, R. 2015. Building interconnects in carbon nanotube networks with metal halides for transparent electrodes. *Carbon*. 87, 61–69.