



**PENGARUH KOMPOSISI CAMPURAN KAROTENOID DAN  
KLOOROFIL DENGAN BAHAN SEMIKONDUKTOR ZnO TERHADAP  
KARAKTERISTIK DSSC**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Silfia Nur Choiroh**

**NIM. 161910101004**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS JEMBER**

**2020**



**PENGARUH KOMPOSISI CAMPURAN KAROTENOID DAN  
KLOOROFIL DENGAN BAHAN SEMIKONDUKTOR ZnO TERHADAP  
KARAKTERISTIK DSSC**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

**Silfia Nur Choiroh**

**NIM. 161910101004**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2020**

## PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan yang maha esa penguasa kehidupan dunia dan akhirat. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua saya, Ayahanda Kastubi dan Ibunda Fikriatul Fatin yang telah memberikan dukungan dan doa tiada henti dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
2. Untuk nenek saya Anisah dan adik-adik saya Shofia Nur Fadhilah dan Tika Fitrotun Nasicha yang sangat saya sayangi.
3. Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku pembimbing tim riset MaGNIFIED yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
4. Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T. selaku pembimbing utama dan Bapak Ir. Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T. selaku pembimbing anggota. Bapak Ir. Sumarji, S.T., M.T. selaku penguji utama dan Bapak Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D. selaku penguji anggota skripsi saya yang tidak ada lelahnya membimbing saya, baik memberikan motivasi, serta arahan selama riset dan penulisan skripsi ini hingga selesai.
5. Semua staf pengajar dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah.
6. Semua guru Madrasah Ibtidaiyah Al Huda Rejoslamet yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
7. Semua guru Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Mojowarno yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
8. Semua guru Sekolah Menengah Atas Negeri Mojoagung yang telah mendidik serta memberikan ilmu yang bermanfaat.
9. Semua teman-teman tim riset MaGNIFIED Vito, Ali, Haris, Ojik, Gunawan dan Dama yang telah memberikan banyak dukungan selama riset dan penulisan skripsi.

10. Teman-teman UKM EINSTEIN 2018 yang telah memberikan pengalaman yang luar biasa bermanfaat.
11. Teman-teman Himpunan Mahasiswa Mesin (HMM) 2019 yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang bermanfaat.
12. Teman-teman Club Bengkel Mahasiswa Mesin (BMM) yang telah memberikan ilmu dan pengalaman yang bermanfaat.
13. Teman satu kelompok penelitian DSSC Dadung yang telah membantu dalam penelitian sampai selesainya skripsi ini.
14. Teman-teman Kontrakan O 23, Elok, Herninda, Rury, Cici dan Veli yang selalu siap sedia membantu dalam hal apapun.
15. Teman-teman kelompok diskusi Andreas, Kurniawan dan Qonang yang sering membantu dalam masa perkuliahan.
16. Teman-teman Lambe Turah Mesin 2016 yang banyak memberikan bantuan khususnya Putri, Uul dan Japik.
17. Teman LDR, Nur Millati Hanifa yang selalu ada meskipun hanya *online*.
18. Aslab dan Teknisi Lab Material yang telah membantu dalam asistensi praktikum juga penelitian.
19. Keluarga besar M18 Teknik Mesin Unej angkatan tahun 2016 yang banyak membantu dan memberikan semangat serta suka duka selama kuliah.
20. Almamater tercinta Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
21. Dan seluruh pihak yang telah mendukung dan tak bisa saya sebutkan satu-satu.

**MOTTO**

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.

**(Q.S. Al-Mujadalah ayat 11)**

Rasulullah bersabda: Barangsiapa menempuh jalan untuk mendapatkan ilmu, Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga.

**(HR. Muslim)**

*The whole purpose of education is to turn mirrors into windows.*

*Sydney J. Harris*

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama: Silfia Nur Choiroh

NIM: 161910101004

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Komposisi Campuran Karotenoid dan Klorofil dengan Bahan Semikonduktor ZnO Terhadap Karakteristik DSSC” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 20 November 2020

Yang menyatakan,

Silfia Nur Choiroh

NIM 161910101004

**SKRIPSI**

**PENGARUH KOMPOSISI CAMPURAN KAROTENOID DAN  
KLOOROFIL DENGAN BAHAN SEMIKONDUKTOR ZnO TERHADAP  
KARAKTERISTIK DSSC**

Oleh

Silfia Nur Choiroh

NIM 161910101004

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Proposal berjudul “Pengaruh Komposisi Campuran Karotenoid dan Klorofil dengan Bahan Semikonduktor ZnO Terhadap Karakteristik DSSC” telah disetujui pada:

Hari, tanggal : Jumat, 20 November 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pembimbing,

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T.

Ir. Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T.

NIP 197510062002121002

NIP 198501172012121001

Penguji,

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Ir. Sumarji, S.T., M.T.

Ir. Mahros Darsin S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 196802021997021001

NIP 197003221995011001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP 197008261997021001



## RINGKASAN

**Pengaruh Komposisi Campuran Karotenoid dan Klorofil dengan Bahan Semikonduktor ZnO Terhadap Karakteristik DSSC**; Silfia Nur Choiroh, 161910101004; 57 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penelitian ini dilakukan untuk membuat sel surya jenis DSSC dengan memberikan variasi komposisi campuran *dye* (zat warna alami) sehingga, dapat dianalisa pengaruhnya dan ditentukan nilai efisiensi terbesar. Kaca konduktif dengan jenis FTO (*Fluorine Doped Tin Oxide*) dibuat dengan metode *spray pyrolysis deposition*. Kaca konduktif di Indonesia sangat langka karena proses pembuatan menggunakan teknologi baru dengan proses yang rumit. Produk kaca konduktif hanya bisa diperoleh dengan melalui impor dari luar negeri dengan harga mahal karena belum diproduksi universal di Indonesia. Kaca FTO lebih ekonomis dan dapat menjadi kandidat terbaik sebagai kaca konduktif pada DSSC dibandingkna dengan kaca ITO (*Indium Tin Oxides*).

Metode yang dipakai dalam pembuatan elektroda kerja DSSC yaitu metode *doctor blade*. Teknik *doctor blade* dengan lan kah pertama yaitu membuat bingkai untuk membuat luas area dalam proses pendeposisian bagian ZnO pada kaca konduktif memakai *scotch tape* dengan fungsi mengatur lapisan ketebalan bahan sintesis ZnO. Sintesis ZnO diratakan pada kaca konduktif dengan *rod glass* diawali dari tepi bingkai. Untuk mengatur ketebalan sintesis ZnO pada kaca konduktif dengan rata cukup sulit karena dipengaruhi oleh tekanan *rod glass* dan banyaknya konsentrasi ZnO.

Lama waktu deposisi larutan dopan pada kaca FTO 20 menit; 30 menit dan 40 menit menghasilkan nilai tranmitansi rata-rata yaitu 84,8 %; 71,4 % dan 69,9 %. Semakin lama waktu deposisi larutan dopan mengakibatkan penurunan nilai transmitansi. Hasil resistivitas kaca FTO dengan lama waktu deposisi larutan dopan pada kaca 20 menit; 30 menit dan 40 menit berturut-turut sebesar 12,50; 4,88 dan 2,56  $\Omega\text{cm}$ . Semakin lama waktu deposisi larutan dopan mengakibatkan penurunan

nilai resistivitas. Variasi komposisi campuran *dye* karotenoid dan klorofil (1:3); (1:1) dan (3:1) menghasilkan nilai absorbansi masing-masing adalah 1,5095 (a.u) pada panjang gelombang 489 nm; 1,7834 (a.u) pada panjang gelombang 497 nm dan 1,8697 (a.u) pada panjang gelombang 494 nm. Lapisan semikonduktor ZnO dengan suhu *annealing* 200 °C menghasilkan tingkat porositas yang tinggi dan agregat tidak homogen. Porositas yang terbentuk semakin banyak, maka *dye* yang dapat diserap oleh lapisan semikonduktor ZnO juga semakin banyak. Lapisan semikonduktor berbahan dasar ZnO yang telah dikalsinasi terlihat tiga puncak tertinggi pada derajat  $2\theta = 31.82^\circ; 34.47^\circ; 36.30^\circ$  dengan *Indeks Miller's* (hkl) pada tiga puncak intens yaitu [100]; [002] dan [101]. Selain puncak ZnO terbentuk pula puncak SnO<sub>2</sub>. Puncak-puncak SnO<sub>2</sub> yang terbentuk pada grafik pola XRD lapisan semikonduktor ZnO yaitu pada derajat  $2\theta = 26,5743^\circ; 37,9636^\circ; 51,7415^\circ$ . DSSC dengan komposisi campuran *dye* karotenoid dan klorofil (1:3); (1:1) dan (3:1) menghasilkan nilai efisiensi sebesar 0,191 %; 0,309 % dan 0,219 %.

## SUMMARY

**The Effect of Composition Carotenoid and Chlorophyll Mixed Solution with ZnO Semiconductor Material to DSSC Characteristics;** Silfia Nur Choiroh, 161910101004; 57 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

This research was conducted to make a DSSC type solar cell by providing a variation in the composition of the dye mixture (natural dye) so that its effects could be analyzed and the greatest efficiency value was determined. Conductive glass with the type of FTO (Fluorine Doped Tin Oxide) is made by spray pyrolysis deposition method. Conductive glass in Indonesia is very rare because the manufacturing process uses new technology with a complicated process. Conductive glass products can only be obtained through imports from abroad at high prices because they have not been universally produced in Indonesia. FTO glass is more economical and can be the best candidate as conductive glass in DSSC compared to ITO glass (Indium Tin Oxides).

The method used in making DSSC work electrodes is the doctor blade method. The doctor blade technique with the first method is to make a frame to create an area in the process of depositing ZnO parts on conductive glass using scotch tape with the function of adjusting the thickness layer of the ZnO synthesis material. Synthesis of ZnO is flattened on the conductive glass with rod glass starting from the edge of the frame. To adjust the thickness of ZnO synthesis in conductive glass evenly is quite difficult because it is influenced by the rod glass pressure and the amount of ZnO concentration.

The time of deposition of the dopant solution on the FTO glass was 20 minutes; 30 minutes and 40 minutes resulted in an average transmission value of 84.8%; 71.4% and 69.9%. The longer the deposition time of the dopant solution resulted in a decrease in the transmittance value. The results of the resistivity of FTO glass with a long time of deposition of the dopant solution on the glass of 20 minutes; 30 minutes and 40 minutes respectively 12.50; 4.88 and 2.56  $\Omega\text{cm}$ . The

longer the deposition time of the dopant solution resulted in a decrease in the resistivity value. Variations in the composition of the mixture of carotenoid and chlorophyll dye mixtures (1: 3); (1: 1) and (3: 1) yielded an absorbance value of 1.5095 (a.u) at a wavelength of 489 nm, respectively; 1.7834 (a.u) at 497 nm and 1.8697 (a.u) at 494 nm. The ZnO semiconductor layer with annealing temperature of 200 oC produces a high level of porosity and the aggregate is not homogeneous. The more porosity that is formed, the more dye that can be absorbed by the ZnO semiconductor layer. Semiconductor layer based on calcined ZnO showed the three highest peaks at degrees  $2\theta = 31.82^\circ$ ;  $34.47^\circ$ ;  $36.30^\circ$  with Miller's Index (hkl) at three intense peaks namely [100]; [002] and [101]. In addition to the ZnO peak, a SnO<sub>2</sub> peak was also formed. The SnO<sub>2</sub> peaks formed on the XRD pattern graph of the ZnO semiconductor layer are at degrees  $2\theta = 26.5743^\circ$ ;  $37.9636^\circ$ ;  $51.7415^\circ$ . DSSC with the composition of a mixture of carotenoid and chlorophyll (1: 3) dye; (1: 1) and (3: 1) resulted in an efficiency value of 0.191%; 0.309% and 0.219%.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Komposisi Campuran Karotenoid dan Klorofil dengan Bahan Semikonduktor ZnO Terhadap Karakteristik DSSC”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Triwahyu Hardianto S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Hari Arbiantara, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember dan Dosen Pembimbing Akademik;
3. Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T., dan Bapak Ir. Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing;
5. Ayah, Ibu, Adik, dan keluarga yang telah memberikan dukungan;
6. Teman-teman sengkatan 2016 (M18) yang telah memberi semangat, motivasi, dan dukungan;
7. Civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 20 November 2020

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	v
<b>PERNYATAAN</b> .....	vi
<b>SKRIPSI</b> .....	vii
<b>PENGESAHAN</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>SUMMARY</b> .....	xi
<b>PRAKATA</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Tujuan</b> .....	3
<b>1.4 Manfaat</b> .....	3
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.6 Hipotesis</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Energi Terbarukan</b> .....	5
<b>2.2 Sel Surya</b> .....	6
2.2.1 Prinsip Kerja Sel Surya.....	7
2.2.2 Jenis-Jenis Sel Surya.....	8

<b>2.3 DSSC (Dye Sensitized Solar Cell)</b> .....	9
2.3.1 Prinsip Kerja DSSC ( <i>Dye-sensitized solar cells</i> ).....	9
2.3.2 Komponen Penyusun DSSC ( <i>Dye-sensitized solar cells</i> ) .....	11
<b>2.4 Karakterisasi DSSC</b> .....	19
2.4.1 SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ) .....	19
2.4.2 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	21
2.4.3 Pangujian Ultraviolet (UV) <i>spectroscopy</i> .....	23
2.4.4 Pengujian Arus Dan Tegangan .....	24
<b>2.5 Aplikasi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell)</b> .....	25
<b>2.6 Diagram Fishbone</b> .....	27
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	29
<b>3.1 Metode Penelitian</b> .....	29
<b>3.2 Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	29
<b>3.3 Alat dan Bahan</b> .....	29
<b>3.4 Prosedur Penelitian</b> .....	30
<b>3.5 Prosedur Pengujian Sampel</b> .....	32
3.5.1 Pengujian Resistivitas .....	32
3.5.2 Pengujian Transmittansi.....	33
3.5.3 Pengujian SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ).....	33
3.5.4 Pengujian <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	34
3.5.5 Pengujian Absorbansi .....	34
3.5.6 Pengujian Arus dan Tegangan .....	35
<b>3.6 Diagram Alir Penelitian</b> .....	35
3.6.1 Pembuatan Kaca FTO ( <i>Fluorin-doped Tin Oxide</i> ) .....	35
3.6.2 Pembuatan DSSC ( <i>Dye-sensitized solar cells</i> ) .....	37

<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	39
<b>4.1 Hasil Pengujian Kaca FTO (<i>Fluorin-doped Tin Oxide</i>)</b> .....	39
4.1.1 Hasil Pengujian Transmittansi .....	39
4.1.2 Hasil Pengujian Resistivitas.....	41
<b>4.2 Hasil Pengujian DSSC (<i>Dye Sensitized Solar Cell</i>)</b> .....	43
4.2.1 Hasil Pengujian Absorbansi.....	43
4.2.2 Hasil Pengujian SEM ( <i>Scanning Electron Microscope</i> ).....	45
4.2.3 Hasil Pengujian XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) .....	47
4.2.4 Hasil Pengujian I-V (Arus Dan Tegangan).....	49
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	56
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	56
<b>5.2 Saran</b> .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	58
<b>LAMPIRAN</b> .....	64



**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Spektrum radiasi matahari di atas atmosfer dan di permukaan..... 7

Gambar 2.2 Sekema kerja *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) ..... 10

Gambar 2.3 Skema dari metode *spray pyrolysis deposition* ..... 13

Gambar 2.4 Struktur kristal ZnO : (a) struktur *wurtzite*, (b) struktur *zinc blende* dan (c) struktur *rocksalt* ..... 14

Gambar 2.5 Skema pelapisan metode *doctor blade* pada DSSC ..... 15

Gambar 2.6 Struktur molekuler dari tiga foto sensitizer untuk DSSC. Dari kiri: pewarna *ruin trinuklear*, pewarna N3, dan pewarna hitam..... 17

Gambar 2.7 Skema interaksi bahan dan elektron di dalam SEM..... 20

Gambar 2.8 Blok diagram SEM..... 21

Gambar 2.9 Tabung sinar-X..... 22

Gambar 2.10 Difraksi radiasi sinar-X dalam struktur kristal..... 23

Gambar 2.11 Instrumen Ultraviolet (UV) *spectroscopy* ..... 24

Gambar 2.12 Pengujian arus dan tegangan ..... 24

Gambar 2.13 Aplikasi DSSC (Yun, S., et al, 2015)..... 26

Gambar 2.14 Panel STI DSSC di Newcastle, Australia..... 26

Gambar 2.15 Modul DSSC untuk aplikasi luar ruangan..... 27

Gambar 2.16 Diagram *Fishbone* ..... 28

Gambar 3.1 Diagram proses tahap 1 (Pembuatan kaca FTO)..... 36

Gambar 3.2 Diagram proses tahap 2 (Pembuatan DSSC)..... 38

Gambar 4.1 Grafik pengujian transmitansi kaca FTO variasi waktu deposisi larutan dopan 20 menit; 30 menit; 40 menit ..... 40

Gambar 4.2 Grafik pengujian transmitansi kaca FTO dengan variasi waktu deposisi ..... 41

Gambar 4.3 Grafik pengujian resistivitas kaca FTO variasi waktu deposisi larutan dopan 20 menit; 30 menit dan 40 menit..... 42

Gambar 4.4 Grafik hasil pengujian absorbansi *dye* karotenoid ekstrak kunyit dan klorofil daun pepaya..... 44

Gambar 4.5 Spektrum absorbansi campuran pigmen a). (klorofil + likopen), dan b).

(klorofil + karoten).....	45
Gambar 4.6 Hasil Pengujian SEM nano ZnO perbesaran 20.000 kali.....	46



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Tinjauan tentang potensi teknis sumber energi terbarukan.....	5
Tabel 2.2 Teknologi modern konversi energi terbarukan .....	6
Tabel 3.1 Alat dan bahan pembuatan DSSC.....	30
Tabel 4.1 Nilai rata-rata transmitasi variasi waktu deposisi larutan dopan .....	40
Tabel 4.2 Hasil pengujian resistivitas kaca FTO .....	42
Tabel 4.3 Resistivitas kaca FTO variasi waktu deposisi larutan dopan.....	43
Tabel 4.4 Hasil pengujian absorbansi .....	44
Tabel 4.5 Perhitungan daya DSSC dengan komposisi campuran <i>dye</i> karotenoid dan klorofil (1:3).....	50
Tabel 4.6 Perhitungan daya DSSC dengan komposisi campuran <i>dye</i> karotenoid dan klorofil (1:1).....	51
Tabel 4.7 Perhitungan daya DSSC dengan komposisi campuran <i>dye</i> karotenoid dan klorofil (3:1).....	52
Tabel 4.8 Hasil karakteristik elektrikal DSSC .....	53
Tabel 4.9 Karakteristik DSSC dengan sensitizer campuran <i>dye</i> .....	55

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ketersediaan energi saat ini sangat bergantung pada minyak, gas bumi dan sumber bahan bakar fosil lainnya. Menipisnya cadangan energi dari fosil, mengakibatkan banyak kalangan berusaha mengembangkan energi yang dapat diperbaharui salah satunya yaitu energi surya. Kebutuhan terhadap energi fosil seperti minyak bumi dan gas tercatat sebesar 55% dan batubara sebesar 25% dari total persediaan energi yang ada. Sementara pemanfaatan energi terbarukan seperti geothermal, angin, energi matahari, dan biomass hanya 3% (Prmono dkk., 2015). Pemanfaatan sumber-sumber tak terbatas seperti energi radiasi matahari adalah salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan sumber energi fosil. Indonesia terletak di daerah tropis yang sangat berpotensi dalam mengembangkan energi surya.

Teknologi sel surya yang ada sekarang ini masih didominasi oleh teknologi berbasis material anorganik seperti sel surya berbasis silikon. Mahalnya biaya dan tingginya pemanfaatan energi dalam fabrikasi teknologi sel surya berbasis material anorganik ini membuat teknologi ini perlu dikaji ulang atau perlu pengembangan lebih lanjut (Arjunan dan Senthil, 2013). Oleh karena itu dilakukan pengembangan dari sel surya berbasis silikon ke sel surya tersensitisasi zat warna (*dye*) atau DSSC (*Dye Sensitized Solar Cells*). DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) memiliki kelebihan biaya produksi yang rendah dan ramah lingkungan dalam fabrikasinya (Bachtiar dkk., 2019).

DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) merupakan salah satu jenis sel surya generasi ketiga berbasis zat warna (*dye*) sebagai penyerap foton (*fotosensitizer*) (Calogero dkk., 2012). Molekul *dye* yang umum digunakan untuk penelitian DSSC adalah *dye* jenis *ruthenium complex*. DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) yang menggunakan *ruthenium complex* telah mencapai efisiensi cukup tinggi, namun *dye* jenis ini sulit untuk disintesis dan *ruthenium complex* komersil berharga mahal (Qin dan Peng, 2012). Berbeda dengan *dye* alami yang memiliki keunggulan lebih ramah

lingkungan dan tersedia secara melimpah di alam dibandingkan dengan *dye* sintesis.

Pada penelitian sebelumnya (Bahtiar dkk., 2015) *dye* yang digunakan adalah *dye* karotenoid dan klorofil yang dicampurkan agar daerah serapan fotonya menjadi lebih lebar. Sehingga dapat menyerap lebih banyak foton dari cahaya matahari. Penggunaan lebih dari satu jenis *dye* pada penelitian sebelumnya mempengaruhi arus dan tegangan yang dihasilkan. Arus dan tegangan yang dihasilkan pada DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) lebih besar ketika menggunakan *dye* campuran dibandingkan dengan menggunakan *dye* tunggal.

Setelah mengamati dan mempelajari dari penelitian sebelumnya maka penulis akan melakukan penelitian tentang pengaruh komposisi campuran karotenoid dan klorofil terhadap karakteristik DSSC. *Dye* alami yang digunakan adalah karotenoid dari kunyit dan klorofil dari daun pepaya. Campuran *dye* divariasikan komposisinya 1:3, 1:1 dan 3:1 untuk karotenoid dan klorofil. Proses pembuatan bahan semikonduktor menggunakan metode *doctor blade* dan pembuatan kaca konduktif FTO (*Fluorine-doped tin oxide*) menggunakan metode *spray pyrolysis deposition*. Untuk elektroda lawan digunakan grafit dan elektrolit menggunakan iodine ( $I_2$ ). Penelitian ini mengamati bentuk morfologi pada lapisan bahan semikonduktor ZnO. *Dye* dikarakterisasi dengan spektrofotometri UV-Vis untuk mengukur panjang gelombang yang diserap dan membandingkan nilai efisiensi yang dihasilkan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh waktu deposisi larutan dopan kaca FTO (20, 30, 40) menit terhadap nilai resistivitas dan transmitansi pada DSSC?
2. Bagaimana karakterisasi morfologi dan pola difraksi bahan semikonduktor ZnO pada DSSC?
3. Bagaimana pengaruh komposisi campuran *dye* karotenoid dan klorofil (1:3, 1:1, 3:1) terhadap absorbansi dan efisiensi pada DSSC?

### 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang dikemukakan maka tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh waktu deposisi larutan dopan kaca FTO (20, 30, 40) menit terhadap nilai resistivitas dan transmitansi pada DSSC;
2. Untuk mengetahui karakterisasi morfologi dan pola difraksi bahan semikonduktor ZnO pada DSSC;
3. Untuk mengetahui pengaruh komposisi campuran *dye* karotenoid dan klorofil (1:3, 1:1, 3:1) terhadap absorbansi dan efisiensi pada DSSC.

### 1.4 Manfaat

Dengan dilakukannya penelitian ini maka manfaat yang dapat diperoleh yaitu sebagai berikut:

1. Diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam hal teknologi nano ZnO terhadap pengembangan sel surya berbasis *dye* alami;
2. Diharapkan dapat memberikan pengetahuan mengenai proses pembuatan sel surya berbasis *dye* alami dengan menggunakan ZnO sebagai bahan semikonduktor;
3. Diharapkan dapat mengetahui resistivitas dan transmitansi terbaik dari pembuatan kaca FTO dengan variasi waktu deposisi larutan dopan (20, 30, 40) menit;
4. Diharapkan dapat mengetahui bentuk morfologi dan pola difraksi pada bahan semikonduktor ZnO;
5. Diharapkan mendapatkan hasil yang baik dari pengujian absorbansi, nilai arus dan tegangan dari perbandingan komposisi campuran *dye* kunyit dan daun pepaya (1:3, 1:1, 3:1).

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Pembuatan kaca FTO dengan metode *spray pyrolysis deposition*;
2. ZnO diambil dari serbuk nano;

3. Deposisi larutan ZnO dengan metode *doctor blade* satu lapis;
4. Variasi yang digunakan untuk pembuatan kaca FTO adalah waktu deposisi (20, 30, 40) menit;
5. *Dye* alami yang digunakan adalah ekstrak kunyit dan daun pepaya (1:3, 1:1, 3:1);
6. Penyusunan DSSC disusun secara *sandwich*.

### 1.6 Hipotesis

Waktu deposisi larutan dopan pada kaca FTO yang meningkat akan menghasilkan nilai resistivitas yang kecil sehingga mobilitas elektron akan semakin besar. Dengan mencampurkan dua jenis *dye sensitizer* yaitu kunyit sebagai karotenoid dan daun pepaya sebagai klorofil maka akan menghasilkan nilai absorbansi foton yang baik. Nilai arus dan tegangan yang dihasilkan juga baik sehingga akan meningkatkan nilai efisiensi dari DSSC.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi Terbarukan

Energi adalah kemampuan untuk melakukan suatu pekerjaan. Energi merupakan daya yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai proses kegiatan meliputi listrik, energi mekanik dan panas. Potensi dari energi terbarukan seperti biomassa, panas bumi, energi surya, energi air, energi angin, dan energi lautan relatif tinggi, namun tidak digunakan secara signifikan, yakni kurang dari 4% pada tahun 2007 (Sitompul, 2011). Untuk memanfaatkan energi terbarukan yang ada maka berbagai macam teknologi dikembangkan untuk menyediakan layanan energi yang terjangkau, dapat diandalkan, dan berkelanjutan.

Tabel 2.1 Tinjauan tentang potensi teknis sumber energi terbarukan (Sitompul, 2011).

Renewable Energy Source	Technical Potential (EJ/yr)		
	WEA (2000)	Chum et al. (2011)	GEA (2012)
Geothermal energy <sup>a,b</sup>	5000	130–1420	810–1545
Direct solar energy <sup>c,d</sup>	> 1575	1575–50,000	62,000–280,000
Wind energy <sup>d,e</sup>	640	85–580	1250–2250
Biomass energy – land-based <sup>d,e</sup>	> 276	50–500	160–270
Hydropower <sup>e</sup>	50	50–52	50–60
Ocean energy <sup>f,g</sup>	not estimated	7–331	3240–10,500
TOTAL	> 7600	1900–52,800	76,500–294,500

Energi terbarukan modern menyuplai sekitar 10,3% dari total konsumsi energi global untuk panas pada tahun 2015, 16,4% dipasok oleh biomassa tradisional, terutama untuk memasak dan pemanasan di negara berkembang (Sueyoshi dan Goto, 2018). Sumber daya alam di Indonesia sangat berlimpah apalagi Indonesia merupakan negara kepulauan yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan kehidupan. Di sisi lain energi yang kita manfaatkan ketersediaannya di alam semakin menipis dan alternatif terbaik yang tepat untuk mengantisipasinya yaitu dengan menemukan energi baru terbarukan (Diantoro dkk., 2019).

Pada Tabel 2.2 dimana bermacam teknologi konversi modern untuk mengubah energi terbarukan menjadi produk energi lainnya sesuai dengan



kebutuhan saat ini (Halme, 2002). Sumber energi fosil saat ini mulai berkurang, maka kebijakan energi di Indonesia berfokus kepada pengembangan sumber energi terbarukan seperti sinar matahari, air, angin, panas bumi, biodiesel, biofuel, air laut, dan pasang surut (Jaelani, 2017).

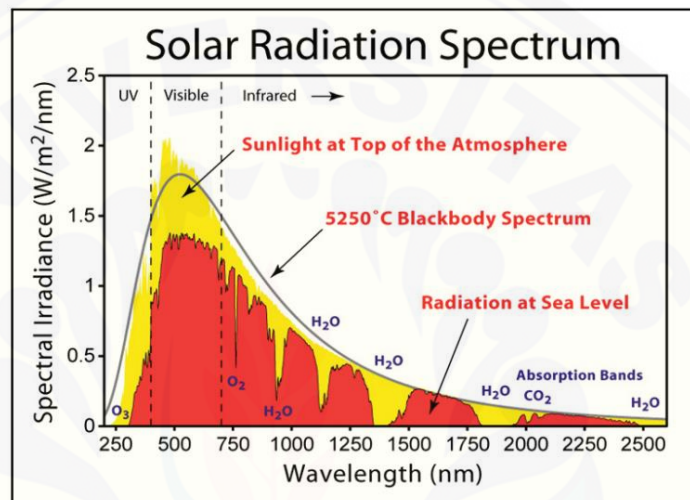
Tabel 2.2 Teknologi modern konversi energi terbarukan (Sitompul, 2011)

Technology	Energy Product	Status
<b>Biomass energy</b>		
Combustion (domestic scale)	Heat (cooking, space heating)	Widely applied; improvement of technologies
Combustion (industrial scale)	Heat, steam, electricity, CHP (combined heat and power)	Widely applied; potential for improvement
Gasification/power production	Electricity, heat, CHP	Demonstration phase; large-scale deployment of small units in certain countries
Gasification/fuel production	Hydrocarbons, Methanol, H <sub>2</sub>	Development and demonstration phase
Hydrolysis and fermentation	Ethanol	Commercially applied for sugar/starch crops; production of fuels from lignocellulose under development
Pyrolysis/production liquid fuels	Bio-oils	Pilot and demonstration phase
Pyrolysis/production solid fuels	Charcoal	Widely applied commercially
Extraction	Bio-diesel	Commercially applied
Digestion	Biogas	Commercially applied
Marine biomass production	Fuels	R&D phase
Artificial photosynthesis	H <sub>2</sub> or other fuels	Fundamental and applied research phase
<b>Hydropower</b>		
Mini-hydro	Movement	Remotely applied; well-known technology
Small and larger-scale hydropower	Electricity	Commercially applied
<b>Geothermal energy</b>		
Power production	Electricity	Commercially applied locally
Direct heating	Heat, steam	Commercially applied locally
Heat pumps	Heat	Increasingly applied
<b>Wind energy</b>		
Small wind machines	Movement, electricity	Water pumping / battery charging
Onshore wind turbines	Electricity	Widely applied commercially
Offshore wind turbines	Electricity	Demonstrated; initial deployment phase
<b>Solar energy</b>		
Passive solar energy use	Heat, cold, light, ventilation	Demonstrations and application, combined with energy-efficient buildings
Low-temperature solar energy use	Heat (water and space heating, cooking, drying) and cold	Solar collectors commercially applied; solar drying and cooking locally applied
Photovoltaic solar energy conversion	Electricity	Widely applied, remote and grid-connected; high learning rate
Concentrated solar power	Heat, steam, electricity	Demonstrated; initial deployment phase
<b>Ocean energy</b>		
Tidal head energy	Electricity	Applied locally; well-known technology
Wave energy	Electricity	Some experience; research, development, and demonstration (RD&D) phase
Tidal and ocean current energy	Electricity	Some experience; RD&D phase
Ocean thermal energy conversion	Heat, cold, electricity	Some experience; some application of cold use; other technologies mainly in RD&D phase
Salinity gradient / osmotic energy	Electricity	RD&D phase

## 2.2 Sel Surya

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dimanfaatkan melalui dua macam teknologi yaitu teknologi fotovoltaik (PV) dan teknologi fototermal (surya termal). Teknologi PV mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi listrik melalui perangkat semikonduktor yang disebut sel surya, sedangkan teknologi surya termal memanfaatkan panas dari radiasi matahari dengan menggunakan alat pengumpul panas atau yang biasa disebut kolektor surya (Alrikabi, 2014).

Proses konversi energi surya menjadi listrik disebut teknologi fotovoltaik. Spektrum matahari memiliki kisaran 100 nm hingga 1 mm, tetapi sebagian besar radiasi terjadi antara 250 nm – 2500 nm. Pada Gambar 2.3 dengan maksimum di wilayah cahaya tampak 400 nm – 700 nm untuk massa udara 0, yang berarti bahwa sel surya harus berusaha untuk menyerap sebanyak mungkin di daerah spektrum matahari yang terlihat (Eisenberg dan Nocera, 2005).



Gambar 2.1 Spektrum radiasi matahari di atas atmosfer dan di permukaan (Halme, 2002)

Pembangkit daya listrik dengan menggunakan teknologi fotovoltaik atau dikenal dengan istilah sistem PV pada awalnya dikembangkan untuk menyediakan listrik peralatan-peralatan di daerah terpencil (Halme, 2002). Selain dapat digunakan untuk program listrik perdesaan, sistem PV juga dapat dimanfaatkan untuk lampu penerangan jalan, penyediaan listrik untuk keperluan penerangan, pengeras suara di rumah peribadatan, penyediaan listrik untuk sarana pelayanan kesehatan, penyediaan listrik untuk Kantor Pelayanan Umum Pemerintah dan untuk membantu usaha konservasi energi serta membantu PLN mengurangi beban puncak di siang hari.

### 2.2.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Mekanisme kerja sel surya didasarkan pada tiga faktor yaitu adsorpsi cahaya untuk menghasilkan muatan energi berupa kutub positif (tipe-p) dan kutub negatif (tipe-n), pemisahan muatan energi, dan pengumpulan energi pada elektroda

masing-masing untuk menciptakan perbedaan potensial dari kutub positif dan negatif. Pembentukan perbedaan tegangan pada sambungan kutub positif dan negatif dalam sel surya merupakan reaksi terhadap radiasi cahaya tampak yang digunakan untuk menghasilkan energi. Berbagai jenis bahan semikonduktor dan teknologi telah dirancang untuk mendesain sel surya dengan biaya rendah serta efisiensi konversi yang tinggi (Sharma dkk., 2015).

### 2.2.2 Jenis-Jenis Sel Surya

Pembuatan sel surya terus dikembangkan dengan berbagai jenis metode dan bahan penyusunnya untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi. Sel surya terbagi atas 3 generasi yang dijelaskan sebagai berikut:

#### a. Sel Surya Generasi Pertama

Sel Surya pada generasi pertama mengacu pada prinsip *P-N junction* fotovoltaik. Secara umum, produk sel surya ini terbuat dari bahan silikon berupa kristal tunggal atau multi kristal yang ditambah dengan elemen lain untuk menciptakan kutub positif (p) atau negatif (n) yang kuat sehingga mampu mengalirkan elektron. Perangkat sel surya juga dibuat dari bahan *Germanium*. Sel surya generasi pertama juga disebut sebagai sel surya berbasis wafer silikon yang merupakan teknologi dominan dalam produksi komersial sel surya, terhitung lebih dari 86% dari pasar sel surya. Sel surya berbasis silikon ini dominan karena efisiensi yang tinggi meskipun biaya produksi cukup tinggi (Kazici dkk., 2018).

#### b. Sel Surya Generasi Kedua

Sel Surya generasi kedua berbasis pada film tipis sebagai penyerap foton yang disusun secara berlapis. Penggabungan lapisan tipis dapat menyerap cahaya lebih banyak. Masing-masing lapisan mampu menyerap kisaran panjang gelombang cahaya yang berbeda. Keuntungan menggunakan bahan film tipis adalah mengurangi massa material yang dibutuhkan untuk membuat sel surya. Nilai efisiensi sel surya film tipis lebih rendah dibandingkan dengan sel surya berbasis silikon, namun biaya produksinya lebih murah. Material untuk sel surya generasi kedua yang memiliki kualitas yang baik adalah *cadmium telluride*

(*CdTe*), *copper indium gallium selenide*, *amorphous silicon* dan *micromorphous silicon* (Kazici dkk., 2018).

c. Sel Surya Generasi ketiga

Pembuatan sel surya generasi ketiga untuk memperbaiki kinerja perangkat sehingga meningkatkan jumlah arus listrik dibandingkan dengan sel surya generasi kedua namun mempertahankan biaya produksi tetap rendah. Umumnya, sel surya generasi ketiga dalam proses transfer electron tidak menggunakan prinsip *P-N junction* yang diperlukan dalam bahan semikonduktor tradisional pada sel surya berbasis silikon. Sel surya generasi ketiga ini memiliki berbagai macam produk dengan inovasi yang potensial yaitu sel surya polimer, sel *nanocrystalline*, dan *dye-sensitized solar cells* (Kazici dkk., 2018).

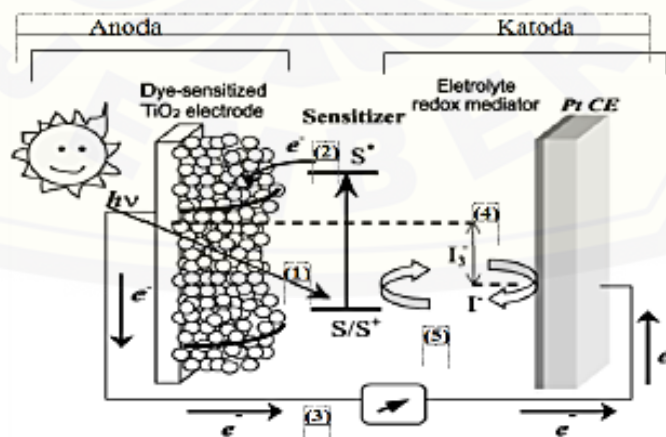
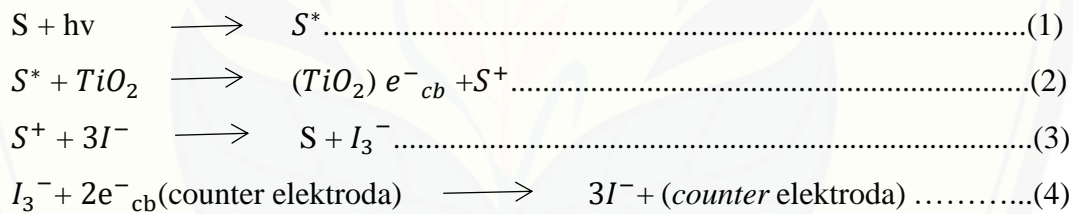
### 2.3 DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

*Dye-sensitized solar cells* (DSSC) adalah perangkat untuk konversi cahaya tampak menjadi listrik, berdasarkan kepekaan *band-gap* dari bahan semikonduktor (Cho dkk., 2014). DSSC *nanocrystalline* pertama dipelopori oleh Gratzel pada awal tahun sembilan puluhan dengan efisiensi melebihi 10%. Kelebihan sel surya ini mempunyai harga yang lebih rendah dari segi bahan dan proses manufaktur. Di antara sel surya lain, DSSC memiliki keunggulan efisiensi, keramahan lingkungan, transparansi dan plastisitas yang baik. Struktur utama DSSC terdiri dari *nano crystalline* semikonduktor oksida, *dye sensitizer*, elektrolit, dan *counter elektroda* (CE) (Arjunan dan Senthil, 2013).

#### 2.3.1 Prinsip Kerja DSSC (*Dye-sensitized solar cells*)

Radiasi cahaya mengandung foton diserap oleh molekul zat warna merupakan proses awal yang terjadi pada DSSC. Bahan semikonduktor menyediakan area permukaan yang sangat diperlukan untuk penyerapan oleh molekul pewarna. Molekul zat warna (*sensitizer*) mengumpulkan foton dan menghasilkan elektron yang tereksitasi dari orbital molekul tertinggi di keadaan awal ke orbital molekul terendah (LUMO) dalam keadaan tereksitasi. Zat warna tersebut mentransfer elektron tereksitasi ke pita konduksi lapisan semikonduktor berupa  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ , atau  $\text{SnO}_2$ . Molekul zat warna yang kehilangan elektron

mengalami oksidasi. Elektron yang ditransfer bergerak melalui lapisan tipis semikonduktor menuju elektroda kerja (anoda) dan secara bersamaan zat warna menghasilkan muatan dengan beban yang memiliki performa kerja untuk dialirkan sebagai energi listrik. Elektron bergerak melalui rangkaian luar untuk mencapai elektroda lawan (katoda), kemudian ditransfer ke elektrolit. Elektrolit yang mengandung  $I^- / I_3^-$  berfungsi sebagai perantara yang menghubungkan proses aliran electron antara elektroda lawan (katoda) dan elektroda kerja (anoda). Oleh karena itu, zat warna yang teroksidasi menerima electron dari  $I^-$  ion redoks untuk menggantikan elektron yang hilang dan molekul iodida dioksidasi menjadi Ion tri-iodida ( $I_3^-$ ). Ion  $I_3^-$  bergerak sampai mencapai katoda untuk mengkompensasi elektron yang hilang dari elektroda lawan.  $I^-$  diregenerasi oleh pengurangan  $I_3^-$  pada katoda. Gerakan elektron di pita konduksi dalam band gap lebar dari lapisan semikonduktor dipengaruhi oleh kemampuan dan efisiensi elektrolit pada permukaan bahan semikonduktor. Karena itu, Konversi energi listrik dalam DSSC tidak menyebabkan transformasi kimia permanen (Adedokun dkk., 2016).



Gambar 2.2 Sekema kerja *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) (Fernando dkk., 2013)

### 2.3.2 Komponen Penyusun DSSC (*Dye-sensitized solar cells*)

Komponen DSSC terdiri dari substrat kaca, bahan semikonduktor, zat warna, elektrolit, dan katalis. Optimasi dari setiap komponen sangat berpengaruh signifikan untuk meningkatkan keseluruhan efisiensi.

#### a. Substrat Kaca

*Transparent conducting oxides* (TCO) DSSC merupakan substrat kaca yang diletakkan di mana sel surya dirakit. *Fluorin-doped Tin Oxide* ( $\text{SnO}_2$ : F) dan *indium tin oxide* ( $\text{In}_2\text{O}_3$ : Sn atau ITO) adalah TCO yang paling sering digunakan dalam sel fotovoltaik film tipis, prosedur persiapan standar dari elektroda ZnO berstruktur nano termasuk sintering film ZnO yang dideposisi pada 450-500°C dimana lapisan TCO stabil pada temperatur tersebut (Gordon, 2000). *Spray pyrolysis* merupakan metode pembuatan substrat kaca yang biasa digunakan. Untuk men *doped* ada berbagai macam metode yaitu *Chemical Vapor Deposition (CVD) sol-gel, pulsed laser deposition and spray pyrolysis* (Benhaoua dkk., 2015). Dalam metode *spray pyrolysis*, parameter proses sangat menentukan sifat film oleh karena itu optimasi dilakukan dengan tujuan mendapatkan FTO/TCO dengan konduktivitas listrik yang tinggi dan transmitansi yang tinggi (Rasyid dkk., 2018).

#### 1) Metode Pembuatan Kaca TCO (*Transparent conducting oxides*)

##### a) *Chemical Vapor Deposition (CVD)*

Pengertian *Chemical Vapor Deposition (CVD)* merupakan deposisi uap dalam proses pembentukan lapisan tipis pada bahan substrat oleh prekursor dengan reaksi kimia pembentukan fase uap. Bahan prekursor terjadi reaksi kimia dalam fasa gas dan produk diendapkan pada permukaan substrat. Reaksi dapat dibentuk melalui panas (CVD termal) dan radiasi pada frekuensi tinggi seperti UV (*photoassisted CVD*) or plasma (*plasma-enhanced CVD*). Berdasarkan penelitian dari (Chen dkk., 2010) metode CVD termal, laju pertumbuhan film ditentukan oleh beberapa parameter yaitu suhu pada substrat, tekanan operasi reaktor, dan komposisinya.

b) *Sol Gel*

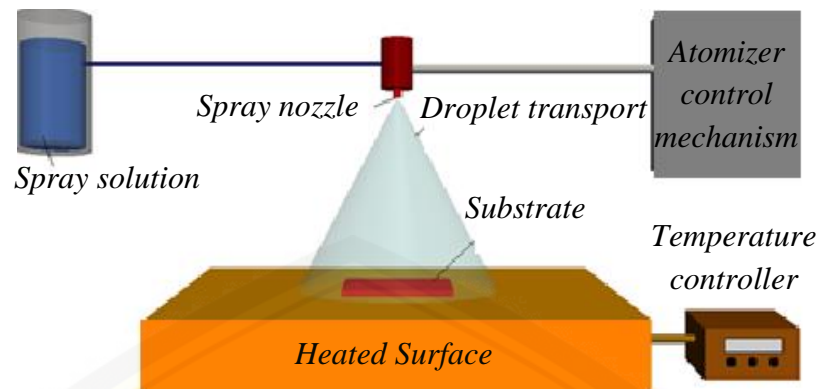
Teknik Sol-gel merupakan metode yang berguna untuk membuat lapisan tipis SnO<sub>2</sub>. Teknik ini memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan teknik lain yaitu suhu reaksi rendah, proses lebih sederhana, dan biaya sedikit. Namun, terdapat kekurangan yaitu rentan terjadi retak (cracks) pada lapisan tipis SnO<sub>2</sub>. Oleh karena itu, gliserin bida digunakan sebagai bahan aditif untuk mencegah keretakan. Selain itu, gliserin dapat digunakan sebagai cetakan atau agen pembentukan pori karena memiliki polaritas yang relatif tinggi, sangat kental dan sangat larut dalam air. Penambahan gliserin bisa meningkatkan kualitas film tipis sehingga terbentuk permukaan yang lebih halus dan homogeny (Winarni dkk., 2014).

c) *Pulsed Laser Deposition (PLD)*

*Pulsed laser deposition* (PLD) adalah metode yang sangat potensial untuk pengembangan gagasan baru pelapisan oksida logam karena memberikan pilihan untuk modifikasi sifat struktur dengan variasi berbagai macam parameter pengendapan, deposisi stoikiometri oksida, dan senyawa kompleks. *Large-area* PLD memungkinkan pengendapan film tipis homogen (Prei dkk., 2015). Film yang terbentuk dari metode PLD dapat mengkristal pada suhu substrat yang lebih rendah dibandingkan teknik deposisi uap secara fisik lainnya karena energi kinetik yang tinggi.

d) *Spray Pyrolysis Deposition*

*Spray Pyrolysis Deposition* merupakan metode untuk menghasilkan partikel produk berukuran mikrometer, submikrometer ataupun nanometer tergantung kosentrasi prekursor, selanjutnya partikel digunakan untuk membuat lapisan tipis semikonduktor. Proses dari *Spray Pyrolysis Deposition* yaitu larutan yang telah dibuat dimasukkan kedalam wadah *ultrasonic nebulizer* untuk menjadikan partikel berukuran nano, kemudian diatomisasi dan dideposisi pada permukaan gelas (Yusuf, 2020).



Gambar 2.3 Skema dari metode *spray pyrolysis deposition* (Filipovic dkk., 2013)

#### b. Bahan Semikonduktor

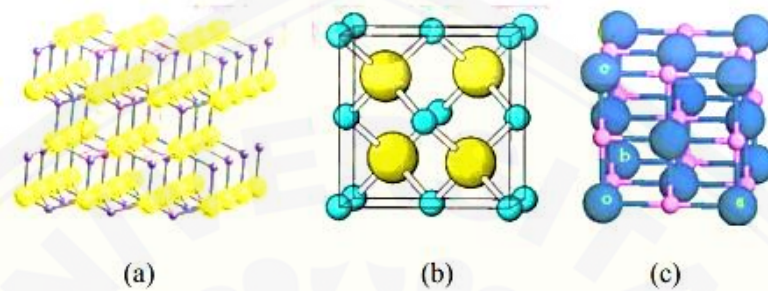
Bahan semikonduktor dalam sebuah rangkaian DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) memiliki peranan yang sangat penting yakni sebagai tempat mengalirnya elektron yang didapatkan dari lapisan *dye*. Proses mengalirnya elektron dari lapisan *dye* ke semikonduktor inilah yang dapat menciptakan energi listrik yang dapat disimpan dalam baterai isi ulang, kapasitor atau perangkat listrik lainnya. Semikonduktor pada DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) haruslah memiliki *band gap* yang lebar, karena semakin lebar luas penampangnya akan semakin banyak muatan elektron yang dapat ditampung dan dialirkan, sehingga energi listrik yang didapatkan akan semakin banyak.

Seng oksida (ZnO) adalah semikonduktor dengan *band gap* yang lebar yakni 3,3 eV pada suhu kamar. Kelebihan lainnya yaitu ZnO tidak mudah rusak dan mudah jenuh sehingga ZnO merupakan material yang cocok digunakan untuk penelitian dengan menggunakan suhu tinggi, maupun tegangan listrik yang lebih tinggi. Selain itu, ZnO memiliki struktur kristal *wurtzite* yang lebih rapat dan rata sehingga ZnO memiliki luas permukaan yang lebih lebar dan rapat (Junus dkk., 2019). Untuk itu ZnO memiliki banyak manfaat lain selain dijadikan sebagai semikonduktor pada DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*).

Seng oksida mengkristal dalam dua bentuk jenis kristal yaitu heksagonal dan kubus. Struktur heksagonal ZnO dikenal sebagai struktur *wurtzite* heksagonal, sedangkan struktur kubik terbagi menjadi dua yaitu struktur kubus



*zinc blende* dan kubus *rocksalt*. Struktur yang paling stabil pada keadaan ruang yaitu struktur *wurtzite*. Struktur *zinc blende* hanya stabil jika ditumbuhkan pada medium yang memiliki struktur kubik, sedangkan struktur *rocksalt* sangat jarang ditemukan kecuali pada tekanan sekitar 10 Gpa (Rahman, 2011).



Gambar 2.4 Struktur kristal ZnO : (a) struktur *wurtzite*, (b) struktur *zinc blende* dan (c) struktur *rocksalt* (Rahman, 2011)

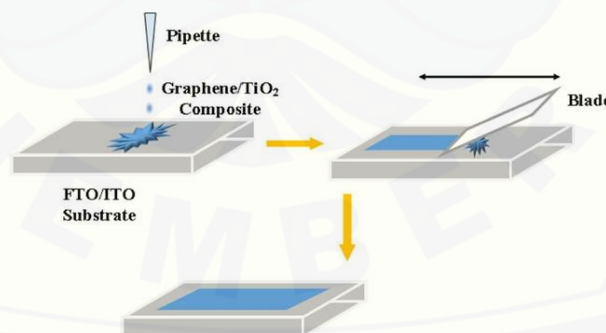
## 1) Metode Deposisi Bahan Semikonduktor

### a) *Doctor Blade*

Metode *doctor blade* merupakan metode yang paling sering digunakan dalam pembuatan DSSC. Teknik ini diaplikasikan dengan membuat bingkai di sekitar substrat kaca yang akan mengontrol ketebalan lapisan memakai bahan perekat yaitu *scotch tape*. Setelah itu, batang kaca digunakan untuk meratakan bahan semikonduktor dengan digeser dari satu ujung frame hingga melintasi seluruh area yang akan dilapisi. Dengan metode ini terdapat kesulitan untuk mengontrol keseragaman ketebalan lapisan semikonduktor sehingga menciptakan hasil kurang presisi. Ketebalan dan distribusi tergantung pada jumlah awal bahan semikonduktor dan gerakan batang kaca. Teknik deposisi ini biasanya menghasilkan penyatuan bahan semikonduktor pada substrat kaca di bagian awal penekanan batang kaca dengan lapisan tidak seragam (Huynh dkk., 2009).

Metode *doctor blade* dengan gerakan batang kaca di atas substrat

dilakukan pada kecepatan konstan yang dipengaruhi oleh tinggi dan sudut kontak pelapisan. Batang kaca berfungsi untuk menyebarkan pasta bahan semikonduktor ke permukaan secara homogen dengan ketebalan merata. Metode ini ekonomis dengan biaya fabrikasi murah, langkah sederhana dan meminimalkan partikel yang terbuang hanya 5% sehingga bahan awal yang dibutuhkan lebih sedikit. Pelapisan dilakukan pada ketebalan sekitar 10-500  $\mu\text{m}$ . Ketebalan lapisan dalam kondisi basah tergantung pada tegangan permukaan dan viskositas dari bahan semikonduktor yang sudah disintesis. Metode ini dapat digunakan untuk produksi massal perangkat elektronik dengan lapisan bahan keramik karena membutuhkan lebih sedikit bahan awal dibandingkan dengan metode lain. Namun, metode pelapisan doctor blade memiliki beberapa kekurangan yaitu evaporasi atau kecenderungan mengkristal membutuhkan waktu lebih lama pada konsentrasi pasta yang tinggi. Area efektif perangkat fotovoltaik didasarkan pada kecocokan karakteristik bahan antara penerima dan penyuplai elektron untuk menurunkan tingkat kehilangan efisiensi (Ahmadi dkk., 2014).



Gambar 2.5 Skema pelapisan metode *doctor blade* pada DSSC (Low dan Lai, 2018)

b) *Electrospinning*

*Electrospinning* merupakan metode pelapisan yang terdiri dari tiga komponen utama yaitu power supply tegangan tinggi, kolektor, dan

*feeding unit*. Daya tegangan tinggi terhubung ke kolektor dan *feeding unit*. Tabung kapiler berisi pasta bahan semikonduktor dipasang pada *feeding unit* dan kolektor adalah pelat logam, biasanya terbuat dari bahan tembaga atau aluminium. Metode *electrospinning* dapat mencapai kontrol yang efektif untuk menentukan jarak dan diameter serat partikel. Peralatan yang digunakan sederhana dan biaya rendah. Selain itu, lapisan fotoanoda lebih unggul dibandingkan dengan metode lain dalam adsorpsi zat warna dan penyerapan sinar matahari karena struktur berpori dan luas permukaan spesifik yang besar. Namun, terdapat batasan yaitu pilihan bahan lebih sedikit yang cocok dalam proses penyemprotan dengan suntik dan kondisi substrat berputar untuk menciptakan optimasi tinggi dari fotoanoda (Wan dkk., 2018).

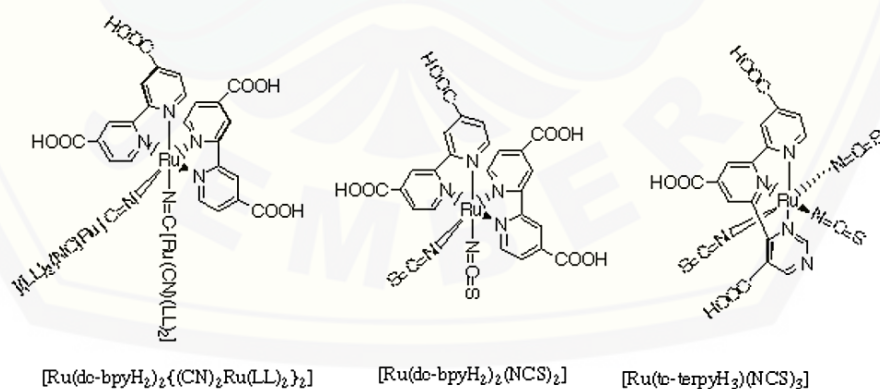
c) *Screen Printing*

Prinsip *Screen printing* adalah pelapisan pada permukaan *stainless steel* dengan menggunakan bahan emulsi. Bahan dasar berbentuk pasta untuk proses deposisi diletakkan pada permukaan datar kemudian ditekan dan digeser dengan pisau yang terbuat dari karet sehingga menciptakan lapisan tipis dalam kondisi basah. Metode ini dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu viskositas pasta, ukuran partikel bahan, dan jarak antara screen dengan substrat, tingkat tekanan dan kecepatan *squeegee* yang terbuat dari karet. Setelah terbentuk lapisan tipis dalam kondisi basah kemudian dikeringkan pada suhu sekitar 120° C dalam waktu sekitar 60 menit. Setelah itu, dipanaskan untuk menghasilkan lapisan padat dengan ukuran butir besar hingga 10 µm yang terhubung secara elektronik dan optik. Proses pemanasan dilakukan pada suhu tinggi yaitu 500° C hingga 800° C dan biasanya dilakukan di oven dengan peralatan pengangkut. Seringkali sinter flux ditambahkan pada bahan pasta. Pada suhu tinggi, fluks ini meleleh dan membentuk cangkang cair di sekitar butiran material. Proses pemanasan disempurnakan oleh mekanisme pemanasan fase cair. Bahan fluks dalam keadaan cair akibat panas harus bisa membasahi

butiran padat dan kelarutan butiran ini dalam fluks cair cukup tinggi. fluks akan menguap sepenuhnya pada akhir proses pemanasan (Burgelman, 1998).

c. *Sensitizer Dyes*

Pada proses penyerapan cahaya di DSSC dilakukan oleh molekul *dye* yang ditempatkan pada permukaan elektroda semikonduktor. Gratzel dan grup risetnya menggunakan *metallo-organic ruthenium* kompleks misalnya zat warna yang memiliki struktur umum  $ML_2(X)_2$ , di mana L mewakili asam 2,2'-bipiridil-4,4'-dikarboksilat, M untuk ruthenium atau osmium dan X untuk halida, sianida, tiocianat, atau air (Sauvé, *et al*, 2000). Molekul-molekul pewarna melekat pada elektroda ZnO berstruktur nano dengan merendam elektroda yang sudah disinter ke dalam larutan pewarna (Kalyanasundaram, 2009). Untuk meminimalkan kandungan uap air di dalam pori-pori elektroda, elektroda harus menjadi hangat saat direndam ke larutan pewarna. Proses impregnasi berlangsung dari satu hingga beberapa jam tergantung pada ketebalan lapisan ZnO dan apakah larutan pewarna dipanaskan atau disimpan dalam suhu kamar (Solaronix, 2000). Gambar 2.5 menunjukkan struktur molekul dari tiga fotosensitizer yang efisien untuk DSSC yaitu *trinuclear Ru dye*, *dye N3*, dan pewarna hitam.



Gambar 2.6 Struktur molekul dari tiga foto sensitizer untuk DSSC. Dari kiri: pewarna *ruin trinuklear*, pewarna N3, dan pewarna hitam (Halme, 2012)

#### d. Elektrolit

Elektrolit memiliki fungsi sebagai penyalur elektron dan diterima oleh *counter* elektroda yang mengandung katalis. Katalis juga memudahkan elektron agar dapat diterima oleh elektrolit lalu menyalurkan elektron menuju ke *dye* yang teroksidasi dan dapat membentuk siklus *transport* elektron (Fernando dkk., 2013). Adanya siklus *transport* elektron dapat menghasilkan konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik. Larutan elektrolit  $I^-/I_3^-$  dipreparasi dari campuran KI (kalium iodida) dan larutan  $I_2$  (iodine) dalam pelarut asetonitril ( $CH_3CN$ ) (Dahlan dan Fahyuan, 2014). Ion  $I^-/I_3^-$  adalah ion yang sering digunakan sebagai elektrolit dari DSSC. Elektrolit bertindak sebagai mediator redoks sehingga menghasilkan siklus dalam sel (Ardianto dkk., 2015).

Elektrolit merupakan komponen dengan peran yang sangat penting dalam DSSC untuk melakukan transfer muatan electron antara elektroda kerja dan elektroda lawan. Larutan elektrolit yang ideal untuk DSSC memiliki sifat yaitu tekanan uap kecil, viskositas rendah, kemampuan dielektrik tinggi dan titik didih tinggi. Dalam proses produksi elektrolit oleh industri harus mempertimbangkan beberapa faktor yang berpengaruh seperti pengolahan mudah, sifat kimia dan kelestarian lingkungan. Saat ini, Senyawa sebagai media media dalam reaksi redoks yang paling efisien digunakan dalam DSSC adalah elektrolit cair yang mengandung pasangan iodida atau triiodida. Elektrolit redoks terdiri dari yodium, iodida dan bahan aditif tambahan. larutan ionik menjadi elektrolit alternatif yang memberikan keuntungan seperti stabilitas termal dan kimia yang tinggi, non-volatility, dan konduktivitas yang sangat baik (Adedokun dkk., 2016).

#### e. Katalis

Karakteristik bahan katalis yang dapat digunakan sebagai lapisan elektroda lawan pada DSSC adalah harus memiliki resistansi rendah dan kerapatan arus tinggi untuk pengurangan bentuk teroksidasi dari media transfer elektron. Elektroda lawan berfungsi untuk mentransfer elektron yang datang dari rangkaian luar kembali ke elektrolit. Lapisan ini harus mampu membawa seluruh arus yang dihasilkan oleh setiap luasan permukaan sel surya. Oleh karena itu,

Elektroda lawan harus memiliki sifat konduktif yang baik dan hanya menimbulkan tegangan berlebih yang rendah untuk menurunkan jumlah elektron dari pasangan redoks (Narayan, 2012).

Elektroda lawan secara umum tersusun atas kaca konduktif yang dilapisi dengan bahan katalis yaitu platinum atau karbon untuk meningkatkan transfer muatan elektron antara elektroda lawan dan elektrolit, mengurangi kemungkinan rekombinasi  $I^{3-}$  dan elektron dalam pita konduksi di ZnO. Platinum memiliki keunggulan yaitu sifat katalitik tinggi dan konduktivitas tinggi. Namun, platinum adalah logam mulia dengan metode deposisi untuk pembuatan DSSC terdapat 2 cara yaitu elektrokimia dan sputtering membutuhkan energi tinggi dan biaya tinggi yang merupakan teknologi untuk skala industri. Pada saat ini bahan karbon berupa karbon hitam, grafit, nanotube karbon, graphene dan bahan karbon yang dihasilkan dari sukrosa dan glukosa telah digunakan dalam DSSC untuk membuat elektroda lawan karena konduktivitasnya yang baik dan biaya sangat rendah. Namun bahan karbon memiliki kekurangan yaitu sifat adhesi rendah yang mempengaruhi proses pelapisan pada substrat (Kumar dkk., 2017).

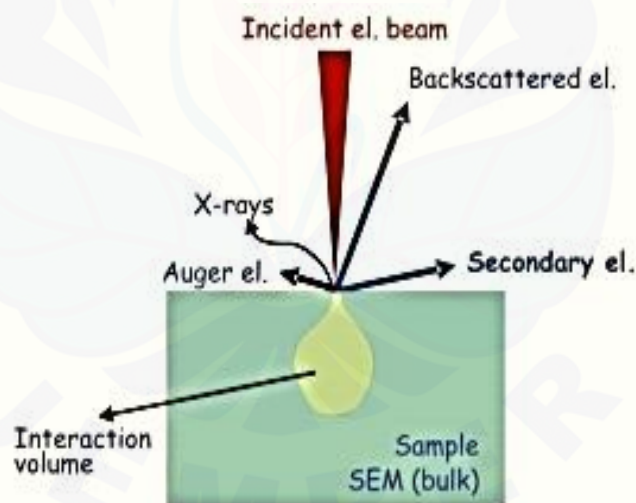
## 2.4 Karakterisasi DSSC

### 2.4.1 SEM (*Scanning Electron Microscope*)

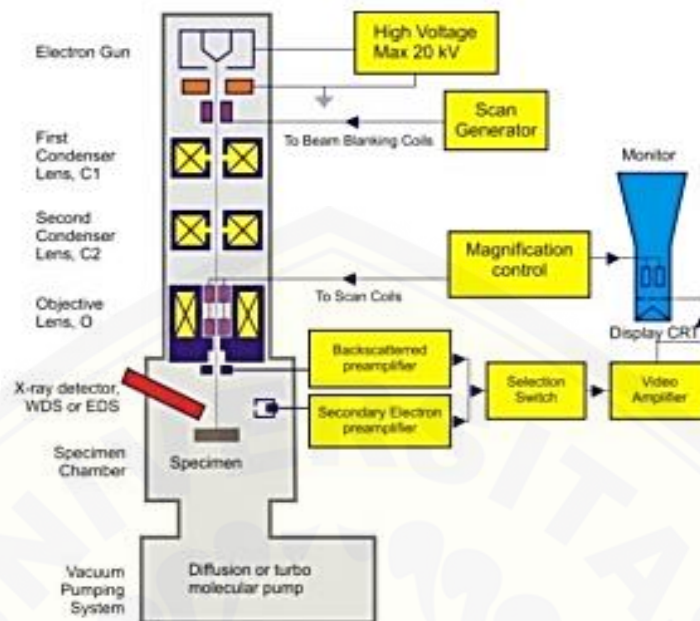
*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah mikroskop elektron yang digunakan untuk melihat permukaan citra suatu bahan, selain itu juga dapat memberikan informasi terkait komposisi kimia dalam suatu bahan, baik bahan konduktif maupun bahan non konduktif. Kemampuan ini lah yang membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri. Mikroskop ini menggunakan elektro magnetik dan elektro statik untuk mengontrol cahaya yang masuk dan penampakan gambar yang dihasilkan. SEM memiliki *field view* (FOV) yang besar, bisa melakukan pembesaran objek hingga satu sampai dua juta kali, namun juga menjamin resolusi gambar yang jauh lebih bagus dibandingkan dengan mikroskop cahaya (Sujatno dkk., 2015).

Komponen utama alat SEM ini adalah tiga pasang lensa elektromagnetik yang berfungsi memfokuskan berkas elektron menjadi sebuah titik kecil, lalu oleh

dua pasang *scan coil* di *scan* dengan frekuensi variabel pada permukaan sampel. Semakin kecil berkas difokuskan semakin besar resolusi lateral yang dicapai. Kesalahan fisika pada lensa-lensa elektromagnetik berupa astigmatismus yang dikoreksi oleh perangkat stigmator. SEM tidak memiliki sistem koreksi untuk kesalahan aberasi lainnya. Komponen lainnya adalah sumber elektron, biasanya berupa filamen dari bahan kawat *tungsten* atau berupa jarum dari paduan *Lantanum Hexaboride LaB6* atau *Cerium Hexaboride CeB6*, yang dapat menyediakan berkas elektron yang teoretis memiliki energi tunggal (monokromatik). Komponen lainnya adalah imaging detector, yang berfungsi mengubah sinyal elektron menjadi gambar/image. Sesuai dengan jenis elektronnya, terdapat dua jenis detektor dalam SEM ini, yaitu detektor SE dan detektor BSE (Sujatno dkk., 2015). Skema interaksi antara bahan dan elektron di dalam SEM dapat dilihat pada gambar 2.7, dan untuk skema kerja dari alat SEM dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.7 Skema interaksi bahan dan elektron di dalam SEM (Sujatno dkk., 2015)



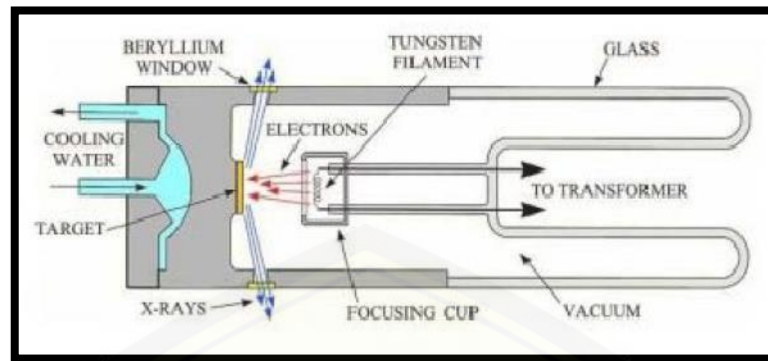
Gambar 2.8 Blok diagram SEM (Sujatno dkk., 2015)

#### 2.4.2 X-Ray Diffraction (XRD)

*X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun nonkristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. Selain itu, juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal. Tahapan kerja XRD terdiri dari empat tahap, yaitu preparasi, difraksi, deteksi dan interpretasi. Untuk dapat melakukan fungsinya, XRD dilengkapi dengan komponen-komponen penting seperti tabung sinar-X, *monochromator*, dan detektor (Abideen dkk., 2017).

Tahapan kerja XRD yang pertama adalah produksi, pada tahap ini elektron yang dihasilkan ketika filamen (katoda) dipanaskan akan dipercepat akibat perbedaan antara filamen (katoda) dan logam target (anoda) sehingga terjadi tumbukan dengan logam target tumbukan tersebut menghasilkan radiasi sinar-X yang akan keluar dari tabung sinar-X dan berinteraksi dengan struktur kristal material yang akan diuji (Khadtare dkk., 2012).



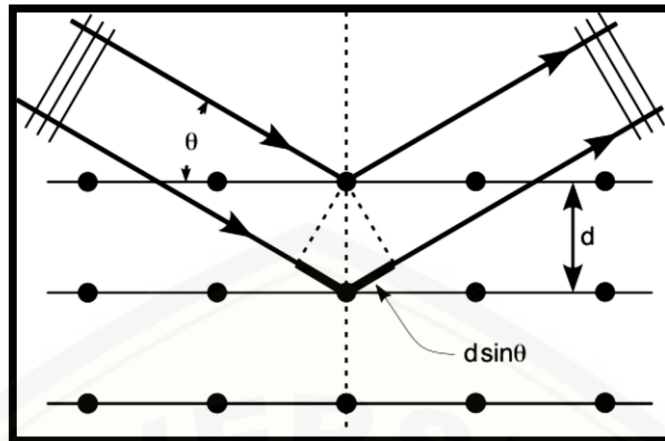


Gambar 2.9 Tabung sinar-X (Boukadhaba dkk., 2015)

Tahapan yang kedua adalah radiasi sinar-X yang telah dihasilkan oleh tabung sinar-X akan berinteraksi dengan struktur kristal material yang diuji. Material tersebut harus berada dalam fasa padat karena pada kondisi tersebut kedudukan atom-atomnya berada dalam susunan yang sangat teratur sehingga membentuk bidang kristal. Ketika sinar-X diarahkan pada bidang kristal tersebut maka akan timbul pola difraksi dimana pola-pola difraksi tersebut menyerupai pola gelap dan terang. Pola gelap terbentuk ketika terjadi interferensi destruktif, sedangkan pola yang terang terbentuk ketika terjadi interferensi konstruktif dari pantulan gelombang-gelombang sinar-X yang saling bertemu (Boukadhaba dkk., 2015). Interferensi konstruktif terjadi sesuai hukum Bragg berikut ini:

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (5)$$

Dimana,  $n$  = urutan difraksi;  $\lambda$  = panjang gelombang sinar-X;  $d$  = jarak antar bidang kristal; dan  $\theta$  = sudut difraksi.



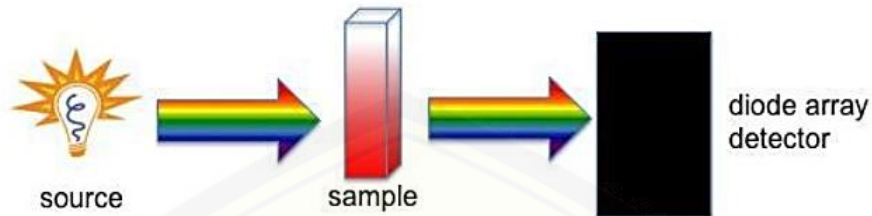
Gambar 2.10 Difraksi radiasi sinar-X dalam struktur kristal (Boukadhaba dkk., 2015)

Tahapan yang ketiga adalah deteksi, interferensi konstruktif radiasi sinar-X hasil difraksi struktur kristal yang diuji akan dideteksi oleh detektor. Kemudian tahapan yang terakhir adalah interpretasi yaitu interferensi konstruktif radiasi sinar-X yang telah dideteksi oleh detektor selanjutnya akan diperkuat gelombangnya dengan menggunakan *amplifier*. Lalu interferensi konstruktif sinar-X tersebut akan terbaca secara spektroskopi sebagai puncak-puncak grafik yang ditampilkan oleh komputer (Benhaoua dkk., 2015).

#### 2.4.3 Pangujian Ultraviolet (UV) *spectroscopy*

Ultraviolet (UV) *spectroscopy* adalah metode pengujian fisik dari spektroskopi optik dengan menggunakan cahaya tampak, ultraviolet, dan inframerah. Hukum *Beer-Lambert* menyatakan bahwa absorbansi larutan berbanding lurus dengan konsentrasi dari bahan yang terserap dalam sebuah panjang gelombang. Alat spektroskopi UV-Vis dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi penyerapan dalam suatu larutan. Perubahan kecepatan absorbansi dapat dianalisa dari pengaruh konsentrasi. Molekul atau ion akan menunjukkan penyerapan pada daerah cahaya tampak atau ultraviolet dalam proses radiasi dengan transisi elektron dalam struktur. Sampel melakukan penyerapan pada daerah ultraviolet atau cahaya tampak dengan perubahan dalam skala elektron molekul. Energi dari cahaya dapat meningkatkan energi elektron dari orbital dasar

menjadi energi yang lebih tinggi, orbital keadaan tereksitasi atau orbital anti ikatan (Shah dkk., 2015).



Gambar 2.11 Instrumen Ultraviolet (UV) *spectroscopy* (Shah dkk., 2015)

#### 2.4.4 Pengujian Arus Dan Tegangan

Pengukuran tegangan dilakukan dengan menghubungkan multimeter ujung negatif ke anoda (elektroda kerja) dan ujung positif pada katoda (elektroda lawan). Pengukuran besar tegangan sirkuit terbuka dilakukan di bawah sinar matahari penuh. Output sel surya dapat bervariasi dan berubah secara drastis akibat sumber cahaya tidak memiliki kualitas spektrum yang konstan. Sumber cahaya lebih akurat menggunakan lampu pijar atau lampu dengan intensitas dapat diatur. Demikian pula, Pengukuran arus hubung singkat dari sel surya dapat dilakukan menggunakan ampermeter. Nilai tersebut bisa sangat bervariasi yang dipengaruhi oleh geometri sel, kondisi cahaya, ketebalan lapisan katalis dan komposisi elektrolit (Martineau, 2012).



Gambar 2.12 Pengujian arus dan tegangan (Martineau, 2012)

Efisiensi dapat diketahui melalui kurva arus-tegangan (I-V) yang dihasilkan oleh sel surya tersebut. Gambar 2.15, menunjukkan kurva I-V sel surya. Pada kondisi rangkaian terbuka atau *open circuit* maka arus yang dihasilkan adalah nol, sehingga akan menghasilkan tegangan yang maksimum atau tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ).  $P_{maks}$  merupakan suatu titik dimana daya maksimum yang dihasilkan oleh suatu sel surya. *Fill Factor* (FF) merupakan suatu ukuran kuantitatif kualitas suatu sel surya, serta merupakan ukuran luar persegi kurva I-V, *Fill Factor* dapat diperoleh menggunakan persamaan (1) (Callister dkk., 2009).

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \dots \dots \dots (6)$$

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF \dots \dots \dots (7)$$

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \dots \dots \dots (8)$$

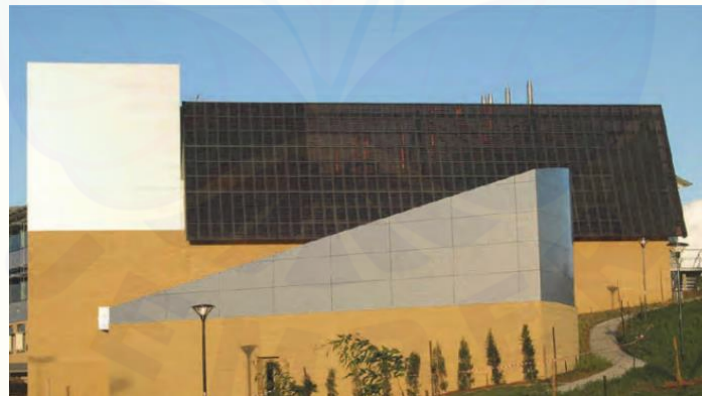
## 2.5 Aplikasi DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

Aplikasi DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) yang dibuat oleh G24 telah di terapkan perusahaan *Mascotte Industrial Associates* untuk digunakan dalam ransel dan tas yang ideal di pakaian pada aplikasi portabel, ukuran tebal DSSC yang kurang dari 1 mm, murah, tidak mengandung silikon atau kadmium dan bahkan dapat beroperasi di dalam ruangan membuatnya ideal untuk menyalakan ponsel, kamera dan elektronik yang portabel. Perusahaan mengatakan DSSC juga dapat dimasukkan ke dalam bahan tenda untuk menyalakan sistem lampu LED untuk berkemah (Ammar dkk., 2019). Gambar 2.14 menunjukkan tren dari teknologi DSSC dan prakiraan pasar (2009-2013) membahas bahwa aplikasi untuk DSSC secara umum dibagi menjadi empat kategori, yaitu, interior (*ambient light flower lamps*), pengisi daya ponsel (*solar charger*), atap surya, dan BIPV (*BIPV glass*) (Yun, *et al*, 2015).



Gambar 2.13 Aplikasi DSSC (Yun, S., et al, 2015)

Perusahaan Australia, *Sustainable Technologies International* telah memproduksi ubin kaca penghasil daya listrik dalam skala besar untuk pengujian lapangan dan bangunan pertama yang telah dilengkapi dengan dinding jenis ini (Jasim, 2011).



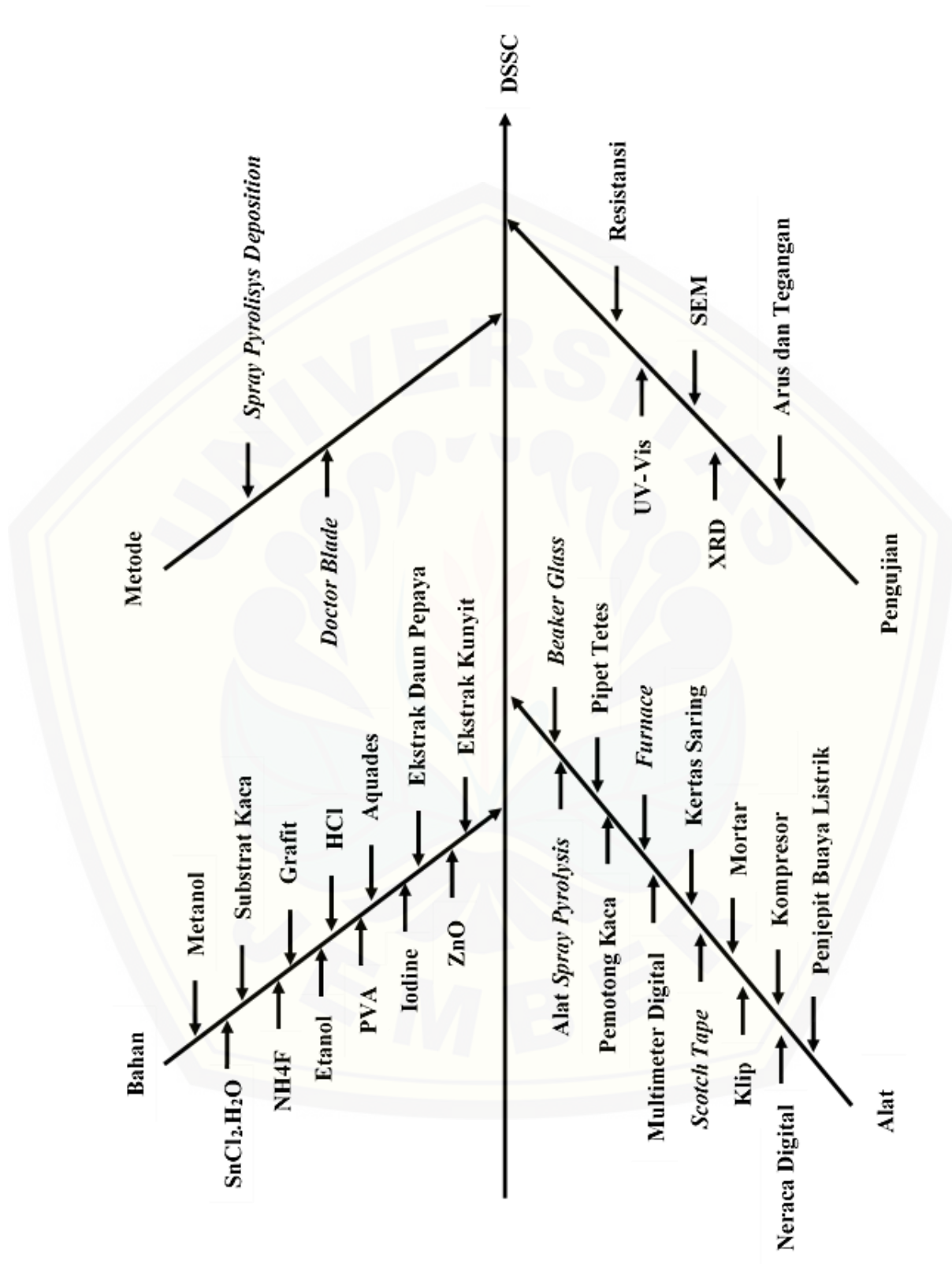
Gambar 2.14 Panel STI DSSC di Newcastle, Australia (Jasim, 2011)



Gambar 2.15 Modul DSSC untuk aplikasi luar ruangan (Jasim, 2011)

## 2.6 Diagram Fishbone

Diagram fishbone secara umum digunakan untuk mengidentifikasi suatu masalah dengan menganalisa sebab akibat yang berpengaruh. Diagram fishbone pada penelitian ini untuk mengetahui komponen yang dibutuhkan dalam pembuatan DSSC meliputi alat, bahan, metode, dan pengujian ditampilkan pada gambar 2.17.



Gambar 2.16 Diagram Fishbone

## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode ekperimental. Proses deposisi kaca FTO (*Fluorin-doped Tin Oxide*) menggunakan metode *spray pyrolysis deposition* yaitu dengan pelapisan SnO:F. Proses deposisi material semikonduktor ZnO menggunakan metode *doctor blade* dengan cara diratakan pada substrat kaca konduktif FTO memakai *scotch tape* untuk pengaturan ketebalan dan luas lapisan.

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Proses penelitian meliputi dua kegiatan yaitu pembuatan dan pengujian DSSC dengan variasi waktu deposisi kaca FTO (*Fluorin-doped Tin Oxide*) dan variasi komposisi campuran *dye* sintesis alami karotenoid kunyit dan klorofil daun papaya terhadap karakteristik DSSC. Pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember. Pengujian dilakukan di Laboratorium CDAST (*Center for Development Advanced Science and Technology*) Universitas Jember, di Laboratorium Mineral dan Material Maju (Sentral) Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang dan di Laboratorium SEM Departemen Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November.

### 3.3 Alat dan Bahan

Penelitian ini terdapat beberapa bahan dan alat yang dibutuhkan dalam proses penelitian. Beberapa penelitian yang digunakan terdapat pada sub di bawah ini:



Tabel 3.1 Alat dan bahan pembuatan DSSC

Alat	Bahan
Alat <i>spray pyrolysis</i>	Tin klorida ( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
Pemotong kaca	Ammonium florida ( $\text{NH}_4\text{F}$ )
Multimeter Digital	Etanol
<i>Scotch tape</i>	Polivinil Alkohol (PVA)
Klip	Grafit
Neraca Digital	Serbuk ZnO
<i>Beaker Glass</i>	Metanol
Pipet tetes	Substrat Kaca
<i>Furnace</i>	Iodine
Kertas Saring	HCl
Mortar	Aquades
Kompresor	Daun Pepaya
Penjepit Buaya Listrik	Kunyit

### 3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian DSSC meliputi proses fabrikasi dan karakterisasi rangkaian DSSC. Fabrikasi DSSC dilakukan dengan variasi komposisi campuran ekstrak bahan alam. Prosedur penelitian ini antara lain:

- a. Pembuatan Larutan Prekursor untuk Kaca FTO
  - 1) Membuat larutan prekursor dengan melarutkan serbuk  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  5,5 gram ke dalam 2,5 mL HCl
  - 2) Larutan Campuran  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dan HCl dipanaskan dalam *furnace* pada suhu  $90^\circ\text{C}$  selama 10 menit
  - 3) Menambahkan larutan methanol dengan jumlah 25 mL
  - 4) Membuat larutan dopan dengan melarutkan serbuk  $\text{NH}_4\text{F}$  1,5 gram dengan aquades 125 mL
  - 5) Mencampurkan larutan prekursor dan larutan dopan

b. Pembuatan Kaca FTO

- 1) Memotong kaca yang memiliki tebal 2 mm, panjang 30 mm dan lebar 30 mm.
- 2) Menyiapkan 9 buah kaca preparat dan membersihkan dengan etanol
- 3) Diamkan di udara bebas  $\geq 1$  jam
- 4) Masukkan kaca ke dalam alat pelapisan dengan metode *spray pirolisis deposition*.
- 5) Memanaskan kaca pada suhu 425 °C selama 30 menit.
- 6) Memasukkan larutan dopan ke dalam gelas dan memasukkan *mist maker* ke dalamnya lalu hidupkan. Tekanan *flowrate* pada 6 L/menit.
- 7) Melakukan deposisi larutan dopan selama (20, 30, 40) menit.
- 8) Mematikan *mist maker* dan pemanas, tunggu hingga kaca dingin.

c. Pembuatan Pasta ZnO

- 1) Polivinil asetat (PVA) sebanyak 1,5 gram dilarutkan dalam 13,5 mL aquades menggunakan magnetic stirrer dengan suhu 80 °C selama 30 menit.
- 2) Serbuk ZnO sebanyak 0,5 gram dicampur dengan PVA.
- 3) Campuran ZnO dan PVA digerus hingga membentuk pasta.
- 4) Pasta ZnO yang dibuat dideposisikan pada substrat kaca FTO dengan metode *doctor blade*.
- 5) Di *furnace* dengan suhu 450 °C selama 15 menit.

d. Pembuatan Elektroda Lawan

- 1) Menyiapkan sebuah pensil dengan kandungan karbon dan ditajamkan pada ujungnya.
- 2) Pensil digosokkan secara merata pada substrat
- 3) Kemudian dibakar dengan api lilin sehingga didapatkan lapisan karbon.

e. Pembuatan larutan *dye*

- 1) 10 gram daun pepaya dan kunyit yang telah halus dicampur dengan pelarut ethanol 96% masing-masing sebanyak 50 ml ke dalam gelas kimia
- 2) Daun dan kunyit yang telah tercampur dengan ethanol tersebut diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit. Setelah diaduk selama 30 menit diamkan selama 2-3 jam dalam wadah gelap.

- 3) Campuran kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan larutan dengan ampas daun dan kunyit dan ditempatkan ke di wadah gelap.
- f. Perendaman pada larutan *Dye*
- 1) Masukkkan larutan ekstrak klorofil 20 mL ke dalam gelas kaca.
  - 2) Merendam kaca yang sudah dilapisi dengan ZnO ke dalam *dye* dengan variasi campuran komposisi *dye* kunyit dan daun peapya (1:3, 1:1, dan 3:1) mL
  - 3) Mengambil dan membersihkan kaca menggunakan tisu.
- g. Penyusunan Lapisan *Sandwich*
- 1) Tetesi kaca subtrat yang sudah dilapisi *dye* dengan larutan elektrolit yaitu iodine sebanyak 2 tetes (setara 0,2 mL).
  - 2) Setelah selesai kemudian lapisan tersebut ditutup dengan kaca yang sudah dilapisi oleh karbon sebagai elektroda pembanding.
  - 3) Kemudian dijepit menggunakan klip.

### 3.5 Prosedur Pengujian Sampel

Pengujian sampel dilakukan untuk mendapatkan data dan proses analisis dari variabel penelitian pada kaca konduktif dan DSSC. Sampel yang dibuat dilakukan 5 jenis pengujian yaitu pengujian resistivitas dan transmitansi kaca konduktif, pengujian SEM dan XRD bahan semikonduktor ZnO, pengujian absorbansi zat warna (*dye*) serta pengujian arus dan tegangan pada .

#### 3.5.1 Pengujian Resistivitas

Pengujian resistivitas dari kaca FTO untuk mengetahui nilai hambatan dari tiap sampel dengan pengaruh konsentrasi larutan dopan. Langkah langkah pengujian resistivitas adalah sebagai berikut:

- a. Menghubungkan adaptor 1200 mA sebagai aliran sumber aliran ke catu daya listrik.
- b. Menghubungkan kutub positif dan kutub negatif dengan adaptor pada 2 ujung permukaan lapisan kaca FTO.
- c. Mengatur skala multimeter pada satuan Volt.

- d. Menempelkan kedua ujung probe multimeter pada permukaan kaca FTO pada bagian tengah.
- e. Mencatat nilai tegangan untuk dilakukan analisis data.

### 3.5.2 Pengujian Transmittansi

Pengujian transmittansi adalah perbandingan intensitas cahaya yang ditransmisikan dengan cahaya yang datang. Pengujian transmittansi bertujuan untuk mengetahui kemampuan transmittansi kaca konduktif FTO dengan menggunakan alat UV-Vis Spektrofotometri seri Genesys 10S. Tahapan-tahapan pengujian transmittansi antara lain, yaitu:

- a. Menyalakan spektrofotometri, lalu biarkan selama 15 menit sebelum mengukur.
- b. Membersihkan kuvet atau tabung reaksi.
- c. Memasukkan sampel ke dalam kuvet.
- d. Menyiapkan spesimen kontrol (blank).
- e. Membersihkan sisi luar kuvet sebelum dimasukkan ke dalam spektrofotometer.
- f. Melakukan pengujian dan tentukan atur panjang gelombang cahaya. Gunakan panjang gelombang cahaya tunggal (sinar monokromatik) untuk meningkatkan efektivitas pengukuran.
- g. Mengkalibrasi spektrofotometri dengan spesimen kontrol (blank).
- h. Mengeluarkan blank dan uji hasil kalibrasi spektrofotometri.
- i. Mengukur transmittansi sampel.
- j. Mengulangi eksperimen dengan panjang gelombang cahaya berbeda.
- k. Menganalisis data transmittansi.

### 3.5.3 Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pada proses pengamatan dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada bahan semikonduktor ZnO menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*) HITACHI FLEXSEM 100 untuk mengetahui morfologi dari bahan semikonduktor ZnO yang telah dikalsinasi dengan temperature 200 °C dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu:

- a. Menyiapkan spesimen yang akan di uji.

- b. Memotong spesimen sesuai ukuran pada mesin foto pengujian SEM.
- c. Melakukan *coating* pada permukaan spesimen yang akan di uji dengan emas atau platina.
- d. Meletakkan spesimen yang sudah siap diuji kedalam mesin foto pengujian SEM.
- e. Melakukan pengujian dengan menembakkan elektron pada sampel lalu menganalisis data hasil pengujian.

#### 3.5.4 Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

*X-Ray Diffraction* digunakan untuk mengkarakterisasi ukuran, bentuk, dan parameter kisi kristal dari Nano ZnO. Prosedur pengujian XRD sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel yang akan diuji.
2. Mengambil sampel serbuk dan letakan ke dalam kaca preparat untuk sample (*sample holder*) serta beri pada setiap sampel.
3. Meletakkan kaca preparat pada mesin pengujian XRD
4. Sampel siap ditembak dan dianalisis dengan mesin XRD merk *PanAnalytical*, *Type: E'xpert Pro*.

#### 3.5.5 Pengujian Absorbansi

Absorbansi adalah suatu polarisasi cahaya yang terserap oleh bahan (komponen kimia) tertentu pada panjang gelombang tertentu sehingga memberikan warna tertentu terhadap suatu bahan. Pengujian absorbansi bertujuan untuk mengetahui kemampuan absorbansi dye karotenoid kunyit dan klorofil daun pepaya dengan menggunakan alat UV-Vis Spektrofotometri seri Genesys 10S. Tahapan-tahapan pengujian absorbansi antara lain, yaitu:

- a. Menyalakan spektrofotometri, lalu biarkan selama 15 menit sebelum mengukur.
- b. Membersihkan kuvet atau tabung reaksi.
- c. Menuangkan sampel secukupnya kedalam kuvet.
- d. Menyiapkan larutan kontrol.
- e. Membersihkan sisi luar kuvet sebelum dimasukkan ke dalam spektrofotometer.
- f. Melakukan pengujian dan tentukan atur panjang gelombang cahaya. Gunakan panjang gelombang cahaya tunggal (sinar monokromatik) untuk meningkatkan

efektivitas pengukuran.

- g. Mengkalibrasi spektrofotometri dengan larutan blank.
- h. Mengeluarkan blank dan uji hasil kalibrasi spektrofotometri.
- i. Mengukur absorbansi sampel.
- j. Mengulangi eksperimen dengan panjang gelombang cahaya berbeda.
- k. Menganalisis data absorbansi.

### 3.5.6 Pengujian Arus dan Tegangan

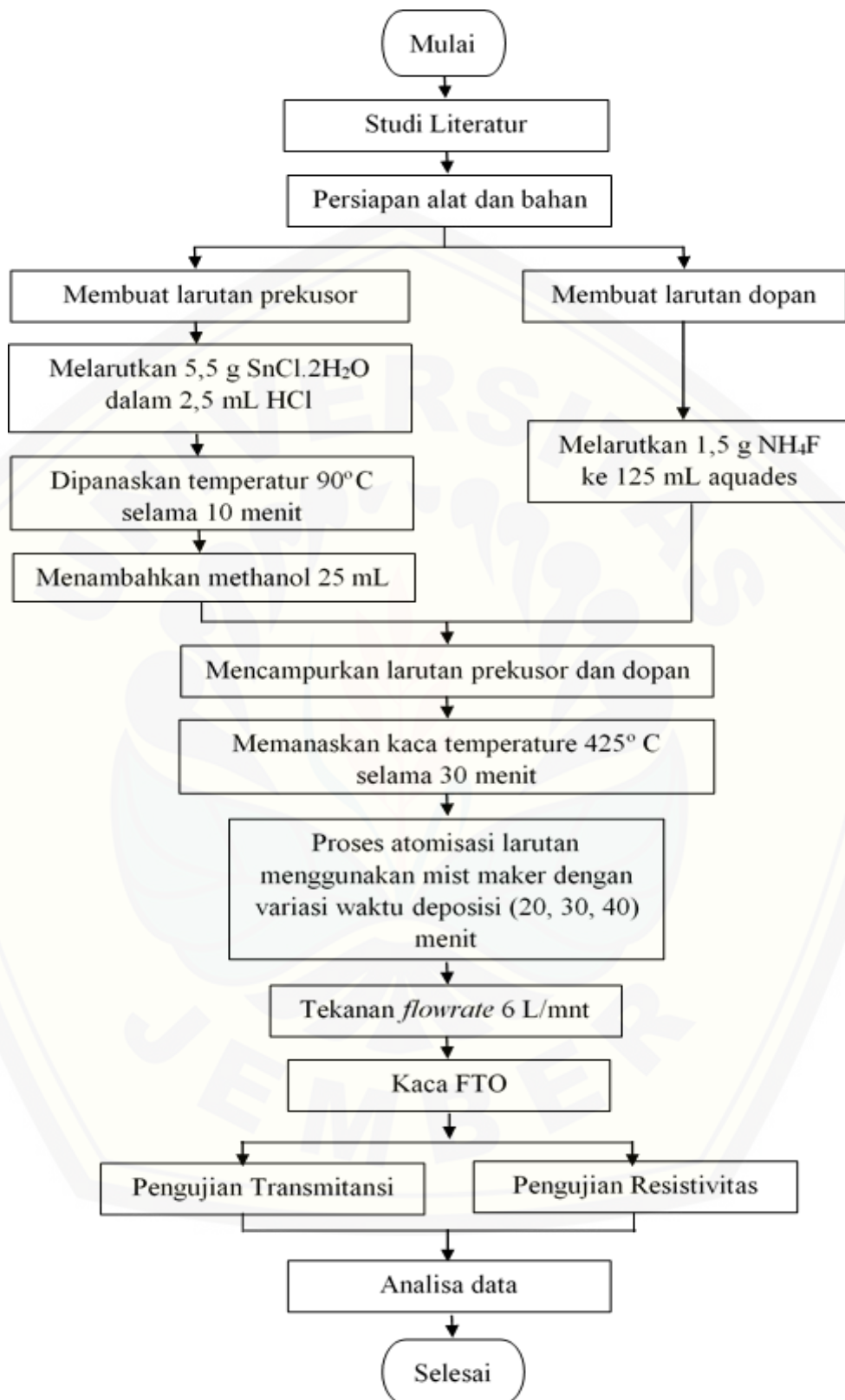
Pengujian arus dan tegangan dari DSSC untuk menentukan nilai efisiensi dari tiap sampel dengan pengaruh waktu perendaman. Langkah langkah pengujian arus dan tegangan adalah sebagai berikut:

- a. Meletakkan sampel DSSC di bawah sinar matahari pada pukul 11.00.
- b. Menghubungkan arus dan tegangan dari multimeter ke DSSC.
- c. Memberi tahanan terhadap arus dengan menggunakan potensio 1 k $\Omega$ .
- d. Mencatat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh DSSC.
- e. Menganalisis data yang didapat dari pengujian.

## 3.6 Diagram Alir Penelitian

### 3.6.1 Pembuatan Kaca FTO (*Fluorin-doped Tin Oxide*)

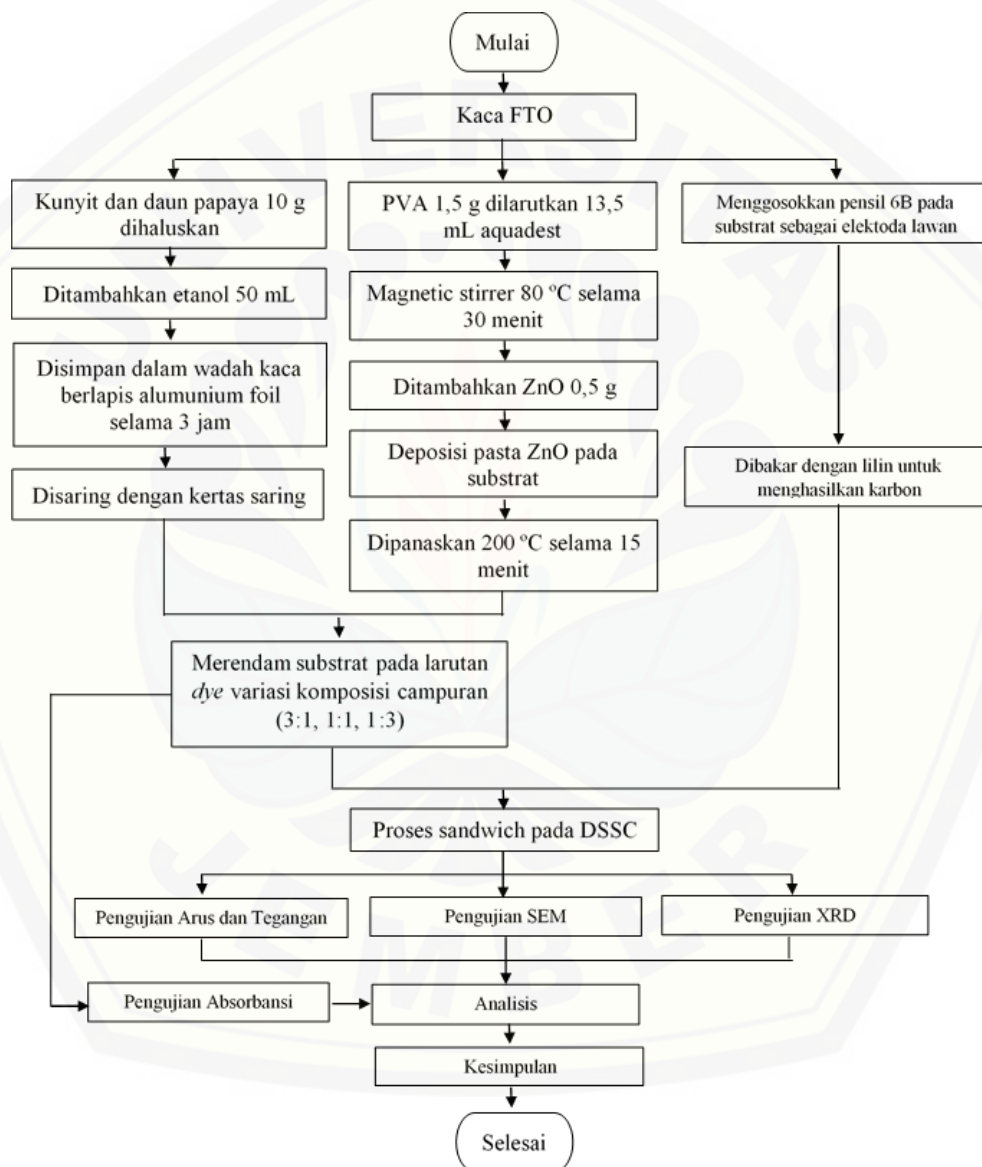
Pada tahap 1 dilakukan pembuatan kaca FTO (*Fluorin-doped Tin Oxide*) dengan menggunakan metode *spray pyrolysis deposition* dengan variasi waktu deposisi yang dapat di lihat pada Gambar 3.1.



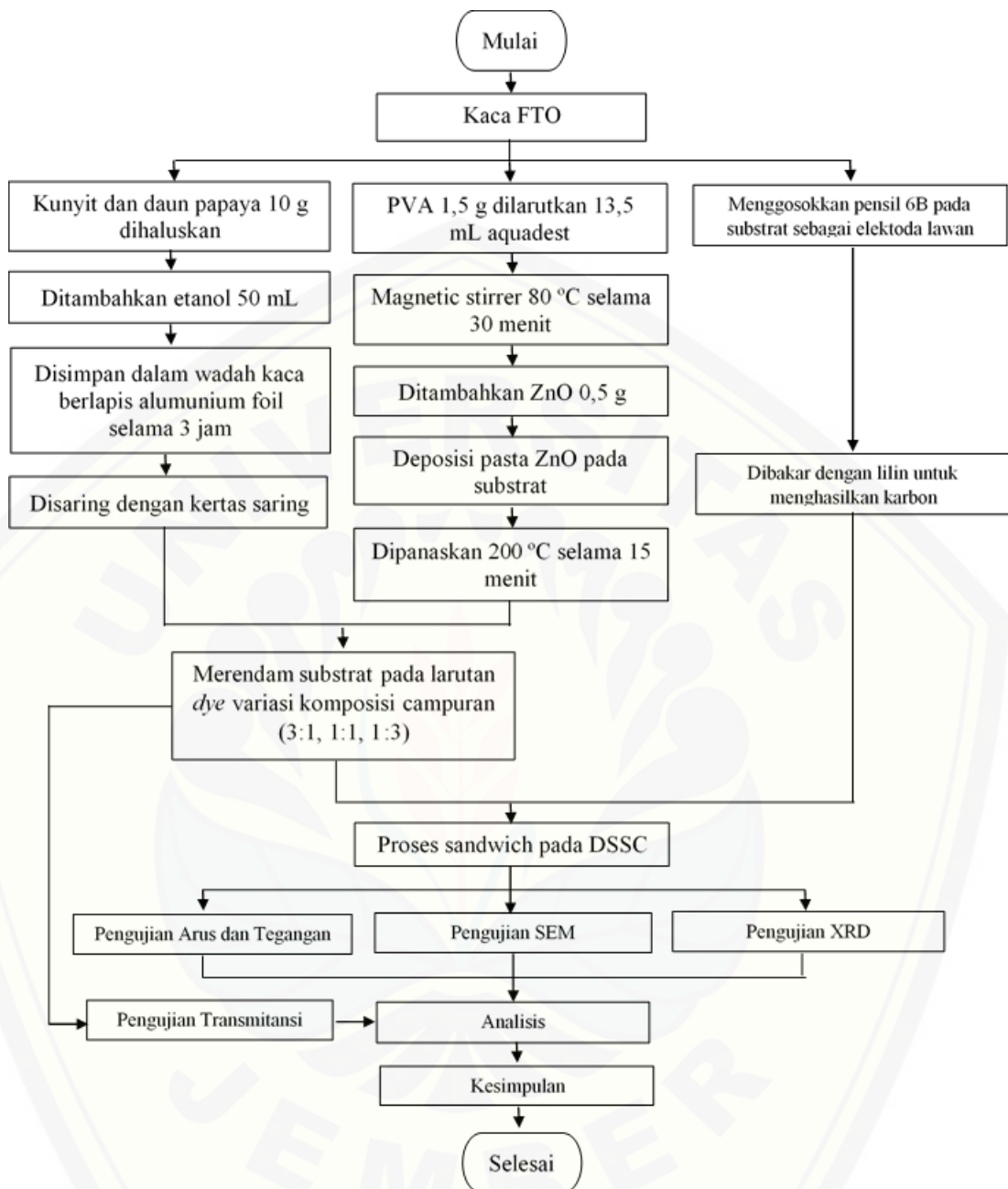
Gambar 3.1 Diagram proses tahap 1 (Pembuatan kaca FTO)

### 3.6.2 Pembuatan DSSC (*Dye-sensitized solar cells*)

Pada tahap 2 dilakukan pembuatan DSSC dengan menggunakan metode *doctor balde* untuk deposisi materi semikonduktor ZnO yang disusun secara *sandwich* dengan variasi perendaman di dalam larutan *dye* yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.







Gambar 3.2 Diagram proses tahap 2 (Pembuatan DSSC)

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian skripsi yang berjudul “Pengaruh Komposisi Campuran Karotenoid Dan Klorofil Dengan Bahan Semikonduktor Nano ZnO Terhadap Karakteristik DSSC” dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai transmitansi tertinggi pada kaca FTO (*Fluorin-doped Tin Oxide*) dihasilkan oleh variasi waktu deposisi larutan dopan 20 menit sebesar 84,8 %, sedangkan nilai transmitansi terendah pada variasi waktu deposisi larutan dopan 40 menit sebesar 69,9 %. Nilai resistivitas tertinggi dihasilkan oleh variasi waktu deposisi larutan dopan 20 menit sebesar 12,50  $\Omega$ .cm, sedangkan nilai resistivitas terendah pada variasi waktu deposisi larutan dopan 40 menit sebesar 2,56  $\Omega$ .cm.
2. Hasil pengamatan SEM semikonduktor nanopartikel ZnO dengan suhu *annealing* 200 °C menunjukkan tingkat porositas tinggi dan menyebabkan transfer elektron dari DSSC meningkat. Hasil pengamatan XRD menunjukkan adanya puncak SnO<sub>2</sub> selain puncak ZnO yang menandakan berhasilnya doping larutan SnO<sub>2</sub>:F pada DSSC.
3. Pengaruh campuran karotenoid kunyit dan klorofil daun pepaya menghasilkan absorbansi tertinggi pada variasi campuran (1:1) sebesar 1,8697 (a.u) pada panjang gelombang 494 nm, sedangkan nilai absorbansi terendah pada variasi campuran (1:3) sebesar 1,5095 pada panjang gelombang 489 nm. Nilai efisiensi terbesar dihasilkan pada variasi campuran (1:1) sebesar 0,309%, sedangkan nilai efisiensi terendah pada variasi campuran (3:1) sebesar 0,219%.

### 5.2 Saran

Untuk menghasilkan sel DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) yang lebih baik, penelitian ini perlu dikembangkan lagi supaya memperoleh karakteristik yang lebih baik juga, maka saran yang bisa dijadikan pertimbangan sebagai berikut:

1. Perlu menggunakan alat pengkabut larutan prekursor yang lebih baik agar proses penyemprotan larutan dopan maksimal.

2. Proses pelapisan ZnO harus menggunakan bahan sintesis, tingkat viskositas, dan temperatur kalsinasi yang tepat agar terbentuk lapisan yang baik.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Abideen, I., Y. Gbadebo, dan F. Abass. 2017. Substrate temperature effect on the photophysical & microstructural properties of fluorine-doped tin oxide nanoparticles. *Journal of Semiconductors*. 38(7)
- Adedokun, O., K. Titilope, dan A. O. Awodugba. 2016. Review on natural dye-sensitized solar cells (dsscs). *International Journal of Engineering Technologies, IJET*. 2(2):34.
- Ahmadi, S., N. Asim, M. A. Alghoul, F. Y. Hammadi, K. Saeedfar, N. A. Ludin, S. H. Zaidi, dan K. Sopian. 2014. The role of physical techniques on the preparation of photoanodes for dye sensitized solar cells. *International Journal of Photoenergy*. 2014
- Alrikabi, N. K. M. A. 2014. Renewable energy types. *Journal of Clean Energy Technologies*. 2(1):61–64.
- Ammar, A. M., H. S. H. Mohamed, M. M. K. Yousef, G. M. Abdel-Hafez, A. S. Hassanien, dan A. S. G. Khalil. 2019. Dye-sensitized solar cells (dsscs) based on extracted natural dyes. *Journal of Nanomaterials*. 201
- Ardianto, R., W. A. Nugroho, dan S. M. Sutan. 2015. Uji kinerja dye sensitized solar cell (dssc) menggunakan lapisan capacitive touchscreen sebagai substrat dan ekstrak klorofil nannochloropsis sp. sebagai dye sensitizer dengan variasi ketebalan pasta tio<sub>2</sub>. 3(3):325–337.
- Arini, T., L. Hanum Lalasari, F. Firdiyono, L. Andriyah, G. Fahmi, E. Yustanti, A. Subhan, dan A. Herman Yuwono. 2019. The effect of deposition times on preparation of sno<sub>2</sub>:f conductive glass by indonesian local stannic chloride precursors. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 541(1)
- Arjunan, T. V. dan T. S. Senthil. 2013. Review: dye sensitised solar cells. *Materials Technology*. 28(1–2):9–14.
- Bachtiar, M. I., M. Nur, P. Agustina, dan L. Wahyu. 2019. Effect of dye variation on dssc efficiency
- Bahtiar, H., N. A. Wibowo, dan F. S. Rondonuwu. 2015. Konstruksi sel surya bio menggunakan campuran klorofil-karotenoid sebagai sensitizer. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. 11(1):19.
- Benhaoua, B., S. Abbas, A. Rahal, A. Benhaoua, dan M. S. Aida. 2015. Effect of film thickness on the structural, optical and electrical properties of sno 2 : f

thin films prepared by spray ultrasonic for solar cells applications. *Superlattices and Microstructures*. 83:78–88.

Boukadhaba, M. A., A. Fouzri, V. Sallet, S. S. Hassani, G. Amiri, A. Lusson, dan M. Oumezzine. 2015. Characterization of zno thin film grown on c-plane substrates by mo-cvd: effect of substrate annealing temperature, vicinal-cut angle and miscut direction. *Superlattices and Microstructures*. 85:820–834.

Burgelman, M. 1998. Thin film solar cells by screen printing technology. *Workshop Microtechnology and Thermal Problems in ....* 129–135.

Calogero, G., J. H. Yum, A. Sinopoli, G. Di Marco, M. Grätzel, dan M. K. Nazeeruddin. 2012. Anthocyanins and betalains as light-harvesting pigments for dye-sensitized solar cells. *Solar Energy*. 86(5):1563–1575.

Chen, Y. J., Y. S. Lo, C. H. Huang, Y. C. Cai, dan M. C. Hsu. 2010. Anode growth of dsscs by flat-flame chemical vapor deposition method. *Materials Chemistry and Physics*. 120(1):181–186.

Cho, K. C., H. Chang, C. H. Chen, M. J. Kao, dan X. R. Lai. 2014. A study of mixed vegetable dyes with different extraction concentrations for use as a sensitizer for dye-sensitized solar cells. *International Journal of Photoenergy*. 2014

D, W., J. Callister, D. G, dan Rethswisch. 2014. Materials science and engineering - an introduction. 990.

Dahlan, D. dan D. Fahyuan. 2014. Jurnal sains materi indonesia efisiensi sel surya dye sensitized solar cell. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 15(2):74–79.

Dahlan, D., S. T. Leng, dan H. Aziz. 2016. SENSITISER dye alami daun pandan , akar kunyit. 8(1):1–8.

Daranfed, W. 2019. Deposition times influence on properties of 8 wt % fluorine – doped tin oxide thin films deposited by spray pyrolysis. (November):11–12.

Diantoro, M., D. Maftuha, T. Suprayogi, M. Reynaldi Iqbal, Solehudin, N. Mufti, A. Taufiq, A. Hidayat, R. Suryana, dan R. Hidayat. 2019. Performance of pterocarpus indicus wild leaf extract as natural dye tio<sub>2</sub>-dye/ito dssc. *Materials Today: Proceedings*. 17:1268–1276.

Eisenberg, R. dan D. G. Nocera. 2005. Preface: overview of the forum on solar and renewable energy. *Inorganic Chemistry*. 44(20):6799–6801.

Fernando, T., S. Ridwan, M. Gratzel, dan O. Regan. 2013. Dye sensitized solar cells ( dssc ) berbasis nanopori tio<sub>2</sub> menggunakan antosianin dari berbagai sumber alami. 155–162.

- Filipovic, L., S. Selberherr, G. C. Mutinati, E. Brunet, S. Steinhauer, A. Köck, J. Teva, J. Kraft, J. Siegert, dan F. Schrank. 2013. Modeling spray pyrolysis deposition. *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*. 2 LNECS(July):987–992.
- Ganesh, R. S., M. Navaneethan, S. Ponnusamy, C. Muthamizhchelvan, S. Kawasaki, Y. Shimura, dan Y. Hayakawa. 2018. Enhanced photon collection of high surface area carbonate-doped mesoporous  $\text{TiO}_2$  nanospheres in dye sensitized solar cells. *Materials Research Bulletin*. 101:353–362.
- Gordon, R. G. 2000. Criteria for choosing transparent conductors. *MRS Bulletin*. 25(8):52–57.
- Halme, J. 2002. Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells : technical review and preliminary tests master ' s thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of science in technology supervisor : professor peter lun
- Huynh, T. P., T. T. Hoanq, P. H. Nguyen, T. N. Tran, dan T. V. Nguyen. 2009. Preparation of  $\text{TiO}_2$  thin film using modified doctor-blade method for improvement of dye-sensitized solar cell. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. 002168–002171.
- Hwang, D. K., B. Lee, dan D. H. Kim. 2013. Efficiency enhancement in solid dye-sensitized solar cell by three-dimensional photonic crystal. *RSC Advances*. 3(9):3017–3023.
- Jaelani, A. 2017. Kebijakan energi baru terbarukan di indonesia: isyarat ilmiah al-qur'an dan implementasinya dalam ekonomi islam. (83314):1–19.
- Jasim, K. E. 2011. Dye sensitized solar cells - working principles, challenges and opportunities. *Solar Cells - Dye-Sensitized Devices*
- Junus, S., Sumarji, Haidzar, dan R. Sidartawan. 2019. The effect of copper electrode and hss type electrode on dc thermal plasma methode on the characteristics of the nanoparticle  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 14(1):24–28.
- Kalyanasundaram, K. dan M. Graätzel. 2009. Applications of functionalized transition metal complexes in photonic and optoelectronic devices. *Communications in Computer and Information Science*. 26 CCIS:98–104.
- Kazici, M., S. Bozar, A. Gürşen, F. Ongül, A. Karsli, N. S. Sariciftci, dan S. Günes. 2018. Solar cells. *Comprehensive Energy Systems*. 4–5(7):637–658.
- Khadtare, S. S., S. R. Jadkar, dan H. M. Pathan. 2012. Fabrication and studies on

fto/(compact zno/porous zno: eosin-y)/c: fto solar cell. *International Journal of Green Nanotechnology: Biomedicine*. 4(4):528–533.

Korotcenkov, G. dan B. K. Cho. 2017. Spray pyrolysis deposition of undoped  $\text{SnO}_2$  and  $\text{In}_2\text{O}_3$  films and their structural properties. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. 63(1):1–47.

Kumar, R., S. S. Nemala, S. Mallick, dan P. Bhargava. 2017. Synthesis and characterization of carbon based counter electrode for dye sensitized solar cells (dsscs) using sugar free as a carbon material. *Solar Energy*. 144:215–220.

Low, F. W. dan C. W. Lai. 2018. Recent developments of graphene- $\text{TiO}_2$  composite nanomaterials as efficient photoelectrodes in dye-sensitized solar cells: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 82(September 2017):103–125.

Martineau, D. 2012. *DYE SOLAR CELLS*

Napi, M. L. M., M. F. Maarof, C. F. Soon, N. Nayan, F. I. M. Fazli, N. K. A. Hamed, S. M. Mokhtar, N. K. Seng, M. K. Ahmad, A. B. Suriani, dan A. Mohamed. 2016. Fabrication of fluorine doped tin oxide (fto) thin films using spray pyrolysis deposition method for transparent conducting oxide. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 11(14):8800–8804.

Narayan, M. R. 2012. Review: dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(1):208–215.

Perednis, D. dan L. J. Gauckler. 2005. Thin film deposition using spray pyrolysis. *Journal of Electroceramics*. 14(2):103–111.

Pramono, S. H., E. Maulana, A. F. Prayogo, dan R. Djatmika. 2015. Characterization of dye-sensitized solar cell (dssc) based on chlorophyll dye. *International Journal of Applied Engineering Research*. 10(1):193–205.

Prayogo, A. F., S. H. Pramono, dan E. Maulana. 2015. Pengujian dan analisis performansi dye-sensitized solar cell ( dssc ) terhadap cahaya. 1–7.

Preiß, E. M., T. Rogge, A. Krauß, dan H. Seidel. 2015. Gas sensing by  $\text{SnO}_2$  thin films prepared by large-area pulsed laser deposition. *Procedia Engineering*. 120:88–91.

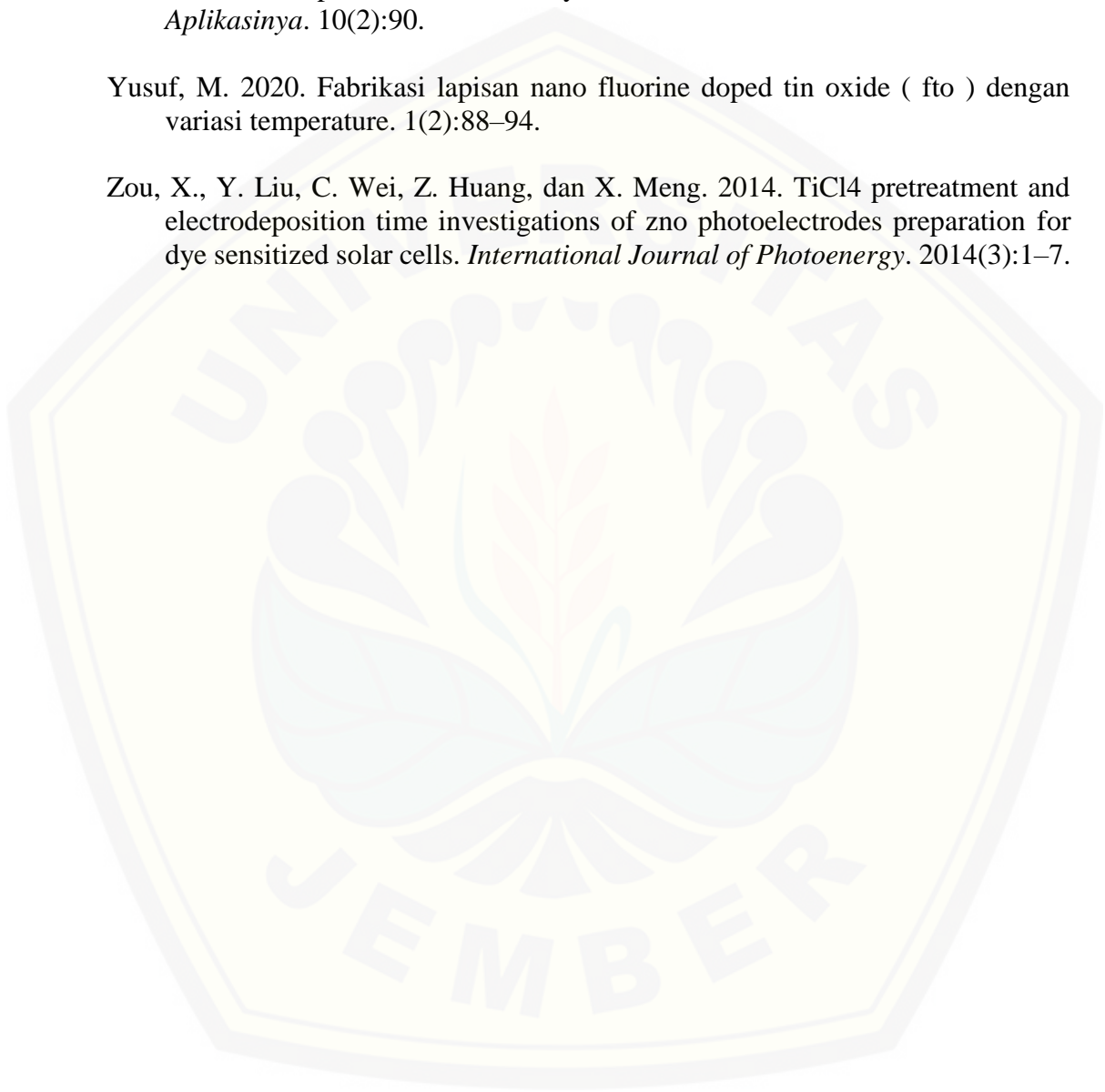
Qin, Y. dan Q. Peng. 2012. Ruthenium sensitizers and their applications in dye-sensitized solar cells. *International Journal of Photoenergy*. 2012(Ii)

Rahman, A. 2011. FABRIKASI dan karakterisasi nanopartikel zno untuk aplikasi dye sensitized-solar cell

- Ranabhat, K., L. Patrikeev, A. A. evna Revina, K. Andrianov, V. Lapshinsky, dan E. Sofronova. 2016. An introduction to solar cell technology. *Journal of Applied Engineering Science*. 14(4):481–491.
- Rasyid, D. I., H. Sutjahjono, I. Sholahuddin, M. Jurusan, T. Mesin, F. Teknik, dan U. Jember. 2018. PENGARUH proses hydrothermal nanofiber zno terhadap unjuk kerja dye – sensitized solar cell ( dssc ) solar energy can be utilized as renewable energy , because fossil energy is increasingly depleted and also environmentally friendly . in this case dssc ph. 1:19–23.
- Ren, X., W. Dang, Q. Ma, X. Zhu, W. Zi, L. Jia, B. Liu, X. Zhang, F. Xiao, H. Yang, Z. Yang, dan S. F. Liu. 2016. Superior texture-controlled zno thin film using electrochemical deposition. *Solar Energy*. 125:192–197.
- Sengupta, D., B. Mondal, dan K. Mukherjee. 2015. Visible light absorption and photo-sensitizing properties of spinach leaves and beetroot extracted natural dyes. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 148:85–92.
- Shah, R. S., R. R. Shah, R. B. Pawar, dan P. P. Gayakar. 2015. Uv-visible spectroscopy-a review. *International Standard Serial Number International Journal of Institutional Pharmacy and Life Sciences*. 5(October):2249–6807.
- Sharma, S., K. K. Jain, dan A. Sharma. 2015. Solar cells: in research and applications—a review. *Materials Sciences and Applications*. 06(12):1145–1155.
- Sitompul, R. 2011. Manual pelatihan teknologi energi terbarukan yang tepat untuk aplikasi di masyarakat pedesaan. *Jakarta: PNPM Support Facility (PSF)*. 45–75.
- Sonmez, E., S. Aydin, M. Yilmaz, M. T. Yurtcan, T. Karacali, dan M. Ertugrul. 2012. Study of structural and optical properties of zinc oxide rods grown on glasses by chemical spray pyrolysis. *Journal of Nanomaterials*. 2012(January)
- Sueyoshi, T. dan M. Goto. 2018. *World Energy. Environmental Assessment on Energy and Sustainability by Data Envelopment Analysis*.
- Sujatno, A., R. Salam, A. Dimiyati, dan Bandriyana. 2015. Studi scanning electron microscopy(sem) untuk karakterisasi proses oksidasi paduan zirkonium. *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*. 9(November):44–50.
- Tahir, D., W. Satriani, P. L. Gareso, dan B. Abdullah. 2018. Dye sensitized solar cell (dssc) with natural dyes extracted from jatropha leaves and purple chrysanthemum flowers as sensitizer. *Journal of Physics: Conference Series*. 979(1)



- Wan, T., S. Ramakrishna, dan Y. Liu. 2018. Recent progress in electrospinning tio<sub>2</sub> nanostructured photo-anode of dye-sensitized solar cells. *Journal of Applied Polymer Science*. 135(1)
- Winarni, A. P., K. Kusumandari, dan A. H. Ramelan. 2014. Optimasi parameter sintesis nanopartikel tio<sub>2</sub> untuk dye sensitized solar cell. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. 10(2):90.
- Yusuf, M. 2020. Fabrikasi lapisan nano fluorine doped tin oxide ( fto ) dengan variasi temperature. 1(2):88–94.
- Zou, X., Y. Liu, C. Wei, Z. Huang, dan X. Meng. 2014. TiCl<sub>4</sub> pretreatment and electrodeposition time investigations of zno photoelectrodes preparation for dye sensitized solar cells. *International Journal of Photoenergy*. 2014(3):1–7.



## LAMPIRAN

## Alat dan Bahan

NH<sub>4</sub>FSnCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O

HCl



Aquadest



Etanol



Metanol



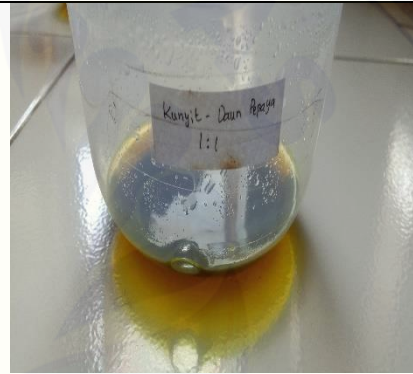
HCl



Aquades



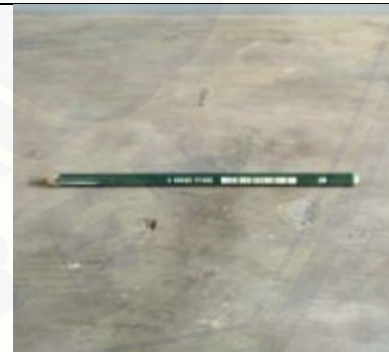
Kaca



Dye



Serbuk ZnO

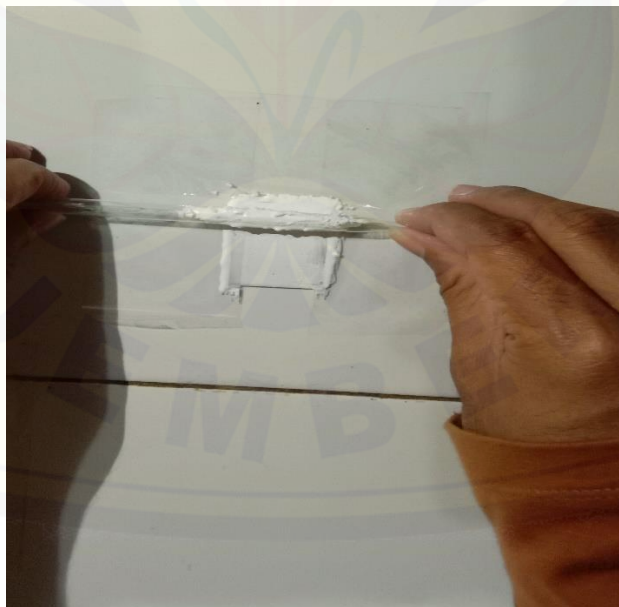


Pensil 6B

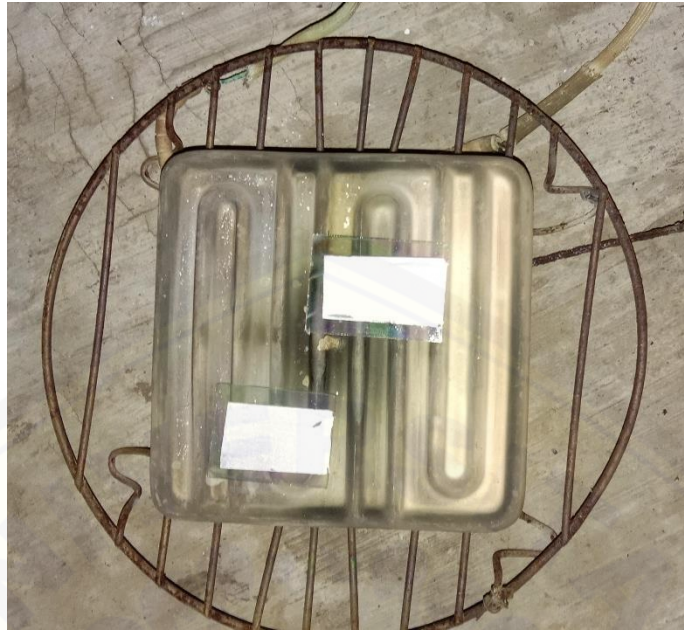
**Proses Pembuatan**



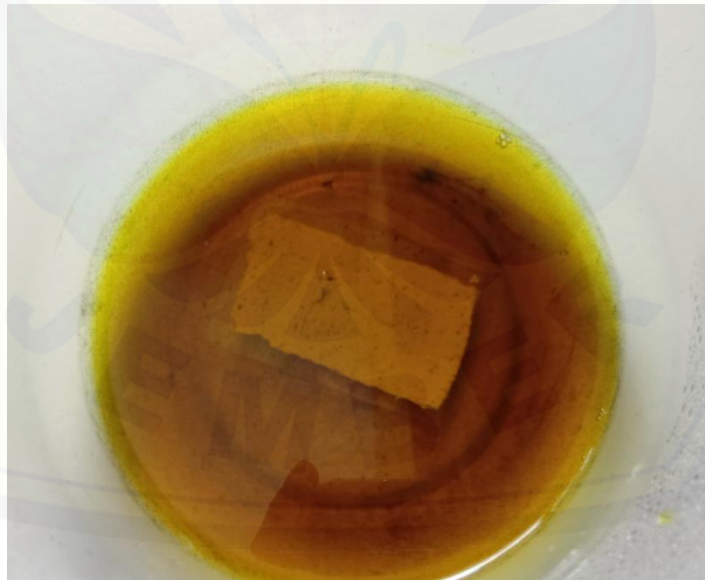
Proses deposisi kaca FTO



Deposisi bahan semikonduktor ZnO



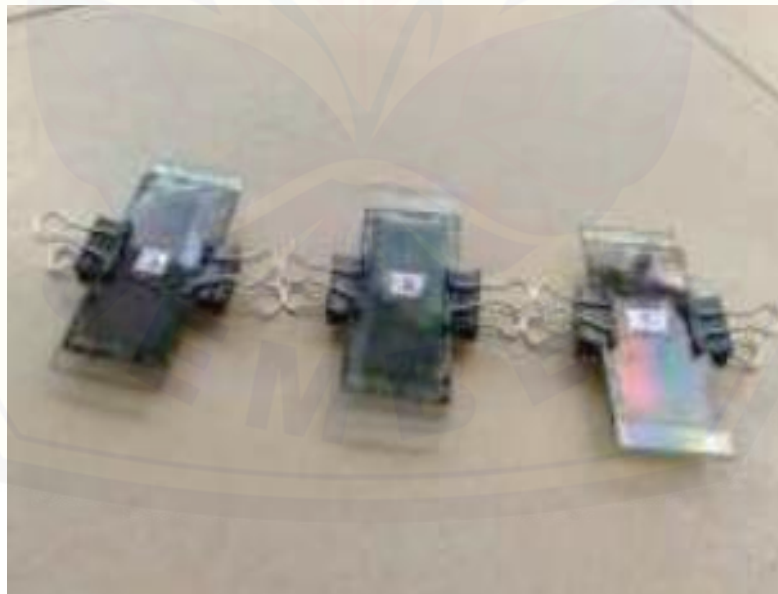
Kalsinasi bahan semikonduktor ZnO



Perendaman elektroda kerja pada *dye* (zat warna)



Elektroda lawan yang telah dilapisi karbon



Penggabungan komponen DSSC

**Hasil Pengujian Resistivitas**

1. Tabel hasil pengujian resistivitas kaca FTO variasi waktu deposisi larutan dopan 20 menit

Sampel	S (cm)	I (A)	V (V)	Resistivitas ( $\Omega\text{cm}$ )
1	1	1,2	2,73	14,29
2	1	1,2	3,51	18,37
3	1	1,2	2,99	15,65
4	1	1,2	1,35	7,07
5	1	1,2	1,36	7,12
Rata-Rata				12,50

2. Tabel hasil pengujian resistivitas kaca FTO variasi waktu deposisi larutan dopan 30 menit

Sampel	S (cm)	I (A)	V (V)	Resistivitas ( $\Omega\text{cm}$ )
1	1	1,2	0,96	5,02
2	1	1,2	1,05	5,50
3	1	1,2	0,80	4,19
4	1	1,2	0,79	4,13
5	1	1,2	1,06	5,55
Rata-Rata				4,88

3. Tabel hasil pengujian resistivitas kaca FTO variasi waktu deposisi larutan dopan 40 menit

Sampel	S (cm)	I (A)	V (V)	Resistivitas ( $\Omega\text{cm}$ )
1	1	1,2	0,59	3,09
2	1	1,2	0,57	2,98
3	1	1,2	0,43	2,25
4	1	1,2	0,51	2,67
5	1	1,2	0,35	1,83
Rata-Rata				2,56