



**PENGARUH TEMPERATUR *ANNEALING* DAN
PERBANDINGAN CAMPURAN *SENSITIZER DYE*
KLOROFIL DAN ANTOSIANIN TERHADAP
KARAKTERISTIK *DYE SENSITIZED SOLAR CELLS***

SKRIPSI

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Persyaratan untuk Menyelesaikan
Program Sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Jember

Oleh
MAZUDA PERDANA PUTRA
NIM. 161910101020

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kehadiran Tuhan Yang Maha Esa. Atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya telah menyelesaikan skripsi tepat pada waktunya. Terima kasih yang sebesar-besarnya saya ucapkan kepada:

1. Allah SWT, atas segala rahmat-Nya sehingga segala sesuatunya bisa berjalan lancar.
2. Ibu Ir. Intan Hardiatama S.T., M.T. dan Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T. Selaku dosen pembimbing skripsi saya.
3. Dr. Mochamad Asrofi, S.T. dan bapak Ir. Hari Arbiantara Basuki S.T., M.T. selaku dosen penguji skripsi saya.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil riset dan ditambah dengan referensi dari berbagai jurnal dan buku yang tentunya berhubungan dengan skripsi ini. Adapun maksud dan tujuan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai syarat yang diperlukan untuk menyelesaikan mata kuliah skripsi. Dalam penyusunan skripsi ini saya menyadari masih banyak kekeliruan dan kekurangannya, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat saya harapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi para pembaca serta semua pihak yang membutuhkan

Jember, 04 November 2020

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Hipotesis Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sel Surya (<i>Solar Cell</i>)	5
2.2 <i>Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)</i>	7
2.2.1 Prinsip Kerja DSSC	8
2.2.2 Komponen penyusun DSSC	9
2.3 Deposisi Fotelektroda	13
2.3.1 <i>Doctor Blade</i>	13
2.4 Deposisi Kaca Konduktif <i>Fluron Tin Oxide (FTO)</i>	14
2.4.1 <i>Spray Pyrolysis Deposition (SPD)</i>	15
2.5 Pengujian Karakteristik Kaca Konduktif dan DSSC	16
2.5.1 SEM (<i>Sreuctural Equation Modeling</i>)	16
2.5.2 XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>)	18
2.5.3 Uv-Vis Spektrofotometri.....	19
2.5.4 Arus dan Tegangan.....	20
2.6 Diagram Fishbone	22

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Metode Penelitian	24
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.3 Alat dan Bahan	24
3.4 Prosedur Penelitian	25
3.5 Prosedur Pengujian	27
3.5.1 Pengujian Resistansi	27
3.5.2 Pengujian SEM	28
3.5.3 Pengujian XRD	28
3.5.4 Pengujian Transmittansi	28
3.5.5 Pengujian Arus dan Tegangan	29
3.6 Diagram Alir Penelitian	30
3.7 Tabel Hasil Pengujian	32
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Pengujian Kaca FTO	33
4.1.1 Hasil Pengujian Resistansi	34
4.1.2 Hasil Pengujian Resistivitas	35
4.1.3 Hasil Pengujian Transmittansi	36
4.2 Hasil Pengujian DSSC	38
4.2.3 Hasil Pengujian Absorbansi	38
4.2.2 Hasil Pengujian XRD	40
4.2.3 Hasil Pengujian SEM	42
4.2.4 Hasil Pengujian Arus dan Tegangan DSSC	44
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

3.1 Alat dan bahan pembuatan kaca FTO dan DSSC	24
3.2 Tabel hasil pengujian resistansi kaca FTO.....	32
3.3 Tabel hasil pengujian arus dan tegangan pada DSSC	32
4.1 Hasil resistansi (Ω) kaca FTO	34
4.2 Hasil resistivitas kaca FTO	35
4.3 Hasil transmitansi dengan variasi 400 °C, 425 °C, dan 450 °C	36
4.4 Hasil pengujian absorbansi.....	39
4.5 Perhitungan daya DSSC dengan variasi <i>dye</i> bayam.....	45
4.6 Perhitungan daya DSSC dengan variasi <i>dye</i> beras ketan	46
4.7 Perhitungan daya DSSC dengan variasi <i>dye</i> campuran.....	47
4.8 Hasil Karakteristik DSSC.....	49
4.9 Hasil efisiensi DSSC	51

DAFTAR GAMBAR

2.1 Sekema dari sebuah potongan Sel Surya (PV sel)	6
2.2 Klasifikasi 3 generasi dari sel surya	6
2.3 Struktur <i>Dye Sensitized Solar Cells</i> (DSSC).....	7
2.4 Sekema kerja <i>Dye Sensitized Solar Cells</i> (DSSC)	9
2.5 Struktur kimia sianidin	11
2.6 Adsorpsi senyawa sianidin pada permukaan TiO ₂	12
2.7 Skema pelapisan menggunakan metode <i>doctor blade</i> DSSC	14
2.8 Skema dari metode <i>Spray Pyrolysis Deposition</i>	16
2.9 Skema dari metode <i>Spray Pyrolysis Deposition</i>	16
2.10 Skema interaksi antara bahan dan elektron di dalam SEM.....	17
2.11 Blok diagram SEM.....	18
2.12 Contoh hasil dari pengujian XRD	19
2.13 Ilustrasi instrument sinar-ganda UV-Visible	20
2.14 Pengujian arus dan tegangan dari DSSC.....	21
2.15 Kurva IV DSSC.....	22
2.16 Diagram <i>Fishbone</i>	23
3.1 Diagram proses tahap 1 (Pembuatan kaca FTO).....	30
3.2 Diagram proses tahap 2 (Pembuatan DSSC).....	31
4.1 Grafik resistansi (Ω) FTO variasi temperatur	34
4.2 Grafik resistivitas (Ωcm) variasi temperatur.....	35
4.3 Hasil transmitansi dengan variasi temperatur	37
4.4 Hasil transmitansi	38
4.5 Grafik absorbansi daun bayam, beras ketan, dan <i>dye</i> campuran....	39
4.6 Grafik absorbansi <i>dye</i> klorofil, curcumin, antosianin, dan 3 <i>dye</i> ...	40
4.7 Hasil pengujian XRD lapisan semikonduktor TiO ₂	41
4.8 Hasil pengujian XRD	42
4.9 Hasil uji SEM TiO ₂	43
4.10 Hasil SEM TiO ₂	43

4.11 Grafik rapat arus DSSC variasi <i>dye</i> bayam.....	47
4.12 Grafik rapat arus DSSC variasi <i>dye</i> beras ketan.....	48
4.13 Grafik rapat arus DSSC variasi <i>dye</i> campuran.....	48
4.14 Grafik efisiensi DSSC	50



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi di bidang energi berbahan dasar organik memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia. Zaman *modern* semua penggerak atau penghasil energi bergantung kepada bahan bakar fosil seperti minyak, gas bumi, batu bara, dan sebagainya. Peneliti sekarang sedang gencar-gencarnya meneliti bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui dan digantikan dengan bahan bakar yang bisa diperbaharui. Sumber energi yang dapat diperbaharui seperti angin, biomassa, *hydro power*, dan sel surya. Penggunaan energi melalui sel surya (*solar cell*) merupakan alternatif yang cukup menjanjikan (Fernando dkk., 2013). Peneliti pada saat ini banyak sekali yang mengembangkan sel surya sebagai sumber energi masa depan. Peneliti telah mengembangkan sel surya melalui beberapa generasi, untuk generasi pertama adalah sel surya sistem berlapis (*wafer*) yang memiliki dua jenis. Sel surya berlapis silikon tunggal yang menghasilkan efisiensi 16-17% dan sel surya berlapis silikon poli kristal yang menghasilkan efisiensi 13-15%. Generasi kedua adalah sel surya jenis lapis tipis (*thin film*) yang menghasilkan efisiensi 19,5%, sedangkan generasi ketiga adalah sel surya jenis polimer atau disebut juga dengan sel surya organik dan sel surya fotoelektrokimia (Cherepy dkk., 1997).

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya yang berbasis fotoelektrokimia. Sel surya ini pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 dikenal sebagai Gratzel Cells. Efisiensi DSSC masih lebih rendah dari efisiensi sel surya silikon yang dapat mencapai 17-25%. Pembuatan sel surya silikon tidak ramah lingkungan dan proses perakitannya tidak sederhana menjadi suatu kendala. DSSC terjadi proses adsorpsi cahaya oleh molekul zat warna, molekul zat warna yang menyerap cahaya matahari tersebut akan mengalami eksitasi elektron. Elektron yang tereksitasi tersebut langsung terinjeksi menuju semikonduktor nano kristal anorganik yang mempunyai *band-gap* lebar.

Semikonduktor anorganik yang mempunyai *band-gap* lebar dan sering digunakan adalah titanium dioksida (TiO_2) (Grätzel, 2003).

Kekurangan dari sel surya fotoelektrokimia ini adalah stabilitasnya yang rendah, terutama akibat degradasi dan kebocoran pada elektrolit cair yang digunakan. Pengembangan penelitian sel surya fotoelektrokimia untuk saat ini diarahkan pada penggunaan elektrolit padat. Elektrolit padat dapat mengurangi degradasi dan kebocoran elektrolit sehingga dapat meningkatkan stabilitas sel. Elektrolit berbasis polimer adalah contoh elektrolit padat yang mengandung kopel redoks atau berbasis bahan organik atau anorganik sebagai konduktor *hole* (Diah Lestari Pangestuti, Gunawan, 2008).

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk pembuatan *Dye Sensitized Solar Cells* yaitu pemilihan *dye* alami, temperatur, dan waktu. Penelitian yang pernah dilakukan oleh (Cho dkk., 2014) dengan menggunakan *dye* dari berbagai sumber alami (daun ubi jalar, kol biru, blueberry, anggur). Penelitian tersebut membandingkan *dye* tunggal dan *dye* yang dicampur antara antosianin dan klorofil 1:1. Perbandingan tersebut menghasilkan nilai efisiensi tertinggi dari *dye* tunggal tanpa penambahan karbon pada lapisan tipis yaitu blueberry dan untuk *dye* campuran yaitu pencampuran antara daun ubi jalar dan buah blueberry. Penelitian yang dilakukan oleh (Fernando dkk., 2013) dengan menggunakan *dye* beras ketan, daun bayam, bunga rosella, buah naga, dan ubi jalar ungu. Penelitian tersebut membandingkan efisiensi dari berbagai sumber alami, dari berbagai sumber alami tersebut *dye* yang memiliki efisiensi terbaik adalah beras ketan. Daun bayam sebagai *dye* yang mengandung klorofil juga memiliki efisiensi yang hampir sama dengan beras ketan. Penelitian yang pernah dilakukan oleh (Syukron dkk., 2012) dengan menggunakan proses perlakuan panas *annealing* terhadap kaca FTO yang sudah dilapisi ZnO. Penelitian tersebut melakukan proses perlakuan panas *annealing* dan berpengaruh terhadap bentuk morfologi dari lapisan film tipis di kaca FTO.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, *dye* alami yang akan digunakan pada penelitian kali ini ada dua yaitu daun bayam sebagai klorofil dan beras ketan sebagai antosianin untuk sensitiser pada DSSC. Proses pembuatan lapisan

semikonduktor menggunakan metode *doctor blade* dan pembuatan kaca konduktif menggunakan metode *spray pyrolysis deposition*. Penelitian ini mengamati bentuk morfologi dan fase kristal yang terbentuk pada lapisan film kaca konduktif. *Dye* di karakterisasi dengan alat spektrofotometri UV-Vis untuk mengukur panjang gelombang yang diserap, mengetahui nilai arus dan tegangan dari variasi *dye*, mengukur nilai resistensi yang dihasilkan oleh kaca FTO, dan mengukur nilai transmitansi yang dihasilkan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh temperatur *heat treatment* pada kaca FTO berbahan dasar SnO_2 : F terhadap nilai resistansi, resistivitas, dan transmitansi ?
2. Bagaimana karakterisasi morfologi dan karakterisasi fase kristal lapis tipis TiO_2 ?
3. Bagaimana perbandingan *dye* tunggal dan campuran terhadap pengujian absorbansi yang dihasilkan DSSC, nilai arus dan tegangan dari DSSC ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh *temperature heat treatment* sebesar $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $425\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada kaca FTO berbahan dasar SnO_2 : F terhadap nilai resistensi, resistivitas, dan transmitansi yang terdapat pada kaca FTO.
2. Untuk mengetahui bentuk morfologi dan fase kristal dari lapisan tipis TiO_2 yang digunakan untuk elektroda kerja semikonduktor.
3. Untuk mengetahui perbandingan *dye* tunggal (daun bayam dan beras ketan) dan *dye* campuran dari daun bayam dan beras ketan (1:2) terhadap pengujian absorbansi, nilai arus dan tegangan dari DSSC.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Diharapkan mendapatkan perkembangan mengenai penelitian DSSC.
2. Diharapkan memperoleh informasi tentang proses penyusunan DSSC dengan menggunakan TiO_2 sebagai semikonduktor dan *dye* dari klorofil antosianin.

3. Diharapkan mendapatkan nilai resistansi, resistivitas, dan transmitansi terbaik dari pembuatan kaca FTO dengan temperatur *heat treatment* 400 °C, 425 °C, dan 450 °C.
4. Diharapkan mendapatkan bentuk morfologi dan fase kristal dari lapisan tipis TiO₂ yang digunakan untuk elektroda kerja semikonduktor.
5. Diharapkan mendapatkan hasil dari pengujian absorbansi, nilai arus dan tegangan terbaik dari perbandingan *dye* tunggal (daun bayam dan beras ketan) dan *dye* campuran dari daun bayam dan beras ketan (1:2).

1.5 Hipotesis Penelitian

Temperatur *heat treatment* semakin tinggi akan menghasilkan nilai resistansi kecil dan mobilitas elektron yang dihasilkan akan semakin besar.

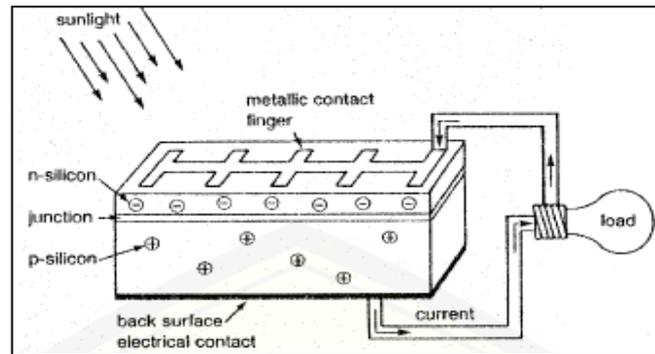
Dye campuran daun bayam sebagai klorofil dan beras ketan sebagai antosianin dengan perbandingan 1:2 akan menghasilkan nilai absorbansi yang baik. Nilai arus dan tegangan yang dihasilkan juga baik sehingga akan meningkatkan nilai efisiensi dari DSSC.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya (*Solar Cell*)

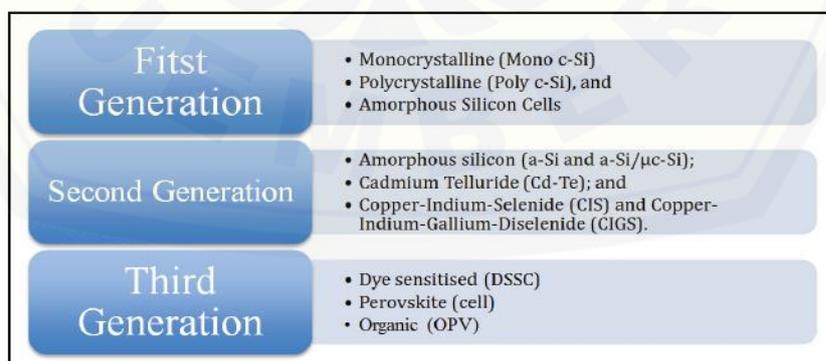
Sumber energi yang dapat diperbaharui seperti angin, biomassa, *hydro power*, dan sel surya, penggunaan energi melalui sel surya (*solar cell*) merupakan alternatif yang cukup menjanjikan (Fernando dkk., 2013). Sumber energi matahari sangat memungkinkan untuk dijadikan sebagai solusi pengganti dari sumber daya energi fosil. Sumber energi matahari tersedia dalam jumlah yang sangat besar dan melimpah (Misbachudin dkk., 2014). Sel surya dapat berupa alat semikonduktor penghantar aliran listrik yang dapat secara langsung mengubah energi surya menjadi tenaga listrik secara efisien. Alat ini digunakan secara individual sebagai alat pendeteksi cahaya pada kamera maupun digabung seri dan paralel untuk memperoleh suatu harga tegangan listrik yang dikehendaki sebagai pusat penghasil listrik (P.Astu, dkk., 2013).

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 juga termasuk mekanisme kerja sel surya. Pembentukan perbedaan tegangan pada sambungan kutub positif dan negatif dalam sel surya merupakan reaksi terhadap radiasi cahaya tampak digunakan untuk menghasilkan energi. Bahan semikonduktor dan teknologi di rancang untuk mendesain sel surya dengan biaya rendah serta efisiensi konversi yang tinggi. Panel surya tradisional terbuat dari bahan silikon yang berat sehingga membuat transportasi perangkat menjadi sulit. Secara umum, panel surya berukuran besar ditutupi dengan lembaran kaca. Panel surya yang lebih berat dan tebal membutuhkan tempat yang luas, tapi dapat menghasilkan daya tinggi (Sharma dkk., 2015). Untuk skema lebih jelasnya dari sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 skema dari sebuah potongan sel surya (PV sel) (Sharma dkk., 2015)

Zaman yang sudah mulai maju di ikuti dengan banyak di kembangkannya sel surya sebagai sumber energi masa depan. Peneliti sudah melakukan pengembangan sel surya melalui beberapa generasi. Generasi pertama adalah sel surya sistem berlapis (wafer). Sel surya ini memiliki dua jenis, jenis pertama adalah sistem berlapis silikon tunggal yang menghasilkan efisiensi 16-17% dan jenis kedua adalah sistem berlapis silikon poli kristal yang menghasilkan efisiensi 13-15%. Generasi kedua adalah sel surya jenis lapis tipis (thin film) yang menghasilkan efisiensi 19,5%. Generasi ketiga adalah sel surya jenis polimer atau disebut juga dengan sel surya organik dan sel surya fotoelektrokimia (Diah Lestari Pangestuti, Gunawan, 2008). Untuk lebih jelasnya klasifikasi dari ke tiga generasi sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.2.

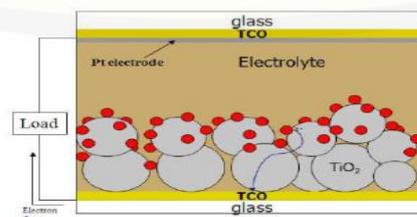


Gambar 2.2 Klasifikasi 3 generasi dari sel surya (Ranabhat dkk., 2016)

2.2 *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)*

Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) adalah sel surya (*solar cell*) generasi ke-3 yang ditemukan tahun 1991 oleh Michael Graetzel (O'regan dan Graetzel, 1991). *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)* memiliki proses pembuatan yang sederhana, ramah lingkungan, biaya pemasangan rendah, dan bagus kinerja sel dalam kondisi cahaya rendah. DSSC dianggap sebagai alternatif dari sel surya berbasis silikon. Tetapi yang menjadi kendala pada *Dye Sensitized Solar Cells* adalah masih menghasilkan efisiensi sel yang rendah. *Dye Sensitized Solar Cells* dalam beberapa tahun terakhir efisiensi konversi daya DSSC telah mencapai 12-13%. Pemisahan muatan yang tidak efisien, rekombinasi elektron, ketidakstabilan sel, dan penyerapan yang tidak efisien dari molekul pewarna membatasi *Dye Sensitized Solar Cells (Kabir dkk., 2019)*.

Dye Sensitized Solar Cells memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan perangkat fotovoltaik berbasis silikon. Kelebihan bahan semikonduktor yaitu 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. Bahan semikonduktor juga harus stabil secara struktur kisi yang cocok untuk dapat mengikat zat warna, pita konduksi dengan nilai sedikit di bawah tingkat energi LUMO dari zat warna untuk menciptakan injeksi elektron secara efisien. Bahan semikonduktor juga harus memiliki ukuran partikel kecil untuk meningkatkan luas permukaan efektif untuk adsorpsi zat warna sehingga meningkatkan jumlah penyerapan sinar matahari (Hasoon dkk., 2015). Bentuk dari DSSC dapat dilihat pada gambar 2.3 yang ada dibawah ini.



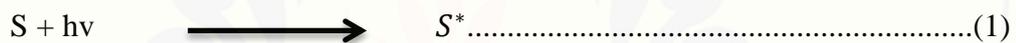
Gambar 2.3 Struktur *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)* (Tio dkk., 2014)

2.2.1 Prinsip Kerja DSSC

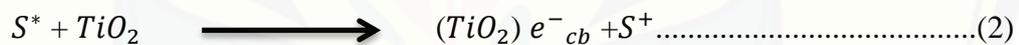
DSSC terdiri dari kaca *Transparent Conductive Oxide* (TCO) sebagai kaca konduktif untuk elektroda kerja dan elektroda lawan. Elektroda kerja terdiri dari lapisan semikonduktor yang dideposisi pada sisi konduktif kaca TCO (Bahramian dkk., 2015). Elektroda lawan terdiri dari lapisan katalis yang di deposisikan pada kaca TCO yang lain. *Dye* berfungsi sebagai *sensitizer*, elektroda kerja dan elektroda lawan digabungkan dengan jarak tertentu menggunakan metode *sandwich* dan diisi larutan elektrolit sebagai media transpor elektron (Chen dkk., 2010). Skema kerja DSSC dapat dilihat pada gambar 2.4, dan untuk penjelasannya dibawah ini.

Prinsip kerja DSSC dimulai dengan :

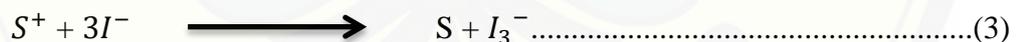
- a) Eksitasi elektron molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (S) ke *excited state* (S^*).



- b) Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju *conduction band* (e_{cb}) TiO_2 sehingga molekul *dye* teroksidasi (S^+).



- c) Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I^-) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.

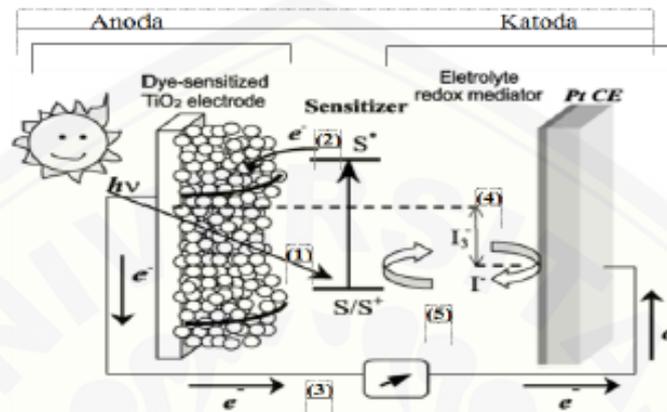


- d) Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju *counter* elektroda melalui rangkaian eksternal. Dengan adanya katalis pada *counter* elektroda, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berkombinasi dengan elektron membentuk iodida (I^-).



- e) Dengan kata lain, I_3^- Dihasilkan pada elektroda TiO_2 dan digunakan pada *counter electrode*, dengan demikian penyebarannya pada elektrolit saling berhubungan. Demikian pula, I^- dihasilkan pada *counter* elektroda dan disebarkan ke arah yang berlawanan dalam elektrolit. Iodida (I^-) ini

digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus *transport electron*. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik (Fernando dkk., 2013).



Gambar 2.4 Sekema kerja *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC) (Fernando dkk., 2013)

2.2.2 Komponen Penyusun DSSC

A. Substrat Kaca

Substrat *Transparent Conductive Oxide* (TCO) sebagai elektroda kerja dan elektroda lawan pada DSSC (Alfidharisti dkk., 2018) kaca TCO dibagi menjadi 2 yaitu FTO (*Fluorin Tin Oxide*) dan ITO (*Indium Tin Oxide*). *Fluorin-doped tin oxide* (SnO₂: F) dan *indium tin oxide* (In₂O₃: Sn atau ITO) adalah TCO yang paling sering digunakan dalam sel fotovoltaik film tipis. Prosedur persiapan standar dari elektroda TiO₂ berstruktur nano. Sintering film TiO₂ juga termasuk yang dideposisi pada temperatur 450-500°C dimana lapisan TCO stabil pada temperatur tersebut (Gordon, 2000). Metode yang digunakan untuk membuat kaca konduktif adalah *sputtering* (Stjerna dan Granqvist, 1990) dan *activated reactive evaporation* (Randhawa dkk., 1981). *Electron beam evaporation* (Hjortsberg dkk., 1982), *chemical vapor deposition* (Maruyama dan Ikuta, 1992) and *chemical spray pyrolysis* (Agashe dkk., 1988) juga termasuk metode yang digunakan untuk membuat kaca konduktif.

Kaca substrat adalah komponen dasar dalam pembuatan DSSC. Kualitas kaca substrat DSSC yang bagus memiliki karakteristik yaitu nilai resistansi rendah,

tahan terhadap perubahan suhu, transparansi tinggi. Kemampuan untuk mencegah kotoran seperti air dan oksigen masuk ke dalam sel surya juga merupakan karakteristik kaca substrat yang baik. 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 electron hasil penyerapan dari cahaya. Sifat konduktif dari kaca substrat dapat dibuat melalui cara pelapisan *Transparent Conductive Oxide* (TCO) pada kaca (Palumbo, 2009). Metode *chemical spray pyrolysis* dapat diterima secara luas karena efektivitas biaya, penerapan area yang luas, dan doping yang mudah (Shanthi dkk., 1998).

B. Semikonduktor Oksida

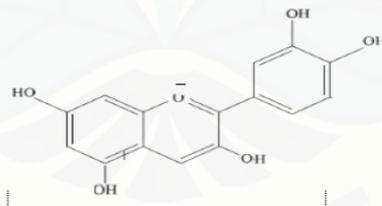
Ada beberapa bahan logam oksida yang sering digunakan pada teknologi lapisan tipis ini. Logam oksida yang baik dan murni maupun yang telah didoping dengan bahan lain. Jenis lapisan tipis dari bahan logam oksida tersebut antara lain In_2O_3 , WO_3 , TiO_2 , ZnO , dan SnO_2 (Imawati Y.D, dkk., 2017). Bahan logam oksida yang paling sering digunakan adalah SnO_2 . SnO_2 biasanya didoping dengan fluorin (Gürakar dkk., 2014) agar bisa menjadi kaca FTO (*Fluorin Tin Oxide*). Selain itu, terdapat lapisan tipis jenis logam oksida yang melibatkan unsur timah (Sn) dan indium (In) yang disebut dengan ITO (*Indium Tin Oxide*) (Imawati Y.D, dkk., 2017).

Semikonduktor dengan kandungan senyawa oksida lebih sering digunakan dalam perangkat foto elektrokimia. Senyawa oksida memiliki stabilitas tinggi dalam perlindungan terhadap korosi pada eksitasi optik yang 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 tidak 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 telah banyak (El-REFI, 2013).

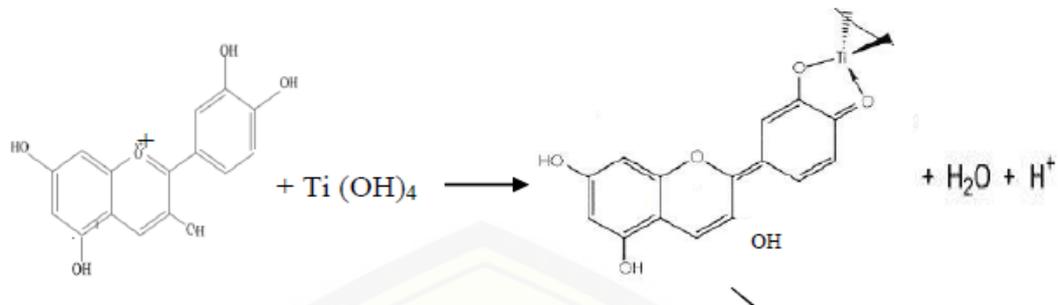
C. Sensitizer Dye

DSSC memerlukan *dye* sebagai komponen untuk proses penyerapan cahaya, ditempatkan pada permukaan kaca konduktif yang berperan sebagai elektroda kerja. *Dye* yang ramah lingkungan dan melimpah di alam, seperti *dye* dari bagian daun, biji, buah, batang dan akar tanaman menjadi pilihan alternatif sebagai sensitiser pada DSSC (Isah Kimpa dkk., 2012). DSSC dengan *dye ruthenium* sudah mencapai efisiensi yang tinggi, lebih dari 13% (Mathew dkk., 2014). *Dye* ada beberapa macam yaitu klorofil, antosianin, sianidin, dll. Antosianin merupakan senyawa yang mampu menyerap cahaya matahari dengan baik, antosianin inilah yang menyebabkan warna merah dan ungu pada banyak buah dan bunga (Suherdiana, dkk., 2008). Struktur kimia antosianin ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan dapat diketahui bahwa pigmen antosianin memiliki cukup banyak ikatan π terkonyugasi. Ikatan π ini berguna untuk menangkap foton dari cahaya matahari yang mengenai sampel (Fernando dkk., 2013).



Gambar 2.5 Struktur kimia antosiamin (Fernando dkk., 2013)

Adsorpsi senyawa antosianin pada permukaan TiO_2 dapat dilihat pada gambar 2.6. Molekul antosianin berinteraksi dengan TiO_2 terjadi adsorpsi antosianin ke permukaan TiO_2 , menggantikan OH^- dari struktur Ti (IV) yang berkombinasi dengan proton dari grup antosianin (Septina, 2014).



Gambar 2.6 Adsorpsi senyawa antosianin pada permukaan TiO_2 (Septina, 2014)

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 0,5 M KI (kalium iodida) dan 0,05 M 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 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. Proses produksi elektrolit oleh industri harus mempertimbangkan beberapa faktor yang berpengaruh seperti pengolahan mudah, sifat kimia dan kelestarian lingkungan. 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 nahan 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. Counter Elektroda

Elektroda lawan (*counter electrode*) adalah kaca TCO yang dilapisi logam platina atau karbon (Dahlan dan Fahyuan, 2014). Elektroda lawan (karbon) katoda sebagai katalis yang keduanya dilapiskan pada kaca konduksi (Pangestuti, dkk., 2008). Elektroda lawan dibuat dengan kaca konduktif yang dilapisi karbon. Sebagai sumber karbon digunakan *graphite* dari pensil 8B yang digoreskan beberapa kali pada bagian konduktif kaca. Kaca yang telah digoreskan dengan pensil 8B lalu dipanaskan dengan menggunakan lilin hingga terbentuk lapisan berwarna hitam (Ardianto dkk., 2015).

Elektroda lawan secara umum tersusun atas kaca konduktif yang dilapisi dengan bahan katalis yaitu platinum atau karbon. Platinum atau karbon berguna untuk meningkatkan transfer muatan elektron antara elektroda lawan dan elektrolit. Fungsinya untuk mengurangi kemungkinan rekombinasi I_3^- dan elektron dalam pita konduksi di TiO_2 . Platinum memiliki keunggulan yaitu sifat katalitik tinggi dan konduktivitas tinggi. Platinum adalah logam mulia dengan metode deposisi untuk pembuatan DSSC. Metode deposisi tersebut terdapat 2 cara 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. Bahan yang mengandung karbon digunakan untuk membuat elektroda lawan karena konduktivitasnya yang baik dan biaya sangat rendah. Bahan karbon memiliki kekurangan yaitu sifat adhesi rendah yang mempengaruhi proses pelapisan pada substrat (Kumar dkk., 2017).

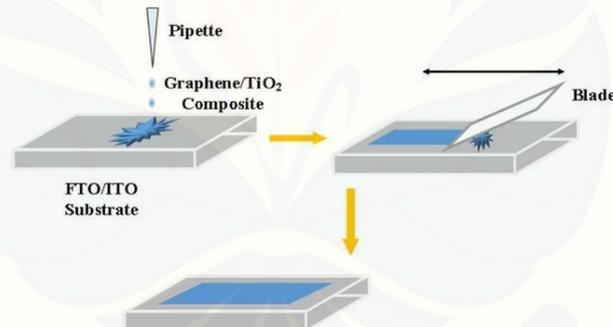
2.3 Deposisi Fotoelektroda

2.3.1 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*. Batang kaca digunakan untuk meratakan bahan

semikonduktor dengan digeser dari satu ujung *frame* hingga melintasi seluruh area yang akan dilapisi. 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 (Palumbo, 2009).

Metode *doctor-blade* adalah metode yang paling sederhana dan banyak digunakan untuk mendeposisikan titania pada substrat (Sahu dkk., 2016). Metode *doctor blade* dipakai untuk menumbuhkan lapisan tipis TiO_2 (Dahlan dkk., 2016). Dalam metode *doctor blade*, surfaktan biasanya digunakan dalam persiapan pasta TiO_2 untuk meningkatkan porositas film tipis TiO_2 yang dihasilkan (Huynh dkk., 2009). Gambar 2.7 merupakan skema dari proses pelapisan TiO_2 menggunakan metode *doctor blade* pada DSSC.



Gambar 2.7 Skema pelapisan menggunakan metode *doctor blade* pada DSSC (Low dan Lai, 2018)

2.4 Deposisi Kaca Konduktif *Fluron Tin Oxide* (FTO)

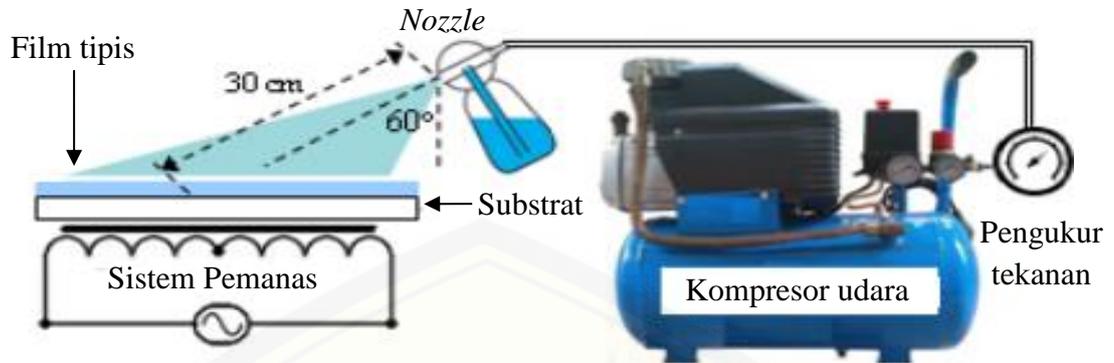
Kaca konduktif telah dideposisikan dengan berbagai macam teknik, seperti *sputtering* (Guo dkk., 2013), MBE (*Molecular Beam Epitaxy*) (Nam dkk., 2013), dan CVD (*Chemical Vapor Deposition*) (Kaushik dkk., 2016). MOCVD (*Metal Organic Chemical Vapor Deposition*) (Boukadhaba dkk., 2015) dan *electrochemical deposition* (Ren dkk., 2016) juga teknik deposisi kaca konduktif. *Pulsed laserdeposition* (Hasabeldaim dkk., 2017), *sol gel* (Benramache, dkk.,

2016), dan *spray pyrolysis deposition* (Bedia dkk., 2015) juga merupakan teknik dari deposisi kaca konduktif.

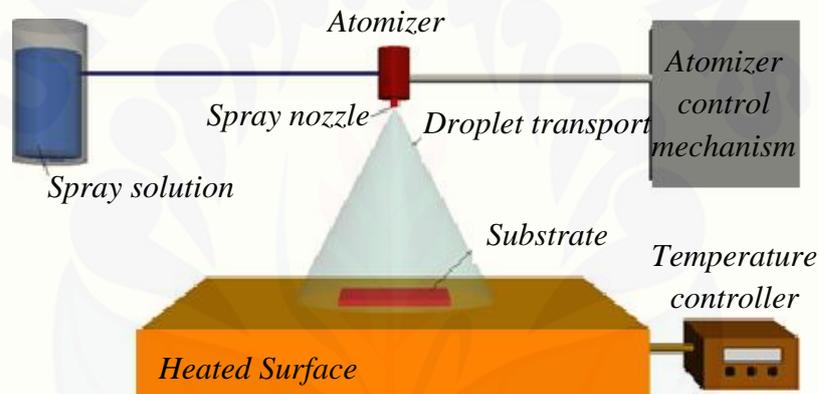
2.4.1 *Spray Pyrolysis Deposition* (SPD)

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 dan Gauckler, 2005).

Dibandingkan dengan teknik lain, *spray pyrolysis* adalah metode sederhana, tidak vakum dan murah. Selain itu, berguna untuk memproduksi film skala besar. Kualitas dan sifat fisik film yang disiapkan dengan menggunakan teknik *spray pyrolysis* tergantung pada kondisi deposisi dan pasca deposisi yang berbeda. Contohnya seperti sifat dan konsentrasi prekursor, suhu substrat, kecepatan semprot, *nozzle* untuk jarak substrat, tekanan gas pembawa, dan anil (Bedia dkk., 2015). Peralatan *spray pyrolysis deposition* terdiri dari alat penyemprot, larutan prekursor, pemanas substrat, dan pengontrol suhu yang dapat di lihat pada Gambar 2.8 dan 2.9.



Gambar 2.8 Skema dari Metode *Spray Pyrolysis Deposition* (Perdana, 2018)



Gambar 2.9 Skema dari metode *spray pyrolysis deposition* (Filipovic dkk., 2013)

2.5 Pengujian Karakteristik Kaca Konduktif dan DSSC

2.5.1 Pengujian Resistansi Kaca FTO (*Fluorin-doped tin oxide*)

Substrat kaca FTO (*Fluorin-doped tin oxide*) 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 milimeter. Nilai ini dapat bervariasi tergantung pada jenis kaca dan proses pembuatan kaca (Martineau, 2012).



Gambar 2.10 Pengujian resistansi (Martineau, 2012)

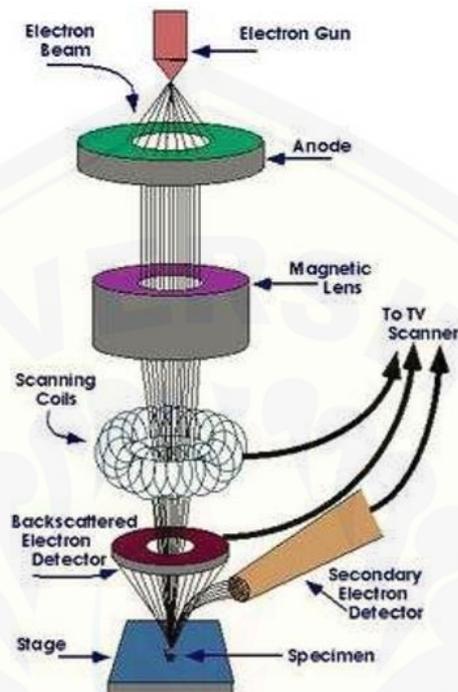
2.5.2 SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

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 (Sujatno dkk., 2015). Prinsip kerja SEM ditampilkan pada gambar 2.14.

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengamati material dimana alat ini memancarkan sinar elektron dari katoda dengan tegangan 0.5-30 Kv yang diarahkan pada permukaan material dengan bantuan 2 lensa yaitu lensa kondensor dan obyektik yang memfokuskan pada permukaan spesimen sehingga dapat menghasilkan gambar yang sangat tajam (Reichelt, 2008).

Kelebihan SEM dapat menghasilkan berkas elektron dengan ukuran sampai 5-10 nm dan memiliki lensa fokal yang lebih panjang sehingga memungkinkan jarak kerja terhadap spesimen lebih efisien dalam pengambilan gambar yang direkam oleh detektor pada ujung lensa. Pengamatan SEM dilakukan dengan menghubungkan mesin pada PC yang bertujuan agar PC dapat

mengendalikan berkas elektron serta agar maksimal dalam pengambilan gambar digital pada permukaan sampel (Reichelt, 2008).



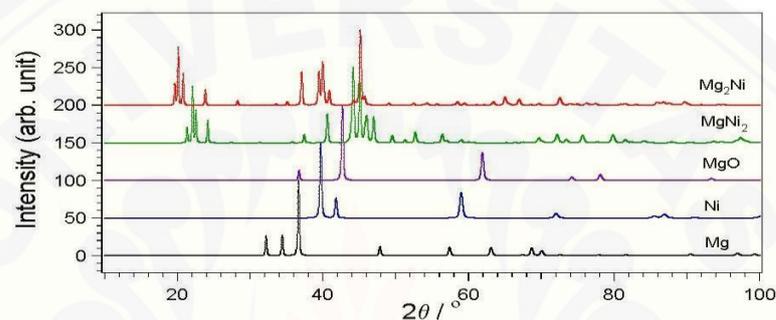
Gambar 2.11 Prinsip kerja SEM (Sujatno dkk., 2015)

2.5.2 XRD (*X-Ray Diffraction*)

Untuk dapat mengetahui karakteristik suatu material yaitu dapat dilakukan dengan menggunakan difraksi sinar x (*x-ray diffraction* /XRD). Proses difraksi sinar x tersebut dapat melakukan identifikasi struktur, ukuran butir, unsur dan parameter kisi suatu kristal. Seiring dengan perkembangan teknologi difraksi sinar x sendiri dapat dilakukan dengan beberapa alat yang berbeda diantaranya *X-Ray Diffraction* dan *X-Ray Physics Basic Unit* (Wahyuni dkk., 2010).

Apabila suatu bahan dikenai sinar-X maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh bahan dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihantarkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya

sama. Berkas sinar-X yang saling menguatkan disebut sebagai berkas difraksi. Persyaratan yang harus dipenuhi agar berkas sinar-X yang dihamburkan merupakan berkas difraksi dikenal sebagai Hukum Bragg. Hukum Bragg menyatakan bahwa perbedaan lintasan berkas difraksi sinar-X harus merupakan kelipatan panjang gelombang, secara matematis dirumuskan $n\lambda = d\sin\theta$ (Jamaluddin K, 2010). Gambar 2.12 adalah contoh hasil dari pengujian *X-Ray Diffraction/XRD*.



Gambar 2.12 Contoh hasil dari pengujian XRD (Suwarno dkk., 2007)

2.5.3 UV-Vis Spektrofotometri

Spektrofotometri UV-Vis adalah anggota teknik analisis spektroskopi memakai sumber radiasi elektromagnetik *ultra violet* dekat (190-380 nm) dan sinar tampak (380-780 nm) dengan memakai instrumen spektrofotometer (Noviyanto, dkk., 2014).

Spektrofotometri UV-Vis adalah teknik fisik spektroskopi optik yang menggunakan cahaya dalam rentang inframerah, *ultraviolet*, dan inframerah dekat. Hukum *Beer-Lambert* menyatakan bahwa absorbansi larutan berbanding lurus dengan konsentrasi spesies penyerap dalam larutan dan panjang jalur. Panjang jalur yang tetap, spektroskopi UV/VIS dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi penyerap dalam suatu larutan. Penting untuk mengetahui seberapa cepat perubahan absorbansi dengan konsentrasi (Gandhimathi dkk., 2012).

Nilai absorbansi yang diperoleh melalui pengukuran menggunakan spektrofotometer UV-Vis U-2000 dikonversi ke nilai transmitansi menggunakan

rumus $A = -\log \% T$. Konversi ini dilakukan karena yang terukur adalah nilai transmitansi (besarnya sinar radiasi yang melewati zat dan ditangkap detector), sedangkan yang diinginkan adalah nilai absorbansi (besarnya sinar radiasi yang terserap oleh zat) dari yang di ukur (Ghuffron S, 2016).

Spekrofotometri UV-Vis telah digunakan secara umum selama 35 tahun terakhir dan selama periode ini telah menjadi instrumen analitik yang paling penting di laboratorium *modern*. Banyak aplikasi teknik lain yang dapat digunakan tetapi tidak ada yang dapat menyaingi *spektrometri UV-Visible* untuk kesederhanaan, fleksibilitas, kecepatan, ketepatan dan efektivitas biaya. Deskripsi ini menguraikan prinsip-prinsip dasar bagi mereka yang baru menggunakan *spektrometri UV Visible*. Ini dimaksudkan semata-mata sebagai pengantar singkat tentang teknik ini dan merupakan kebijakan *Thermo Spectronic* untuk terus menambah rangkaian dokumentasi ini untuk perincian lebih lanjut, saat tersedia (Shah dkk., 2015). Ilustrasi dari instrumen sinar ganda *UV-Visible* dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Ilustrasi instrumen sinar-ganda *UV-Visible* (Shah dkk., 2015)

2.5.4 Arus dan Tegangan

Pengukuran tegangan dilakukan dengan menghubungkan voltmeter ujung negatif ke anoda (elektroda kerja) dan ujung positif pada katoda (elektroda lawan) seperti terlihat pada gambar 2.14. 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. Pengukuran arus hubung singkat dari sel surya

dapat dilakukan menggunakan ampermeter. Nilai tersebut bisa sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh geometri sel, kondisi cahaya, ketebalan lapisan katalis dan komposisi elektrolit. Anda bisa mengamati bahwa sel-sel Anda menjadi lebih baik setelah aus dalam periode di bawah iluminasi (Martineau, 2012).



Gambar 2.14 Pengujian arus dan tegangan dari DSSC (Martineau, 2012)

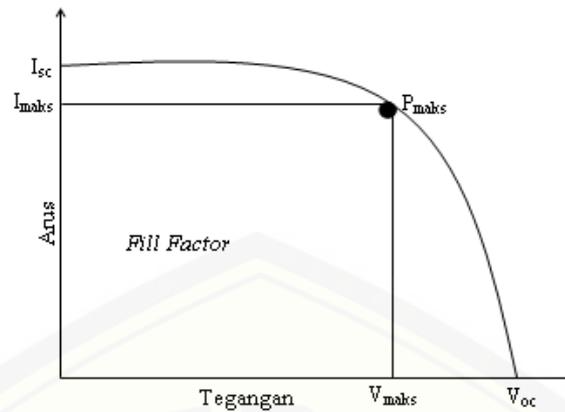
Efisiensi dapat diketahui melalui kurva arus-tegangan (I-V) yang dihasilkan oleh sel surya tersebut. Gambar 2.15, menunjukkan kurva I-V sel surya. Pada kondisi rangkaian terbuka atau *open circuit* maka arus yang dihasilkan adalah nol, sehingga akan menghasilkan tegangan yang maksimum atau tegangan *open 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).

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \dots \dots \dots (5)$$

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

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \dots \dots \dots (7)$$

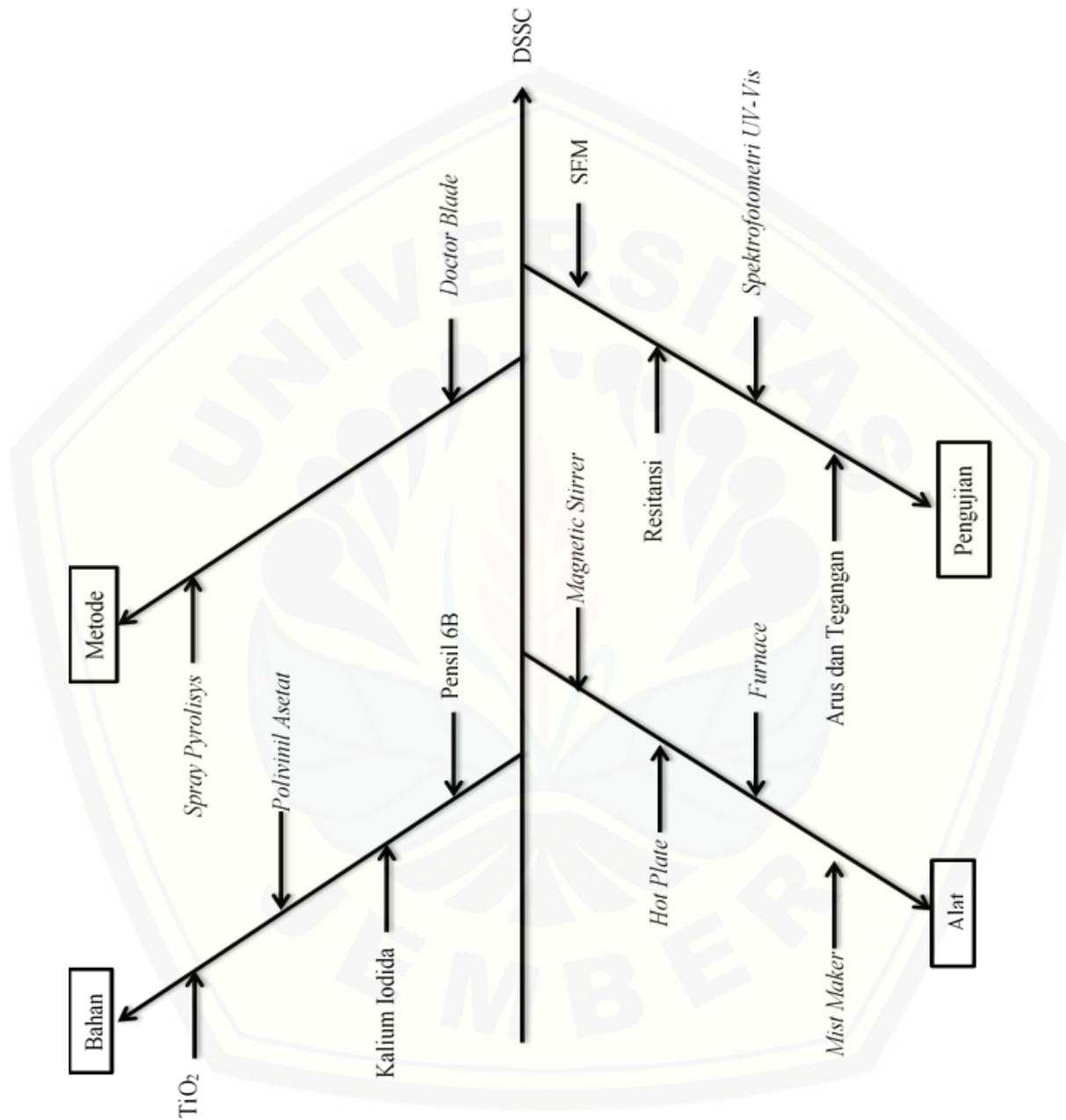
Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya.



Gambar 2.15 Kurva IV DSSC (Benanti dan Venkataraman, 2006)

2.6 Diagram *Fishbone*

Diagram *fishbone* dapat digunakan untuk mengidentifikasi suatu permasalahan dengan menganalisis sebab akibat yang berpengaruh. Diagram *fishbone* pada penelitian kali ini digunakan untuk mengetahui komponen yang dibutuhkan dalam pembuatan *Dye Sensitized Solar Cells* yaitu alat, bahan, metode, dan pengujian ditampilkan pada gambar 2.16 dibawah ini.



Gambar 2.16 Digram fishbone

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *spray pyrolysis deposition* untuk mendeposisi kaca FTO sebagai kaca konduktif dari DSSC dan metode *doctor blade* untuk proses deposisi material semikonduktor TiO_2 . Metode *spray pyrolysis deposition* merupakan pelapisan SnO:F pada kaca substrat menggunakan cara *spray* dan metode *doctor blade* merupakan pelapisan bahan larutan semikonduktor menggunakan cara diratakan pada substrat kaca konduktif (FTO) memakai *scotch tape* untuk pengaturan ketebalan dan luas lapisan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Pada proses penelitian kali ini terdapat dua kegiatan yaitu : pembuatan dan pengujian DSSC dengan variasi temperatur deposisi FTO dan variasi perbandingan *dye* tunggal dan *dye* campuran dengan konsentrasi 1:2, antara daun bayam sebagai klorofil dan beras ketan sebagai antosianin. Pembuatan spesimen dilakukan pada tanggal 15 Januari 2020 di Laboratorium Teknologi Terapan Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

Pada penelitian kali ini terdapat beberapa bahan dan alat sebagai kebutuhan yang diperlukan dalam proses penelitian. Beberapa bahan dan alat yang diperlukan dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini :

Tabel 3.1 Alat dan bahan pembuatan kaca FTO dan DSSC

NO	Alat	Bahan
1	Alat <i>spray pyrolysis</i>	Tin(II) chloride ($\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 100 g
2	Pemotong kaca	Ammonium fluoride (NH_4F) 500 g
3	Multimeter Digital	Ethanol 97 % 250 ml

4	<i>Scotch tape</i>	Polivinil Alkohol (PVA)
5	Klip	Pensil 8B
6	Neraca Digital	Serbuk TiO ₂ 50 g
7	<i>Beaker Glass</i>	HCL 1 lt
8	Pipet tetes	Substrat Kaca (4x3) 32 buah
9	<i>Furnace</i>	Iodium 100 ml
10	Mortar dan palu	Metanol 250 ml
11	Penjepit buaya listrik	<i>Aquadest</i> 2 lt
12	Kompresor listrik	Daun Bayam dan Beras ketan

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian DSSC meliputi proses fabrikasi dan karakterisasi rangkaian DSSC. Fabrikasi DSSC dilakukan dengan variasi lama perendaman kaca konduktif pada ekstrak bahan alam. Prosedur-prosedur penelitian ini antara lain:

1. Pembuatan larutan prekursor untuk kaca FTO
 - a. Membuat larutan prekursor dengan melarutkan Serbuk SnCl₂ 5,5 gram ke dalam 2,5 mL HCL
 - b. Larutan campuran SnCl₂ dan HCL dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 90 °C selama 10 menit
 - c. 25 mL methanol ditambahkan ke dalam larutan prekursor
 - d. Membuat larutan dopan dengan melarutkan serbuk NH₄F 1,5 gram dengan *aquadest* 125 mL
 - e. Mencampurkan larutan prekursor dan larutan dopan
2. Pembuatan kaca FTO
 - a. Memotong kaca yang memiliki tebal 2 mm, panjang 40 mm dan lebar 30 mm.
 - b. Menyiapkan 9 buah kaca preparat dan membersihkan dengan ethanol
 - c. Diamkan di udara bebas ≥ 1 jam
 - d. Masukkan kaca ke dalam alat pelapisan dengan metode *spray pirolisis deposition*.

- e. Memasukkan larutan ke dalam gelas dan memasukkannya ke dalam *mist maker* dan hidupkan.
 - f. Menaikkan suhu deposisi dengan variasi suhu 400 °C, 425 °C, dan 450 °C dan di *holding time* selama 30 menit.
 - g. Tekanan *flowrate* pada 15 LPM
 - h. Melakukan deposisi selama 30 menit.
 - i. Mematikan *mist maker* dan pemanas, tunggu hingga kaca dingin.
3. Pembuatan pasta TiO₂
- a. Polivinil Asetat (PVA) sebanyak 1,5 gr dilarutkan dalam 10 mL aquadest menggunakan *magnetic stirrer* dengan temperatur 80 °C selama 30 menit.
 - b. Serbuk TiO₂ sebanyak 0,5 gr dicampur dengan PVA.
 - c. Campuran TiO₂ dan PVA digerus hingga membentuk pasta.
 - d. Pasta TiO₂ yang dibuat dideposisikan pada substrat kaca FTO dengan metode *doctor blade*.
 - e. Di *furnace* dengan temperatur 200 °C selama 10 menit.
4. Pembuatan Elektroda Lawan
- a. Menyiapkan sebuah pensil berjenis 8B dengan kandungan karbon serta ditajamkan pada ujungnya.
 - b. Pensil 6B digosokkan secara merata pada substrat
 - c. Kemudian dibakar dengan api lilin sehingga didapatkan lapisan karbon.
5. Pembuatan Larutan *Dye*
- a. Daun bayam dan beras ketan di timbang sebanyak 10 g lalu di haluskan dengan mortar
 - b. Setelah halus maka di campur dengan 10 ml ethanol
 - c. Lalu digerus lagi hingga halus.
 - d. Masukkan daun bayam dan beras ketan tadi ke dalam tabung kaca yang telah dilapisi aluminium foil.
 - e. Larutan daun bayam dan beras ketan disimpan selama 2-3 jam.
 - f. Setelah 2-3 jam ekstrak disaring dengan kertas saring dan di simpan dalam botol yang dilapisi aluminium foil.
6. Perbandingan *Dye* Tunggal dan *Dye* Campuran

- a. Siapkan 3 gelas kaca
 - b. Masukkan ekstrak daun bayam sebanyak 15 ml ke dalam gelas kaca pertama
 - c. Masukkan ekstrak buah blueberry sebanyak 15 ml ke dalam gelas kaca kedua
 - d. Masukkan campuran ekstrak daun bayam dan beras ketan dengan perbandingan volume 1:2 dalam gelas ketiga
 - e. Merendam kaca konduktif yang sudah dilapisi dengan lapisan TiO_2 ke dalam masing-masing gelas yang berisi ekstrak *dye* tunggal maupun *dye* campuran selama 12 jam
 - f. Mengambil dan membersihkan kaca menggunakan tisu
7. Penyusunan lapisan *sandwich*
- a. Tetesi kaca substrat yang sudah dilapisi *dye* dengan larutan elektrolit yaitu betadine sebanyak 2 tetes (setara 0,2 ml)
 - b. Setelah selesai kemudian lapisan tersebut ditutup dengan kaca yang sudah dilapisi oleh karbon sebagai elektroda pembanding
 - c. Kemudian dijepit menggunakan klip.

3.5 Prosedur Pengujian

Pengujian sampel yang dilakukan pada kaca konduktif dan DSSC untuk mendapatkan data dan proses analisis dari variabel penelitian. Sampel yang dibuat dilakukan 5 jenis pengujian yaitu pengujian resistansi, pengujian transmitansi, pengujian SEM, pengujian XRD, dan pengujian efisiensi.

3.5.1 Pengujian Resistansi

Pada proses pengujian resistansi kaca FTO berbahan $\text{SnO}_2:\text{F}$ ini menggunakan alat multimeter untuk mengetahui nilai hambatan kaca FTO berbahan $\text{SnO}_2:\text{F}$ dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu :

- a. Mempersiapkan alat multimeter.
- b. Mengatur skala alat multimeter.
- c. Menempelkan kedua ujung probe pada permukaan kaca.
- d. Membaca dan mencatat nilai resistansi.

3.5.2 Pengujian SEM

Pada proses pengamatan dengan SEM pada lapis tipis bahan semikonduktor oksida berbahan TiO_2 menggunakan alat *SEM Phemon TM G2 Pro* untuk mengetahui bentuk permukaan dan lapisan dari bahan semikonduktor oksida dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu :

- a. Siapkan spesimen yang akan di uji.
- b. pemotongan spesimen sesuai ukuran pada mesin foto pengujian SEM.
- c. *Coating* pada permukaan spesimen yang akan di uji dengan emas atau platina.
- d. Peletakan spesimen yang sudah siap diuji kedalam mesin foto pengujian SEM.
- e. Pengujian dengan menembakkan elektron pada sampel lalu menganalisis data hasil pengujian.

3.5.3 Pengujian *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction digunakan untuk mengkarakterisasi ukuran, bentuk, dan parameter kisi kristal dari Nano TiO_2 . Prosedur pengujian XRD sebagai berikut :

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

3.5.4 Pengujian Transmittansi

Pengujian transmittansi menggunakan alat *UV-Vis Spektrofotometri seri Genesys 10S* untuk mengetahui kemampuan transmittansi *dye* tunggal klorofil daun bayam, *dye* antosianin buah blueberry, dan *dye* campuran (daun bayam 1:2 beras ketan) yang memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu :

- a. Nyalakan spektrofotometri, lalu biarkan substrat di bawah sinar matahari selama 15 menit sebelum mengukur.
- b. Bersihkan *kuvet* atau tabung reaksi.
- c. Tuangkan sampel secukupnya kedalam *kuvet*.

- d. Siapkan larutan kontrol.
- e. Lap sisi luar *kuvet* sebelum dimasukkan ke dalam spektrofotometer.
- f. Pengujian dan tentukan atur panjang gelombang cahaya. Gunakan panjang gelombang cahaya tunggal (sinar monokromatik) untuk meningkatkan efektivitas pengukuran.
- g. Kalibrasi spektrofotometri dengan larutan *blank*.
- h. Keluarkan *blank* dan uji hasil kalibrasi spektrofotometri.
- i. Ukur absorbansi sampel.
- j. Ulangi eksperimen dengan penjang gelombang cahaya berbeda.
- k. Alalisis data absorbansi.

3.5.5 Pengujian Arus dan Tegangan

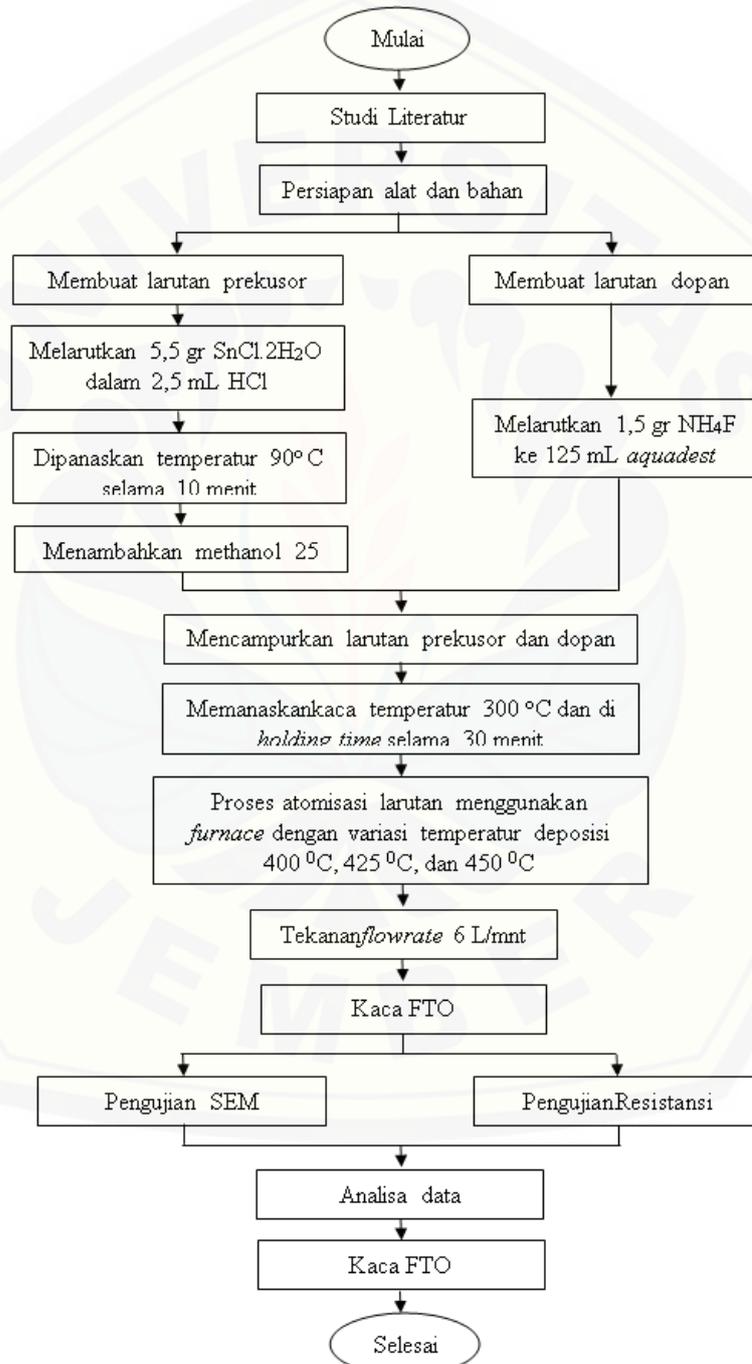
Pada proses pengujian DSSC arus dan tegangan ini menggunakan alat multimeter untuk mengetahui efisiensi dari DSSC dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu :

- a. Letakkan sampel DSSC di bawah sinar matahari pada pukul 11.00
- b. Hubungkan arus dan tegangan dari AVO meter ke DSSC.
- c. Beri tahanan terhadap arus dengan menggunakan potensio 1 k Ω
- d. Catat arus dan tegangan yang di hasilkan oleh DSSC.
- e. Analisis data yang di dapat dari pengujian.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Tahap 1 : Pembuatan Kaca TCO

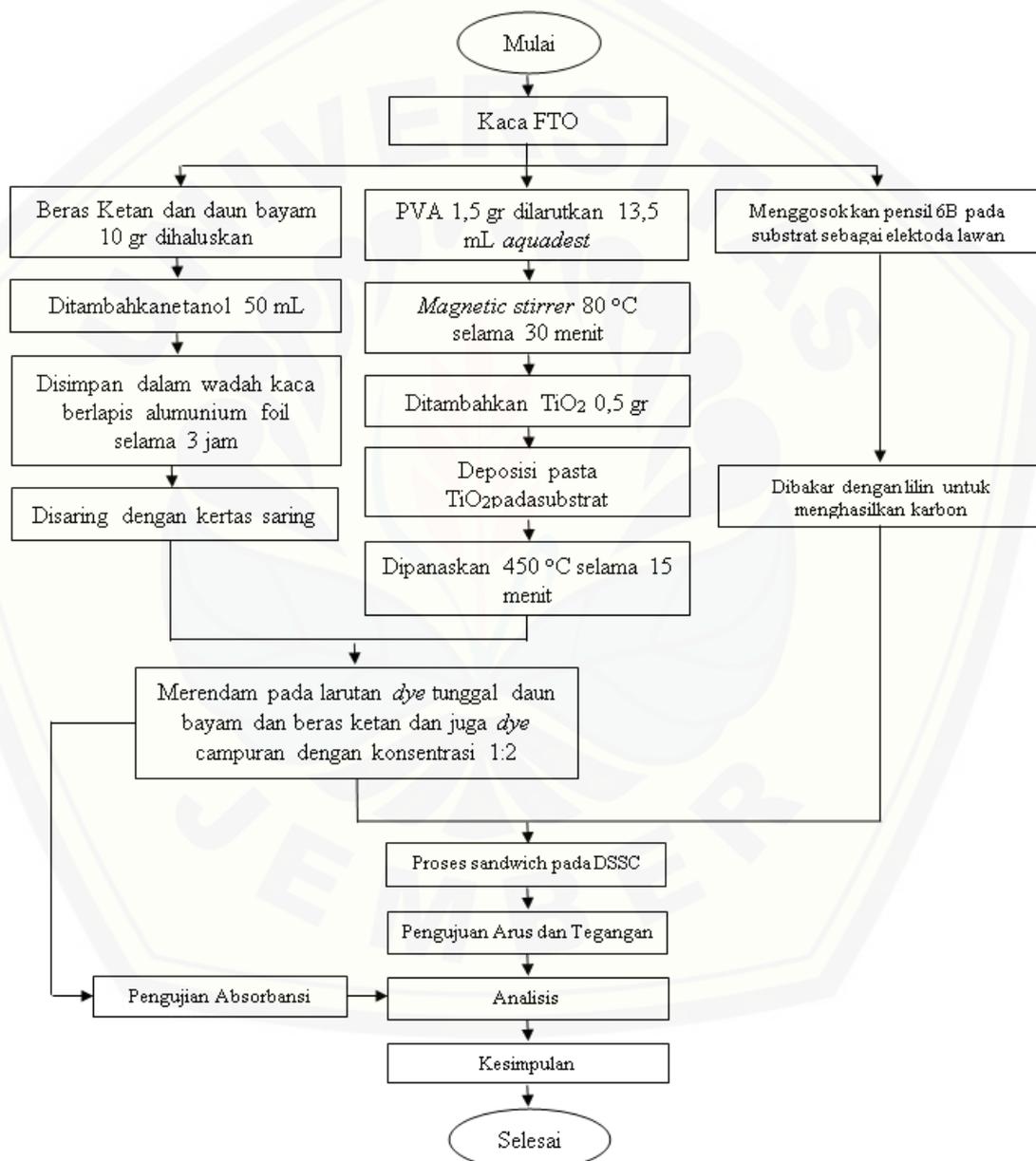
Pada tahap 1 dilakukan pembuatan kaca FTO dengan menggunakan metode *spray pyrolysis deposition* dengan variasi suhu deposisi yang dapat di lihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram proses tahap 1 (Pembuatan kaca FTO)

Tahap 2 : Pembuatan DSSC

Pada tahap 2 dilakukan pembuatan DSSC dengan menggunakan metode *doctor balde* untuk deposisi materi semikonduktor TiO_2 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 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Hasil dari pengujian resistansi terbaik yaitu temperatur 450 °C nilai resistansi 49,8 Ω dan hasil resistansi terburuk pada temperatur 400 °C nilai resistansi 90,55 Ω . Pengujian resistivitas memiliki nilai terbaik pada temperatur 450 °C nilai resistivitas 2,4 Ωcm dan nilai terburuk pada temperatur 400 °C nilai resistivitas 9,17 Ωcm . Hasil transmitansi terbaik pada temperatur 400 °C nilai transmitansi 99,26 % dan nilai terburuk pada temperatur 450 °C nilai transmitansi 91,21 %.
2. Hasil karakteristik dari pengujian XRD pada bahan TiO_2 membuktikan bahwa pasta yang digunakan menghasilkan fasa *anatase* yang cocok untuk diaplikasikan pada DSSC. Bentuk morfologi dari pengujian SEM menunjukkan bahwa lapisan tipis TiO_2 membentuk rongga.
3. Hasil pengujian absorbansi terbaik pada variasi *dye* campuran (1:2) nilai absorbansi 1,87 (a.u) dan terburuk yaitu *dye* tunggal daun bayam nilai absorbansi 0,640 (a.u). Hasil efisiensi tertinggi didapatkan pada variasi *dye* campuran (1:2) dengan efisiensi 0,3935 % dan hasil efisiensi terendah adalah *dye* tunggal beras ketan dengan efisiensi 0,0288 %.

5.2 Saran

1. Membuat rangka untuk alat *spray pyrolysis* dan merapikan kabel didalam tungku agar waktu penyemprotan bisa tertutup sempurna.
2. Proses pelapisan TiO_2 dilapisi minimal 3x agar terbentuk lapisan yang baik.



DAFTAR PUSTAKA

- 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.
- Agashe, C., B. R. Marathe, M. G. Takwale, dan V. G. Bhide. 1988. Structural properties of SnO_2 films deposited by spray pyrolysis technique. *Thin Solid Films*. 164(C):261–264.
- Alfidharisti, S. R., F. Nurosyid, dan Y. Iriani. 2018. Pengaruh waktu terhadap efisiensi dye-sensitized solar cell (dssc). 8(1):1–5.
- Anorganik, S. tanpa tahun. DYE-sensitized solar cell berbasis nanopori. (13305066)
- 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_2 . 3(3):325–337.
- Arini, T., L. H. Lalasari, A. H. Yuwono, F. Firdiyono, L. Andriyah, dan A. Subhan. 2017. Pengaruh waktu deposisi dan temperatur substrat terhadap pembuatan kaca konduktif fto (fluorine-doped tin oxide). *Metalurgi*. 32(1):1–8.
- Bedia, A., F. Z. Bedia, M. Aillerie, N. Maloufi, dan B. Benyoucef. 2015. Morphological and optical properties of ZnO thin films prepared by spray pyrolysis on glass substrates at various temperatures for integration in solar cell. *Energy Procedia*. 74:529–538.
- Benanti, T. L. dan D. Venkataraman. 2006. Organic solar cells: an overview focusing on active layer morphology. *Photosynthesis Research*. 87(1):73–81.
- Boukadhaha, 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.
- Buraidah, M. H., L. P. Teo, S. N. F. Yusuf, M. M. Noor, M. Z. Kufian, M. A. Careem, S. R. Majid, R. M. Taha, dan A. K. Arof. 2011. $\text{TiO}_2/\text{chitosan-nh}_4^+(\text{+i}^-)$ -based dye-sensitized solar cells with anthocyanin dyes extracted from black rice and red cabbage. *International Journal of Photoenergy*. 2011(November)

- Chacko, S., N. S. Philip, dan V. K. Vaidyan. 2007. Effect of substrate temperature on structural, optical and electrical properties of spray pyrolytically grown nanocrystalline SnO_2 thin films. *Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science*. 204(10):3305–3315.
- Chang, H., H. M. Wu, T. L. Chen, K. D. Huang, C. S. Jwo, dan Y. J. Lo. 2010. Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from spinach and ipomoea. *Journal of Alloys and Compounds*. 495(2):606–610.
- Chen, L., W. Tan, J. Zhang, X. Zhou, X. Zhang, dan Y. Lin. 2010. Fabrication of high performance Pt counter electrodes on conductive plastic substrate for flexible dye-sensitized solar cells. *Electrochimica Acta*. 55(11):3721–3726.
- Cherepy, N. J., G. P. Smestad, M. Gratzel, dan J. Z. Zhang. 1997. J. phys. chem b 1997, 101 ultrafast electron injection. *Journal of Physical Chemistry B*. 5647(97):9342–9351.
- 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.
- Diah Lestari Pangestuti, Gunawan, A. H. 2008. Jurnal kimia sains dan aplikasi pembuatan dye sensitized solar cell (dssc) dengan sensitizer. 11(3):70–77.
- Djaelani, B., L. Fatimah, dan T. S. Julianto. 2018. Penggunaan Ekstrak Pigmen Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana*) Sebagai Zat Peka Cahaya TiO_2 -Montmorillonit Dalam Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). Chemical. 2018.
- El-REFI, K. S. 2013. Dye-sensitized solar cells using TiO_2 as a semiconducting layer dye-sensitized solar cells using TiO_2 as a semiconducting layer. 023. 7–12.
- Fernando, T., S. Ridwan, M. Gratzel, dan O. Regan. 2013. Dye sensitized solar cells (dssc) berbasis nanopori TiO_2 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.
- Gandhimathi, R., S. Vijayaraj, dan M. P. Jyothirmaie. 2012. Analytical process of drugs by ultraviolet (uv) spectroscopy - a review. *International Journal of Pharmaceutical Research & Analysis*. 2(2):72–78.
- Gordon, R. G. 2000. Criteria for choosing transparent conductors. *MRS Bulletin*. 25(8):52–57.
- Grätzel, M. 2003. Dye-sensitized solar cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. 4(2):145–153.
- Guffron, S. 2016. Pengaruh Konsentrasi dan suhu larutan terhadap transmitansi cahaya dalam larutan NaCl menggunakan spektrofotometer. 119-123.
- Guo, T., G. Dong, F. Gao, Y. Xiao, Q. Chen, dan X. Diao. 2013. High performance zno:al films deposited on pet substrates using facing target sputtering. *Applied Surface Science*. 282:467–471.
- Gürakar, S., T. Serin, dan N. Serin. 2014. Electrical and microstructural properties of (cu, al, in)-doped sno₂ films deposited by spray pyrolysis. *Advanced Materials Letters*. 5(6):309–314.
- Hasabeldaim, E., O. M. Ntwaeaborwa, R. E. Kroon, E. Coetsee, dan H. C. Swart. 2017. Effect of substrate temperature and post annealing temperature on zno:zn pld thin film properties. *Optical Materials*. 74:139–149.
- Hasoon, S. A., R. M. S. Al-haddad, O. T. Shakir, dan I. M. Ibrahim. 2015. Natural dye sensitized solar cell based on zinc oxide. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 6(5):2229–5518.
- Hjortsberg, A., I. Hamberg, dan C. G. Granqvist. 1982. Transparent and heat-reflecting indium tin oxide films prepared by reactive electron beam evaporation. *Thin Solid Films*. 90(3):323–326.
- Huynh, T. P., T. T. Hoanq, P. H. Nguyen, T. N. Tran, dan T. V. Nguyen. 2009. Preparation of tio₂ thin film using modified doctor-blade method for improvement of dye-sensitized solar cell. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. 002168–002171.
- Isah Kimpa, M., M. Momoh, K. Uthman Isah, H. Nawawi Yahya, dan M. Muhammed Ndamitso. 2012. Photoelectric characterization of dye sensitized solar cells using natural dye from pawpaw leaf and flame tree flower as

sensitizers. *Materials Sciences and Applications*. 03(05):281–286.

Istiqomah, A., M. Rokhmat, N. M. Nursam, dan F. T. Elektro. 2017. Optimalisasi dye sensitized solar cell (dssc) berbahan titanium dioksida dengan konfigurasi tipe monolitik optimization dye sensitized solar cell (dssc) provided titanium. *E-Proceeding of Engineering*. 4(2):2158–2165.

Jamaluddin, K. 2010. *X-RD (X-Ray Diffractions)*.

Kabir, F., S. Nazmus Sakib, S. Shehab Uddin, E. Tawsif Efaz, dan M. T. Farhan Himel. 2019. Enhance cell performance of dssc by dye mixture, carbon nanotube and post TiCl_4 treatment along with degradation study. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 35(June):298–307.

Kaushik, V. K., C. Mukherjee, T. Ganguli, dan P. K. Sen. 2016. Material characterizations of Al:ZnO thin films grown by aerosol assisted chemical vapour deposition. *Journal of Alloys and Compounds*. 689:1028–1036.

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.

Kyaw, A. K. K., H. Tantang, T. Wu, L. Ke, J. Wei, H. V. Demir, Q. Zhang, dan X. W. Sun. 2012. Dye-sensitized solar cell with a pair of carbon-based electrodes. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 45(16)

Lidia, B., J. Fisika, F. Matematika, P. Alam, U. N. Padang, J. Prof, H. Air, P. Physics, dan V. No. 2018. SINTESIS dan karakterisasi sifat optik film tipis hausmannite (Mn_3O_4) dengan metode spin coating. 11(2):9–16.

Low, F. W. dan C. W. Lai. 2018. Recent developments of graphene- 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*

Maruyama, T. dan Y. Ikuta. 1992. Tin dioxide thin films prepared by chemical vapor deposition from tin(ii) acetylacetonate. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 28(3):209–215.

Mathew, S., A. Yella, P. Gao, R. Humphry-Baker, B. F. E. Curchod, N. Ashari-Astani, I. Tavernelli, U. Rothlisberger, M. K. Nazeeruddin, dan M. Grätzel. 2014. Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the

molecular engineering of porphyrin sensitizers. *Nature Chemistry*. 6(3):242–247.

- Miao, D., Q. Zhao, S. Wu, Z. Wang, X. Zhang, dan X. Zhao. 2010. Effect of substrate temperature on the crystal growth orientation of SnO_2 thin films spray-deposited on glass substrates. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 356(44–49):2557–2561.
- Misbachudin, M. C., F. S. Rondonuwu, dan A. Sutresno. 2014. Pengaruh pH larutan antosianin strawberry dalam prototipe dye sensitized solar cell (dssc). *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*. 10(2):57.
- Nam, G., H. Park, H. Yoon, J. S. Kim, dan J. Y. Leem. 2013. Studies on temperature- and excitation-power-dependent photoluminescence of ZnO thin film grown by plasma-assisted molecular beam epitaxy. *Current Applied Physics*. 13(4 SUPPL.2):S168–S171.
- Nurhasanah, I., H. Sutanto, Z. Muhlisin, dan A. A. S. Nurdianik. 2012. Sintesis nanopartikel cerium oxide menggunakan metode presipitasi dan sifat optiknya. *Berkala Fisika*. 15(2):41-48–48.
- Nurul Amalia Silviyanti, Nurrisma Puspitasari, Endarko, S. dan C. Dssc. 2008. Staf pengajar fakultas pertanian universitas abdurrahman saleh situbondo mahasiswa pasca sarjana jurusan fisika, fmipa institut teknologi sepuluh nopember surabaya 1)
- Palumbo, J. L. tanpa tahun. Stony Brook University
- Perdana. 2018. 濟無No title no title. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 53(9):1689–1699.
- Perednis, D. dan L. J. Gauckler. 2005. Thin film deposition using spray pyrolysis. *Journal of Electroceramics*. 14(2):103–111.
- Purwanto, A., A. Jumari, H. Widiyandari, H. E.R, dan Sulestyono. 2010. Pembuatan gelas transparan konduktif dengan luas area besar dengan metode pyrosol. *Sn-Kpk Ii*. 263–265.
- 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.
- Randhawa, H. S., M. D. Matthews, dan R. F. Bunshah. 1981. SnO_2 films prepared by activated reactive evaporation. *Thin Solid Films*. 83(2):267–271.

- 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.
- Rinaldi, R., A. Amri, dan Khairat. 2016. Sintesa fluorinated tin oxide (fto) menggunakan prekursor ramah lingkungan dan penambahan graphene dengan metode deposisi spray coating untuk aplikasi material konduktif transparan rino. (1):6–8.
- Sahu, S., R. Awasthy, M. Patel, A. Verma, P. Agnihotri, dan S. Tiwari. 2014. Fabrication and characterization of nanoporous tio 2 layer on photoanode by using doctor blade method for dyesensitized solar cells. *Optics InfoBase Conference Papers*. (January 2018):10–13.
- Septina, W. 2014. Pembuatan prototipe solar cell murah dengan bahan organik-inorganik (dye- sensitized solar cell) penghargaan pt . rekayasa industri pembuatan prototipe solar cell murah dengan bahan organik-inorganik (dye- sensitized solar cell) oleh : wilman septina d. (May)
- 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.
- Shanthi, S., H. Anuratha, C. Subramanian, dan P. Ramasamy. 1998. Effect of Fluorine Doping on Structural, Electrical and Optical Properties of Sprayed SnO₂ Thin Films. *Journal of Crystal Growth*. 1998.
- 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.
- Sonmez, E. S. Aydin, M. Yilmaz. 2012. Study of structural and optical properties of zinc oxide rods grown on glasses by chemical spray pyrolysis. *Journal of Nanomaterials*. 2012.
- Stjerna, B. dan C. G. Granqvist. 1990. Electrical conductivity and optical transmittance. *Solar Energy Materials*. 20(3):225–233.
- Suwarno, H., A. Insani, dan W. A. Adi. 2007. THE x-ray diffraction analyses on the mechanical alloying of the mg 2 ni formation. 3(2):74–85.
- Syuhada dan S. Bayuwati, Dwi. 2008. Pembuatan konduktor transparan thin film sno₂ dengan menggunakan teknik spray pyrolysis. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*. 8(1):24–29.

- Syukron, A., D. D. Risanti, dan D. Sawitri. 2012. Pengaruh preparasi pasta dan temperatur annealing pada dye-sensitized solar cells (dssc) berbasis nanopartikel zno. *Jurnal Sains Dan Seni POMITS*. 1(1):1–6.
- Tatar, D., G. Turgut, dan B. Düzgün. 2013. Effect of substrate temperature on the crystal growth orientation and some physical properties of SnO_2 thin films deposited by spray pyrolysis technique. *Romanian Reports of Physics*. 58(1–2):143–158.
- Tio, N., M. Ekstraksi, K. Daun, C. C. Kunth, H. Darmaja, M. I. Darmawan, dan A. Supriyanto. 2014. PEMBUATAN prototipe dye sensitized solar cells (dssc) berbasis nanopori tio 2 memanfaatkan ekstraksi klorofil daun kenikir (cosmos caudatus kunth). (May 2018)
- Wahyuni, M. S., E. Hastuti, dan J. Fisika. 2012. Karakterisasi cangkang kerang menggunakan xrd dan x ray physics basic unit. *Jurnal Neutrino*. 0(0):32–43.