



**PENGARUH WAKTU PERENDAMAN ELEKTRODA KERJA
DENGAN BAHAN SEMIKONDUKTOR ZnO TERHADAP
KARAKTERISTIK DSSC**

Skripsi

Oleh:

Joko Amin Permana

141910101049

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**PENGARUH WAKTU PERENDAMAN ELEKTRODA KERJA
DENGAN BAHAN SEMIKONDUKTOR ZnO TERHADAP
KARAKTERISTIK DSSC**

Skripsi

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Fakultas Teknik Universitas Jember

Oleh:

Joko Amin Permana

141910101049

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Penulis mempersembahkan skripsi ini untuk :

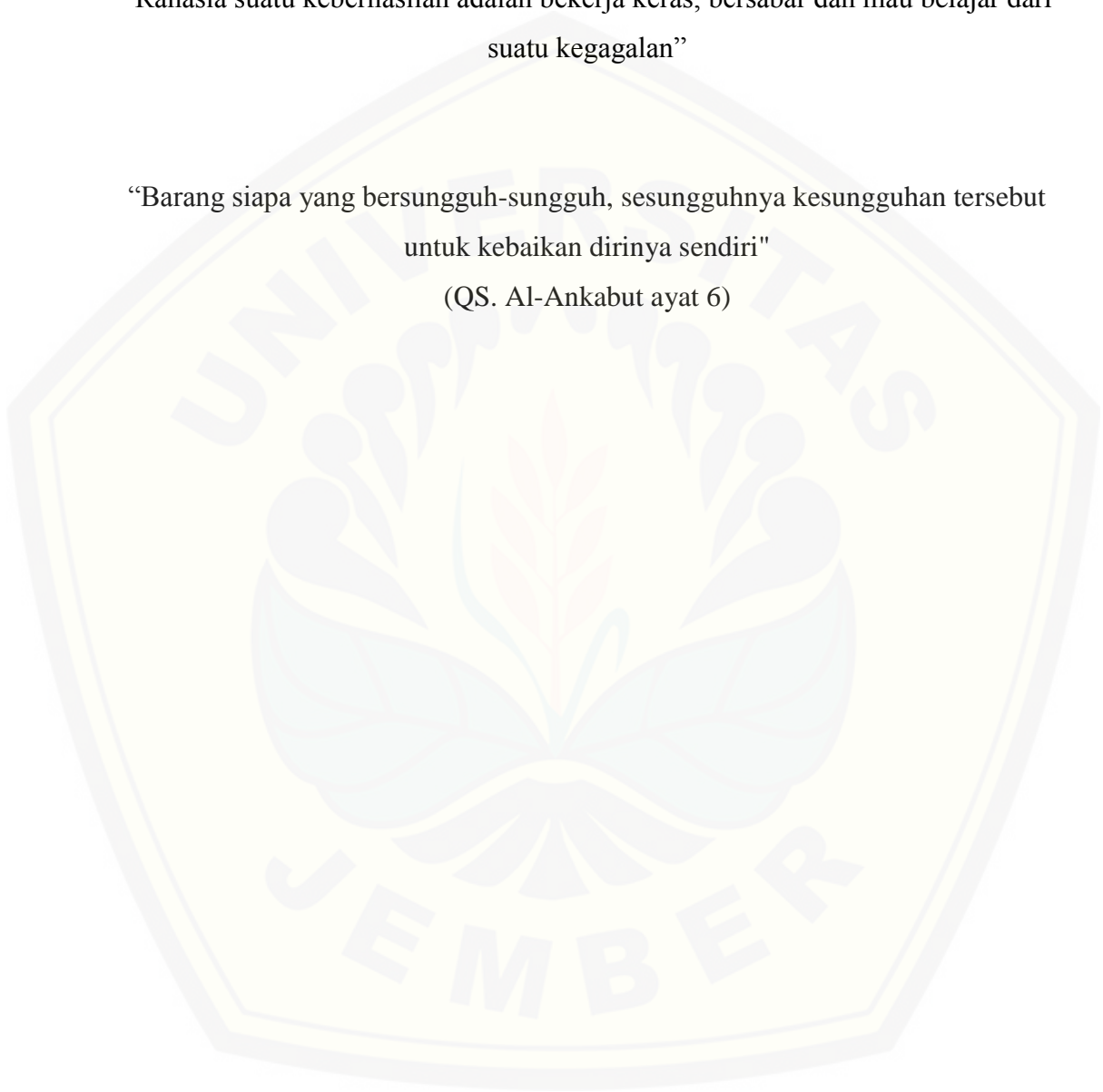
1. Ibu Ninik Iswati dan Alm. Bapak Saino sebagai tanda bakti, rasa hormat dan ucapan terima kasih sedalam – dalamnya atas segala doa, dukungan serta pengorbanan yang telah dilakukan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Keluarga penulis mbah parni, mbah tini, adek ina fatikha yang telah memberikan semangat dan doa dalam proses penulisan skripsi ini.
3. Bapak Pembimbing yang telah berkenan untuk membimbing penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik.
4. Teman seperjuangan skripsi Kelompok Riset MaGNIFIED yang memberikan bantuan dan semangat untuk kelancaran skripsi
5. Teman – teman Teknik Mesin angkatan 2014 (M16) yang telah memberikan dukungan serta pengalaman suka duka selama berkuliah di Fakultas Teknik Universitas Jember ini.
6. Guru – guru yang telah memberikan ilmu sejak dalam tingkat Taman Kanak-Kanak hingga Sekolah Menengah Atas, serta bapak ibu dosen di Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu pada penulis.
7. Almamater tercinta, Fakultas Teknik Universitas Jember .

MOTTO

“Rahasia suatu keberhasilan adalah bekerja keras, bersabar dan mau belajar dari suatu kegagalan”

“Barang siapa yang bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhan tersebut untuk kebaikan dirinya sendiri”

(QS. Al-Ankabut ayat 6)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Joko Amin Permana

NIM : 141910101049

Dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi dengan judul ” Pengaruh Waktu Perendaman Elektroda Kerja Dengan Bahan Semikonduktor ZnO Terhadap Karakteristik DSSC” sebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanggung jawab tanpa ada unsur pemaksaan serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, januari 2020

Yang Menyatakan,

Joko Amin Permana

141910101049

SKRIPSI

**PENGARUH WAKTU PERENDAMAN ELEKTRODA KERJA
DENGAN BAHAN SEMIKONDUKTOR ZnO TERHADAP
KARAKTERISTIK DSSC**

Oleh:

Joko Amin Permana

NIM. 141910101049

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama

: Dr. Ir. Salahudin Junus S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota

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

PENGESAHAN SKRIPSI

Skripsi berjudul “Pengaruh Waktu Perendaman Elektroda Kerja Dengan Bahan Semikonduktor ZnO Terhadap Karakteristik DSSC” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari, tanggal : Rabu, 22 Januari 2020

Tempat : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Tim Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Salahudin Junus S.T., M.T.
NIP. 197510062002121002

Ir. Ahmad Adib Rosyadi S.T., M.T.
NIP. 198501172012121001

Tim Penguji

Penguji I

Penguji II

Ir. Sumarji, S.T., M.T.
NIP. 196802021997021001

Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah S.T., M.T.
NRP. 760014642

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 197008261997021001

RINGKASAN

Pengaruh Waktu Perendaman Elektroda Kerja Dengan Bahan Semikonduktor ZnO Terhadap Karakteristik DSSC; Joko Amin Permana, 141910101049; 60 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penelitian ini dilakukan untuk membuat sel surya jenis DSSC dengan memberikan variasi terhadap proses perendaman elektroda kerja 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 langkah 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.

Penambahan konsentrasi dopan 0,15mol/l; 0,25mol/l dan 0,35mol/l menghasilkan nilai tranmitansi rata-rata yaitu 60,2%; 64,1% dan 67,9 %. Semakin besar jumlah penambahan konsentrasi dopan mengakibatkan peningkatan nilai transmitansi. Hasil resistivitas kaca FTO dengan konsentrasi dopan 0,15 mol/l; 0,25 mol/l dan 0,35 mol/l berturut-turut sebesar 13,02 Ωcm ; 8,94 Ωcm dan 3,10 Ωcm . Peningkatan jumlah konsentrasi dopan mengakibatkan penurunan nilai resistivitas.

Penambahan konsentrasi dopan dengan jumlah 0,15 mol/l; 0,25 mol/l dan 0,35 mol/l menghasilkan nilai resistansi 690 ohm, 348 ohm dan 67 ohm. Semakin besar jumlah penambahan dopan dalam pembuatan kaca FTO mengakibatkan terjadi penurunan terhadap nilai resistansi. Lapisan tipis kaca FTO dengan konsentrasi dopan 0,15mol/l memiliki luas area rata rata butir partikel 72 nm dan panjang diameter rata-rata butir partikel 9,5 nm. Pada konsentrasi larutan dopan 0,35 mol/l memiliki luas rata-rata 80,5 nm dan panjang diameter rata-rata 10,1. Peningkatan jumlah *flour* mengakibatkan perubahan ukuran butir partikel lebih besar. Pada DSSC dengan lama perendaman 6 jam, 12jam dan 24 jam menghasilkan nilai efisiensi 0,0005%; 0,4069%, dan 5,9902%. Semakin lama waktu perendaman elektroda kerja dalam *dye* mengakibatkan Peningkatan nilai efisiensi.

SUMMARY

Effect Of Immersion Time Electrode With Semiconductor Material ZnO For Characteristic DSSC; Joko Amin Permana, 141910101049; 60 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Jember.

This research was conducted to make DSSC type solar cells by providing variations on the process of immersion of the working electrodes so that they can be analyzed for effect and determined the greatest efficiency value. Conductive glass with FTO (Fluorine Doped Tin Oxide) type is made by spray pyrolysis deposition method. Conductive glass in Indonesia is very rare because the manufacturing process uses new technology with complex processes. 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 a conductive glass on DSSC compared to ITO (Indium Tin Oxides) glass.

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

Addition of dopant concentration 0.15mol / l; 0.25mol / l and 0.35mol / l produce an average transfer value of 60.2%; 64.1% and 67.9%. The greater amount of addition of dopant concentration results in an increase in the value of transmittance. The results of the FTO glass resistivity with a dopant concentration of 0.15 mol / l; 0.25 mol / l and 0.35 mol / l respectively 13.02 Ω cm; 8.94 Ω cm and 3.10 Ω cm. Increasing the amount of dopant concentration results in a decrease in resistivity value. Addition of dopant concentration in the amount of 0.15 mol / l; 0.25 mol / l and 0.35 mol / l produce resistance values of 690 ohms, 348 ohms and 67 ohms. The greater amount of addition of dopants in the manufacture of FTO glass results in a decrease in the resistance value. The thin layer of FTO glass with a dopant concentration of 0.15mol / l has an average particle area of 72 nm and an average particle length of 9.5 nm in diameter. At dopant concentration 0.35 mol / l has an average area of 80.5 nm and an average diameter length of 10.1. Increasing the amount of flour results in changes in grain size of larger particles. On DSSC

with immersion time of 6 hours, 12 hours and 24 hours resulted in an efficiency value of 0,0005%; 0.4069% and 5.9902%. The longer immersion time of working electrodes in the dye results in an increase in the value of efficiency.

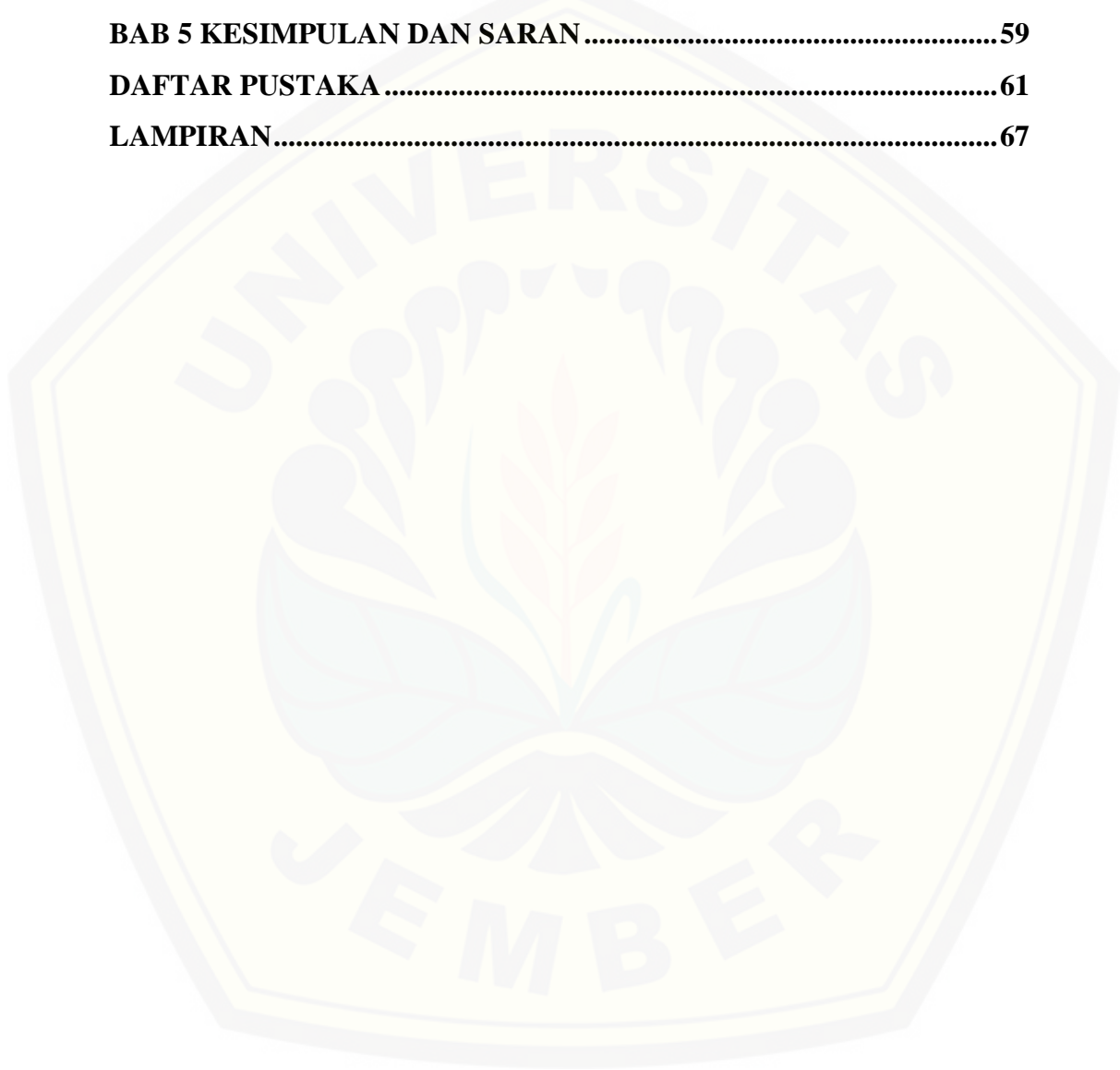


DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN.....	v
PENGESAHAN SKRIPSI.....	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat	2
1.3.1 Tujuan.....	2
1.3.2 Manfaat.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Hipotesa	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Energi Surya	4
2.2 Sel Surya.....	5
2.2.1 Prinsip Kerja Sel Surya	5
2.2.2 Performasi Sel Surya	6
2.2.3 Jenis Jenis Sel Surya.....	
2.3 Kaca TCO (<i>transparent conductive oxide</i>)	9
2.3.1 Jenis Kaca TCO	9
2.3.2 Metode Pembuatan Kaca TCO.....	10
2.3.3 Karakteristik Kaca TCO	12
2.4 Dye	13
2.4.1 Antosianin.....	14

2.4.2 Klorofil	14
2.4.3 Karotenoid	15
2.4.4 Flavonoid	15
2.5 Senyawa ZnO sebagai semikonduktor pada DSSC	16
2.6 Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)	17
2.6.1 Prinsip DSSC.....	18
2.6.2 Komponen-Komponen DSSC	19.
2.6.3 Deposisi Lapisan Elektroda Kerja	22
2.7 Karakterisasi DSSC	25
2.7.1 Pengujian Resistivitas Kaca FTO.....	25
2.7.2 Pengujian Resistansi Kaca FTO.....	26
2.7.3 Pengujian spektrofotometer.....	27
2.7.4 Pengujian SEM (<i>Scanning electron microscopy</i>).....	28
2.7.5 Pengujian Arus Dan Tegangan DSSC.....	28
2.8 Diagram Fishbone.....	29
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Metode Penelitian.....	31
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
3.3 Alat dan Bahan.....	31
3.2.1 Alat.....	31
3.2.2 Bahan.....	32
3.4 Prosedur Penelitian.....	32
3.5 Prosedur pengujian sampel.....	34
3.5.1 Pengujian Transmittansi	34
3.5.2 Pengujian Resistivitas	35
3.5.3 Pengujian Resistansi.....	36
3.5.4 Pengujian SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>)	36
3.5.5 Pengujian Arus dan Tegangan DSSC.....	37
3.6 Diagram Alir Penelitian	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Hasil Pengujian Kaca FTO.....	41

4.1.1 Hasil Pengujian Transmittansi.....	41
4.1.2 Hasil Pengujian Resistivitas	44
4.1.3 Hasil Pengujian Resistansi	46
4.1.4 Hasil Pengujian SEM (<i>Dye Sensitized Solar Cell</i>).....	47
4.2 Hasil Pengujian Arus dan Tegangan DSSC.....	51
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	59
DAFTAR PUSTAKA	61
LAMPIRAN.....	67



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penyebaran radiasi matahari rata-rata tahunan di atas permukaan bumi (Kabir <i>et al</i> , 2018).....	4
Gambar 2.2 Standar spektrum cahaya matahari AM 1.5 (Halme, 2002).....	7
Gambar 2.3 Bentuk kurva arus tegangan sel fotovoltaik (Halme, 2002).....	7
Gambar 2.4 Skema diagram proses spray pyrolysis (Perednis <i>et al</i> , 2005).....	12
Gambar 2.5 Hubungan antara parameter deposisi dan struktural pada teknik spray pyrolysis (Korotcenkov, 2017).....	12
Gambar 2.6 Ilustrasi mekanisme molekul ZnO dalam DSSC (Anta, 2012).....	16
Gambar 2.7 Skema struktur dan mekanisme kerja DSSC (Hasoon <i>et al</i> , 2015)...	17
Gambar 2.8 Skema transfer electron pada DSSC (Ludin <i>et al</i> , 2014).....	19
Gambar 2.9 Proses deposisi doctor blade (Godibo <i>et al</i> , 2015).....	23
Gambar 2.10 Metode Four Point Probe (Van Der Pauw <i>et al</i> , 1958).....	26
Gambar 2.11 Metode Four Point Probe dengan sampel persegi (Smith <i>et al</i> , 1957).....	26
Gambar 2.12 Pengujian Resistansi (Martineau, 2012).....	27
Gambar 2.13 Instrumen Ultraviolet (UV) spectroscopy (Shah <i>et al</i> , 2017).....	28
Gambar 2.14 Mekanisme alat pengujian SEM (Sujatno, 2015).....	28
Gambar 2.15 Pengujian Arus dan Tegangan (Martineau, 2012).....	29
Gambar 2.16 Diagram Fishbone.....	31
Gambar 3.1 Alat pengujian transmitansi.....	35
Gambar 3.2 Alat pengujian SEM.....	37
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian tahap 1.....	39
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian tahap 2.....	40
Gambar 4.1 Grafik pengujian transmitansi FTO variasi dopan 0,15mol/l; 0,25mol/l; 0,35mol/l.....	42
Gambar 4.2 Spektrum transmitansi film tipis pada berbagai panjang gelombang dengan variasi doping flour (Yousif <i>et al</i> , 2013).....	43
Gambar 4.3 grafik pengujian Resistivitas FTO variasi dopan 0,15mol/l; 0,25 mol/l dan 0,35mol/l.....	45

Gambar 4.4 grafik pengujian Resistansi FTO variasi dopan 0,15 mol/l; 0,25 mol/l; 0,35 mol/l.....	46
Gambar 4.5 Hasil Foto SEM kaca FTO perbesaran 30.000x variasi konsentrasi dopan 0,15 mol/l	48
Gambar 4.6 Hasil Foto SEM kaca FTO perbesaran 30.000x variasi konsentrasi dopan 0,35 mol/l	48
Gambar 4.7 Hasil Foto SEM kaca FTO perbesaran 50.000x dengan variabel deposisi doping <i>flour</i> 6% temperatur 300oC, waktu 5 menit (Arini, 2017)	49
Gambar 4.8 Hasil SEM Lapisan sintesis nanopartikel ZnO pada kaca FTO	50
Gambar 4.9 Hasil SEM Lapisan sintesis nanopartikel ZnO dengan temperatur annealing 200oC (Kahlout <i>et al</i> , 2014).....	51
Gambar 4.10 Grafik rapat arus DSSC lama perendaman 6 jam	54
Gambar 4.11 Grafik rapat arus DSSC lama perendaman 12 jam	55
Gambar 4.12 Grafik rapat arus DSSC lama perendaman 24 jam	55
Gambar 4.13 Grafik Efisiesnsi DSSC.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Nanopartikel ZnO	32
Tabel 4.1 Hasil Nilai Transmittansi Rata-Rata Dengan Variasi Doping <i>Flour</i>	42
Tabel 4.2 Hasil Resistivitas FTO	45
Tabel Tabel 4.3 Hasil Resistivitas lapisan FTO berdasarkan variasi konsentrasi dopan (Memarian, 2010)	46
Tabel 4.4 Hasil Resistansi FTO	46
Tabel 4.5 Ukuran diameter butir pada lapisan SnO ₂ :F	49
Tabel 4.6 Ukuran butir pada lapisan SnO ₂ :F disemprotkan pada suhu 450°C (Yousif <i>et al</i> , 2013)	49
Tabel 4.7 Perhitungan daya DSSC dengan lama perendaman 6 jam	52
Tabel 4.8 Perhitungan daya DSSC dengan lama perendaman 12 jam	53
Tabel 4.9 Perhitungan daya DSSC dengan lama perendaman 24 jam	54
Tabel 4.10 Hasil karakteristik DSSC	56
Tabel 4.11 Hasil Efisiensi dengan variasi waktu perendaman elektroda kerja pada dye (Li <i>et al</i> , 2013)	57

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi matahari berpotensi besar diterapkan di berbagai negara termasuk Indonesia yang berada di garis khatulistiwa bumi. Indonesia adalah negara dengan iklim tropis dan tersedia cahaya matahari berlimpah pada siang hari yang berlangsung sepanjang tahun. Meskipun mempunyai potensi yang sangat besar karena tersedia hampir di seluruh dunia, namun kontribusi energi matahari untuk pasokan energi global dapat dikatakan minim (Kabir *et al*, 2018). Energi matahari dapat digunakan sebagai sumber tenaga memakai sel surya untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik.

DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) adalah perangkat sel surya yang tersensitasi dengan zat warna dari ekstrak bahan alam. Sebuah DSSC terdiri dari fotoanoda dari kaca TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang dilapisi bahan semikonduktor dengan energi band gap tinggi seperti TiO₂, ZnO, SnO₂ dan Nb₂O₅ dan ditumbuhkan sebagai lapisan dengan berbagai metode seperti *doctor blade*, *screen printing*, *cold spraying* dan *elektrotrospinning*.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Pengaruh variasi konsentrasi larutan dopan 0,15 mol/l; 0,25 mol/l dan 0,35 mol/l setara dengan kandungan NH₄F 0,7 gram; 1,2 gram dan 1,6 gram terhadap tingkat resistansi, tingkat resistivitas, tingkat transmitansi, dan struktur lapisan kaca FTO.
2. Pengaruh waktu perendaman elektroda kerja dalam *dye* berupa ekstrak klorofil dengan variasi 8 jam, 12 jam dan 24 jam terhadap hasil arus dan tegangan listrik DSSC.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dan manfaat dari penelitian dengan topik sel surya berjenis DSSC ini adalah sebagai berikut :

1.3.1 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui Pengaruh variasi konsentrasi larutan dopan 0,15 mol/l; 0,25 mol/l dan 0,35 mol/l setara dengan kandungan NH₄F 0,7 gram; 1,2 gram dan 1,6 gram terhadap tingkat resistansi.
2. Mengetahui Pengaruh variasi konsentrasi larutan dopan 0,15 mol/l; 0,25 mol/l dan 0,35 mol/l setara dengan kandungan NH₄F 0,7 gram; 1,2 gram dan 1,6 gram terhadap tingkat resistivitas.
3. Mengetahui Pengaruh variasi konsentrasi larutan dopan 0,15 mol/l; 0,25 mol/l dan 0,35 mol/l setara dengan kandungan NH₄F 0,7 gram; 1,2 gram dan 1,6 gram terhadap tingkat transmitansi.
4. Mengetahui Pengaruh variasi konsentrasi larutan dopan 0,15 mol/l; 0,25 mol/l dan 0,35 mol/l setara dengan kandungan NH₄F 0,7 gram; 1,2 gram dan 1,6 gram terhadap struktur lapisan kaca FTO dari pengujian SEM.
5. Untuk mengetahui Pengaruh waktu perendaman elektroda kerja dalam *dye* berupa ekstrak klorofil dengan variasi 8 jam, 12 jam dan 24 jam terhadap hasil arus dan tegangan listrik DSSC.

1.3.2 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan tambahan wawasan tentang alat, bahan, proses pembuatan dan variabel yang berpengaruh terhadap karakteristik dalam komponen sel surya khususnya DSSC.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini diberi batasan sebagai berikut:

1. Kaca konduktif yang digunakan jenis FTO dibuat dengan metode *spray pyrolysis*.
2. Bahan semikonduktor yang digunakan nanopartikel ZnO dideposisikan dengan metode *doctor blade*.

3. *Dye* yang digunakan ekstrak klorofil.
4. Karakterisasi DSSC dengan mengukur unjuk kerja tegangan dan arus listrik dengan alat AVO meter dengan sumber energi cahaya matahari.

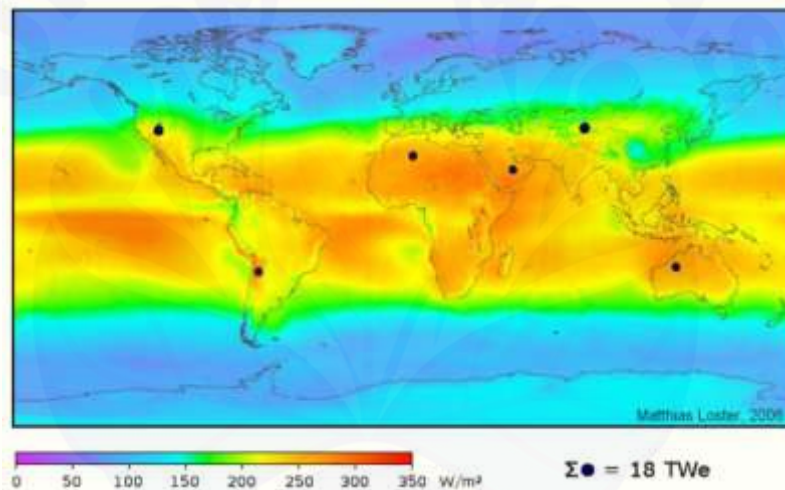
1.5 Hipotesa

Hipotesa yang dibuat untuk penelitian ini adalah perubahan konsentrasi larutan dopan pada proses pembuatan kaca FTO berpengaruh terhadap kualitas kaca FTO seperti, tingkat resistansi, tingkat resistivitas, tingkat transmitansi, dan struktur butir lapisan tipis. Hipotesa kedua adalah semakin lama waktu perendaman elektroda kerja pada *dye* menggunakan ekstrak klorofil maka akan meningkatkan kemampuan DSSC untuk menyerap sinar matahari sehingga, arus dan tegangan listrik yang dihasilkan oleh DSSC semakin besar.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Surya

Matahari merupakan sumber energi utama yang tidak pernah habis untuk planet Bumi. Teknologi untuk pemanfaatan cahaya matahari sebagai sumber energi dalam menghasilkan listrik dalam proses riset dan pengembangan yang pesat. Pendekatan ini telah terbukti dan diterapkan di beberapa negara menjadi pilihan alternatif menggantikan energi dari fosil yang jumlahnya terbatas. Meskipun mempunyai potensi yang sangat besar karena tersedia hampir di seluruh dunia, namun kontribusi energi matahari untuk pasokan energi global dapat dikatakan minim (Kabir *et al*, 2018).



Gambar 2.1 Penyebaran radiasi matahari rata-rata tahunan di atas permukaan bumi (Kabir *et al*, 2018).

Jumlah rata-rata energi matahari yang diterima oleh atmosfer bumi yaitu sekitar 342 Wm^{-2} dengan 30% tersebar atau dipantulkan kembali ke angkasa, sedangkan yang diterima pada permukaan bumi adalah 70% (239 Wm^{-2}) dapat digunakan manusia. Gambar 2.1 memperlihatkan berbagai macam tingkat intensitas rata-rata tahunan radiasi matahari di atas permukaan bumi. Penelitian sudah membuktikan bahwa daerah dengan tanda titik hitam pada gambar 2.1 mampu menghasilkan lebih dari total kebutuhan energi primer seluruh dunia, dengan asumsi bahwa konversi energi matahari ke listrik mencapai 8% (Kabir *et al*, 2018).

Energi matahari berpotensi besar diterapkan di berbagai negara termasuk Indonesia yang berada di garis khatulistiwa bumi. Indonesia adalah negara dengan iklim tropis dan tersedia cahaya matahari berlimpah pada siang hari yang berlangsung sepanjang tahun. Dengan alasan tersebut, energi matahari dapat menjadi sebuah solusi terbaik untuk menyediakan kebutuhan listrik bagi industri, infrastruktur, dan rumah tangga. Pemerintah sendiri telah bertujuan untuk meningkatkan rasio elektrifikasi dengan meningkatkan efisiensi dan jumlah pembangkit listrik menggunakan sumber energi terbarukan terutama energi matahari. Indonesia mengandalkan sebagian besar pembangkit listriknya menggunakan bahan bakar fosil yang menimbulkan gas emisi rumah kaca yang berdampak pada perubahan iklim drastis dan merusak lingkungan. Masalah tersebut dapat dikurangi dengan pengalihan konsumsi energi dari bahan bakar fosil ke energi matahari (Fathoni *et al*, 2014).

2.2 Sel Surya

Sel surya merupakan perangkat optoelektronik yang mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik menggunakan material semikonduktor untuk menciptakan reaksi fotovoltaiik. Efek fotovoltaiik mentransfer elektron ditransfer antara nilai band gap yang berbeda yaitu dari pita valensi ke pita konduksi pada material sehingga menciptakan penumpukan tegangan antara dua elektroda. Studi tentang reaksi sel surya oleh pengaruh suhu (T) sangat penting sebagai faktor penentu efisiensi dan daya tahan yang dihasilkan. sel surya secara umum beroperasi pada suhu mulai dari 15°C (288°K) hingga 50°C (323°K). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Priyanka Singh pada tahun 2012 menunjukkan bahwa kinerja sel surya mengalami penurunan akibat peningkatan suhu.

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 mengasilkan energi. Berbagai jenis bahan semikonduktor dan teknologi dirancang untuk mendesain sel surya dengan biaya rendah serta efisiensi konversi energi yang tinggi. Panel surya tradisional terbuat dari bahan silikon yang berat sehingga membuat transportasi perangkat menjadi sulit. Panel surya secara umum berukuran besar ditutupi dengan lembaran kaca. Panel surya yang lebih berat dan tebal membutuhkan tempat yang luas, tapi dapat menghasilkan daya tinggi (Sharma *et al*, 2015).

2.2.2 Performasi Sel Surya

Sel surya adalah perangkat yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Hasil daya listrik dalam rangkaian sel surya dari radiasi sinar matahari dapat diukur dari kemampuan perangkat fotovoltaik untuk menghasilkan tegangan melalui beban eksternal dan arus melalui jumlah memuat elektron. Ketika sel surya dihubungkan dengan rangkaian tertutup di bawah radiasi penyinaran maka menghasilkan arus maksimum disebut arus rangkaian tertutup (I_{sc}). Namun, pada pemasangan rangkaian terbuka tidak bisa diberi aliran arus listrik dan menghasilkan tegangan maksimum disebut tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}). Titik yang berada dalam kurva antara arus dan tegangan (IV) pada hasil arus dan tegangan maksimum merupakan titik daya maksimum (MPP). Karakteristik penting lainnya dari kinerja sel surya adalah *fill factor* (FF), didefinisikan sebagai

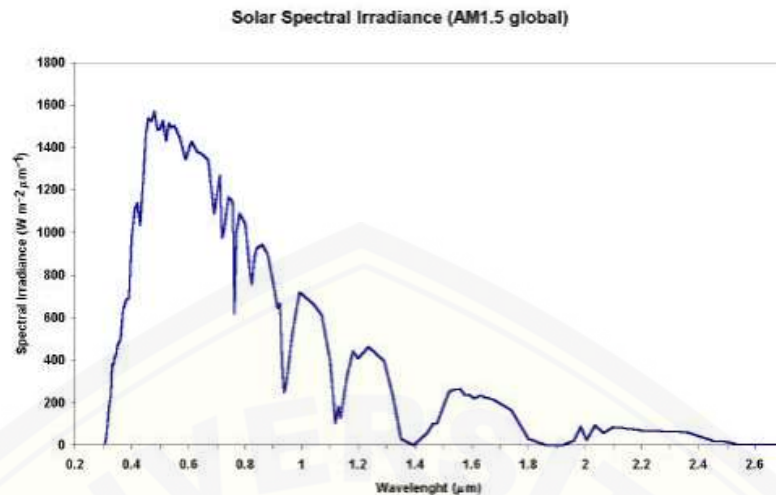
$$FF = \frac{v_{MPP} \cdot I_{MP}}{v_{oc} \cdot I_{sc}} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan menggunakan *fill factor*, output daya maksimum sel surya dapat ditulis sebagai

$$P_{max} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \dots\dots\dots (2)$$

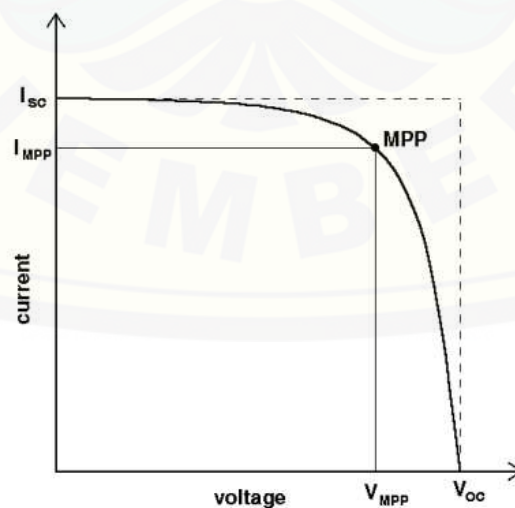
Efisiensi konversi energi sel surya didefinisikan sebagai daya maksimal yang dihasilkan (P_{MAX}) dibagi dengan daya efektif di daerah luasan aktif (P_{light}):

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{light}} \dots\dots\dots (3)$$



Gambar 2.2 Standar spektrum cahaya matahari AM 1.5 (Halme, 2002).

Efisiensi sel surya tergantung pada suhu saat beroperasi dan kualitas iluminasi, yaitu intensitas cahaya total dan distribusi spektrum cahaya. Standar pengujian sel surya telah dikembangkan dengan akurat sehingga dapat digunakan pada berbagai macam kondisi dan laboratorium yang berbeda. Dalam kondisi standar yang digunakan untuk pengujian sel surya menggunakan intensitas cahaya sebedar 1000 W/m^2 , distribusi spektrum cahaya adalah dari spektrum cahaya matahari standar AM1.5 dan suhu sel surya adalah 25°C . Output daya sel surya pada kondisi ini adalah daya nominal atau watt puncak (Wp) (Halme, 2002).



Gambar 2.3 Bentuk kurva arus tegangan sel fotovoltaik (Halme, 2002).

2.2.3 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* fotovoltaiik. Produk sel surya secara umum 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 pada masa lalu 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 (Swami *et al*, 2012).

b. Sel Surya Generasi Kedua

Sel Surya generasi kedua berbasis pada lapisan tipis sebagai penyerap foton yang disusun secara berlapis. Penggabungan lapisan tipis dapat menyerap cahaya lebih banyak dengan masing-masing lapis mampu menyerap kisaran panjang gelombang cahaya yang berbeda. Keuntungan menggunakan bahan film tipis adalah mengurangi *massa* material yang dibutuhkan untuk membuat sel surya. Biasanya, nilai efisiensi sel surya lapisan tipis lebih rendah dibandingkan dengan sel surya berbasis silikon, namun biaya produksi juga menurun. Material untuk sel surya generasi kedua yang memiliki kualitas yang baik adalah *cadmium telluride (CdTe)*, *copper indium gallium selenide*, *amorphous silicon* dan *micromorphous silicon* (Swami *et al*, 2012).

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 elektron 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 DSSC (*dye-sensitized solar cell*) (Swami *et al*, 2012).

2.3 Kaca TCO (*transparent conductive oxide*)

Kaca TCO mendapat banyak perhatian di bidang penelitian material untuk transparansi optik, konduktivitas listrik, dan proses industri. Kaca TCO menjadi komponen penting sebagai dasar pembuatan banyak perangkat seperti sel surya lapisan tipis, *flat panel liquid crystal displays*, *light emitting diodes*, sensor gas dan juga sebagai agen anti bakteri. Sel surya generasi terbaru menempatkan kaca TCO menjadi salah satu bagian paling signifikan yang menentukan efisiensi sistem. Material sebagai bahan dasar kaca TCO menjadi sasaran banyak peneliti untuk meningkatkan karakteristik agar berfungsi maksimal untuk berbagai macam aplikasi (Ravichandran *et al*, 2013). kaca TCO merupakan merupakan bahan semikonduktor dengan celah pita lebar (≥ 3.1 eV) dan memiliki sifat kuat tergantung pada teknik deposisi dan kondisi pembuatan.

2.3.1 Jenis Kaca TCO

Pada saat ini terdapat 2 jenis kaca TCO yang secara umum digunakan sebagai bahan pembuatan DSSC yaitu kaca ITO (*indium tin oxide*) dan kaca FTO (*fluorine-doped tin oxide*) (Sima *et al*, 2010).

a. Kaca ITO

Kaca ITO merupakan bahan semikonduktor tipe-n dengan celah pita lebar 3,5-4,3 eV menunjukkan kemampuan transmisi elektron yang tinggi pada daerah sinar inframerah, reflektansi tinggi pada daerah sinar inframerah dan konduktivitas listrik yang tinggi ($2500\text{--}5000 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$). Sifat unik tersebut mengakibatkan kaca ITO digunakan dalam berbagai aplikasi yaitu sel surya, cermin pemantul panas, pelapis antirefleksi, sensor gas, dan layar panel datar. lapisan ITO menunjukkan efisiensi yang baik untuk injeksi elektron pada bahan organik, sehingga banyak digunakan sebagai kontak anoda pada *organic light-emitting diodes* (OLEDs) (Kim *et al*, 2000).

b. Kaca FTO

Kaca FTO merupakan teknik pelapisan yang banyak digunakan untuk aplikasi optoelektronik seperti layar, sel surya, *light emitting diodes* dan komponen *smart device*. Kaca FTO memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan kaca ITO yaitu biaya pembuatan rendah, ketahanan kimia, dan ketersediaan sumber prekursor banyak. Kaca ITO memiliki kekurangan dengan nilai konduktivitas listrik rendah setelah proses *annealing* dalam kondisi atmosfer selama pembuatan DSSC. Kelemahan tersebut tidak terjadi dalam penggunaan FTO sebagai kaca konduktif untuk DSSC. Kaca FTO lebih ekonomis dan dapat menjadi kandidat terbaik sebagai kaca konduktif pada DSSC dibandingkan dengan kaca ITO (Purwanto *et al*, 2012).

2.3.2 Metode Pembuatan Kaca TCO

Terdapat berbagai macam bahan dalam pembuatan kaca TCO, pelapisan SnO₂ yang didoping dengan *fluorine* paling tepat digunakan untuk aplikasi secara luas karena resistivitas listriknya yang rendah dan transmitansi optik yang tinggi. Pelapisan SnO₂ pada substrat dapat dilakukan dengan beberapa teknik seperti *chemical vapor deposition* (CVD), *sol gel*, *pulsed laser deposition* dan *spray pyrolysis* (Benhaoua *et al*, 2015) dengan penjelasan lebih detail sebagai berikut :

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 membentuk 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 (*photo-assisted* CVD) dan plasma (*plasma-enhanced* CVD). Yinmei Lu tahun 2015 melakukan penelitian dengan 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 SnO₂. Teknik ini memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan teknik lain yaitu suhu reaksi rendah, proses lebih sederhana, dan biaya sedikit. Namun,

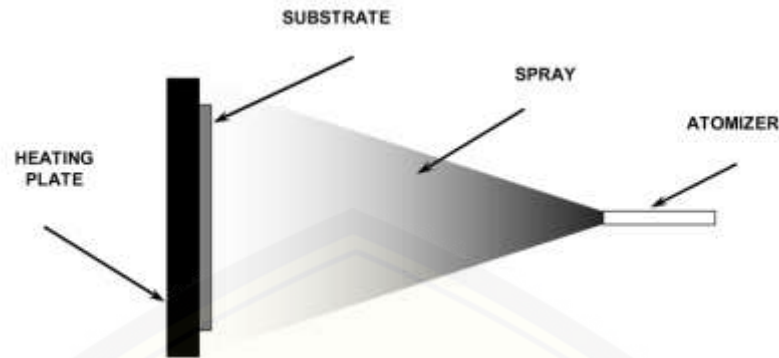
terdapat kekurangan yaitu rentan terjadi retak (*cracks*) pada lapisan tipis SnO₂. Oleh karena itu, gliserin bisa digunakan sebagai bahan aditif untuk mencegah keretakan. Gliserin juga dapat digunakan sebagai cetakan atau agen pembentukan pori karena memiliki polaritas yang relatif tinggi, sangat kental dan sangat larut dalam air. Penambahan gliserin bisa meningkatkan kualitas film tipis sehingga terbentuk permukaan yang lebih halus dan homogen (Kose *et al*, 2012).

c. *Pulsed Laser Deposition*

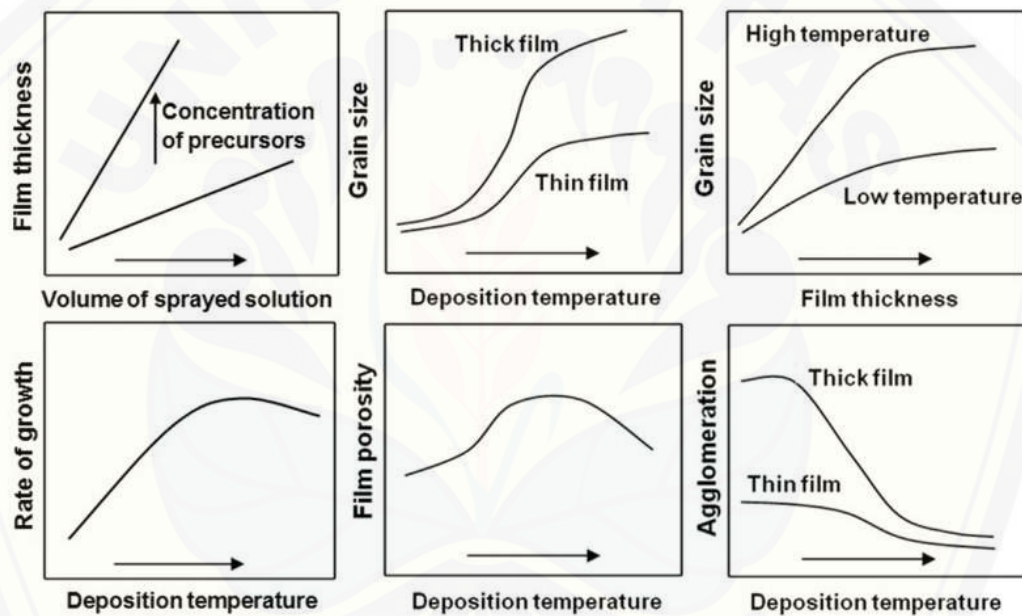
Pulsed laser deposition (PLD) adalah metode yang sangat potensial untuk pengembangan gagasan baru pelapisan oksida logam karena memberikan pilihan untuk modifikasi sifat struktur dengan variasi berbagai macam parameter pengendapan, deposisi stoikiometri oksida, dan senyawa kompleks. Pelapisan yang menyebar dari PLD memungkinkan pengendapan film tipis homogen (Prei *et al*, 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*

Spray pyrolysis adalah teknik pemrosesan yang sedang dikembangkan dalam penelitian untuk pembuatan film tipis dan tebal, pelapis keramik, dan bubuk. Teknik ini memiliki keunggulan yaitu penyemprotan pirolisis dengan proses yang sangat sederhana dan relatif hemat biaya (terutama biaya peralatan). teknik *Spray pyrolysis* hanya membutuhkan persiapan yang sederhana untuk pembuatan film dengan berbagai macam komposisi. *Spray pyrolysis* tidak membutuhkan substrat atau bahan kimia berkualitas tinggi. Metode ini telah digunakan untuk deposisi film padat, film berpori, produksi serbuk, dan film berlapis-lapis. *Spray pyrolysis* sudah dipakai selama beberapa dekade dalam industri kaca dan pembuatan sel surya . Peralatan *Spray pyrolysis* terdiri dari alat penyemprot, larutan prekursor, pemanas substrat, dan pengontrol suhu (Perednis *et al*, 2005).



Gambar 2.4 Skema diagram proses spray pyrolysis (Perednis *et al*, 2005)



Gambar 2.5 Hubungan antara parameter deposisi dan struktural pada teknik *spray pyrolysis* (Korotcenkov, 2017)

2.3.3 Karakteristik Kaca TCO

Karakteristik kaca TCO merupakan sifat kaca konduktif untuk menghasilkan fungsi secara maksimal dalam sebuah perangkat. Kaca konduktif pada DSSC harus mampu menyalurkan energi matahari yang mengandung foton untuk menciptakan siklus elektron. Karakteristik berupa sifat kimia dan sifat fisik pada kaca konduktif dipengaruhi oleh berbagai variabel dalam proses pembuatannya dijelaskan lebih detail sebagai berikut :

a. Konduktivitas Listrik

Dalam aplikasi kaca TCO pada berbagai macam perangkat dibutuhkan ukuran ketebalan lapisan setipis mungkin dan bentuk topografi permukaan yang halus. Contoh aplikasi kaca TCO dalam layar resolusi tinggi, diperlukan proses fabrikasi dengan langkah cukup panjang menggunakan banyak variabel. Pada kasus ini, parameter material yang penting adalah nilai konduktivitas harus tinggi dapat dibuat dengan meningkatkan konsentrasi produk sehingga menambah elektron bebas dan mempercepat mobilitas. Bahan semikonduktor dengan celah pita lebar memiliki jumlah elektron bebas ditentukan oleh jumlah maksimum atom dopan aktif secara elektronik yang bisa ditempatkan di kisi atom. (Gordon, 2000)

b. Temperatur Substrat

Kaca konduktif secara umum mampu menghasilkan sifat cukup baik jika dipanaskan pada suhu yang cukup tinggi untuk waktu yang cukup lama. Substrat tetap stabil untuk suhu sedikit di atas suhu deposisi prekursor yang optimal. Stabilitas terhadap suhu tinggi untuk proses pelapisan SnO_2 pada kaca dapat dikontrol dengan dipanaskan secara berurutan kemudian untuk memperkuatnya dilakukan proses *temper*. Stabilitas termal lapisan SnO_2 saat ini lebih dibatasi oleh pelunakan substrat kaca daripada oleh dekomposisi termal dari lapisan $\text{SnO}_2:\text{F}$ (Gordon, 2000).

2.4 Dye

Tumbuhan yang terdapat di alam memiliki bagian berupa bunga, daun, dan buah-buahan menunjukkan berbagai warna serta tersusun dari beberapa pigmen. Bagian tumbuhan yang mengandung pigmen bisa diekstraksi untuk fabrikasi DSSC. Pigmen alami menjadi *dye* alternatif yang menjanjikan untuk pembuatan DSSC karena memiliki beberapa keunggulan yaitu proses pembuatan sederhana, biaya rendah, bersifat biodegradasi, ketersediaan melimpah, tingkat kemurnian tinggi, ramah lingkungan, mengurangi penggunaan logam mulia yang cukup tinggi, dan biaya sintesis kimia rendah. Hasil pigmen tanaman berasal dari struktur elektron pada bagian tumbuhan yang bereaksi dengan sinar matahari sehingga

mengubah panjang gelombangnya (Ludin *et al*, 2014). Beberapa jenis pigmen dijelaskan lebih detail sebagai berikut :

2.4.1 Antosianin

Antosianin adalah kelompok pigmen paling penting selain klorofil yang terlihat oleh mata manusia. Struktur antosianin telah ditentukan dan diklasifikasikan sesuai dengan jumlah molekul gula yang membentuk senyawa tersebut seperti monosida, biosida, dan trioida. Jumlah senyawa antosianin dapat ditingkatkan dengan menambahkan unsur dengan memperhatikan keragaman gula serta titik struktural yang mungkin terjadi glikosilasi. Antosianin merupakan faktor penting dalam terbentuknya warna yang menarik dari merah hingga biru pada bunga, buah, serta daun misalnya pada lumut dan pakis. Antosianin dapat menyebabkan perubahan kuantitas dan kualitas cahaya pada kloroplas. Jenis antosianin pada tanaman bervariasi misalnya pada tanaman hias seperti *dianthus* dan *petunia* terdapat satu jenis antosianin, sedangkan pada tanaman *rosa*, *tulipa*, dan *verbena* memiliki campuran jenis antosianin. Semua jenis antosianin terdapat dalam anggur. *Cyanidin* terdapat dalam apel, ceri, ara dan *peach*. *Delphinidin* hadir dalam terong dan delima. Campuran *cyanidin* dan *peonidin* terdapat dalam *cherry* dan *cranberry*. Antosianin dalam bunga banyak terletak pada sel epidermis, dan sering kali di mesofil (Shalini *et al*, 2015).

2.4.2 Klorofil

Klorofil adalah pigmen hijau yang terkandung pada daun dalam berbagai tumbuhan hijau, *cyanobacteria*, dan alga. Klorofil dalam proses fotosintesis memerlukan penyerapan energi untuk menciptakan transformasi senyawa karbon dioksida menjadi karbohidrat dan air menghasilkan oksigen. Proses tersebut mengubah energi matahari sehingga dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan. Struktur molekul terdiri atas cincin klorin dengan Mg sebagai pusat tersambung dengan berbagai rantai senyawa lain dan hidrokarbon. Klorofil merupakan pigmen terpenting dalam tanaman dengan sistem fotosintesis alami. Fungsi klorofil untuk fotosintesis terdiri dari menyimpan sinar matahari, mengkonversi ke energi kimia, dan transfer elektron (Adedokun *et al*, 2016). Wang *et al* pada tahun 2010 dalam penelitian yang dilakukan menyatakan bahwa klorin 2 memiliki kemampuan untuk

mengikat bahan semikonduktor TiO_2 dan ZnO melalui berbagai metode. Kemampuan penyerapan cahaya matahari maksimum yang dapat dicapai oleh klorofil pada 670 nm. Rentang kemampuan penyerapan cahaya matahari pada DSSC sangat penting.

2.4.3 Karotenoid

Karotenoid merupakan pigmen organik yang secara alami terbentuk di tanaman dan mikroorganisme. Karotenoid, flavonoid, dan antosianin sering ditemukan pada bagian tanaman yang sama. Pigmen karotenoid terdapat pada bunga dan buah dengan warna merah, kuning, dan oranye, serta biasanya menjadi komponen dasar untuk warna kelopak bunga kuning hingga oranye. Karotenoid adalah pigmen penyerap cahaya yang memiliki peran penting dalam proses fotosintesis. Pigmen tersebut melengkapi kinerja klorofil dalam reaksi redoks. Pigmen alami dari tanaman lebih baik dari pada senyawa yang dimurnikan atau bahan komersial karena ekstrak alami dengan kandungan seperti alkohol dan asam organik dapat membantu adsorpsi pewarna, mencegah rekombinasi elektrolit, dan mengurangi pengumpulan zat warna (Ludin *et al*, 2014).

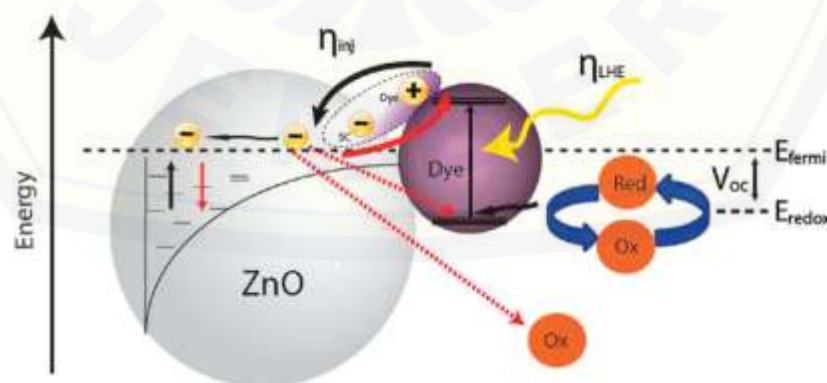
2.4.4 Flavonoid

Flavonoid merupakan kelompok yang sangat besar tersusun atas berbagai macam molekul alami. Kandungan molekul tersebut ditemukan pada banyak jaringan tanaman yang berada di dalam sel atau pada permukaan tanaman yang berbeda organ. Istilah "flavonoid" umumnya digunakan untuk mendeskripsikan gabungan senyawa alami yang mencakup C6 – C3 – C6 kerangka karbon atau lebih khusus dengan nama kimia *phenylbenzopyran*. Posisi penggabungan cincin ke bagian *benzopyrano* (*chromano*), mengelompokkan molekul alami ini menjadi tiga kelas yaitu flavonoid (*2-phenylbenzopyrans*), isoflavonoid (*3-benzopyrans*) dan neoflavonoid (*4-benzopyrans*). Kelompok-kelompok ini biasanya menyebarkan prekursor *chalcone* dan oleh karena dapat terhubung secara struktural dan biogenetik. Produk alami seperti *chalcones* dan *aurones* juga mengandung komponen senyawa C6-C3-C6 dan dianggap sebagai flavonoid dalam skala kecil (Narayan, 2012).

2.5 Senyawa ZnO sebagai semikonduktor pada DSSC

ZnO merupakan bahan yang penting sebagai komponen dalam pembuatan perangkat optoelektronik karena sifat kimia yang unik dan sifat fisik stabil, tersedia dalam jumlah melimpah di alam dan tidak ada limbah dalam proses pembuatannya. Bahan ZnO sering digunakan dalam pembuatan sel surya, fotodetektor, *light emitting device*, lapisan transistor dan peralatan sensor. Sebagian besar perangkat teknologi dengan bahan ZnO menggunakan ZnO bersruktur polikristalin. Aplikasi perangkat optoelektronik menggunakan lapisan ZnO *c-axis-oriented* berkualitas tinggi sangat menguntungkan karena penyaluran ion efektif antara lapisan Zn dan O secara bergantian. Lapisan kristal ZnO dengan Orientasi yang lebih kuat yaitu [0 0 2] akan meningkatkan mobilitas elektron (Cheng *et al*, 2009).

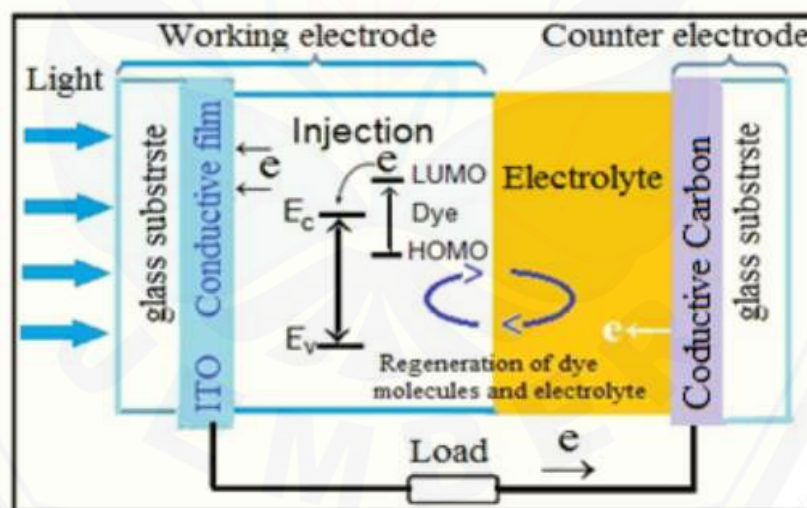
ZnO merupakan bahan semikonduktor dengan celah pita lebar dan sifat fisik yang mirip dengan Ti, tetapi kemampuan mobilitas elektrik lebih tinggi yang menguntungkan untuk perpindahan elektron, dengan mengurangi kerugian rekombinasi. Nilai celah pita adalah 3,37 eV, energi pengikatan yang lebih tinggi yaitu 60 meV dibandingkan dengan Ti yaitu 4 meV dan mobilitas elektron yang lebih tinggi yaitu $200\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ di atas Ti yaitu $30\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$. ZnO pada suhu kamar memiliki nilai transmitansi tinggi dan konduktivitas listrik yang baik. ZnO khususnya dalam bentuk serbuk sedang dikembangkan sebagai lapisan tipis dalam pembuatan sel surya generasi ketiga yaitu *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC). ZnO diharapkan menjadi bahan alternatif untuk TiO_2 (Rani *et al*, 2008).



Gambar 2.6 Ilustrasi mekanisme molekul ZnO dalam DSSC (Anta, 2012)

2.6 Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan salah satu jenis perangkat *photoelectrochemical*. Perbedaan utama antara DSSC dan jenis sel surya lainnya adalah cara pemisahan dalam penyaluran elektron. DSSC berpeluang untuk dikembangkan sebagai perangkat fotovoltaik bersifat ramah lingkungan yang relatif murah. DSSC terdiri dari dua elektroda memiliki komponen utama berupa kaca yang dilapisi dengan senyawa oksida sehingga bersifat konduktor. Elektroda kerja terdiri atas kaca konduktif dilapisi dengan bahan semikonduktor dengan celah pita lebar memiliki tambahan zat warna pada permukaannya berfungsi menyerap cahaya matahari. Sedangkan elektroda lawan berupa kaca konduktif dilapisi dengan platinum atau grafit. Diantara dua lapisan elektroda terdapat larutan elektrolit yang mengandung pasangan redoks untuk meregenerasi elektron pada zat warna. Lapisan bahan semikonduktor berstruktur nanopartikel sangat berpengaruh pada DSSC karena menghasilkan area permukaan yang lebih luas untuk penyerapan zat warna.



Gambar 2.7 Skema struktur dan mekanisme kerja DSSC (Hasoon *et al*, 2015)

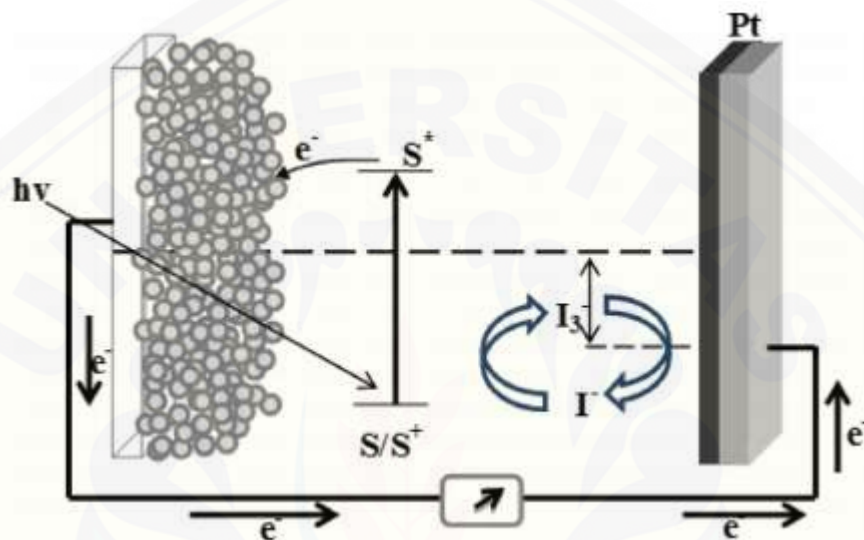
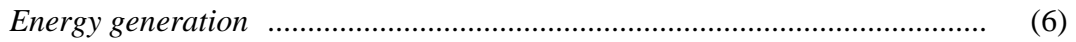
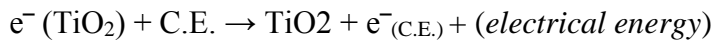
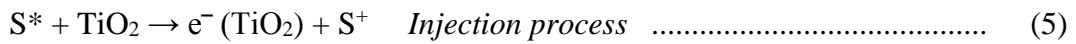
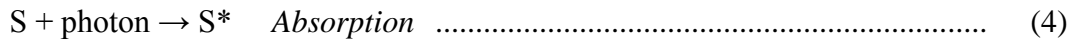
DSSC memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan perangkat fotovoltaik berbasis silikon karena bahan semikonduktor tidak mudah mengalami cacat dan dapat mewujudkan transfer energi langsung dari foton ke energi kimia. Bahan semikonduktor sebagai komponen utama dalam elektroda kerja harus stabil

secara kimia, sifat sesuai dengan jenis elektrolit, struktur kisi yang cocok untuk dapat mengikat zat warna, pita konduksi dengan nilai sedikit di bawah tingkat energi LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) dari zat warna untuk menciptakan injeksi elektron secara efisien, dan ukuran partikel kecil untuk meningkatkan luas permukaan efektif untuk adsorpsi zat warna sehingga meningkatkan jumlah penyerapan sinar matahari (Hasoon *et al*, 2015).

2.6.1 Prinsip DSSC

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 (*sensitizers*) 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 TiO₂, ZnO, atau SnO₂. 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⁻ / I³⁻ (*Iodine*) berfungsi sebagai perantara yang menghubungkan proses aliran elektron antara elektroda lawan (katoda) dan elektroda kerja (anoda). Oleh karena itu, zat warna yang teroksidasi menerima elektron dari I ion redoks untuk menggantikan elektron yang hilang dan molekul iodida dioksidasi menjadi Ion tri-iodida (I³⁻). Ion I³⁻ bergerak sampai mencapai katoda untuk mengkompensasi elektron yang hilang dari elektroda lawan. I⁻ diregenerasi oleh pengurangan I³⁻ 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 (Ludin *et al*, 2014).



Gambar 2.8 Skema transfer electron pada DSSC (Ludin *et al*, 2014)

2.6.2 Komponen-Komponen DSSC

Konversi energi dari cahaya ke listrik yang dilakukan oleh DSSC didasarkan pada kinerja dan efisiensi dari seluruh komponen penyusunnya. Komponen DSSC terdiri dari zat warna, elektrolit, bahan semikonduktor, katalis, dan kaca substrat dengan lapisan *Transparent Conductive Oxide* (TCO). Optimasi dari setiap komponen sangat berpengaruh signifikan untuk meningkatkan keseluruhan efisiensi. Komponen DSSC dijelaskan secara detail sebagai berikut :

a. Kaca TCO

Kaca TCO adalah komponen dasar dalam pembuatan DSSC. Kualitas untuk kaca TCO DSSC yang bagus memiliki karakteristik yaitu nilai resistansi rendah, tahan terhadap perubahan suhu, transparansi tinggi, dan kemampuan untuk mencegah kotoran seperti air dan oksigen masuk ke dalam sel surya. Sifat optikal yaitu kemampuan transparan yang baik berfungsi untuk menerima dan mengalirkan

cahaya dari permukaan luar ke komponen lain dalam DSSC. Kaca substrat juga harus bersifat konduktif untuk mengalirkan elektron hasil penyerapan dari cahaya. Sifat konduktif dari kaca TCO dapat dibuat melalui cara pelapisan *Transparent Conductive Oxide (TCO)* pada kaca (Mawyin, 2009).

b. Bahan Semikonduktor

Semikonduktor dengan kandungan senyawa oksida lebih sering digunakan dalam perangkat foto elektrokimia karena memiliki stabilitas tinggi dalam perlindungan terhadap korosi pada eksitasi optik dipengaruhi oleh celah pita. Nilai celah pita dari semikonduktor oksida yang diperlukan pada DSSC adalah lebih dari 3 eV untuk mencapai kemampuan transparansi dalam menerima sebagian besar spektrum cahaya matahari. Bahan semikonduktor oksida memiliki stabilitas yang baik untuk melawan pengaruh iradiasi dalam larutan. Bahan semikonduktor oksida yang stabil dapat menyerap cahaya tampak karena mereka memiliki celah pita yang relatif lebar. Sintesis bahan semikonduktor oksida, seperti TiO_2 , ZnO , dan SnO_2 dengan *photosensitizer* berupa zat warna dapat mengubah nilai celah pita sehingga mampu menyerap cahaya tampak lebih banyak (El-Ghamri, 2012).

c. Elektrolit

Elektrolit merupakan komponen dengan peran yang sangat penting dalam DSSC untuk melakukan transfer muatan elektron 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. Senyawa sebagai 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 *et al*, 2016).

d. *Dye*

Pemilihan *Dye* (zat warna) untuk pembuatan DSSC dari senyawa organik harus mempertimbangkan komponen lain yang digunakan sehingga dapat berfungsi maksimal. Zat warna merupakan senyawa organik kompleks yang berfungsi menyerap cahaya dalam proses fotosintesis. Penyerapan cahaya ini berlangsung di wilayah permukaan untuk menerima elektron dan meningkatkan jumlah energi, sehingga teroksidasi dan menyalurkan kelebihan elektron. Jumlah elektron yang terlepas merupakan variabel penting dalam proses injeksi dan transfer elektron pada elektroda kerja, sebagai indikator kinerja zat warna dalam proses penyerapan cahaya (Prabavathy *et al*, 2017).

e. Katalis

Karakteristik bahan katalis yang dapat digunakan sebagai lapisan elektroda lawan pada DSSC harus memiliki resistansi rendah dan kerapatan arus tinggi untuk pengurangan oksidasi dari media transfer elektron. Elektroda lawan berfungsi untuk mentransfer elektron yang datang dari rangkaian luar kembali ke elektrolit. Lapisan katalis harus mampu membawa seluruh arus yang dihasilkan oleh setiap luasan permukaan sel surya. 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 bahan semikonduktor. Platinum memiliki keunggulan yaitu sifat katalitik tinggi dan konduktivitas tinggi. Namun, platinum adalah logam mulia untuk pembuatan DSSC yang memiliki 2 metode deposisi yaitu elektrokimia dan *sputtering* membutuhkan energi tinggi dan biaya tinggi yang merupakan teknologi untuk skala industri. 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 kaca TCO (Kumar *et al*, 2017).

2.6.3 Deposisi Lapisan Elektroda Kerja

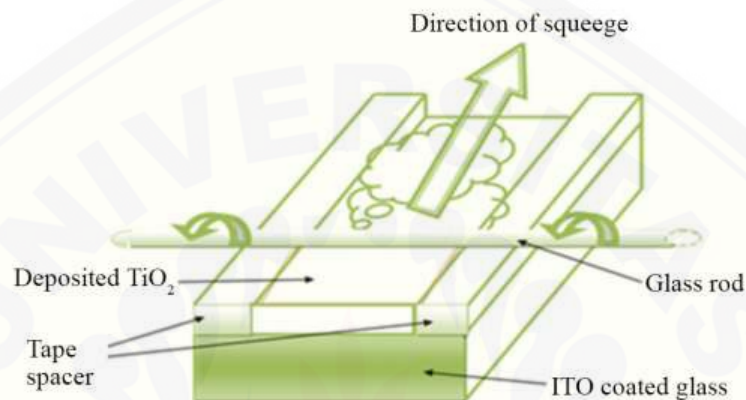
Deposisi bahan semikonduktor bertujuan untuk menciptakan lapisan tipis diatas permukaan kaca TCO. Metode deposisi yang digunakan dalam proses pembuatan DSSC harus mempertimbangkan jenis dan sifat bahan semikonduktor untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Deposisi lapisan bahan semikonduktor terdapat berbagai macam metode yang dijelaskan sebagai berikut :

a. *Doctor Blade*

Awalnya 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. Kesulitan dalam metode *doctor blade* 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 *doctor blade* biasanya menghasilkan penyatuan bahan semikonduktor pada substrat kaca di bagian awal penekanan batang kaca dengan lapisan tidak seragam (Mawyin, 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 μm Ketebalan lapisan dalam kondisi basah tergantung pada tegangan permukaan dan viskositas dari bahan semikonduktor yang sudah disintesis. Metode *doctor blade* 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 *et al*, 2014).



Gambar 2.9 Proses deposisi *doctor blade* (Godibo *et al*, 2015)

b. *Electrospinning*

Electrospinning merupakan metode pelapisan yang terdiri dari tiga komponen utama yaitu *power supply* tegangan tinggi, kolektor, and *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. 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. Batasan metode *electrospinning* yaitu pilihan bahan lebih sedikit yang cocok dalam proses penyemprotan dengan suntik dan kondisi substrat berputar untuk menciptakan optimasi tinggi dari fotoanoda (Wan *et al*, 2017).

c. *Screen Printing*

Prinsip *Screen printing* adalah pelapisan pada permukaan bahan substrat 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. *Sinter flux* merupakan campuran ditambahkan pada bahan pasta. Fluks meleleh pada suhu tinggi 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).

d. *Cold Spraying*

Metode *cold spraying* adalah proses di mana partikel bubuk padat dengan peningkatan kecepatan sonik melalui *de Laval nozzle* dengan geometri konvergen divergen. Partikel mengalami tumbukan pada substrat dengan kecepatan berkisar antara 300 ms⁻¹ sampai 1200 ms⁻¹. Geometri *nozzle* dan karakteristik bahan baku serbuk sangat berpengaruh dalam menentukan suhu akhir dan kecepatan partikel yang disemprot yang berhubungan dengan lapisan mikro, sifat fisik dan mekanik. Suhu aliran gas berada di bawah titik leleh material partikel. Metode deposisi lapisan dilakukan pada keadaan padat sehingga memiliki karakteristik yang cukup unik dibandingkan dengan metode lain. Saat ini ada dua jenis utama sistem *cold spraying* yaitu *high pressure cold spray* (HPCS) dengan partikel disemprotkan dari *nozzle* menggunakan gas bertekanan tinggi dan *low pressure cold spray* (LPCS)

dengan partikel disemprotkan dari *nozzle* bagian divergen menggunakan gas bertekanan rendah. Sistem LPCS biasanya menggunakan peralatan lebih kecil, portabel, dan terbatas pada partikel dengan kecepatan deposisi antara 300 ms^{-1} sampai 600 ms^{-1} . Sistem LPCS digunakan dalam penerapan pada bahan lebih ringan dan umumnya memanfaatkan udara yang tersedia atau nitrogen sebagai gas propelan. Sistem HPCS digunakan untuk partikel dengan kepadatan yang lebih tinggi. Sistem HPCS menggunakan gas bertekanan tinggi dan menghasilkan kecepatan deposisi partikel 800 ms^{-1} sampai 1400 ms^{-1} (Moridi *et al*, 2014).

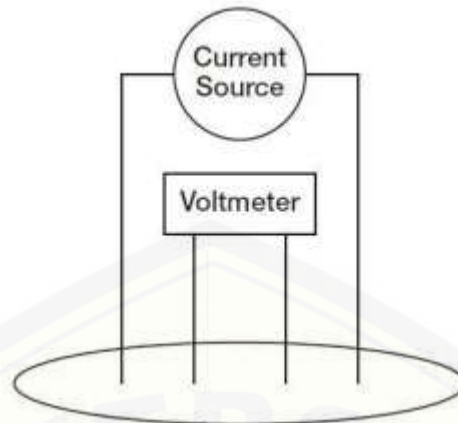
2.7 Karakterisasi DSSC

Karakterisasi DSSC untuk mengetahui karakteristik DSSC yang telah dihasilkan pada penelitian ini. Pengaruh variabel penelitian dianalisis dari data pengujian yang dihasilkan. Pengujian DSSC yaitu sebagai berikut :

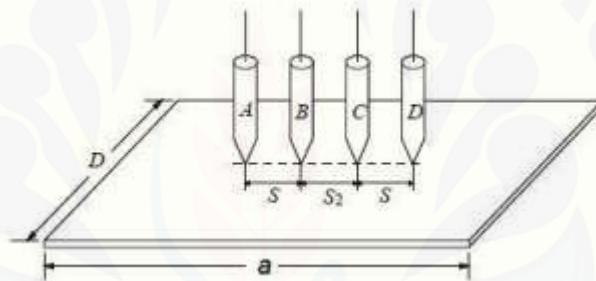
2.7.1 Pengujian Resistivitas Kaca FTO

Pengujian resistivitas menggunakan metode *four point probe* yaitu untuk mendapatkan hasil resistivitas dari sebuah material konduktor dan semikonduktor. Resistivitas merupakan sifat elektrik suatu dalam mengalirkan arus listrik yang dipengaruhi oleh kuat arus (I) dan rapat arus. Tingkat resistivitas berhubungan dengan kapasitansi, resistansi seri dan tegangan ambang (Andreanto, 2018). Metode *four point probe* mampu menurunkan tingkat kesalahan dalam pengujian yang diakibatkan oleh resistansi di tiap *probe* karena voltmeter impedansi tinggi menarik arus rendah, voltase turun melewati resistansi *probe*, menyebarkan resistansi, dan resistansi kontak yang terjadi rendah. Metode ini menggunakan 2 buah *probe* di kedua sisi tepi permukaan untuk mengalirkan arus masuk dan 2 buah *probe* untuk mengukur tingkat tegangan yang ditunjukkan dalam gambar 2. Nilai resistivitas listrik material diuji pada gambar 2 dapat dihitung menggunakan persamaan 2 (Kurniawan, 2014) :

$$\rho = 2\pi s \frac{V}{I} \dots\dots\dots (9)$$



Gambar 2.10 Metode *Four Point Probe*
(Pauw *et al*, 1958)



Gambar 2.11 Metode *Four Point Probe* dengan sampel persegi
(Smith *et al*, 1957)

2.7.2 Pengujian Resistansi Kaca FTO

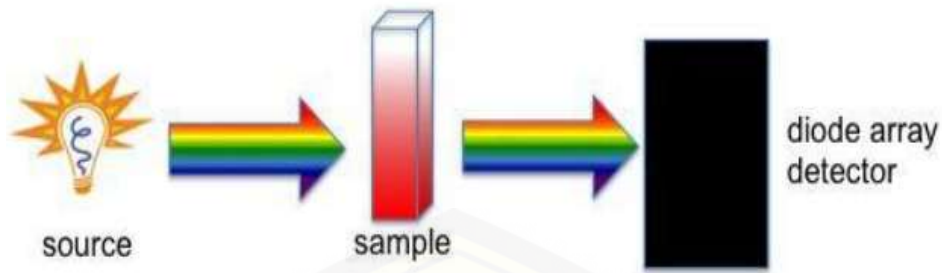
Substrat kaca FTO hanya memiliki sifat konduktif pada salah satu sisi. Resistansi dari kaca konduktif merupakan hambatan pada aliran arus listrik yang terjadi pada DSSC. Nilai resistansi semakin kecil berarti sifat kaca konduktif semakin baik sehingga aliran arus listrik dalam DSSC dapat bersirkulasi dengan kecepatan tinggi dan konstan. Pengukuran resistansi menggunakan multimeter dengan mengatur skala sekitar 10 ohm, kemudian dua ujung *probe* ditempatkan secara terpisah diatas kaca dengan jarak satu millimeter sehingga menghasilkan nilai ini dapat bervariasi tergantung pada jenis kaca dan proses pembuatan kaca (Martineau, 2012).



Gambar 2.12 Pengujian Resistansi (Martineau, 2012)

2.7.3 Pengujian spektrofotometer

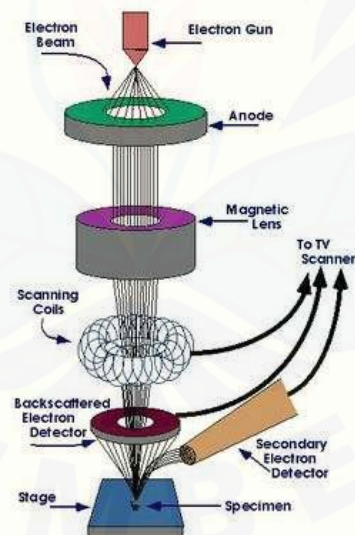
Spektrofotometer adalah metode pengujian fisik dari spektroskopi optik dengan menggunakan cahaya tampak, ultraviolet, dan inframerah. Hukum *Beer-Lambert* menyatakan bahwa absorbansi larutan berbanding lurus dengan konsentrasi dari bahan yang terserap dalam sebuah panjang gelombang. Alat *UV-Vis Spectrophotometry* dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi penyerapan dalam suatu larutan. Perubahan kecepatan absorbansi dapat dianalisa dari pengaruh konsentrasi *dye*. 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 *et al*, 2017)



Gambar 2.13 Instrumen *Ultraviolet (UV) spectroscopy* (Shah *et al*, 2017)

2.7.4 Pengujian SEM (*Scanning electron microscopy*)

Alat pengujian dengan komponen utama mikroskop elektron yang menggambarkan morfologi lapisan dari sebuah material dengan memakai berkas electron untuk dilakukan analisis. Alat ini memiliki resolusi lebih baik dibandingkan cahaya sampai 0,1-0,2 nm. Prinsip kerja SEM ditampilkan pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Mekanisme alat pengujian SEM (Sujatno, 2015)

2.7.5 Pengujian Arus Dan Tegangan DSSC

Pengukuran tegangan dilakukan dengan menghubungkan voltmeter ujung negatif ke anoda (elektroda kerja) dan ujung positif pada katoda (elektroda lawan). Pengukuran besar tegangan sirkuit terbuka dilakukan di bawah sinar matahari

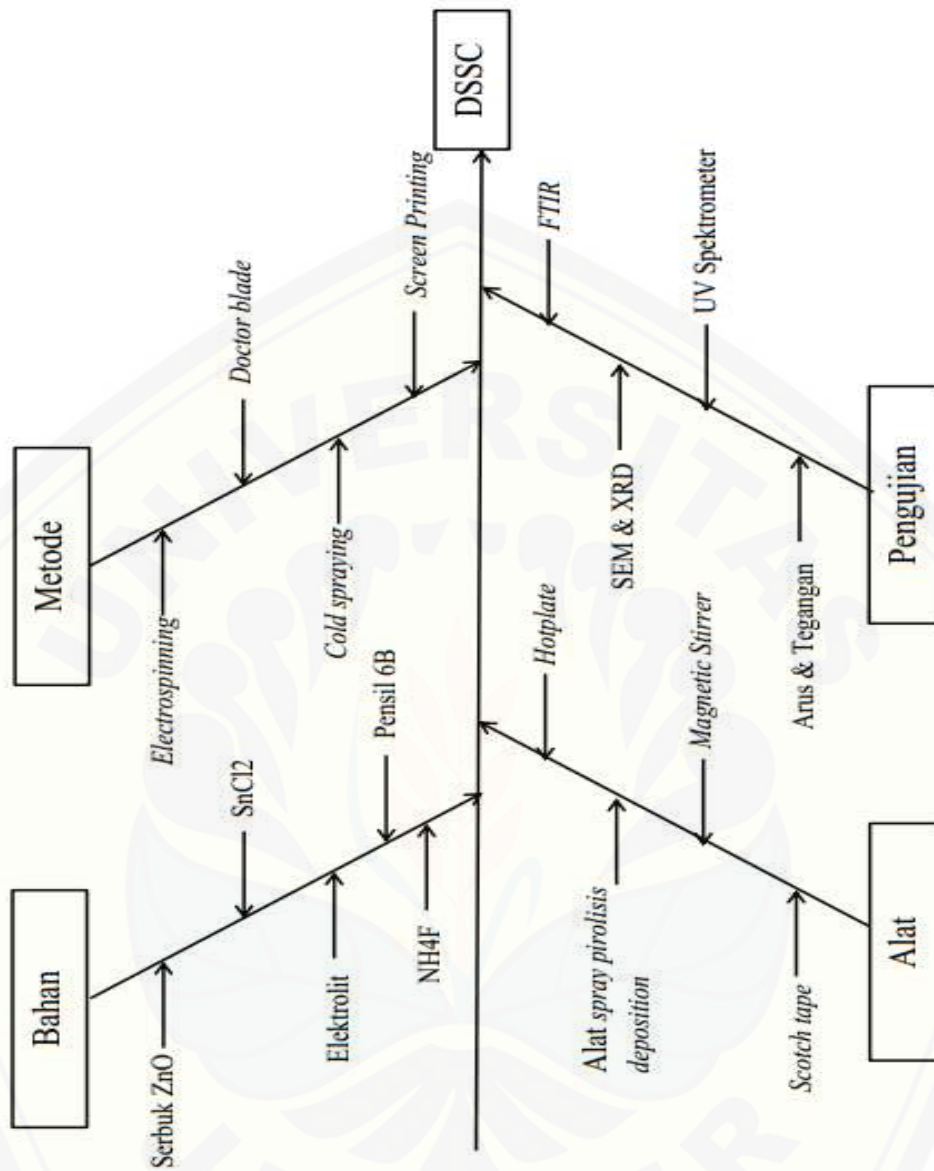
dalam posisi puncak. Output sel surya dapat bervariasi dan berubah secara drastis akibat sumber cahaya tidak memiliki kualitas spektrum yang konstan. Sumber cahaya lebih akurat menggunakan lampu pijar atau lampu dengan intensitas dapat diatur. Demikian pula, Pengukuran arus hubung singkat dari sel surya dapat dilakukan menggunakan amperemeter. Nilai tersebut bisa sangat bervariasi yang dipengaruhi oleh geometri sel, kondisi cahaya, ketebalan lapisan katalis dan komposisi elektrolit (Martineau, 2012).



Gambar 2.15 Pengujian Arus dan Tegangan (Martineau, 2012)

2.8 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 2.16.



Gambar 2.16 Diagram *Fishbone*

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu pada proses deposisi material semikonduktor nanopartikel ZnO dengan metode *doctor blade*. Metode tersebut merupakan pelapisan bahan larutan semikonduktor menggunakan cara diratakan pada substrat kaca konduktif (FTO) memakai *scotch tape* untuk pengaturan ketebalan dan luas lapisan. Pembuatan kaca FTO dengan metode *spray pyrolysis* menggunakan campuran dari larutan prekursor memiliki kandungan utama hahan $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan larutan dopan memiliki kandungan utama bahan NH_4F .

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pembuatan Perangkat DSSC dilakukan di Laboratorium CDAST (*Center for Development Advanced Science and Technology*), Universitas jember. Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2018 sampai selesai.

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

3.2.1 Alat

- a. Peralatan yang digunakan untuk pembuatan kaca konduktif dan perangkat DSSC
 - a) Alat *spray pyrolysis*
 - b) Pemotong kaca
 - c) AVO meter Digital
 - d) *Scotch tape*
 - e) Klip
 - f) Neraca Digital
 - g) *Beaker Glass*
 - h) Pipet tetes

- i) *Light meter*
- j) Penjepit Buaya Listrik
- k) *Rod Glass*

3.2.2 Bahan

b. Bahan yang digunakan untuk pembuatan kaca konduktif dan perangkat DSSC

- a) SnC₂.2H₂O
- b) NH₄F
- c) Metanol
- d) Polivinil Alkohol (PVA)
- e) Pensil 6B
- f) Serbuk ZnO
- g) HCL
- h) Substrat Kaca
- i) *Iodine*
- j) Aquades

Tabel 3.1 Spesifikasi Nanopartikel ZnO

Spesifikasi	
Assay	≥ 99,0%
Titik lebur	1975°C
Ukuran	30-100 nm

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian DSSC meliputi proses fabrikasi dan karakterisasi sampel kaca FTO dan rangkaian DSSC. Kaca FTO dibuat dengan variasi konsentrasi larutan dopan. Fabrikasi DSSC dilakukan dengan variasi lama perendaman kaca konduktif pada ekstrak bahan alam berupa klorofil. Prosedur-prosedur penelitian ini antara lain:

- a. Pembuatan Larutan Prekursor untuk Kaca FTO

1. Membuat larutan prekursor dengan melarutkan Serbuk SnCl_2 5,5 gram ke dalam 2,5 mL HCl
 2. Larutan Campuran SnCl_2 dan HCl dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 90°C selama 10 menit
 3. Menambahkan larutan Methanol dengan jumlah 25 mL
 4. Membuat larutan dopan dengan variasi konsentrasi 0.15, 0.25 and 0.35 mol/l dengan melarutkan serbuk NH_4F 0.7, 1.2, dan 1.6 gram dalam aquades 125 mL
 5. Mencampurkan larutan prekursor dan larutan dopan
- b. Pembuatan Kaca FTO
1. Memotong kaca yang memiliki tebal panjang 7cm dan lebar 3cm.
 2. Menyiapkan 5 buah kaca preparat dan membersihkan dengan etanol
 3. Diamkan di udara bebas ≥ 1 jam
 4. Masukkan kaca ke dalam alat Pelapisan dengan metode *spray prolysis deposition*.
 5. Memanaskan kaca pada suhu 300°C selama 30 menit.
 6. Memasukkan larutan ke dalam gelas dan memasukkannya ke dalam *mist maker*.
 7. Tekanan *Flowrate* divariasikan pada 14 L/M
 8. Melakukan deposisi larutan 7x dengan 1x deposisi selama 30 detik dan *holding time* 1 menit pada suhu 400°C .
 9. Mematikan alat dan tunggu hingga dingin kemudian ambil kaca konduktif.
- c. Pembuatan Pasta ZnO
1. Polivinil Alkohol (PVA) sebanyak 0,5 gram dilarutkan dalam 10 mL akuades menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 300 rpm pada suhu 80°C sampai membentuk gel.
 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 pada luasan 2cm x 5cm dengan metode *doctor blade*
 5. Memanaskan pada suhu 150°C selama 30 menit

- d. Pembuatan Elektroda Pembanding
 1. Menyiapkan sebuah pensil berjenis 6B dengan kandungan karbon serta ditajamkan pada ujungnya.
 2. Pensil 6B digosokkan secara merata pada substrat
 3. Kemudian dibakar dengan api lilin sehingga didapatkan lapisan karbon
- e. Perendaman dalam Ekstrak *Dye*
 1. Masukkan larutan ekstrak klorofil 20 mL ke dalam gelas kaca
 2. Merendam kaca yang sudah dilapisi dengan ZnO ke dalam klorofil dengan variasi waktu 6 jam, 12 jam, dan 24 jam
 3. Mengambil dan membersihkan kaca menggunakan tisu
- f. Penyusunan Lapisan Sandwich
 1. Tetesi kaca substrat 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. Semua lapisan 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 resistansi, pengujian resistivitas, pengujian transmitansi, pengujian SEM pada kaca konduktif, serta pengujian arus dan tegangan pada DSSC.

3.5.1 Pengujian Transmitansi

Pengujian transmitansi menggunakan alat *UV-Vis Spectrophotometry* seri *Genesys 10S* untuk mengetahui kemampuan transmitansi kaca FTO dengan variasi konsentrasi dopan. Langkah-langkah dalam melakukan pengujian spektrofotometer adalah sebagai berikut:

1. Kaca FTO tanpa pelapisan dimasukkan ke dalam spektrofotometer UV-Vis sebagai *reference*.

2. Kaca FTO yang telah dilapisi dengan larutan prekursor dimasukkan ke dalam spektrofotometer UV-Vis sebagai sampel uji.
3. Spektrofotometer UV-Vis dioperasikan dengan panjang gelombang 300 nm sampai 1000 nm.
4. Mencatat data yang keluar dari pengujian ini berupa nilai transparansi terhadap fungsi panjang gelombang.



Gambar 3.1 Alat pengujian transmitansi

3.5.2 Pengujian Resistivitas

Pengujian resistivitas dari kaca FTO dengan variasi konsentrasi dopan untuk mengetahui nilai hambatan dengan fungsi luasan lapisan. Langkah-langkah pengujian resistivitas adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan adaptor 1200 mA sebagai aliran sumber aliran ke catu daya listrik.
2. Hubungkan kutub positif dan kutub negatif dengan adaptor pada 2 ujung permukaan lapisan kaca FTO.
3. Mengatur skala AVO meter pada satuan Volt.
4. Menempelkan kedua ujung probe AVO meter pada permukaan kaca FTO pada bagian tengah.
5. Mencatat nilai tegangan untuk dilakukan analisis data.

3.5.3 Pengujian Resistansi

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

1. Mempersiapkan alat AVO meter.
2. Mengatur skala alat AVO meter pada satuan Ohm.
3. Menempelkan kedua ujung *probe* pada permukaan kaca FTO dengan jarak sekitar 1 milimeter.
4. Membaca dan mencatat nilai resistansi untuk dilakukan analisis data.

3.5.4 Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Pengujian SEM untuk mengetahui bentuk struktur lapisan kaca FTO dengan variasi konsentrasi dopan. Langkah-langkah pengujian SEM adalah sebagai berikut:

1. Tekan tombol *on/off* pada monitor
2. klik *Image* pada menu yang terdapat pada monitor.
3. Click tombol *loading/unloading* pada pojok kanan atas pada monitor (berbentuk anak panah).
4. Tunggu respon dari SEM berupa peringatan “ *Ready to be operated* ” sekitar 5 menit jika dari posisi *standby* atau *hibernate* dan maksimal 12 jam dari posisi *start up*.
5. Jika telah muncul message “*Ready to be operated*”., selanjutnya obyek yang akan diamati dapat di-load ke dalam *chamber* SEM.
6. *Loading* ke dalam *chamber* harus menggunakan *holder* khusus dari SEM yang telah disediakan dan penggunaan jenis *holder* disesuaikan dengan kondisi obyek.
7. Ukuran kaca FTO adalah 1 cm x 1 cm x 2 mm
8. Kondisi obyek harus *solid, dry* dan tidak mengandung uap air atau pun debu.
9. Obyek diletakkan di dalam *holder* dengan posisi permukaan obyek adalah – 2 mm dari permukaan *holder* terluar.

10. Obyek dapat di-*load* ke dalam chamber dan selanjutnya pengambilan gambar dapat dilakukan sesuai dengan pembesaran yang diinginkan.



Gambar 3.2 Alat pengujian SEM

Tabel 3.2 Spesifikasi alat pengujian SEM

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Merk	Phenom G2 Pro
2	Buatan	Belanda
3	Pembesaran	20 – 120x
4	Rentang Pembesaran	80 – 45.000x
5	Pembesaran digital maksimal	12x

3.5.5 Pengujian Arus dan Tegangan DSSC

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:

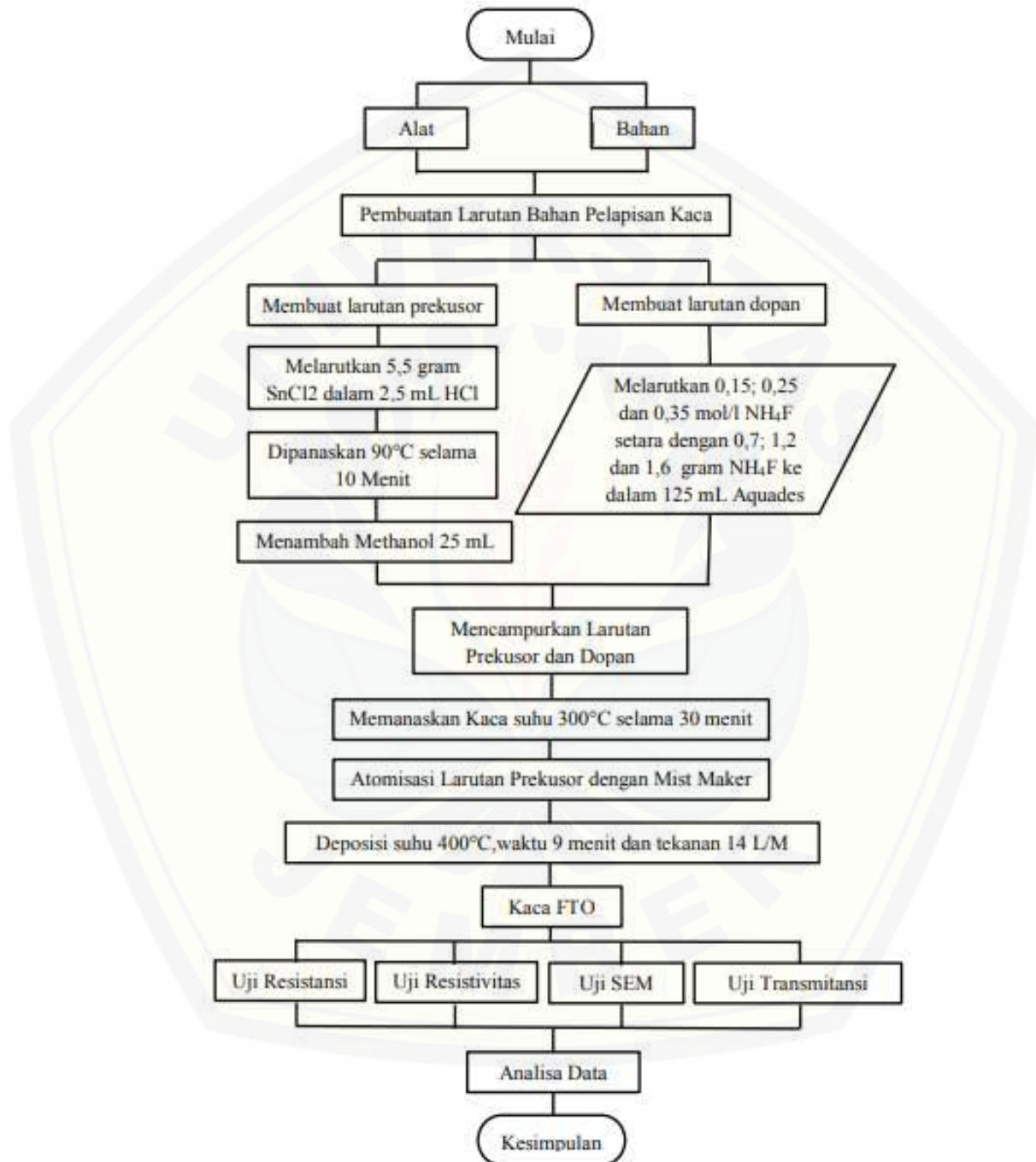
1. Meletakkan sampel DSSC di bawah sinar matahari pada pukul 11.00 – 13.00.
2. Menghidupkan *light meter* untuk mengukur intensitas matahari

3. Menghubungkan 2 buah AVO meter pada sampel DSSC melalui kabel dengan penjepit buaya listrik.
4. Memberi tahanan terhadap arus dengan menggunakan variasi resistor 10,5 k Ω ; 21,5 k Ω ; 32 k Ω ; 67,4 k Ω ; 88,9 k Ω ; 98,5 k Ω ; 99,4 k Ω ; 165,9 k Ω ; 187,4 k Ω dan 197,9 k Ω .
5. Mencatat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh DSSC.
6. Menganalisa data yang didapat dari pengujian.



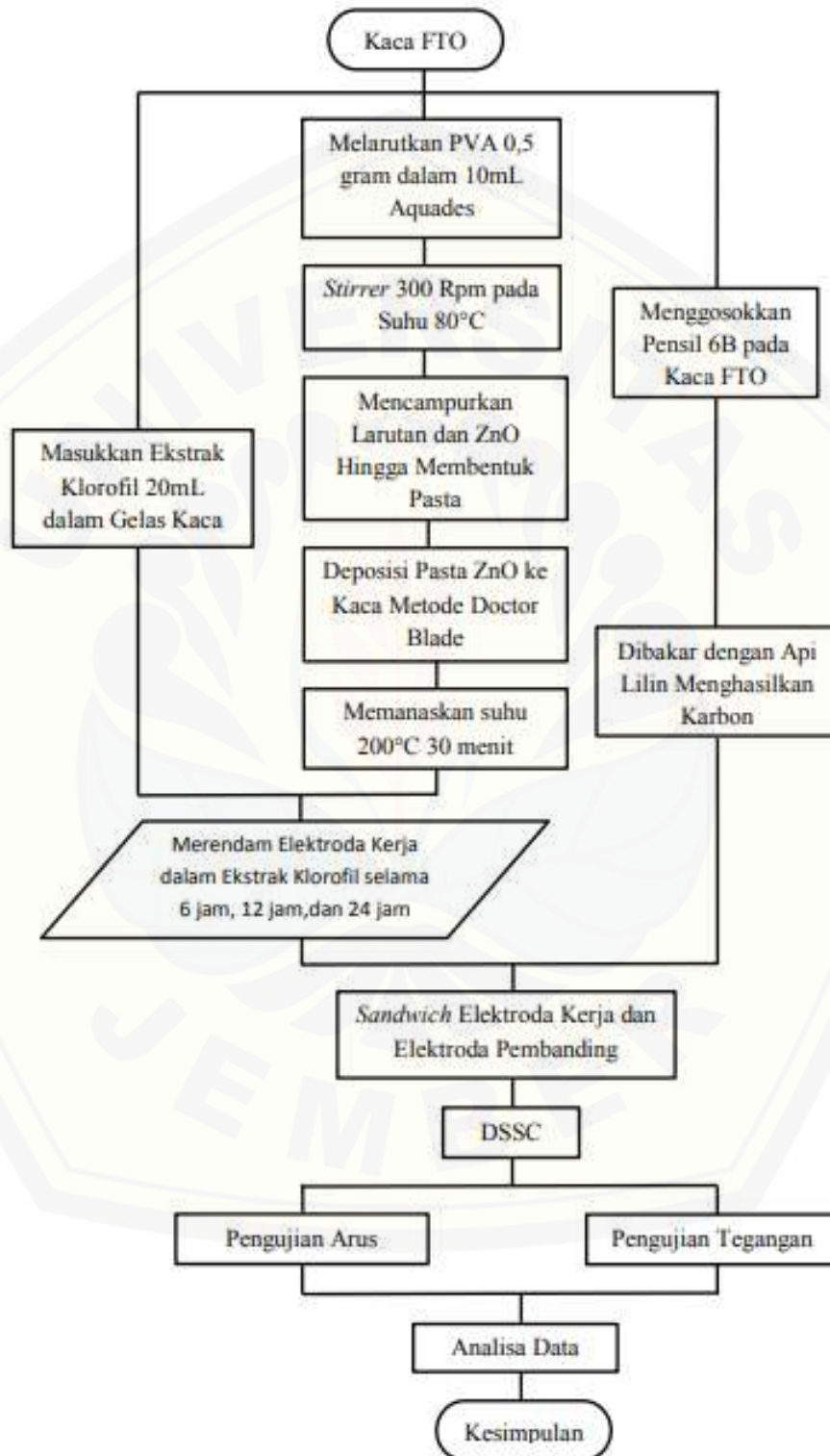
3.6 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian tahap 1 adalah proses pembuatan kaca konduktif seperti yang terlihat pada gambar 3.3 sebagai berikut :



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian tahap 1

Diagram alir penelitian tahap 2 adalah proses pembuatan DSSC seperti yang terlihat pada gambar 3.4 sebagai berikut :



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian tahap 2

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari Penelitian pembuatan kaca FTO dan DSSC yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar jumlah penambahan konsentrasi dopan peningkatan nilai transmitansi.
2. Peningkatan jumlah konsentrasi dopan mengakibatkan penurunan nilai resistivitas.
3. Semakin besar jumlah penambahan dopan dalam pembuatan kaca FTO mengakibatkan terjadi penurunan terhadap nilai resistans.
4. Peningkatan jumlah *flour* mengakibatkan perubahan ukuran butir partikel lebih besar.
5. Semakin lama waktu perendaman elektroda kerja dalam *dye* mengakibatkan efisiensi DSSC semakin tinggi.

5.2 Saran

1. Perlu menggunakan alat pengkabut larutan prekursor yang lebih kuat agar proses penyemprotan tidak perlu jeda waktu.
2. Proses pelapisan ZnO harus menggunakan bahan sintesis, tingkat viskositas, dan temperatur kalsinasi yang tepat agar terbentuk lapisan yang baik.
3. Proses pengujian arus dan tegangan ditambah menggunakan sumber cahaya dari lampu agar tingkat intensitas cahaya stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Adedokun, O., K. Titilope, A. O. Awodugba. 2016. Review on Natural Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs). *International Journal Of Engineering Technologies*. 2(2)
- Ahmadi, S., N. Asim, M. A. Alghoul, F. Y. Hammadi, K. Saeedfar, N. A. Ludin, S. H. Zaidi, K. Sopian. 2014. The Role of Physical Techniques on the Preparation of Photoanodes for Dye Sensitized Solar Cells. *International Journal of Photoenergy*. 2014: 1-19
- Andreanto, K. A., Z. A. I. Supardi. 2018. Pengukuran Resistivitas Pada Printed CircuitBoard dengan Menggunakan Metode Four Point Probe. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)* 07(02).
- Anta, J. A., E. Guillen, R. T. Zaera. 2012. ZnO-Based Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal Physical Chemistry C*. 116: 11413-11425
- Arini, T., L. H. Lalasaria, A. H. Yuwonob, F. Firdiyonoa, L. Andriyaha, A. Subhan. 2017. Pengaruh Waktu Deposisi dan Temperatur Substrat Terhadap Pembuatan Kaca Konduktif FTO (Fluorinedoped Tin Oxide). *METALURGI* 32(1).
- Benhaoua, B., S. Abbas, A. Rahal, A. Benhaoua, M. S. Aida. 2015. Effect of film thickness on the structural, optical and electrical properties of SnO₂: F thin films prepared by spray ultrasonic for solar cells applications. *Superlattices and Microstructures*. 83: 78-88
- Burgelman, M. 1998. Thin Film Solar Cells By Screen Printing Technology. *Proceedings of the Workshop Microtechnology and Thermal Problems in Electronics. Technical University of Lodz*: 129-135
- Cheng, H. C., C. F. Chen, C. Y. Tay, J. P. Leu. 2009. High oriented ZnO films by sol-gel and chemical bath deposition combination method. *Journal of Alloys and Compounds*. 475: 46-49
- Choudhary, O. P., Priyanka. 2017. Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 6(5): 1877-1882

- Dahlan, M., A. Hayat, dan A. Erwin, SOLAR CELL CHARACTERIZATION BASED ON PITAYA DYES WITH CONDUCTIVE GLASS, *International Journal of Scientific & Engineering Research* 9(11).
- El-Ghamri, H. S. 2012. Dye-Sensitized Solar Cells Using ZnO As A Semiconducting Layer. *Disertasi*. Faculty of Science Department of Physics. Islamic University of Gaza
- Fathoni, A. M., N. A. Utama, M. A. Kristianto. 2014. A Technical and Economic Potential of Solar Energy Application with Feed-in Tariff Policy in Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*. 20: 89-96
- Ganesh, R.S., M. Navaneethan, dan S. Ponnusamy. Enhanced photon collection of high surface area carbonatedoped mesoporous TiO₂ nanospheres in dye sensitized solar cells. *Materials Research Bulletin* 101: 353–362.
- Godibo, J. B., S. T. Anshebo., T. Y. Anshebo. 2015. Dye Sensitized Solar Cells Using Natural Pigments from Five Plants and Quasi-Solid State Electrolyte. *J. Braz. Chem. Soc.* 26(1): 92-101.
- Gordon, R. G. 2000. Criteria for Choosing Transparent Conductors. *MRS Bulletin*. Agustus 2000
- Halme, J. 2002. Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests. *Tesis*. Espoo: Department of Engineering Physics and Mathematics. Helsinki university of technology
- Hasoon S. A., R. M. S. Al-Haddad, O. T. Shakir, I. M. Ibrahim. 2015. Natural Dye-Sensitized Solar Cell Based on Zinc Oxide. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 6(5): 137-142
- Hassanien, A. E., H. M. Hashem, G. Kamel, S. Soltan, A. M. Moustafa, M. Hammam. dan A. A. Ramadan. 2016. Performance of Transparent Conducting Fluorine-doped Tin Oxide Films for Applications in Energy Efficient Devices. *International Journal of Thin Films Science and Technology* 1: 55-65.
- Hwang, D. K., B. Lee, and D. H. Kim. Efficiency enhancement in solid dye-sensitized solar cell by three-dimensional photonic crystal. *RSC Advances*, 3(9): 3017–3023.
- Kabir, E., P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun, K. H Kim. 2018. Solar energy : Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 82: 894-900.

- Kahlout, A. A. 2014. Thermal treatment optimization of ZnO nanoparticles-photoelectrodes for high photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*.
- Karthick, P., D. Vijayanarayanan, S. Suja, M. Sridharan, dan K. Jeyadheepan. 2015. Opto-Electronic Properties of Fluorine Doped Tin Oxide Films Deposited by Nebulized Spray Pyrolysis Method. *Asian Journal of Applied Sciences* 8 (4): 259-268.
- Kim, H., J. S. Horwitz, G. Kushto, A. Pique, Z. H. Kafafi, C. M. Gilmore, and D. B. Chrisey. 2000. Effect of film thickness on the properties of indium tin oxide thin films. *Journal of applied physics*. 88(10)
- Korotcenkov, G., B. K. Cho. 2017. Spray pyrolysis deposition of undoped SnO₂ and In₂O₃ films and their structural properties. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*. 000: 1-47
- Kumar R., S. S. Nemala, S. Mallick, 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
- Kurniawan, A.2014. Pengembangan Semikonduktor Tipe-P Untuk Modul Termoelektrik Berbasis Material ZnO. Program Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Kose, H., A.O. Aydin , H. Akbulut. 2013. Sol–Gel Synthesis of Nanostructured SnO₂ Thin Film Anodes for Li-Ion Batteries. *Proceedings of the International Congress on Advances in Applied Physics and Materials Science*. 121(1). 2011. Acta Physica Polonica A
- Li, Y., S. H. Ku, S. M. Chen, M. A. Ali, Fahad M. A. A., Photoelectrochemistry for Red Cabbage Extract as Natural Dye to Develop a Dye-Sensitized Solar Cells, *International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE* 8: 1237–1245.
- Lu, Y. 2015. SnO₂ Thin Films - Chemical Vapor Deposition and Characterization. *Disertasi*. Gieben : Universitat Giessen
- Ludin N. A., A. M. A. Mahmoud, A. B. Mohamad, A. A. H. Kadhum, K. Sopian, N. S. A. Karim. 2014. Review on the development of natural dye photosensitizer for dye-sensitized solar cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 31: 386-396

- Markus, W. P., A. Kunzmann, D. Segets, W. Peukert, G. G. Wallace, D. L. Officer, T. Clark, R. D. Costa, D. M. Guldia. 2017. Choosing the right nanoparticle size - designing novel ZnO electrode architectures for efficient Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Materials Chemistry A* 1-3
- Martineau, D. 2012. Dye Solar Cells For Real. Switzerland: Solaronix.
- Mawyin, J. A. 2009. Characterization of Anthocyanin Based Dye-Sensitized Organic Solar Cells (DSSC) and Modifications Based on BioInspired Ion Mobility Improvements. *Disertasi*. Materials Science and Engineering. Stony Brook University
- Memarian, N., S. M. Rozati, E. Elamurugu, E. Fortunato. 2010. Characterization of SnO₂:F thin films deposited by an economic spray pyrolysis technique. *Phys. Status Solidi* 7(9): 2277–2281.
- Moridi, A., S. M. H. Gangaraj, M. Guagliano, M. Dao. 2014. Cold spray coating: review of material systems and future perspectives. *Surface Engineering*. 36(6).
- Muruganantham, G., K. Ravichandran, K. Saravanakumar, A.T. Ravichandran, B. Sakthivel. 2011. Effect of solvent volume on the physical properties of undoped and fluorine doped tin oxide films deposited using a low-cost spray technique. *Superlattices and Microstructures* 50:722–733.
- Narayan, M. R. 2012. Review: Dye sensitized solar cells based on natural photosensitizers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16: 208-215
- Pauw, V. D. 1958. A Method of Measuring Specific Resistivity and Hall Effects of Discs of Arbitrary Shape. *Phips Rec. Repts.* 131.
- Perednis, D., L. J. Gauckler. 2005. Thin Film Deposition Using Spray Pyrolysis. *Journal of Electroceramics*. 14: 103-111
- Prabavathy N., S. Shalini, R. Balasundaraprabhu, D. Velauthapillai, S. Prasanna, N. Muthukumarasamy. 2017. Enhancement in the photostability of natural dyes for dye-sensitized solar cell (DSSC) applications: a review. *International Journal Of Energy Research*
- Prei, E. M., T. Rogge, A. Krau, H. Seidel. 2015. Gas sensing by SnO₂ thin films prepared by large-area pulsed laser deposition. *Procedia Engineering*. 120: 88-91

- Purwanto, A., H. Widiyandari, A. Jumari. 2012. Fabrication of high-performance fluorine doped-tin oxide film using flame-assisted spray deposition. *Thin Solid Films*. 520: 2092-2095
- Rani, S., P. Suri, P. K. Shishodia, R. M. Mehra. 2008. Synthesis of nanocrystalline ZnO powder via sol-gel route for dye-sensitized solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 92: 1639-1645
- Ravichandran, K., P. Ravikumar, B. Sakthivel. 2013. Fabrication of protective over layer for enhanced thermal stability of zinc oxide based TCO films. *Applied Surface Science*. 287: 323-328
- Rinaldi, R., A. Amri, dan Khairat. 2016. Sintesa Fluorinated Tin Oxide (FTO) Menggunakan Prekursor Ramah Lingkungan. *Jom FTEKNIK* 3(2).
- Shalini, S., R. B. prabhu, S. Prasanna, T. K. Mallick, S. Senthilarasu. 2015. Review on natural dye sensitized solar cells: Operation, materials and methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 51: 1306-1325
- Shah, R. S., R. B. Pawar, P. P. Gayakar. 2015. UV-VISIBLE SPECTROSCOPY-A REVIEW. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INSTITUTIONAL PHARMACY AND LIFE SCIENCES*, 5(5): 2249-6807
- Sharma, S., K. K. Jain, A. Sharma. 2015. Solar Cells: In Research and Applications-A Review. *Materials Sciences and Applications*. 6: 1145-1155
- Sima, C., C. Grigoriu, S. Antohe. 2010. Comparison of the dye-sensitized solar cells performances based on transparent conductive ITO and FTO. *Thin Solid Films*. 519: 595-597
- Singh, P., N.M. Ravindra. 2012. Temperature dependence of solar cell performance-an analysis. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 101: 36-45
- Smith, F. M. 1957. Measurement of Sheet Resistivities With the Four-Point Probe. *The Bell Technical Journal* 3(711).
- Sujatno, A., R. Salam, Bandriyana, A. Dimiyati. 2015. STUDI SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) UNTUK KARAKTERISASI PROSES OXIDASI PADUAN ZIRKONIUM *Jurnal Forum Nuklir (JFN)* 9(2):44-50.
- Supriyono, H. Surahman, Y. K. Krisnandi, dan J. Gunlazuardi. 2014. Preparation and characterization of transparent conductive SnO₂-F thin film deposited

by spray pyrolysis: relationship between loading level and some physical properties. *Procedia Environmental Sciences* 28: 242 – 251.

Swami, R. 2012. Solar Cell. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2(7)

Teesetsopon, P., S. Kumar, J. Dutta. 2012. Photoelectrode Optimization of Zinc Oxide Nanoparticle Based Dye-Sensitized Solar Cell by Thermal Treatment. *International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE*. 7:4988 – 4999.

Wan, T., S. Ramakrishna, Y. Liu. 2017. Recent progress in electrospinning TiO₂ nanostructured photo-anode of dye-sensitized solar cells. *Journal of Applied Polymer Science*

Wang X. F., K. Osomu, H. Eiji, Z. Haoshen, S. Shinichi, T. Hitoshi. 2010. TiO₂ and ZnO based solar cells using a chlorophyll a derivative sensitizer for light-harvesting and energy conversion. *Journal Photochem Photobiol A: Chemistry*, 210: 145-52.

Yousif, S. A., J. M. Abass. 2013. Structural, Morphological and Optical Characterization of SnO₂:F thin films prepared by Chemical spray Pyrolysis. *International Letters of Chemistry, Physics and Astronomy* 13:90-102.

Zhao, X., Y. Deng., J. 2016. Cheng. Preparation of Large-scale SnO₂:F Transparent Conductive Film by Atmospheric Spray Pyrolysis Deposition and The Effect of Fluorine-doping. *International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE*. 11:5395 – 5402.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Alat dan Bahan



$\text{SnO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$



NH_4F



Methanol



Ethanol



Aquades



HCL



Ekstrak klorofil



Pensil 6B



Substrat kaca



Nano partikel ZnO



Gelas kaca