



**VARIASI WAKTU PERENDAMAN TiO_2 DIDALAM *DYE*
ANTOSIANIN KULIT TERONG UNGU TERHADAP
EFISIENSI *DSSC***

SKRIPSI

Oleh

**Ghozian Hilmi M
141910101057**

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



**VARIASI WAKTU PERENDAMAN TiO_2 DIDALAM *DYE*
ANTOSIANIN KULIT TERONG UNGU TERHADAP
EFISIENSI *DSSC***

SKRIPSI

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

Oleh

Ghozian Hilmi M
141910101057

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

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, nikmat serta karunianya. Dengan segenap kerendahan hati, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya Bapak Miswar, Ibu Siti Rohanna, yang telah memberikan semangat, pendanaan dan hidup yang jauh lebih baik dalam menempuh pendidikan sejak Taman Kanak-kanak hingga Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember serta do'a yang diberikan.
2. Eyang kakung dan Eyang putri serta Kakek dan Nenek saya , yang selalu memberikan yang terbaik bagi cucunya dan sangat membantu dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember.
3. Saudara saya, adek Rara dan Adek Tio yang membantu saya menjadi lebih sabar.
4. Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku pembimbing tim riset MaGNIFIED.
5. Semua Anggota MaGNIFIED. Khususnya Tim DSSC, Joko, Silfi dan Dadung
6. Seluruh Guru-guru sejak TK, SD, SMP, SMA, serta seluruh civitas akademika Universitas Jember, khususnya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin.

MOTO

“ Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan ”

(Q.S Al-Insyiroh 94 : 5)

“ Barang siapa menghendaki (kebaikan) dunia, maka hendaknya ia menggunakan ilmu, dan barang siapa menghendaki kebaikan akhirat, maka hendaknya menggunakan ilmu ”.

(Imam As-Syafi'i)

“ Kesempatan biasanya menyamakan diri sebagai kerja keras. Sehingga kebanyakan orang tak mengenalnya ”.

(Ann Landers)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ghozian Hilmi M

NIM : 141910101057

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “ Variasi Waktu Perendaman TiO_2 di Dalam *Dye* Antosianin Kulit Terong Ungu Terhadap Efisiensi *DSSC* ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 22 Januari 2020
yang menyatakan,

Ghozian Hilmi M
NIM 141910101057

SKRIPSI

**VARIASI WAKTU PERENDAMAN TiO_2 DI DALAM DYE
ANTOSIANIN KULIT TERONG UNGU TERHADAP
EFISIENSI DSSC**

Oleh

GHOZIAN HILMI M

NIM 141910101057

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Hary Sutjahjono, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “ Variasi Waktu Perendaman TiO_2 Didalam *Dye* Antosianin Kulit

Terong Ungu Terhadap Efisiensi *DSSC* ” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Rabu, 22 Januari 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T.
NIP. 19751006 200212 1 002

Ir. Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP. 19681205 199702 1 002

Penguji I

Penguji II

Ir. Santoso Mulyadi S.T., M.T.
NIP. 19700228 199702 1 001

Rei Sakura, S.T., M.T.
NIP. 760017115

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, ST., MT.
NIP. 19700826 199702 1 001

RINGKASAN

Variasi Waktu Perendaman TiO₂ di Dalam Dye Antosianin Kulit Terong Ungu Terhadap Efisiensi DSSC ; Ghozian Hilmi M, 141910101057 ; 49 Halaman ; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Material kaca *FTO* (*Flourine Tin Oxide*) memiliki banyak kegunaan dalam dunia keteknikan salah satunya digunakan material utama dalam *DSSC* (*Dye Sensitized Solar Cell*) karena sifat konduktif terhadap listrik dan transparansinya. *FTO* dapat dibuat dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode *Spray Pyrolysis Deposition*. Metode ini digunakan karena pengaturan eksperimental yang sederhana dan kemampuan produksi massal yang tinggi. Berbagai variasi temperatur deposisi dan waktu deposisi dicoba untuk menemukan *FTO* dengan hasil resistivitas dan transmitansi yang terbaik.

Hasil pengujian resistivitas menunjukkan kaca *FTO* pada variasi suhu 420 °C memiliki nilai terendah dengan rata rata sebesar 4,5 Ω.cm dan mempunyai ketebalan yang tinggi yaitu yaitu 379 nm, 355,6 nm dan 367,9 nm dari pada suhu 380 °C dengan nilai resistivitasnya 8,9 Ω.cm yaitu 222.2 nm, 204.1 nm, 209.9 nm. Namun rendahnya resistivitas tidak didukung dengan hasil transmitansi, dimana hasil transmitansi kaca *FTO* pada suhu 420 °C mempunyai rata-rata nilai transmitansi 79,1% dibandingkan kaca pada deposisi temperatur lainnya yang mempunyai nilai transmitansi yang lebih besar.

Hasi pengujian arus dan tegangan menunjukkan efisiensi terbesar terjadi pada waktu perendaman 12 jam dan deposisi suhu 420 °C dengan nilai efisiensi 9,07%. Tingkat efisiensi pada deposisi suhu 380 °C dan 340 °C juga didapati pada waktu 12 jam perendaman dengan tingkat efisiensi terbaik dari pada waktu perendaman 3 jam dan 6 jam.

SUMMARY

Variation of TiO₂ Soaking Time in Anthocyanin Dye Purple Eggplant Skin Against DSSC Efficiency; Ghozian Hilmi M, 141910101057; 49 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

In the world of glass material, *FTO* (Flourine Tin Oxide) has many uses in the engineering world, one of which is the main material used in DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) due to its conductive and electric properties. *FTO* can be made by several methods, one of which is the Spray Pyrolisys Deposition method. This method is used because of the simple experimental setting and high mass production capability. Various variations in deposition temperature and deposition time are tried to find the *FTO* with the best resistivity and transmittance results.

Resistivity test results show the results of *FTO* glass at 420 °C temperature variations have the lowest resistivity values with an average of 4.5 Ω.cm and have a high thickness that is 379 nm, 355.6 nm and 367.9 nm than at 380 °C with a resistivity value of 8,9 Ω.cm. 222.2 nm, 204.1 nm, 209.9 nm. However, the low resistivity is not supported by the results of transmittance, where the *FTO* glass transmittance results at 420 °C have an average transmittance value of 79.1% compared to glass at other temperature depositions which have a greater transmittance value.

The results of current and voltage testing show that the greatest efficiency occurs at the immersion time of 12 hours and deposition temperature of 420 °C with an efficiency value of 9.07%. The level of efficiency at deposition temperatures of 380 °C and 340 °C was also found at 12 hours immersion with the best level of efficiency than at the time of immersion of 3 hours and 6 hours.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ Variasi Waktu Perendaman TiO₂ di Dalam *Dye* Antosianin Kulit Terong Ungu Terhadap Efisiensi *DSSC* ”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Penelitian dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

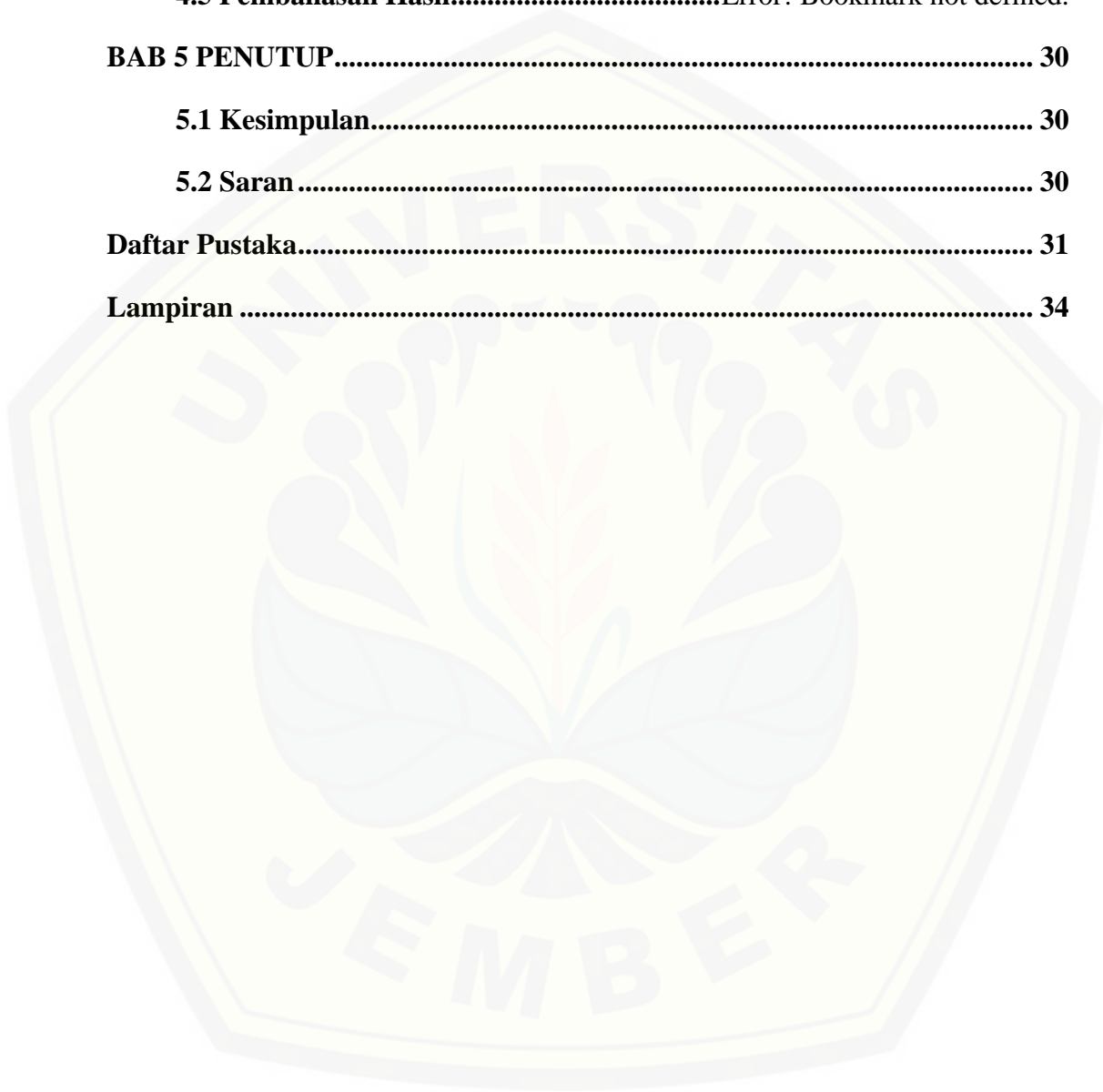
1. Kedua orang tua saya Bapak Miswar, Ibu Siti Rohanna yang telah memberikan semangat, pendanaan dan hidup yang jauh lebih baik dalam menempuh pendidikan Strata 1 (S1) Teknik Mesin di Universitas Jember serta do'a yang diberikan.
2. Bapak Dr.Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Ir. Hary Sutjahjono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini. Serta Bapak Ir. Santoso Mulyadi S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Ibu Rahma Rei Sakura, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran untuk perbaikan skripsi.
3. Rekan kerjaku dan keluarga besar MaGNIFIEd yang selalu memberikan dukungan, ide dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu per satu.

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN.....	i
MOTO	ii
PERNYATAAN.....	iii
PENGESAHAN.....	v
RINGKASAN	vi
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah	3
1.6 Hipotesis	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Energi.....	4
2.1.1 Energi Terbarukan	4
2.2 Sel Surya	6
2.3 DSSC	8
2.3.1 Prinsip Kerja	8
2.3.2 Komponen Penyusun <i>DSSC</i>	10

2.4 Deposisi Fotoelektroda	13
2.4.1 <i>Doctor Blade</i>	13
2.5 Deposisi FTO	14
2.5.1 Spray Pyrolysis Deposition (SPD)	14
2.6 Pengujian	15
2.6.1 Spektrofotometer UV-Vis.....	15
2.6.2 SEM	16
2.6.3 Arus dan Voltase	16
2.7 Aplikasi	17
2.8 Fish Bone	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	21
3.3 Alat dan Bahan	21
3.4 Prosedur Penelitian	22
3.5 Prosedur Pengujian	24
3.5.1 Pengujian Resistivitas.....	24
3.5.2 Pengujian SEM	24
3.5.3 Pengujian UV-Vis	25
3.5.4 Pengujian Arus dan Tegangan.....	26
3.6 Diagram Alir Penelitian	27
BAB 4 PEMBAHASAN	29
4.1 Data Hasil Percobaan.....	29
4.2 Analisis Resistivitas	Error! Bookmark not defined.
4.3 Analisis SEM	Error! Bookmark not defined.

4.4 Analisis UV-VIS	Error! Bookmark not defined.
4.4 Analisis Karakteristik Arus dan Tegangan.....	Error! Bookmark not defined.
4.5 Pembahasan Hasil.....	Error! Bookmark not defined.
BAB 5 PENUTUP.....	30
5.1 Kesimpulan.....	30
5.2 Saran	30
Daftar Pustaka.....	31
Lampiran	34



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sumber daya matahari dan alirannya di Bumi 4

Gambar 2.2 Teknologi modern konversi energi terbarukan dari matahari. 6

Gambar 2.3 Spektrum radiasi matahari di atas atmosfer dan di permukaan..... 7

Gambar 2.4 Klasifikasi 3 generasi dari sel surya..... 8

Gambar 2.5 Representasi skematik struktur dan komponen *DSSC* 9

Gambar 2.6 Prinsip kerja sel surya berstruktur nano tersensitisasi pewarna 9

Gambar 2.7 Struktur molekuler dari tiga foto sensitizer untuk *DSSC* 12

Gambar 2.8 Teknik dari doctor blade pada *DSSC* 14

Gambar 2.9 Skematik umum dari proses SPD..... 15

Gambar 2.10 Skematik dari spektrofotometri..... 15

Gambar 2.11 Aplikasi *DSSC*..... 18

Gambar 2.12 Panel STI *DSSC* sebesar 200 m² dipasang di Newcastle (Australia)
modul *DSSC* komersial pertama..... 18

Gambar 2.13 Modul *DSSC* untuk aplikasi luar ruangan (Jasim, 2011). 19

Gambar 2.14 Diagram fish bone *DSSC*..... 20

Gambar 3.1 Diagram Proses Tahap 1 (Pembuatan kaca *FTO*).....27

Gambar 3.2 Diagram Proses Tahap 2 (Pembuatan *DSSC*) 28

Gambar 4.1 Hasil SEM ketebalan substrat kaca *FTO* suhu
380°C.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.2 Hasil SEM ketebalan substrat kaca *FTO* suhu 420°C **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.3 Hasil SEM pada permukaan kaca *FTO* pada suhu 380°C **Error!**
Bookmark not defined.

Gambar 4.4 Permukaan nano kaca *FTO* pada suhu 380°C setelah di Image J
.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.5 Hasil SEM pada permukaan kaca *FTO* pada suhu 420°C **Error!**
Bookmark not defined.

- Gambar 4.6 Permukaan nano kaca *FTO* pada suhu 420°C setelah di Image J
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.7 Analisis UV-Vis Transmittansi Kaca *FTO* Temperatur 340°C, 380 °C
dan 420 °C**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.8 Analisis UV-Vis Absorbansi *Dye* Antosianin Kulit Terong Ungu
.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.9 Variasi tahanan sheet (R_{sh}) dan resistivitas (ρ) dari film SnO₂: F
perbandingan dengan ketebalan**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.10 Perbandingan ketebalan kaca *FTO* dan temperatur deposisi.. **Error!
Bookmark not defined.**
- Gambar 4.11 Hasil SEM pada suhu 350°C(a) dan pada suhu 400°C(b) **Error!
Bookmark not defined.**
- Gambar 4.12 Perubahan bentuk setiap kenaikan temperatur deposisi..... **Error!
Bookmark not defined.**
- Gambar 4.13 Spektrum serapan ekstrak terong (a) dalam larutan (garis tipis) dan
(b) teradsorpsi ke photoanode TiO₂ (garis tebal)...**Error! Bookmark
not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tinjauan tentang potensi teknis sumber energi terbarukan di EJ/tahun..	5
Tabel 2.2 Potensi energi terbarukan di Indonesia	6
Tabel 3.1 Alat dan Bahan pembuatan <i>DSSC</i>	21
Tabel 4.1 Hasil resistivitas suhu 340°C.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2 Hasil resistivitas suhu 380°C	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.3 Hasil resistivitas suhu 420°C	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.4 Hasil pengujian arus dan tegangan pada <i>DSSC</i> ...	Error! Bookmark not defined.



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi terbarukan dibutuhkan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil atau energi yang tidak terbarukan pada era sekarang, maka kita didorong untuk mencari energi terbarukan seperti halnya sinar matahari jadi dibuatlah sel surya yang merupakan jenis alat yang dapat mengubah sinar matahari menjadi energi. Terdapat 3 jenis generasi sel surya yaitu material semikonduktor silikon, sel surya berbasis thin film silikon dan *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*, para peneliti sangat tertarik terhadap *DSSC* karena biaya pembuatannya yang murah dan bahannya murah (Prasetyo, *et al*, 2014). *DSSC* pertama kali ditemukan oleh O'Regan dan Gratzel pada tahun 1991, susunannya terdiri dari lapisan titanium dioxide (TiO_2) sebagai semikonduktor yang berperan sebagai anoda elektroda, kounter berperan sebagai katoda elektroda, sensitizer, elektrolit dan *natural dye solar cells* (Richhariya, *et al*, 2017).

DSSC mempunyai keuntungan dari proses pembuatannya yang murah, zat warna yang digunakan mempunyai sifat yang unik serta tidak menimbulkan adanya polusi (Gu, *et al*, 2018). *DSSC* juga memiliki kelemahan yaitu stabilitasnya rendah karena penggunaan elektrolit cair yang mudah mengalami degradasi atau kebocoran (Huan, *et al*, 2007). Waktu perendaman TiO_2 dalam larutan *dye* mempengaruhi hasil arus dan tegangan (I-V), penelitian sebelumnya menggunakan zat antosianin kol merah yang di ekstrak menunjukkan semakin lama waktu perendaman maka keluaran I-V semakin besar dengan variasi waktu 3,5,12 jam waktu perendaman (Saputro, *et al*, 2015). Penelitian ini bertujuan untuk melihat nilai efisiensi dengan jenis antosianin yang diambil dari kulit terong ungu sebagai *dye DSSC*.

Setelah mengamati dan mempelajari dari penelitian sebelumnya maka penulis mencoba melakukan penelitian tentang pengaruh waktu perendaman *dye* terhadap semikonduktor TiO_2 yang dilakukan dengan metode deposisi semikonduktor TiO_2 metode *doctor blade*. Hasil penelitian ini diharapkan dari

pengujian memberikan tingkat efisiensi yang optimal yang digunakan untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dimasa depan.

Penelitian yang akan dilakukan yaitu penyusunan *DSSC* dengan cara *sandwich*, proses pembuatan semikonduktor digunakan metode *doctor blade* dimana dilakukan proses *annealing* dan pembuatan kaca konduktifnya menggunakan metode *spray pyrolysis deposition*. Untuk elektroda kounter digunakan grafit yang di ambil dari pensil 6B serta elektrolit menggunakan iodine cair dari obat betadine.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh temperatur deposisi pada kaca *FTO* berbahan $\text{SnO}_2:\text{F}$ terhadap nilai resistivitas dan bentuk morfologi?
2. Bagaimana pengaruh transmitansi kaca *FTO* dan absorbansi kulit terong ungu sebagai *Dye* antosianin terhadap efisiensi *DSSC*?
3. Bagaimana pengaruh waktu perendaman TiO_2 pada *Dye* antosianin kulit terong ungu terhadap efisiensi *DSSC*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh temperatur deposisi sebesar 340°C , 380°C , dan 420°C pada kaca *FTO* berbahan $\text{SnO}_2:\text{F}$ terhadap nilai resistivitas dan bentuk morfologi.
2. Mengetahui pengaruh transmitansi kaca *FTO* dan absorbansi kulit terong ungu sebagai *Dye* antosianin terhadap efisiensi *DSSC*.
3. Mengetahui pengaruh waktu perendaman selama 3 jam, 6 jam, 12 jam TiO_2 pada *Dye* antosianin kulit terong ungu terhadap efisiensi *DSSC*.

1.4 Manfaat Penelitian

Untuk manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Memberikan perkembangan mengenai penelitian *DSSC*.
2. Memberikan informasi tentang proses penyusunan *DSSC* dengan menggunakan TiO_2 sebagai semikonduktor dan *Dye* dari antosianin.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Mengenai masalah-masalah pembahasan penelitian ini maka di ketahui dan memberikan gambaran maka akan diberikan ruang lingkup dan batasan masalah agar masalah yang ada dapat terfokus, sebagai berikut :

1. Pembuatan *FTO* dengan metode *spray pyrolysis deposition*.
2. Bahan pembuatan *FTO* yaitu $\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dan NH_4F .
3. TiO_2 diambil dari serbuk nano.
4. Deposisi larutan TiO_2 dengan metode *doctor blade* satu lapis.
5. Penyusunan *DSSC* disusun secara sandwich.

1.6 Hipotesis

Dengan temperatur deposisi yang meningkat pada kaca *FTO* maka nilai resistivitasnya akan semakin rendah sehingga mobilitas *DSSC* meningkat.

Dengan waktu perendaman di dalam *Dye* antosianin kulit terong yang lama maka *Dye* yang terserap ke dalam semikonduktor TiO_2 semakin banyak sehingga akan meningkatkan dari sisi efisiensi *DSSC*.

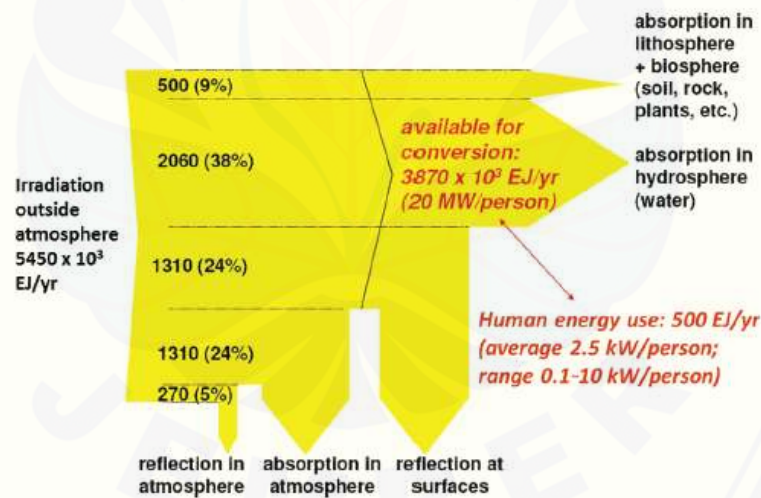
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi

Energi didefinisikan sebagai sistem kekuatan fisik untuk melakukan pekerjaan. Namun, penting untuk diingat bahwa energi yang ada, tidak berarti energi tersebut selalu tersedia untuk melakukan pekerjaan (Jones, 2018).

2.1.1 Energi Terbarukan

Teknologi energi terbarukan adalah sumber energi bersih yang memiliki dampak lingkungan jauh lebih rendah daripada teknologi energi konvensional yaitu tidak pernah habis (Alrikabi, 2014). Pada Gambar 2.1 jumlah energi matahari tersedia sebagai konversi energi, yang pada prinsipnya lebih dari 1000 kali penggunaan energi primer manusia saat ini. Jumlah energi matahari yang tersedia di bumi (diperkirakan 3,9 juta EJ / tahun) dapat digunakan berkali-kali penggunaannya pada saat ini.



Gambar 2.1 Sumber daya matahari dan alirannya di Bumi (Turkenburg, et al, 2000)

Energi terbarukan dapat didefinisikan bentuk energi apapun dari sumber matahari, geofisika, atau biologis yang dapat diisi ulang oleh proses alami pada tingkat yang sama atau melebihi tingkat penggunaannya (Verbruggen, et al, 2011). Pada Tabel 2.1 merupakan ringkasan potensi teoritis dan teknis dari

sumber terbarukan sebagai kontribusi dalam produksi energi (Turkenburg, *et al*, 2000).

Tabel 2.1 Tinjauan tentang potensi teknis sumber energi terbarukan di EJ/tahun (Turkenburg, *et al*, 2000)

Renewable Energy Source	Technical Potential (EJ/yr)		
	WEA (2000)	Chum et al. (2011)	GEA (2012)
Geothermal energy	5000	130-1420	810-1545
Direct solae energy	>1575	1575-50,000	62.000-280,000
Wind energy	640	85-580	1250-2250
Biomass energy	>276	50-500	160-270
Hydropower	50	50-52	50-60
Ocen Energy	Not estimated	7-331	3240-10,500
TOTAL	>7600	1900-52,800	76,500-29,500

Untuk memanfaatkan energi terbarukan yang ada maka berbagai macam teknologi yang tersedia atau sedang dikembangkan untuk memproduksi energi yang terjangkau, dapat diandalkan, dan berkelanjutan dari energi terbarukan. Energi terbarukan modern menyuplai sekitar 10,3% dari total konsumsi energi global untuk panas pada tahun 2015, lain 16,4% dipasok oleh biomassa tradisional, terutama untuk memasak dan pemanasan di negara berkembang (Sonntag, *et al*, 2011).

Indoneisa merupakan negara kepulauan yang berlimpah sumber daya alamnya sehingga dapat dimanfaatkan untuk keperluan kehidupan. Di sisi lain energi yang kita manfaatkan dengan berjalannya waktu ketersediaan di alam semakin menipis dan alternatif terbaik untuk mengantisipasinya yaitu dengan menemukan energi baru terbarukan (ETB) (Suprayogi, *et al*, 2016).

Pada Gambar 2.2 dimana bermacam teknologi konversi modern untuk mengubah energi terbarukan menjadi produk energi lainnya sesuai dengan kebutuhan saat ini (Turkenburg, *et al*, 2000). Keadaan sumber energi fosil saat ini mulai berkurang, maka kebijakan energi di Indonesia berfokus kepada

pengembangan sumber energi terbarukan seperti sinar matahari, air, angin, panas bumi, biodiesel, biofuel, air laut, dan pasang surut (Jaelani, 2017). Pada Tabel 2.2 menunjukkan bermacam sumber energi terbarukan sudah terpasang di Indonesia yang dapat di manfaatkan sebagai pengganti energi tidak terbarukan.

Solar energy	
Passive solar energy use	Heat, cold, light, ventilation
Low-temperature solar energy use	Heat (water and space heating, cooking, drying) and cold
Photovoltaic solar energy conversion	Electricity
Concentrated solar power	Heat, steam, electricity

Gambar 2.2 Teknologi modern konversi energi terbarukan dari matahari (Turkenburg, et al, 2000).

Tabel 2.2 Potensi energi terbarukan di Indonesia (Hutapea, 2016)

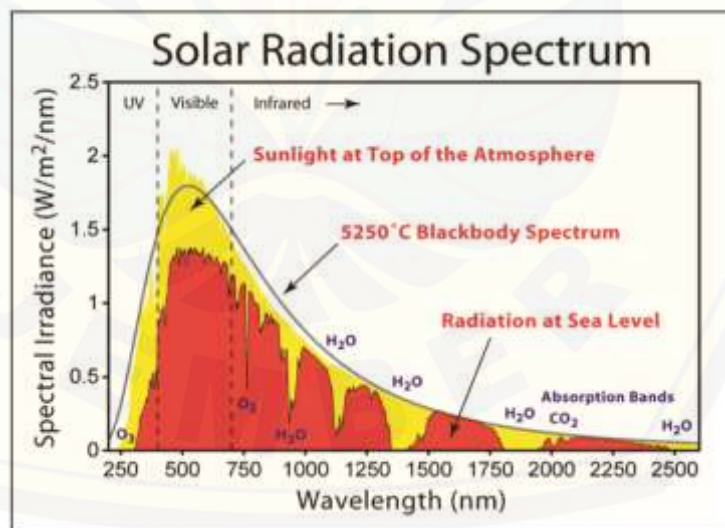
No	Energi Baru Terbarukan	Sumber Daya	Kapasitas Terpasang
1	Hidro	75.000 MW	5.250 MW
2	Panas Bumi	29.475 MW	1.403,50 MW
3	Biomassa	32.000 MW	1.740,40 MW
4	Surya	4,80kWh/m ² /hari	71,02 MW
5	Angin dan Hybrid	3-6 m/s	3,07 MW
6	Samudra	61 GW	0,01 MW
7	Uranium	3.000 MW	30,00 MW

2.2 Sel Surya

Sekarang energi konvensional digunakan untuk memenuhi kebutuhan dan industri publik sebesar 80% (Hasan, *et al*, 2012). Manusia dipaksa secara terus untuk menemukan sumber energi terbarukan seperti surya, angin, biomassa, dan tenaga air agar mendukung pembangunan ekonomi dimasa depan karena Menipisnya cadangan bahan bakar serta pertumbuhan pesat dalam konsumsi energi konvensional (Sutijastoto, *et al*, 2010). Intensitas radiasi matahari yang cukup dengan rata-rata radiasi harian sekitar 4 kWh / m² yang didapatkan sebagian besar wilayah Indonesia (Widodo, *et al*, 2006).

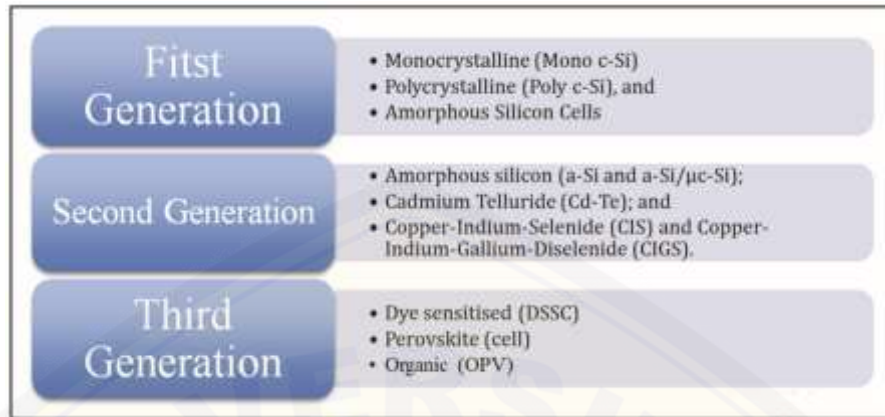
Energi matahari dirancang untuk mengubah semua atau sebagian dari cahaya yang tersedia menjadi energi listrik (Setiawan, *et al*, 2011). Pada dasarnya, tata surya menggunakan kolektor surya dan konsentrator untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menggunakan radiasi matahari untuk diterapkan kepentingan rumah tangga, komersial, dan industri (Mekhilefa, *et al*, 2011).

Sebagian besar teknologi pembangkitan listrik lainnya tidak seperti teknologi sel surya yang mempunyai ukuran kecil dan dapat digunakan hampir di mana saja (Ranabhat, *et al*, 2016). Sel surya atau sel fotovoltaik adalah perangkat listrik yang mengubah energi cahaya langsung menjadi listrik oleh efek fotovoltaik yang merupakan fenomena fisik dan kimia (Karl, *et al*, 2002). Spektrum matahari memiliki kisaran 100 nm hingga 1 mm, tetapi sebagian besar radiasi terjadi antara 250 nm – 2500 nm pada Gambar 2.3 dengan maksimum di wilayah cahaya tampak (400-700 nm) untuk massa udara (AM) 0, yang berarti bahwa sel surya berusaha untuk menyerap sebanyak mungkin di daerah spektrum matahari yang terlihat (Ranabhat, *et al*, 2016).



Gambar 2.3 Spektrum radiasi matahari di atas atmosfer dan di permukaan (Ranabhat, *et al*, 2016)

Pada gambar 2.4 teknologi sel surya diklasifikasikan menjadi tiga generasi, tergantung pada bahan dasar yang digunakan.



Gambar 2.4 Klasifikasi 3 generasi dari sel surya (Ranabhat, *et al*, 2016)

2.3 DSSC

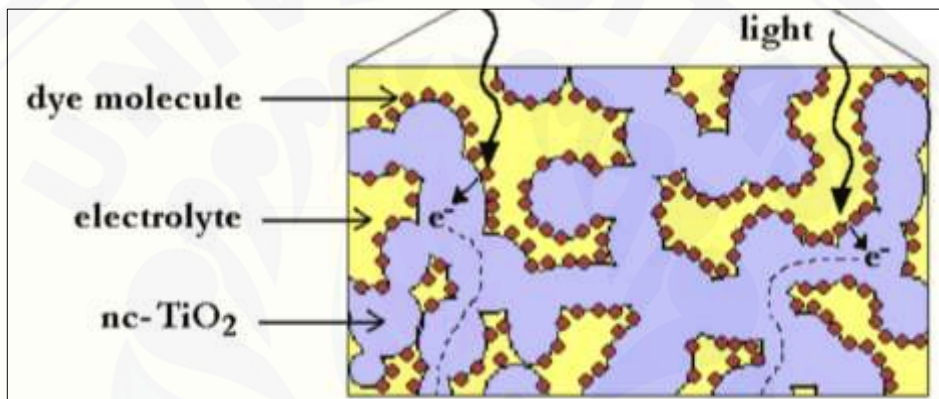
Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan jenis sel surya *photoelectrochemical* dan katagori sel surya generasi ketiga yang ditemukan oleh Grätzel, kelebihan sel surya mempunyai harga rendah dari segi bahan dan proses manufaktur (Oregon, *et al*, 1991). *DSSC* memiliki keunggulan karena efisiensinya, keramahan lingkungan, transparansi dan plastisitas yang baik diantara sel surya lain (Cherepy, *et al*, 1997). Struktur utama *DSSC* terdiri dari *nano crystalline* semikonduktor oksida, *dye sensitizer*, redox elektrolit, dan kounter elektroda (CE) (Wu, *et al*, 2012).

2.3.1 Prinsip Kerja

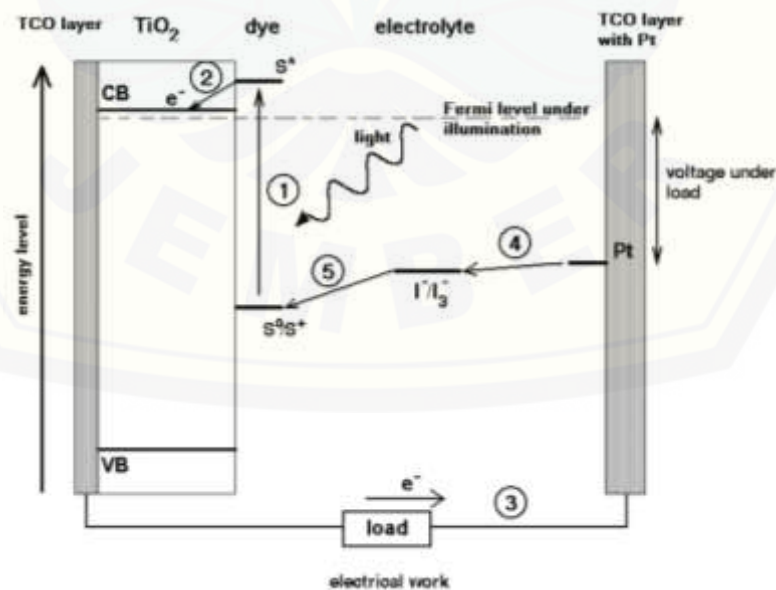
Pada konfigurasi sederhana sel surya *DSSC* terdiri dari kaca transparan elektroda dilapisi dengan TiO_2 nanokristalin berpori (nc-TiO_2), molekul zat warna yang menempel pada permukaan nc-TiO_2 , elektrolit yang mengandung pasangan reduksi oksidasi seperti I^-/I_3^- dan elektroda counter yang dilapisi katalis (Halme, 2012). Dalam *DSSC* terjadi penyerapan cahaya oleh molekul *dye* dan pemisahan muatan dilakukan dengan injeksi elektron dari pewarna ke TiO_2 pada elektrolit semikonduktor, namun satu lapis molekul pewarna hanya dapat menyerap kurang dari satu persen cahaya yang masuk (O'Regan, *et al*, 1991). Sementara molekul pewarna (*dye*) menumpuk diatas satu sama lain untuk menghasilkan lapisan pewarna yang akhirnya akan meningkatkan ketebalan lapisan optik, hanya

molekul pewarna yang bersentuhan langsung dengan permukaan elektroda semikonduktor yang dapat memisahkan muatan (O'Regan, *et al*, 1991).

Maka solusi untuk masalah ini dikembangkan oleh Grätzel adalah menggunakan struktur elektroda TiO_2 nanokristalin berpori untuk meningkatkan luas permukaan internal elektroda memungkinkan jumlah pewarna cukup besar untuk terikat dengan elektroda TiO_2 dan elektrolit yang bisa dilihat pada Gambar 2.5 (O'Regan, *et al*, 1991). Dengan konstruksi yang seperti itu maka akan memiliki luas permukaan internal ribuan kali lebih besar dari area geometris (pelat datar) dari elektroda.



Gambar 2.5 Representasi skematik struktur dan komponen DSSC (O'Regan, *et al*, 1991)



Gambar 2.6 Prinsip kerja sel surya berstruktur nano tersensitisasi pewarna (Halme, 2012)

Gambar 2.6 menjelaskan proses terjadinya listrik pada *DSSC* yang di jelaskan lebih rinci di bawah, yaitu :

1. Foton yang masuk diserap oleh molekul pewarna lalu disuntikkan pada partikel TiO_2 nanokristalin menyebabkan elektron dari keadaan molekul S^0 keluar keadaan S^+ .
2. Elektron disuntikkan ke pita konduksi partikel TiO_2 meninggalkan molekul pewarna ke keadaan teroksidasi S^+ .
3. Elektron yang disuntikkan meresap melalui struktur nanokristalin berpori ke lapisan oksida konduktif substrat kaca transparan (elektroda negatif, anoda) dan akhirnya melalui beban eksternal ke counter-elektroda (elektroda positif, katoda).
4. Pada counter-electrode elektron ditransfer ke triiodide dalam elektrolit untuk menghasilkan iodine.
5. Dan siklus ditutup dengan reduksi pewarna teroksidasi oleh iodine dalam elektrolit (Halme, J., 2012).

2.3.2 Komponen Penyusun *DSSC*

A. Substrat Kaca

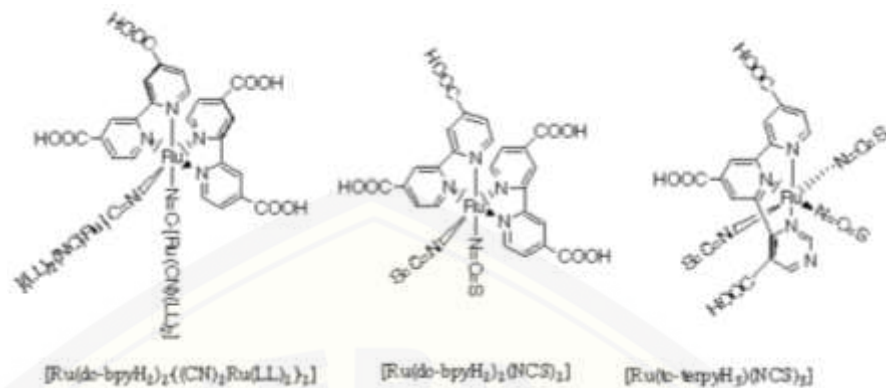
Substrat kaca merupakan tempat lapisan konduktor transparan (TCO) *DSSC* yang diletakkan pada sel surya yang dirakit. Fluorin-doped tin oxide ($\text{SnO}_2:\text{F}$) dan indium tin oxide ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$ atau ITO) adalah TCO yang paling sering digunakan dalam sel fotovoltaik film tipis, standar prosedur pembuatan dari elektroda TiO_2 berstruktur nano termasuk pemanasan film TiO_2 dideposisi pada temperatur 450-500°C bisa dilakukan karena lapisan TCO stabil pada temperatur tersebut (Gordon, 2000). *Spray pyrolysis* merupakan metode pembuatan substrat kaca bisa digunakan. Untuk men *doped* ada berbagai macam metode yaitu *evaporation*, *chemical*, *vapour deposition*, *sputtering sol-gel*, *spray pyrolysis*. Dalam metode *spray pyrolysis*, parameter proses sangat menentukan sifat film oleh karena itu optimasi dilakukan dengan tujuan mendapatkan *FTO/TCO* dengan konduktivitas listrik yang rendah dan transmitansi yang tinggi (Oshima, *et al*, 2010).

B. Semikonduktor oksida

Semikonduktor oksida sering dipakai dalam fotoelektro kimia karena stabilitasnya yang luar biasa terhadap *photo-corrosion* pada eksitasi optik di celah pita (Kalyanasundaram, *et al*, 1998). Titanium dioksida telah dan banyak di gunakan sebagai semikonduktor untuk mensintesis-*dye* elektroda berstruktur nano untuk *DSSC*. Selain TiO_2 , semikonduktor yang dapat digunakan dalam elektroda nanokristalin berpori dalam sel surya tersensitisasi *dye* meliputi misalnya ZnO , CdSe , CdS , WO_3 , Fe_2O_3 , SnO_2 , Nb_2O_5 , dan Ta_2O_5 (Hagfeldt, *et al*, 1994). Terdapat 2 bentuk dari TiO_2 yaitu rutil dan anatase, band-gap dari bentuk kristal adalah 3,2 eV (absorpsi pada 388 nm) untuk anatase dan 3,0 eV (absorpsi pada 413 nm) untuk rutil (Kalyanasundaram, *et al*, 1998). Anatase telah menjadi subjek utama penelitian di *DSSC* karena kristal primer terbentuk dalam metode preparasi koloid yang biasa digunakan pada elektroda TiO_2 berstruktur nano (Barbé, *et al*, 1997).

C. Sensitizer Dyes

Pada proses penyerapan cahaya *DSSC* dilakukan oleh molekul *Dye* yang ditempatkan pada permukaan elektroda semikonduktor. Grätzel dan grup risetnya menggunakan *metallo-organic ruthenium* kompleks misalnya zat warna yang memiliki struktur umum $\text{ML}_2(\text{X})_2$, di mana L mewakili asam 2,2'-bipiridil-4,4'-dikarboksilat, M untuk ruthenium atau osmium dan X untuk halida, sianida, tiosianat, atau air (Sauvé, *et al*, 2000). Molekul-molekul pewarna melekat pada elektroda TiO_2 berstruktur nano dengan merendam elektroda yang sudah disinter ke dalam larutan pewarna (Kalyanasundaram, *et al*, 1998). Untuk meminimalkan kandungan uap air didalam pori-pori elektroda, elektroda harus menjadi hangat saat direndam ke larutan pewarna. Proses impregnasi berlangsung dari satu hingga beberapa jam tergantung pada ketebalan lapisan TiO_2 dan larutan pewarna dalam kondisi dipanaskan atau disimpan dalam temperatur kamar (Solaronix, 2000). Gambar 2.7 menunjukkan struktur molekul dari tiga fotosensitizer yang efisien untuk *DSSC* yaitu *trinuclear Ru Dye*, *Dye N3*, dan pewarna hitam.



Gambar 2.7 Struktur molekuler dari tiga foto sensitizer untuk *DSSC* (Halme, 2012)

D. Elektrolit

Pada umumnya elektrolit yang digunakan yaitu iodine (I_2) dan triiodide (I_3^-) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit *DSSC*, yaitu :

1. Redoks harus berpotensi secara termodinamik dengan baik berhubungan dengan potensi redoks pewarna, untuk memaksimalkan tegangan sel.
2. Kelarutan yang tinggi sebagai pelarut untuk memastikan konsentrasi pembawa muatan tinggi ke dalam elektrolit.
3. Koefisien difusi yang tinggi dalam pelarut digunakan untuk memungkinkan transportasi massal yang efisien.
4. Tidak adanya karakteristik spektral yang signifikan di wilayah terlihat untuk mencegah insiden penyerapan cahaya di elektrolit.
5. Stabilitas tinggi dari kedua bentuk tereduksi dan teroksidasi dari pasangan untuk memungkinkan masa operasi yang panjang.
6. Pasangan yang sangat reversibel untuk membuat kinetika transfer elektron dengan cepat.
7. Secara kimiawi inert terhadap semua komponen lain dalam *DSSC* (Wolfbauer, *et al*, 2001).

E. Counter-electrode catalysts

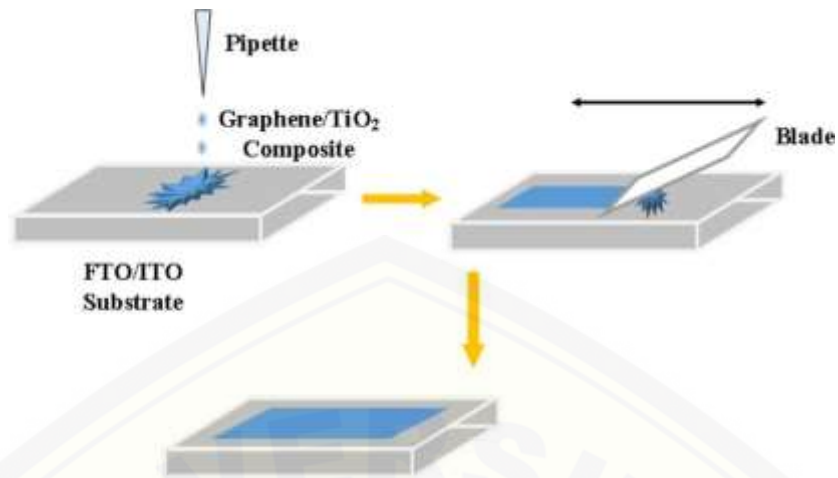
Dalam DSSC diperlukan reaksi kinetika yang cukup cepat untuk reaksi reduksi triiodida pada katoda berlapis TCO, yaitu suatu pelapisan katalis seperti karbon dan platinum. Karena menggunakan platinum terlalu mahal maka Kay dan Grätzel telah mengembangkan desain sel, yang sangat menarik dengan hal ini. Desain menggunakan karbon counter-electrode berpori sebagai lapisan katalis. Elektroda karbon ini terbuat dari campuran karbon hitam, serbuk grafit dan partikel TiO₂ nanokristalin (Kay, *et al*, 1996).

2.4 Deposisi Fotoelektroda

Metode yang digunakan untuk proses deposisi fotoelektroda terdapat beberapa macam yang disesuaikan dengan bahan semikonduktornya

2.4.1 Doctor Blade

Metode *doctor blade* adalah salah satu alternatif untuk menghasilkan film tipis yang luas. *Doctor blade* sebenarnya merupakan bagian penting dari pencetakan, meskipun ada banyak metode pencetakan, ada dua metode utama yang menggunakan *doctor blade* mereka disebut *Rotogravure (gravure)*, dan *Flexographic (flexo) printing* (Voorhees, 2014). Metode *doctor blade* biasanya digunakan dalam preparasi pasta TiO₂ untuk meningkatkan porositas dari film tipis TiO₂ yang dihasilkan, namun porositas tinggi film tipis TiO₂ secara inheren menurunkan transfer muatan antara film tipis TiO₂ dan elektroda (Huynh, *et al*, 2014). Gambar 2.8 merupakan ilustrasi dari metode *doctor blade* yang dilakukan di atas kaca FTO/ITO.



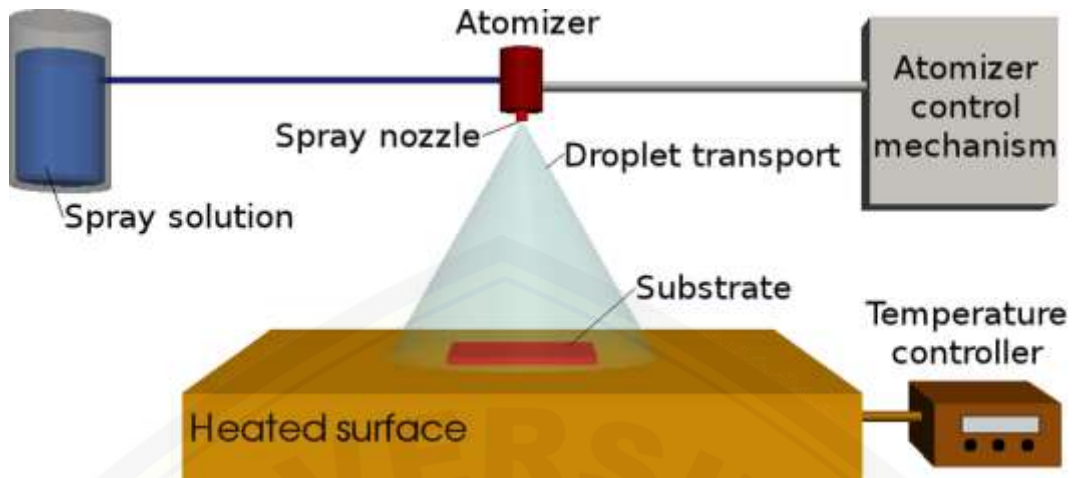
Gambar 2.8 Teknik dari *doctor blade* pada *DSSC* (Low, *et al*, 2018)

2.5 Deposisi *FTO*

Metode pembuatan kaca *FTO* ada beberapa macam seperti *chemical vapour deposition* (CVD) (Bryant, *et al*, 1977), *atomic layer epitaxy* (ALE) (Suntola, 1992), *spray pyrolysis* (Chamberlin, *et al*, 1966), *sol-gel* (Brinker, *et al*, 1990), *spin coating* (Chen, *et al*, 1993) dan *dip coating* (Brinker, *et al*, 1991).

2.5.1 *Spray Pyrolysis Deposition* (SPD)

SPD adalah teknik yang sedang dipertimbangkan dalam penelitian untuk menyiapkan film tipis dan tebal, pelapis keramik, dan bubuk, tidak seperti banyak teknik deposisi film lainnya, SPD merupakan metode pemrosesan yang sangat sederhana dan relatif efektif biaya (terutama yang berkaitan dengan biaya peralatan) yang menawarkan teknik yang sangat mudah untuk menyiapkan film dengan komposisi apa pun (Perednis, *et al*, 2004). SPD telah digunakan selama beberapa dekade di industri kaca (Mochel, 1951) dan dalam produksi sel surya (Hill, *et al*, 1964). Peralatan SPD terdiri dari alat penyemprot, larutan prekursor, pemanas substrat, dan pengontrol temperatur yang dapat di lihat pada Gambar 2.9.

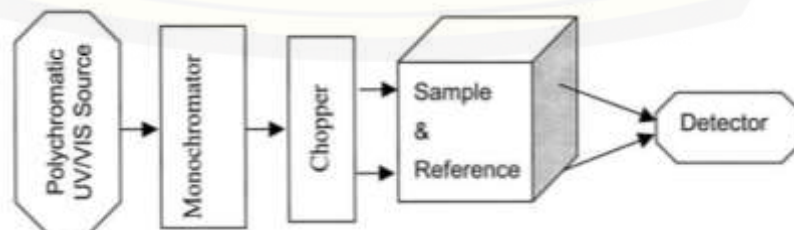


Gambar 2.9 Skematik umum dari proses SPD (Filipovic, *et al*, 2013).

2.6 Pengujian

2.6.1 Spektrofotometer UV-Vis

Spektrometer dapat digunakan untuk mengukur absorpsi *ultraviolet*, *near-infrared*, *mid-infrared*, dan *far-infrared*. Wilayah spektrum UV / VIS memanjang dari 190 hingga 400 nm (kisaran UV) dan dari 400 hingga 780 nm (kisaran yang terlihat). Untuk mendapatkan spektrum lengkap dalam rentang UV / VIS digunakan instrumen pemindaian dispersi berkas ganda atau instrumen multi-saluran dispersif. Spektrometer UV / VIS terdiri dari sumber cahaya, monochromator, *chopper* (*rotating sector mirror* atau *rotating sector disc*) untuk menghasilkan sampel dan sinar referensi serta untuk menggabungkannya, sampel dan kompartemen referensi, dan detektor yang dapat dilihat pada gambar 2.10 (Gauglitz, *et al*, 2003).



Gambar 2.10 Skematik dari spektrofotometri (Gauglitz, *et al*, 2003)

2.6.2 SEM

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).

2.6.3 Arus dan Voltase

Analisis menggunakan IV banyak digunakan dalam pembuatan sel surya dan piranti elektronika, karena dari kurva yang dihasilkan dapat diinterpretasikan berbagai macam parameter kelistrikan seperti hambatan dalam dari suatu bahan apabila dipengaruhi oleh intensitas cahaya (Wagner, 2003). Menggunakan kurva IV sebagai alat uji untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap Arus dioda, dari hasil eksperimen yang dihasilkan diperoleh bahwa semakin tinggi temperatur maka akan menghasilkan kurva IV dengan nilai Arus listrik semakin meningkat (Choi, 2012).

Selain untuk menganalisa parameter kelistrikan uji kurva IV digunakan untuk mengetahui komposisi atau karakteristik bahan pembuatan sel surya. Dengan mengetahui besarnya arus listrik yang melewati bahan tersebut maka dapat mengetahui pula susunan elektro pada bahan. Seperti yang dilakukan oleh Stevent (1997) melakukan uji IV pada bahan sel surya menggunakan a-Si and a-SiGe, Dennler (2006) melakukan uji IV untuk mengkarakterisasi sifat kelistrikan dari sel surya berbahan organik.

Ketika sel surya di bawah penerangan, arus maksimum hubungan singkat (I_{SC}) dihasilkan, sementara di bawah kondisi sirkuit terbuka tidak ada arus yang dapat mengalir dan tegangannya mencapai maksimum, disebut tegangan sirkuit terbuka (V_{OC}). Titik dalam kurva IV yang menghasilkan produk maksimum dari arus dan tegangan yaitu daya titik daya maksimum (MPP). Karakteristik penting lain dari kinerja sel surya adalah faktor pengisi (FF).

$$FF = \frac{V_{MPP}I_{MPP}}{V_{OC}I_{IS}} \quad (1)$$

Dengan adanya FF maka dapat di hitung daya maksimum sel surya

$$P_{MAX} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF \quad (2)$$

Maka akan di hasilkan nilai efisiensi

$$Efisiensi = \frac{P_{MAX}}{P_{LIGHT}} \quad (3)$$

(Halme, J., 2012).

2.7 Aplikasi

Aplikasi *DSSC* yang dibuat oleh G24 telah di terapkan perusahaan *Mascotte Industrial Associates* untuk digunakan dalam ransel dan tas yang ideal di pakaian pada aplikasi portabel, ukuran tebal *DSSC* yang kurang dari 1 mm, murah, tidak mengandung silikon atau kadmium dan bahkan dapat beroperasi di dalam ruangan membuatnya ideal untuk menyalakan ponsel, kamera dan elektronik yang portabel. Perusahaan mengatakan *DSSC* juga dapat dimasukkan ke dalam bahan tenda untuk menyalakan sistem lampu LED untuk berkemah (Salton, J. 2009). Gambar 2.11 menunjukkan tren dari teknologi *DSSC* dan prakiraan pasar (2009-2013) membahas bahwa aplikasi untuk *DSSC* secara umum dibagi menjadi empat kategori, yaitu, interior (*ambient light flower lamps*), pengisi daya ponsel (*solar charger*), Atap surya, dan BIPV (*BIPV glass*) (Yun, et al, 2015).



Gambar 2.11 Aplikasi DSSC (Yun, S., *et al*, 2015)

Perusahaan Australia, *Sustainable Technologies International* telah memproduksi ubin kaca penghasil daya listrik dalam skala besar untuk pengujian lapangan dan bangunan pertama yang telah dilengkapi dengan dinding jenis ini (Gambar 2.12) (Jasim, 2011).



Gambar 2.12 Panel STI DSSC sebesar 200 m² dipasang di Newcastle (Australia) modul DSSC komersial pertama (Jasim, 2011)

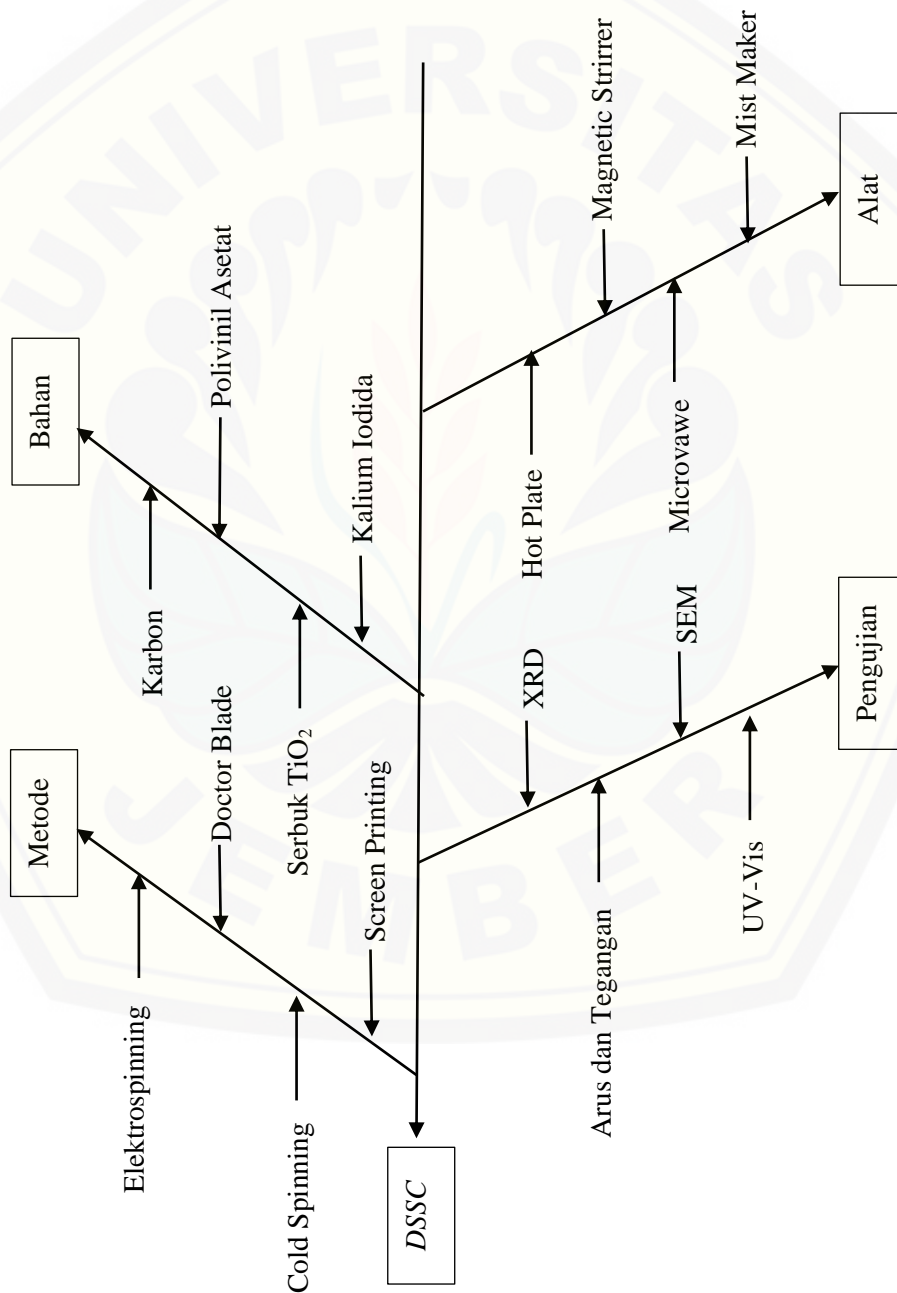
Perusahaan asal Jepang yaitu *IMRA-Aisin Seiki/Toyota, Sharp, Toshiba, Dai Nippon, Peccell Technologies* juga telah membuat model tes dari *DSSC* (Gambar 2.13) (Jasim, 2011).



Gambar 2.13 Modul *DSSC* untuk aplikasi luar ruangan (Jasim, 2011).

2.8 Fish Bone

Diagram *fish bone* digunakan untuk identifikasi suatu masalah dengan menganalisa sebab akibat yang berpengaruh. Pada diagram *fish bone* ini menunjukkan berbagai macam alat, bahan, metode dan pengujian yang dilakukan untuk membuat suatu *DSSC* dari berbagai penelitian yang telah dilakukan ditampilkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Diagram *fish bone* DSSC

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu pada proses deposisi *FTO* dengan *spray pyrolysis deposition* dan proses deposisi material semikonduktor TiO_2 dengan metode *doctor blade*. Metode ini merupakan pelapisan SnO:F pada kaca substrat menggunakan cara *spray* dan 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

Proses Penelitian meliputi dua kegiatan yaitu : pembuatan dan pengujian *DSSC* dengan variasi duhu deposisi *FTO* dan variasi waktu perendaman semikonduktor TiO_2 terhadap larutan *Dye* antosianin kulit terong. Pembuatan spesimen dilakukan di Laboratorium Teknologi Terapan Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.3 Alat dan Bahan

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

Tabel 3.1 Alat dan bahan pembuatan *DSSC*

NO	Alat	Bahan
1	Alat <i>spray pyrolysis</i>	Tin klorida ($\text{SnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
2	Pemotong kaca	Ammonium florida (NH_4F)
3	Multimeter Digital	Etanol
4	<i>Scotch tape</i>	Polivinil Alkohol (PVA)
5	Adaptor 1200 mA	Pensil 6B
6	Neraca Digital	Serbuk TiO_2
7	<i>Beaker Glass</i>	HCl
8	Pipet tetes	Substrat Kaca

9	<i>Furnace</i>	Iodine (betadine)
10	Mortar dan palu	Betadine
11	Penjepit Buaya Listrik	Aquades
12	Kompresor	Kulit terong ungu

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:

- 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 temperatur 80°C selama 10 menit
 3. Menambahkan larutan Methanol dengan jumlah 25 mL
 4. Membuat larutan dopan dengan melarutkan serbuk NH_4F 1,5 gram dengan aquades 125 mL
 5. Mencampurkan larutan prekursor dan larutan dopan
- b. Pembuatan Kaca *FTO*
 1. Memotong kaca yang memiliki tebal 2mm, panjang 60 mm dan lebar 25 mm.
 2. Menyiapkan 6 buah kaca preparat dan membersihkan dengan etanol
 3. Diamkan di udara bebas ≥ 1 jam
 4. Masukkan kaca ke dalam alat Pelapisan dengan metode *spray pirolisis deposition*.
 5. Memanaskan kaca pada suhu 300°C selama 30 menit.
 6. Memasukkan larutan ke dalam gelas dan memasukkannya ke dalam *mist maker* dan hidupkan.
 7. Menaikkan temperatur deposisi dengan variasi suhu 340°C , 380°C , 420°C .

8. Tekanan *flowrate* pada 14 L/m.
 9. Melakukan deposisi selama 15 menit.
 10. Mematikan *mist maker* dan pemanas, tunggu hingga kaca dingin.
- c. Pembuatan pasta TiO₂
1. Polivinil Asetat (PVA) sebanyak 0,5 gr dilarutkan dalam 10 mL aquades menggunakan *magnetic stirrer* suhu 80 °C sampai membentuk gel.
 2. Serbuk TiO₂ sebanyak 0,5 gr dicampur dengan PVA.
 3. Campuran TiO₂ dan PVA digerus hingga membentuk pasta.
 4. Pasta TiO₂ yang dibuat dideposisikan pada substrat kaca *FTO* dengan metode *doctor blade*.
 5. Di *furnace* dengan suhu 100 °C selama 60 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. Pembuatan larutan *Dye*
1. Kulit terong ungu di timbang sebanyak 40 gr lalu di haluskan dengan mortar
 2. Setelah halus maka di campur dengan metanol, asam asetat dan air (25:4:21 dalam satuan ml).
 3. Lalu digerus lagi hingga halus.
 4. Masukkan kulit terong ungu tadi ke dalam tabung kaca yang telah dilapisi aluminium foil.
 5. Larutan kulit terong ungu disimpan selama 24 jam.
 6. Setelah 24 jam ekstrak sisaring dengan kertas saring dan di simpan dalam botol yang dilapisi aluminium foil.
- f. Perendaman dalam Ekstrak *Dye*
1. Masukkan larutan ekstrak kulit terong ungu 20 mL ke dalam gelas kaca
 2. Merendam kaca yang sudah dilapisi dengan TiO₂ ke dalam kulit terong ungu dengan variasi waktu 3 jam, 6 jam dan 12 jam.

3. Mengambil dan membersihkan kaca menggunakan tisu.

g. Penyusunan Lapisan Sandwich

1. Tetesi kaca substrat yang sudah dilapisi *Dye* dengan larutan elektrolit yaitu betadine sebanyak 2 tetes (setara 0,2 ml)
2. Setelah selesai kemudian lapisan tersebut ditutup dengan kaca yang sudah dilapisi oleh karbon sebagai elektroda pembanding
3. Kemudian dijepit menggunakan klip.

3.5 Prosedur Pengujian

Pengujian sampel dilakukan untuk mendapatkan data dan proses analisis dari variabel penelitian pada kaca konduktif dan *DSSC*. Sampel yang dibuat dilakukan 4 jenis pengujian yaitu pengujian resistansi, pengujian SEM, pengujian transmitansi *Dye* serta pengujian efisiensi.

3.5.1 Pengujian Resistivitas

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 :

1. Mempersiapkan alat multimeter dan adaptor 1200 mA.
2. Mengatur skala alat multimeter.
3. Menempelkan kedua ujung *probe* multimeter dan kedua *probe* adaptor pada permukaan kaca.
4. Membaca dan mencatat nilai resistivitas.

3.5.2 Pengujian SEM

Pada proses pengamatan dengan SEM pada kaca *FTO* berbahan $\text{SnO}_2:\text{F}$ menggunakan alat *SEM PhemonTM G2 Pro* untuk mengetahui struktur dari kaca *FTO* berbahan $\text{SnO}_2:\text{F}$ dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu :

1. Menyiapkan spesimen yang akan di uji.
2. Memotong spesimen sesuai ukuran pada mesin foto pengujian SEM.
3. Melakukan *coating* pada permukaan spesimen yang akan di uji dengan emas atau platina.
4. Meletakkan spesimen yang sudah siap diuji kedalam mesin foto pengujian SEM.

5. Melakukan Pengujian.dengan menembakkan elektron pada sampel lalu menganalisa data hasil pengujian.

3.5.3 Pengujian UV-Vis

Pengujian transmitansi menggunakan alat UV-Vis Spektrofotometri seri *Genesys 10S* untuk mengetahui kemampuan absorbansi *Dye* antosianin kulit terong ungu dan transmitansi kaca *FTO* yang memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu :

a. Pengujian Absorbansi *Dye* Antosianin

1. Menyalakan spektrofotometri, lalu biarkan selama 15 menit sebelum mengukur.
2. Tuangkan sampel secukupnya kedalam kuvet.
3. Siapkan larutan kontrol.
4. Lap sisi luar kuvet sebelum dimasukkan ke dalam spektrofotometer.
5. Melakukan pengujian dan tentukan atur panjang gelombang cahaya. Gunakan panjang gelombang cahaya tunggal (sinar monokromatik) untuk meningkatkan efektivitas pengukuran.
6. Kalibrasi spektrofotometri dengan larutan blank.
7. Ukur absorbansi sampel.
8. Analisis data absorbansi.

b. Pengujian Transmitansi Kaca *FTO*

1. Menyalakan spektrofotometri, lalu biarkan selama 15 menit sebelum mengukur.
2. Letakkan kaca di dalam alat spektrofotometri
3. Siapkan kaca kosong sebagai kontrol.
4. Lap sisi kaca dengan tisu sebelum dimasukkan ke dalam spektrofotometer.
5. Melakukan pengujian dan tentukan atur panjang gelombang cahaya. Gunakan panjang gelombang cahaya tunggal (sinar monokromatik) untuk meningkatkan efektivitas pengukuran.
6. Kalibrasi spektrofotometri dengan kaca kosong.
7. Ukur transmitansi sampel.

8. Analisis data transmitansi.

3.5.4 Pengujian Arus dan Tegangan

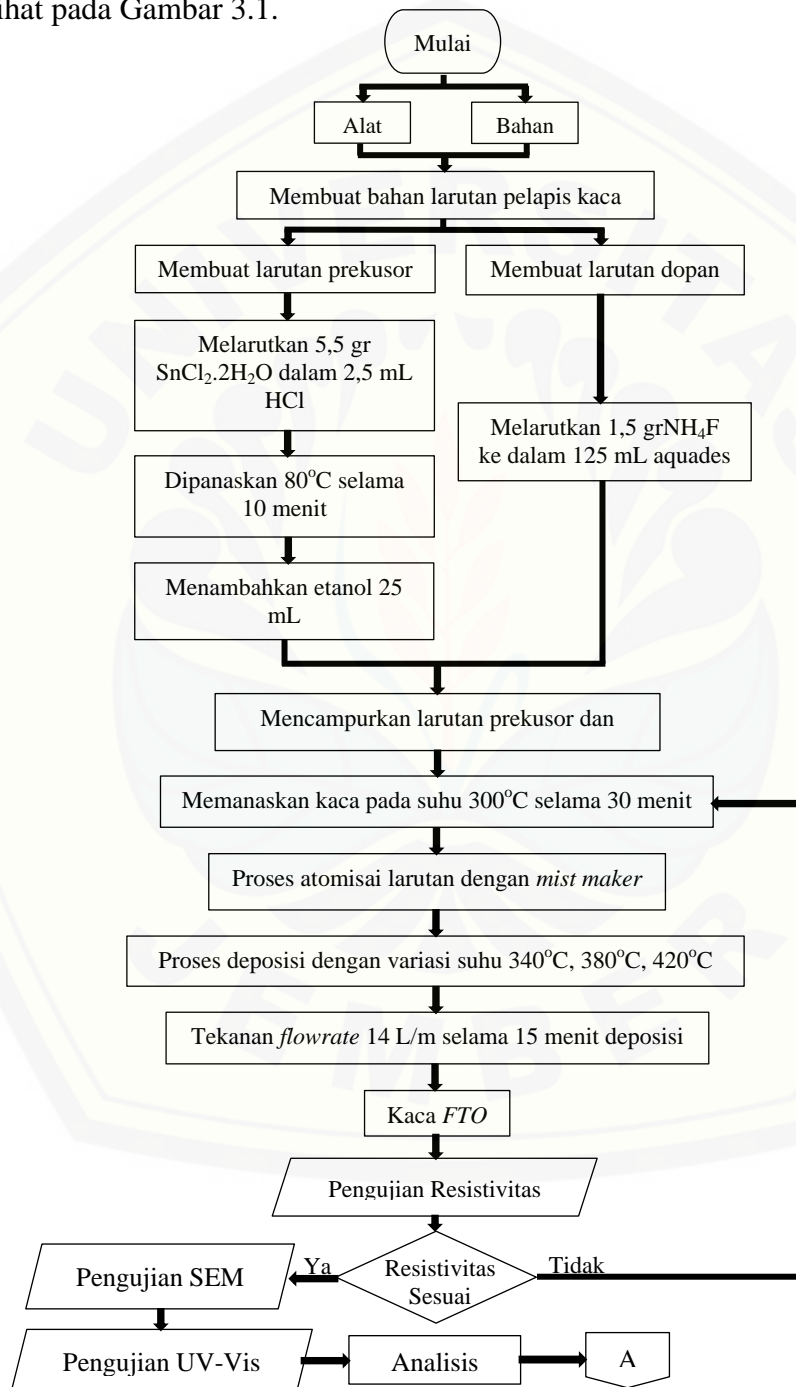
Pada proses pengujian *DSSC* arus dan tegangan ini menggunakan alat multimeter untuk mengetahui efisiensi dari *DSSC* dan memiliki tahapan-tahapan pengujian antara lain, yaitu :

1. Meletakkan sampel *DSSC* di bawah sinar lampu LED sebesar 6 watt
2. Menghubungkan arus dan tegangan dari AVO meter ke *DSSC*.
3. Memberi tahanan terhadap arus dengan menggunakan resistor.
4. Mencatat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh *DSSC*.
5. Menganalisa data yang didapat dari pengujian.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Tahap 1 : Pembuatan Kaca TCO

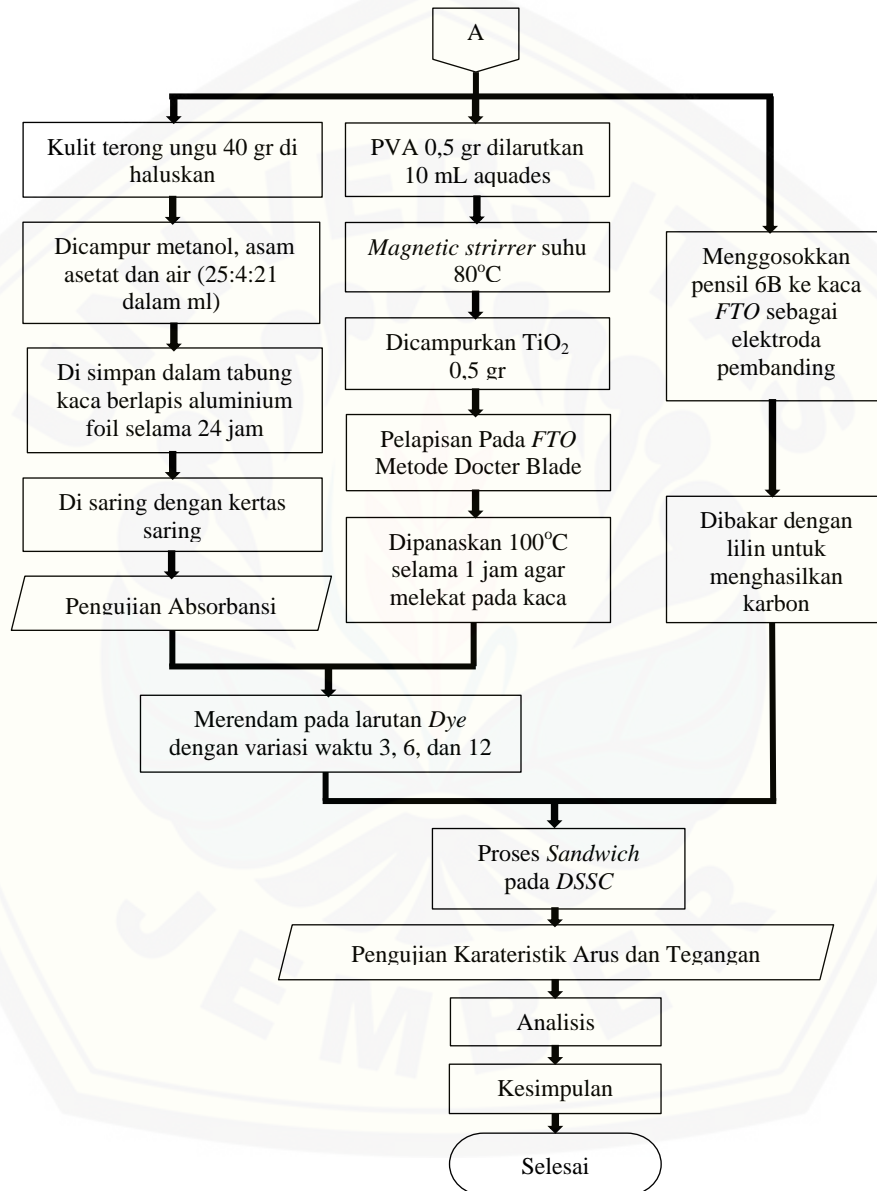
Pada tahap 1 dilakukan pembuatan kaca *FTO* dengan menggunakan metode *spray pyrolysis deposition* dengan variasi temperatur deposisi yang dapat di lihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram proses tahap 1 (pembuatan kaca *FTO*)

Tahap 2 : Pembuatan *DSSC*

Pada tahap 2 dilakukan pembuatan *DSSC* dengan menggunakan metode *docter balde* untuk deposisi materian semikonduktor TiO_2 yang di susun secara *sandwich* dengan variasi perendaman di dalam larutan *Dye* yang dapat di lihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagarm proses tahap 2 (pembuatan *DSSC*)

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil pembahasan telah dilakukan dan dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut ini :

- a. Temperatur deposisi mempunyai pengaruh untuk meningkatkan unjuk kerja dari *DSSC* yaitu pada temperature 420 °C.
- b. Hasil dari transmitansi kaca *FTO* menunjukkan semakin tebal lapisan kaca maka nilai transmitansinya akan menurun/rendah
- c. Perendaman TiO_2 dalam *dye* antosianin kulit terong ungu memiliki pengaruh pada unjuk kerja *DSSC* yaitu pada nilai kuat arus dan tegangan yang di hasilkan.

5.2 Saran

Saran yang di berikan penulis dan peneliti yaitu adanya penelitian lebih lanjut untuk mengasilkan kaca *FTO* yang mempunyai nilai resistivitas yang rendah dan merata ke seluruh permukaan kaca. Temperatur yang lebih optimal akan membuat nilai resistivitas kecil. Dalam penyusunan *DSSC* semikonduktor dan *Dye* sangat berpengaruh dalam besarnya efisiensi yang di hasilkan dan perlu adanya peningkatan karena saat ini efisiensinya terlalu kecil.

Daftar Pustaka

- Alrikabi, N.Kh.M.A., (2014), Renewable Energy Types, Baghdad University, Iraq, DOI: 10.7763/JOCET.2014.V2.92
- Barbé, C.J., *et al*, (1997), Nanocrystalline Titanium Oxide Electrodes for Photovoltaic Applications, *J. Am. Ceram. Soc.*, 80, 12, 3157-71
- Brinzari V., *et al*, (2001), Morphological rank of nano-scale tin dioxide films deposited by spray pyrolysis from SnCl 5H O water solution, *Thin Solid Films* 408 (2002) 51–58
- Cherepy, N.J., *et al*, (1997), Ultrafast Electron Injection: Implications for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin *Dye*-Sensitized TiO₂ Nanocrystalline Electrode, *J. Phys. Chem B*, 101, 9342-9351
- Cologero, G., *et al*, (2008), Red Sicilian orange and purple eggplant fruits as natural sensitizers for *Dye*-sensitized solar cells, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 92 (2008) 1341– 1346
- Federation, K.R., *et al* (2016), AN INTRODUCTION TO SOLAR CELL TECHNOLOGY
- Filipovic, L., *et al* (2013), Modeling Spray Pyrolysis Deposition, *Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol II*
- Gauglitz, G., *et al* (2003), *Handbook of Spectroscopy*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN 3-527-29782-0.
- Gordon, R. G. (2000), Criteria for Choosing Transparent Conductors, *MRS Bulletin*, Aug., 52-57
- Grätzel, M., (1994), Highly Efficient Nanocrystalline Photovoltaic Devices, *Platinum Metals Rev.*, 38, 4, 151-159 Grätzel M., 2000, Perspectives for *Dye*-sensitized Nanocrystalline Solar Cells, *Prog. Photovolt. Res. Appl.* 8, 171-185
- Gu, P., *et al* (2018), Influence of electrolyte proportion on the performance of *Dye*-sensitized solar cells, doi: 10.1063/1.5000564
- Hagfeldt, A., *et al* (1994), Verification of high efficiencies for the Grätzel-cell. A 7% efficient solar cell based on *Dye*-sensitized colloidal TiO₂ films, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 31, 481-488
- Halme J., (2012), *Dye*-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells: technical review and preliminary tests, Department of Engineering Physics and Mathematics, HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.

- Huang G.J., *et al* (2007), Synthesis, structure, and room temperature ferromagnetism of Ni-doped ZnO nanoparticles, *Journal of Materials Science*, 42, 15, 6464- 6468
- Hutapea, M., (2016), *Solusi Listrik Off-Grid Berbasis Energi Terbarukan di Indonesia : Kerangka Regulasi dan Program*
- Jaelani, A., (2017), Kebijakan Energi Baru Terbarukan di Indonesia: Isyarat Ilmiah Al-Qur'an dan Implementasinya dalam Ekonomi Islam, ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE ON ISLAMIC STUDIES (AICIS) 2017
- Jasim, K.E., (2011), *Dye Sensitized Solar Cells - Working Principles, Challenges and Opportunities*, Department of Physics, University of Bahrain Kingdom of Bahrain
- Jones, A.Z. (2018), *Energy: A Scientific Definition*
- Kalyanasundaram, K., *et al* (1998), Applications of functionalized transition metal complexes in photonic and optoelectronic devices, *Coordination Chemistry Reviews*, 177, 347-414
- Kay, A., *et al* (1996) Low cost photovoltaic modules based on *Dye* sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 44, 99-117
- Lalasari, L.H., *et al* (2018), Electrical, optical and structural properties of *FTO* thin films fabricated by spray ultrasonic nebulizer technique from SnCl₄ precursor, *AIP Conference Proceedings* 1964, 020001 (2018)
- Miao, D., *et al* (2010), Effect of substrate temperature on the crystal growth orientation of SnO₂:F thin films spray-deposited on glass substrates, *Journal of Non-Crystalline Solids* 356 (2010) 2557–2561
- Napi, M. L. M., *et al* (2016) Fabrication of Flourine Doped Tin Oxide (*FTO*) Thin Films Using Spray Pyrolysis Deposition Method For Transparent Conducting Oxide, Vol 11, No 14, July 2016
- Prasetyo, Y.H., *et al* (2014), Studi Variasi Elektrolit Terhadap Kinerja *Dye*-Sensitized Solar Cell (*DSSC*), Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Ranabhat, K., *et al* (2016), AN INTRODUCTION TO SOLAR CELL TECHNOLOGY, Paper number: 14(2016)4, 405, 481 - 491
- Richhariya, G., *et al* (2017), Natural *Dyes* for *Dye* sensitized solar cell: A review, doi : 10.1016/j.rser.2016.11.198.
- Salton, J. (2009), World's first commercial application of *DSSC* solar technology is in the bag

- Saputro, G.A.H., *et al* (2015), Pengaruh Lama Perendaman TiO₂ Dalam Larutan Ekstrak Antosianin Koll Merah (*brassica oleracea var*) Terhadap Kinerja Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*, Universitas Kristen Satya Wa
RETURN TO ISSUEPREVARTICLENEXT
- Sauvé, G., *et al* (2000), *Dye Sensitization of Nanocrystalline Titanium Dioxide with Osmium and Ruthenium Polypyridyl Complexes*, . Phys. Chem. B 2000, 104, 29, 6821-6836
- Solaronix, (2000), *Dye Solar Cell Assembly*, instructions received from Solaronix SA
- Sonntag-O'Brien, V., *et al* (2011), *Renewables 2011 – Global Status Report* . REN21 Secretariat , Paris. France
- Subodro. R, *et al* (2016), *Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) reengineering using TiO₂ with natural Dye (anthocyanin)*, AIP Conference Proceedings 1788, 030104
- Suprayogi, M., (2016), *JURNAL ENERGI Media Komunikasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*
- Turkenburg , W.C., *et al* (2000) *Renewable Energy Technologies*. In *World Energy Assessment – Energy and the Challenge of Sustainability* . J. Goldemberg (ed.), UNDP and UN-DESA , New York, NY, USA, WEC, London, UK , pp.219–272
- Verbruggen, A., *et al* (2011), *Annex I: Glossary, Acronyms, Chemical Symbols and Prefixes*. In: *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation* . O. Edenhofer *et al*, (eds.), Cambridge University Press , Cambridge, UK, and New York, NY, USA .
- Voorhees, S., (2014), *What is a Doctor Blade*, Advanced Edge Concepts Inc. President VAmatco Technical Coordinator
- Wolfbauer, G., *et al* (2001), *A channel flow cell system specifically designed to test the efficiency of redox shuttles in Dye sensitized solar cells*, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 70, 85-101
- Yadav, A.A., *et al*, (2009), *Electrical, structural and optical properties of SnO₂:F thin films: Effect of the substrate temperature*, *Journal of Alloys and Compounds* 488 (2009) 350–355
- Yun, S., *et al* (2016), *Dye-sensitized solar cells employing polymers*. *Progress in Polymer Science*, 59, 1–40. doi:10.1016/j.progpolymsci.2015.10.004

Lampiran

A. Dokumentasi

1. Alat *Spray Pyrolysis Deposition*



2. Bahan Pembuat Kaca *FTO*



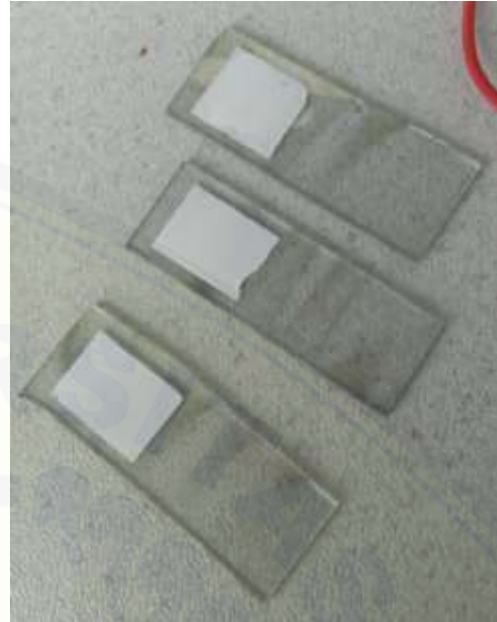
3. Proses Deposisi Kaca *FTO*



4. Hasil Kaca Setelah Deposisi



5. Proses Pembuatan DSSC



B. Hasil Perhitungan Efisiensi

1. Hasil Perhitungan Efisiensi DSSC 340 °C Perendaman 3 Jam

Diketahui =

$$V_{MPP} = 16 \text{ mV} \quad V_{OC} = 30 \text{ mV} \quad P_{Light} = 5,3 \text{ Watt}$$

$$I_{MPP} = 0,22 \text{ mA} \quad I_{SC} = 0,46 \text{ mA} \quad A = 0,051 \text{ m}^2$$

Ditanya = Efisiensi

Jawab =

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

$$FF = \frac{16 \text{ mV} \cdot 0,22 \text{ mA}}{30 \text{ mV} \cdot 0,46 \text{ mA}}$$

$$= 0,25507$$

$$P_{MAX} = FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}$$

$$= 3,52 \text{ mW}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{MAX}}{P_{Light}} \times 100\%$$

$$= \frac{3,52 \text{ mW}}{5,3 \text{ W}} \times 100\%$$

$$= 0,067\%$$

2. Hasil Perhitungan Efisiensi *DSSC* 340 °C Perendaman 6 Jam

Diketahui =

$$V_{MPP} = 17 \text{ mV} \quad V_{OC} = 55 \text{ mV} \quad P_{Light} = 5,3 \text{ Watt}$$

$$I_{MPP} = 0,19 \text{ mA} \quad I_{SC} = 0,27 \text{ mA} \quad A = 0,051 \text{ m}^2$$

Ditanya = Efisiensi

Jawab =

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

$$FF = \frac{17 \text{ mV} \cdot 0,19 \text{ mA}}{55 \text{ mV} \cdot 0,27 \text{ mA}}$$

$$= 0,21751$$

$$P_{MAX} = FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}$$

$$= 3,23 \text{ mW}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{MAX}}{P_{Light}} \times 100\%$$

$$= \frac{3,23 \text{ mW}}{5,3 \text{ W}} \times 100\%$$

$$= 0,061\%$$

3. Hasil Perhitungan Efisiensi *DSSC* 340 °C Perendaman 12 Jam

Diketahui =

$$V_{MPP} = 27 \text{ mV} \quad V_{OC} = 54 \text{ mV} \quad P_{Light} = 5,3 \text{ Watt}$$

$$I_{MPP} = 0,35 \text{ mA} \quad I_{SC} = 0,57 \text{ mA} \quad A = 0,051 \text{ m}^2$$

Ditanya = Efisiensi

Jawab =

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

$$FF = \frac{27 \text{ mV} \cdot 0,35 \text{ mA}}{54 \text{ mV} \cdot 0,57 \text{ mA}}$$

$$= 0,30702$$

$$P_{MAX} = FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}$$

$$= 9,45 \text{ mW}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{MAX}}{P_{Light}} \times 100\%$$

$$= \frac{9,45 \text{ mW}}{5,3 \text{ W}} \times 100\%$$

$$= 0,180\%$$

4. Hasil Perhitungan Efisiensi DSSC 380 °C Perendaman 3 Jam

Diketahui =

$$V_{MPP} = 54 \text{ mV} \quad V_{OC} = 102 \text{ mV} \quad P_{Light} = 5,3 \text{ Watt}$$

$$I_{MPP} = 0,62 \text{ mA} \quad I_{SC} = 0,97 \text{ mA} \quad A = 0,051 \text{ m}^2$$

Ditanya = Efisiensi

Jawab =

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

$$FF = \frac{54 \text{ mV} \cdot 0,62 \text{ mA}}{102 \text{ mV} \cdot 0,97 \text{ mA}}$$

$$= 0,33839$$

$$P_{MAX} = FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}$$

$$= 33,48 \text{ mW}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{MAX}}{P_{Light}} \times 100\%$$

$$= \frac{33,48 \text{ mW}}{5,3 \text{ W}} \times 100\%$$

$$= 0,637\%$$

5. Hasil Perhitungan Efisiensi DSSC 380 °C Perendaman 6 Jam

Diketahui =

$$V_{MPP} = 50 \text{ mV} \quad V_{OC} = 92 \text{ mV} \quad P_{Light} = 5,3 \text{ Watt}$$

$$I_{MPP} = 0,52 \text{ mA} \quad I_{SC} = 0,79 \text{ mA} \quad A = 0,051 \text{ m}^2$$

Ditanya = Efisiensi

Jawab =

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

$$FF = \frac{50 \text{ mV} \cdot 0,52 \text{ mA}}{92 \text{ mV} \cdot 0,79 \text{ mA}}$$

$$= 0,35773$$

$$P_{MAX} = FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}$$

$$= 26 \text{ mW}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{MAX}}{P_{Light}} \times 100\%$$

$$= \frac{26 \text{ mW}}{5,3 \text{ W}} \times 100\%$$

$$= 0,495\%$$

6. Hasil Perhitungan Efisiensi DSSC 380 °C Perendaman 12 Jam

Diketahui =

$$\begin{aligned} V_{MPP} &= 55 \text{ mV} & V_{OC} &= 104 \text{ mV} & P_{Light} &= 5,3 \text{ Watt} \\ I_{MPP} &= 0,71 \text{ mA} & I_{SC} &= 1,1 \text{ mA} & A &= 0,051 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Ditanya = Efisiensi

Jawab =

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

$$FF = \frac{55 \text{ mV} \cdot 0,71 \text{ mA}}{104 \text{ mV} \cdot 1,1 \text{ mA}}$$

$$= 0,34135$$

$$P_{MAX} = FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}$$

$$= 39,05 \text{ mW}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{MAX}}{P_{Light}} \times 100\%$$

$$= \frac{39,05 \text{ mW}}{5,3 \text{ W}} \times 100\%$$

$$= 0,743\%$$

7. Hasil Perhitungan Efisiensi DSSC 420 °C Perendaman 3 Jam

Diketahui =

$$\begin{aligned} V_{MPP} &= 21 \text{ mV} & V_{OC} &= 70 \text{ mV} & P_{Light} &= 5,3 \text{ Watt} \\ I_{MPP} &= 0,36 \text{ mA} & I_{SC} &= 0,67 \text{ mA} & A &= 0,051 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Ditanya = Efisiensi

Jawab =

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

$$FF = \frac{21 \text{ mV} \cdot 0,36 \text{ mA}}{70 \text{ mV} \cdot 0,67 \text{ mA}}$$

$$= 0,1612$$

$$P_{MAX} = FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}$$

$$= 7,56 \text{ mW}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{MAX}}{P_{Light}} \times 100\%$$

$$= \frac{7,56 \text{ mW}}{5,3 \text{ W}} \times 100\%$$

$$= 0,144\%$$

8. Hasil Perhitungan Efisiensi *DSSC* 420 °C Perendaman 6 Jam

Diketahui =

$$\begin{aligned} V_{MPP} &= 16 \text{ mV} & V_{OC} &= 63 \text{ mV} & P_{Light} &= 5,3 \text{ Watt} \\ I_{MPP} &= 0,27 \text{ mA} & I_{SC} &= 0,57 \text{ mA} & A &= 0,051 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Ditanya = Efisiensi

Jawab =

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

$$FF = \frac{16 \text{ mV} \cdot 0,27 \text{ mA}}{63 \text{ mV} \cdot 0,57 \text{ mA}}$$

$$= 0,1203$$

$$P_{MAX} = FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}$$

$$= 4,32 \text{ mW}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{MAX}}{P_{Light}} \times 100\%$$

$$= \frac{4,32 \text{ mW}}{5,3 \text{ W}} \times 100\%$$

$$= 0,082\%$$

9. Hasil Perhitungan Efisiensi *DSSC* 420°C Perendaman 12 Jam

Diketahui =

$$\begin{aligned} V_{MPP} &= 89 \text{ mV} & V_{OC} &= 210 \text{ mV} & P_{Light} &= 5,3 \text{ Watt} \\ I_{MPP} &= 0,53 \text{ mA} & I_{SC} &= 0,53 \text{ mA} & A &= 0,051 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Ditanya = Efisiensi

Jawab =

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

$$FF = \frac{89 \text{ mV} \cdot 0,53 \text{ mA}}{210 \text{ mV} \cdot 0,53 \text{ mA}}$$

$$= 0,4238$$

$$P_{MAX} = FF \cdot V_{OC} \cdot I_{SC}$$

$$= 47,17 \text{ mW}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{P_{MAX}}{P_{Light}} \times 100\%$$

$$= \frac{47,17 \text{ mW}}{5,3 \text{ W}} \times 100\%$$

$$= 0,9 \%$$