

**SKRIPSI**  
**STUDI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) HASIL EKTRAKSI**  
**BUAH BUNI (*Antidesma bunius*)**



*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan*  
*Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik*  
*Universitas Hasanuddin*  
*Makassar*

Disusun Oleh :

**ANDI MANNAPAKI NATSIR**

**D411 15 521**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**MAKASSAR**

**2019**



## LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**JUDUL :**

**STUDI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC) HASIL EKTRAKSI BUAH BUNI (*Antidesma bunius*)**

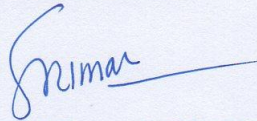
**OLEH :**

**ANDI MANNAPAKI NATSIR**

**D411 15 521**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

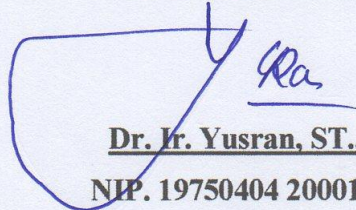
Dosen Pembimbing I



**Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, MT.**

**NIP. 19601106 198601 2 001**

Dosen Pembimbing II

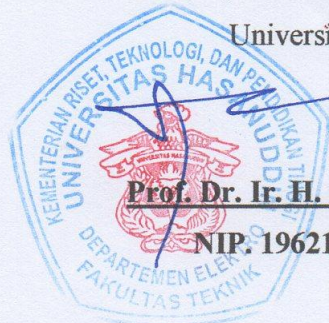


**Dr. Ir. Yusran, ST., MT.**

**NIP. 19750404 200012 1 001**

**Mengetahui,**

Ketua Departemen Elektro Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT.**

**NIP. 19621231 199003 1 024**

## ABSTRAK

DSSC merupakan pembangkit listrik tenaga surya menggunakan buah yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai salah satu pilihan sebagai sumber energi alternatif. Studi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) hasil ekstraksi buah Buni digunakan sebagai *dye* organik. DSSC merupakan sel surya berbasis fotoelektrokimia dimana digunakan zat warna organik sebagai penyerap cahaya matahari dan semikonduktor anorganik sebagai tempat terjadinya separasi muatan listrik. DSSC dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan elektrolit sebagai transfer muatan. Penelitian dilakukan dengan variasi lama perendaman kaca substrat yang telah dilapisi semikonduktor TiO<sub>2</sub> dengan lama perendaman 12 jam, 24 jam, 36 jam dan 48 jam. Pengujian dilakukan untuk mengukur tegangan dan arus dengan menggunakan multimeter dengan sumber cahaya lampu LED 8 Watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa DSSC dengan *dye* lama perendaman 36 jam menunjukkan arus dan tegangan yang lebih tinggi dan stabil bila dibandingkan dengan *dye* dengan lama perendaman 48 jam, 24 jam, dan 12 jam.

**Kata Kunci :** Sel Surya, *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC), Buah Buni (*Antidesma bunius*).



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan hasil tugas akhir ini yang berjudul :

**“STUDI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)* HASIL EKTRAKSI BUAH BUNI (*Antidesma bunius*)”.**

Menyelesaikan hasil tugas akhir ini merupakan salah satu syarat dalam syarat penelitian pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang Tua, saudara serta keluarga yang sudah memotivasi dan membantu atas penyelesaian tugas akhir ini.
2. Ibu Dr. Ir. Hj. Sri Mawar Said, M.T sebagai Pembimbing 1 dan Bapak Dr. Yusran, S.T., M.T sebagai Pembimbing 2 yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Penguji 1 dan Ibu Ir. Hj. Zaenab Muslimin, M.T. sebagai Penguji 2 yang telah memberikan saran serta masukan kepada penulis hingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan staf pengajar, serta pegawai Departemen Teknik Elektro atas segala ilmu, bantuan, dan kemudahan yang diberikan selama menempuh proses perkuliahan.
5. Aisyah Adepurwanti Rahman selaku teman dekat yang telah memberikan semangat yang tak henti-hentinya untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.

teman THYR15TOR, teman seperjuangan Teknik Elektro Angkatan 2015 yang telah memberikan berjuta cerita baru yang mengiringi perjalanan saya



selama menempuh Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Terima kasih telah membuat saat-saat biasa menjadi Istimewa, Semangat kawan.

7. Serta orang terdekat saya dan masih banyak lagi yang tidak bisa saya sebut satu-persatu

Penulis menyadari bahwa hasil tugas akhir ini masih banyak mengalami kekurangan baik isi, penggunaan kata dan ejaan yang kurang sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat menambah wawasan dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi perkembangan rekayasa energi surya.

Atas perhatiannya, penulis mengucapkan terima kasih.

Gowa, 25 Juni 2019

Andi Mannapaki Natsir



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>III</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>IV</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>VI</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>VIII</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>IX</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Batasan Masalah .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
1.5.1. Manfaat Bagi Peneliti .....	4
1.5.2. Manfaat Bagi Universitas.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1. Energi Matahari .....	6
2.2. Sel Surya.....	7
2.2.1. Struktur Umum Sel Surya.....	8
2.3. Performa Sel Surya .....	9
2.4. Klasifikasi Sel Surya .....	12
2.4.1. Sel Surya Tipe Anorganik (Konvensional).....	13
2.4.2. Sel Surya Tipe Organik.....	13
2.5. <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC) .....	14
2.6. Cara Kerja <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC) .....	15
Komponen <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC).....	16
1. Substrat .....	16
2. Lapisan TiO <sub>2</sub> .....	17



2.7.3. Elektrolit.....	17
2.7.4. Zat Warna.....	18
2.7.5. Elektroda Lawan.....	19
2.8. Buah Buni ( <i>Antidesma bunius</i> ).....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
3.1. Waktu Dan Tempat .....	24
3.2. Alat Dan Bahan.....	24
3.2.1. Alat .....	24
3.2.2. Bahan .....	24
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	25
3.4. Prosedur Penelitian .....	26
3.5. Pengujian Karakteritik <i>I-V</i> DSSC .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>31</b>
4.1. Pembuatan Kaca Konduktif.....	31
4.2. Pelapisan Elektroda TiO <sub>2</sub> .....	32
4.3. Pembuatan Ekstraksi <i>Dye</i> .....	34
4.4. Hasil Pengukuran Arus Dan Tegangan .....	35
4.5. Analisis DSSC Yang Telah Dibuat.....	47
<b>BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>49</b>
5.1. Kesimpulan.....	49
5.2. Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>56</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Konsumsi Energi Final Per Jenis (Green, 2003) .....	7
Gambar 2.2. Cara kerja sel surya silikon (Halme, 2002) .....	8
Gambar 2.3. Bentuk khusus dari kurva $I-V$ solar cell (Green, 1981) .....	9
Gambar 2.4. Spektrum pancaran matahari (Halme, 2002) .....	12
Gambar 2.5. Susunan Satu Sel DSSC Seperti <i>Sandwich</i> (Yang Jiao, et al., 2012) ..	14
Gambar 2.6. Skema Kerja dari DSSC (Setiawan dkk, 2015) .....	15
Gambar 2.7. Buah Buni (Yulistyarini dkk 2000 dan Tohir 1981).....	20
Gambar 3.1. <i>Flow chart</i> penelitian .....	25
Gambar 3.2. Struktur DSSC pada penelitian ini .....	29
Gambar 3.3. (a) Skema pengujian $I_{sc}$ pada DSSC ,(b) Skema Pengujian $V_{oc}$ pada DSSC.....	29
Gambar 4.1. Proses penyemprotan larutan $SnCl_2$ pada kaca substrat .....	31
Gambar 4.2. Pengukuran nilai resistansi pada kaca konduktif yang telah di <i>sintering</i> .....	32
Gambar 4.3. (a) Pembuatan batas pelapisan $TiO_2$ , (b) Proses pelapisan lapisan tipis $TiO_2$ dengan spatula. ....	33
Gambar 4.4. Penimbangan buah Buni sebelum dicampurkan pelarut .....	34
Gambar 4.5. Proses penyaringan ekstrak dengan menggunakan penyaring .....	34
Gambar 4.6. Perendaman kaca yang telah dilapisi $TiO_2$ pada <i>dye</i> buah Buni .....	35
Gambar 4.7. Grafik $I-V$ hasil pengujian dengan menggunakan <i>dye</i> daging buah Buni + etanol .....	40
Gambar 4.8. Grafik lama perendaman terhadap tegangan dengan menggunakan <i>dye</i> daging buah Buni + etanol .....	41
Gambar 4.9. Grafik lama perendaman terhadap arus dengan menggunakan <i>dye</i> daging buah Buni + etanol .....	41
Gambar 4.10. Grafik $I-V$ hasil pengujian performa DSSC pada sampel perendaman .....	46





## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai <i>Luminous efficacy</i> dari berbagai jenis sumber cahaya (Sumber : <a href="https://www.rapidtables.com/calc/light/how-lux-to-watt.html">https://www.rapidtables.com/calc/light/how-lux-to-watt.html</a> ) .....	11
Tabel 2.2. Sifat beberapa jenis bahan ITO dan FTO. (Yang Jiao,et al., 2012) .....	17
Tabel 2.3. Kandungan gizi pada 100 gram buah Buni (Sumber: Gruèzo 1997) .....	22
Tabel 4.1. Hasil pengujian dengan variasi lama perendaman .....	38
Tabel 4.2. Hasil perhitungan dari DSSC Ekstraksi Buah Buni .....	39
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Performa DSSC pada sampel 36 Jam .....	45



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi berperan penting dalam kelangsungan hidup manusia. Sudah mulai banyak terjadi fenomena krisis energi global, utamanya energi fosil. Sehingga muncul banyak inovasi pemanfaatan energi yang dapat diperbaharui. Energi terbarukan disarankan sebagai energi alternatif untuk mengatasi krisis saat ini diantaranya adalah sumber energi surya, *biomass*, angin dan tenaga air. Energi surya untuk negara dengan iklim tropis seperti Indonesia menjadi salah satu alternatif yang banyak digunakan karena sangat menjanjikan. Salah satunya adalah dari segi kelimpahan di alam serta segi kesehatan seperti kebersihan, keamanan dan memungkinkan sebagai pembangkit energi di daerah-daerah terpencil.

Sel surya adalah salah satu sumber energi alternatif yang sangat potensial dikembangkan. Sel surya merupakan sumber energi listrik yang dihasilkan dari sinar matahari. Energi yang dihasilkan mencapai  $3 \times 10^{24}$  joule per tahun yang setara dengan 10% dari kebutuhan energi masyarakat dunia (Gratzel, 2001:338).

Energi surya merupakan konversi dari radiasi matahari menjadi energi listrik atau disebut sebagai sel *fotovoltaik*. Radiasi yang dipancarkan sinar matahari sebenarnya hanya diterima oleh permukaan bumi sebesar 69% dari total energi pancaran matahari. (West, 2003).

Kebutuhan yang besar terhadap energi diseluruh dunia membuat para peneliti berusaha mengembangkan berbagai jenis sel surya dengan efisiensi tinggi. Pengembangan sel surya ini juga pada teknik fabrikasi yang mudah sehingga menghemat pengeluaran. Hingga saat ini terdapat beberapa jenis sel

yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti untuk mendapatkan divais dengan efisiensi tinggi serta teknik fabrikasi yang mudah.



Sel surya yang pertama dibuat menggunakan bahan silikon. Sel surya konvensional ini memiliki efisiensi tinggi, namun biaya pembuatannya relatif lebih mahal dibandingkan sel surya yang lainnya. Hal ini karena sel surya konvensional harus menggunakan silikon dengan tingkat kemurnian yang tinggi dan bahan-bahan kimia berbahaya dengan biaya yang besar. Oleh karena itu, dikembangkan sel surya generasi baru tanpa menggunakan silikon sehingga harganya lebih murah daripada sel surya konvensional. Perangkat ini dikenal dengan nama sel surya tersensitifasi pewarna (SSTP) atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) yang menggunakan matahari sebagai energi yang dikonversi menjadi energi listrik. (O'Regan dan Gratzel, 1991:737).

DSSC dengan sel surya sintesis *dye* dikembangkan sebagai konsep alternatif piranti *fotovoltaik* konvensional. Banyak studi tentang DSSC yang telah dikembangkan. Material semikonduktor yang lazim digunakan dalam DSSC adalah TiO<sub>2</sub> (Titanium Oksida) yang memiliki struktur mesopori. Semikonduktor titania memiliki energi gap sebesar 3,2 eV dan menyerap sinar pada daerah *ultraviolet*. Material ini dipilih selain karena memiliki banyak keuntungan diantaranya murah, pemakaian luas, tidak beracun, serta banyak pula digunakan sebagai bahan dasar pembuatan produk-produk kesehatan serta sebagai pigmen cat. (Grätzel, 2003).

TiO<sub>2</sub> yang diaplikasikan pada DSSC harus dipreparasi pada permukaan yang luas sehingga *dye* terabsorpsi lebih banyak. Hal ini diharapkan mampu meningkatkan *photocurrent*. Utama lainnya adalah penggunaan *dye* mampu menyerap spektrum cahaya yang lebar dan sesuai dengan pita energi TiO<sub>2</sub> (Amoa dkk., 2004). *Dye* dapat berupa *dye* alami maupun *dye* sintetis. *Dye* alami lebih mudah didapatkan di alam.

Sampel yang digunakan adalah ekstrak buah Buni (*Antidesma bunius*) sebagai zat warna pada DSSC. Buah Buni merupakan tanaman asli Asia Tenggara dan Australia. Tumbuh sebagai tanaman liar di hutan maupun sebagai tanaman pekarangan dengan tinggi sekitar 3 sampai 8 meter, bisa mencapai 30 meter. Dapat tumbuh pada ketinggian 0 sampai 1200 permukaan laut.. Buah Buni berukuran kecil dengan diameter sekitar 8



mm dan bergerombol seperti buah anggur. Buahnya mirip dengan *cranberry*, pada saat mentah berwarna hijau kekuningan kemudian berubah menjadi merah terang dan pada saat matang berwarna ungu kehitaman dengan rasa yang cukup asam dan sedikit manis. Buah Buni dapat dimakan seperti buah segar lainnya. (Orwa,2009)

Pengembangan DSSC menggunakan zat warna ekstrak buah Buni (*Antidesma bunius*) sebagai sensitizer menjadi pilihan yang cukup menjanjikan karena zat warna tersebut tersedia dalam jumlah yang cukup banyak di alam. Selain itu, zat warna tersebut juga berfungsi sebagai penghantar elektron yang baik sehingga penggunaan zat warna sebagai *sensitizer* pada DSSC akan menjadi lebih murah. Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukanlah penelitian tentang karakterisasi zat warna dari ekstrak buah Buni (*Antidesma bunius*) sebagai bahan pewarna DSSC yang diekstrak menggunakan berbagai jenis pelarut seperti, air, dan etanol. Dengan memvariasikan waktu perendamannya selama 12 jam, 24 jam, 36 jam, dan 48 jam.

## 1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana unjuk kerja dari DSSC dengan menggunakan buah Buni (*Antidesma bunius*)?
2. Bagaimana unjuk kerja dari DSSC akibat dari variasi lama perendaman *dye* yang dicelupkan kedalam pelarut (etanol)?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan penelitian dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui bagaimana unjuk kerja dari DSSC dengan menggunakan *dye* buah Buni (*Antidesma bunius*).



2. Untuk mengetahui bagaimana unjuk kerja dari DSSC akibat dari variasi lama perendaman TiO<sub>2</sub> dilapiskan pada TCO yang dicelupkan kedalam ekstrak daging buah Buni (*Antidesma bunius*) sebagai *dye* organik.

#### 1.4. Batasan Masalah

Penelitian ini diberi batasan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini hanya menggunakan buah Buni (*Antidesma bunius*) sebagai *dye* organik.
2. Material semikonduktor yang digunakan pada penelitian ini adalah TiO<sub>2</sub> (Titanium Dioksida).
3. TiO<sub>2</sub> dilapiskan pada TCO menggunakan metode *doctor blade* pada fabrikasi DSSC, selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik *I-V* pada DSSC.
4. Pada penelitian ini menggunakan pelarut perendakam *dye* menggunakan etanol.
5. Pada penelitian ini memvariasikan lama perendaman TiO<sub>2</sub> dilapiskan pada TCO yang dicelupkan kedalam ekstrak buah Buni (*Antidesma bunius*) sebagai *dye* organik dengan variasi waktu 12 jam, 24 jam, 36 jam dan 48 jam.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini terbagi atas dua, yaitu :

##### 1.5.1. Manfaat bagi Peneliti

Memahami dan mengetahui manfaat ekstrak buah Buni (*Antidesma bunius*) sebagai *photosensitizer* pada DSSC. Teknologi pembuatan DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) yang dikembangkan penelitian ini bisa menjadi studi awal untuk penelitian lebih lanjut sehingga menghasilkan sel surya yang mempunyai efisiensi lebih baik.



### 1.5.2. Manfaat bagi Universitas

Manfaat bagi universitas adalah sebagai bahan informasi dan pengembangan bagi peneliti berikutnya.

1. Memberikan informasi tentang karakteristik zat warna ekstrak buah Buni (*Antidesma bunius*) dengan kandungan antosianin yang terdapat didalamnya, dan kaitannya dengan unjuk kerja DSSC.
2. Memberikan informasi tentang nilai efisiensi zat warna ekstrak buah Buni (*Antidesma bunius*) sebagai bahan pewarna DSSC.
3. Mengetahui pembuatan DSSC sebagai sarana pemanfaatan energi dari sinar matahari.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Energi Matahari

Pancaran matahari merupakan radiasi elektromagnetik yang luar biasa banyak. Dalam kaitannya dengan sel surya yaitu perangkat pengkonversi radiasi matahari menjadi listrik, terdapat dua parameter penting dalam energi surya: pertama intensitas radiasi, yaitu jumlah daya matahari yang datang kepada permukaan per luas area, dan karakteristik spektrum cahaya matahari. (Smestad, 1998).

Energi matahari menyuplai energi ke bumi dalam bentuk radiasi. Tanpa radiasi dari matahari, kehidupan di bumi tidak akan berjalan. Spektrum radiasi elektromagnetik terdiri atas radiasi dengan beberapa panjang gelombang mulai dari yang sangat pendek sampai sangat panjang. Cahaya tampak (*visible light*) memiliki panjang gelombang antara (400 nm-700 nm). Interaksi antara cahaya tampak dengan materi dapat menyebabkan transisi elektron pada tingkat energi yang lebih tinggi. Energi surya terpancar hingga ke bumi berupa paket-paket energi yang disebut foton.

Kuantitas energi matahari yang mencapai permukaan bumi berkisar  $3,9 \times 10^{24}$  Joule =  $1,08 \times 10^{18}$  kWh. Namun demikian sebagian besar dari radiasi ini hilang di angkasa. Jadi energi yang diterima bumi adalah 10.000 kali lebih banyak dari permintaan energi primer secara global tiap tahunnya dan lebih banyak dari cadangan ketersediaan keseluruhan energi yang ada di bumi (Ihsan, 2013).

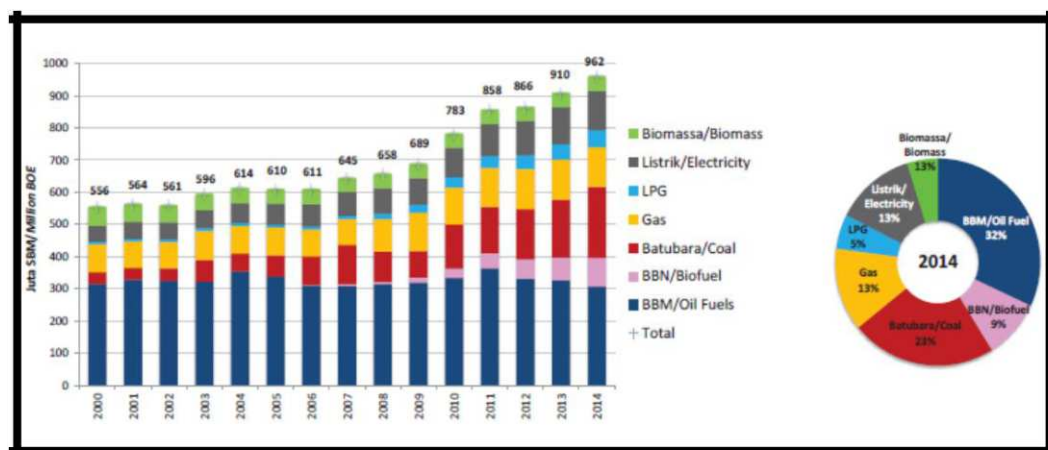
Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi tergantung pada jarak antara bumi dengan matahari. Sepanjang tahun, jarak antara matahari dengan bumi bervariasi antara  $1,47 \times 10^8$  km –  $1,52 \times 10^8$  km. Akibatnya, *irradiance*  $E_0$  radiasi antara  $1.325 \text{ W/m}^2$  –  $1.412 \text{ W/m}^2$ . Nilai rata-rata dari *irradiance* ini dengan *solar constant* (konstanta surya). Konstanta surya  $E_0 = 1.367$  setelah disaring oleh atmosfer bumi, beberapa spektrum cahaya hilang,



dan intensitas puncak radiasi menjadi sekitar  $1000\text{W}/\text{m}^2$ . Nilai ini adalah tipikal intensitas radiasi pada keadaan permukaan tegak lurus sinar matahari dan pada keadaan cerah. (Ihsan, 2013).

## 2.2. Sel Surya

Sel surya merupakan salah satu energi terbarukan dan suplai energi dari sinar matahari ke permukaan bumi sangat besar. Sel surya menjadi solusi yang sangat tepat untuk menjawab kekhawatiran terhadap menipisnya sumber daya alam dari energi fosil. Energi fosil sifatnya tidak terbarukan dan lama kelamaan akan habis. Menurut Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Indonesia (BPPT, 2016:25), Konsumsi listrik dalam kurun waktu tahun 2000-2014 mengalami pertumbuhan rata-rata 6,8% per tahun. Konsumsi listrik yang naik disebabkan oleh meningkatnya pendapatan masyarakat dan rasio elektrifikasi sehingga penggunaan peralatan listrik seperti AC, mesin cuci, kulkas, setrika, lampu, dan lainnya bertambah. Pada tahun 2014, rasio elektrifikasi nasional sebesar 84,4% atau meningkat 3,9% dari tahun 2013.



Gambar 2.1. Konsumsi Energi Final Per Jenis(Green, 2003).

Pemanfaatan energi matahari didalam konversi energi terdiri dari sistem *photovoltaics* dan sistem *solar termal*. *Photovoltaics* atau sel surya adalah sel

yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Hingga kini para peneliti telah mengembangkan *solar cell* untuk mendapatkan divais *solar* yang memiliki efisiensi yang tinggi atau untuk mendapatkan divais *solar*

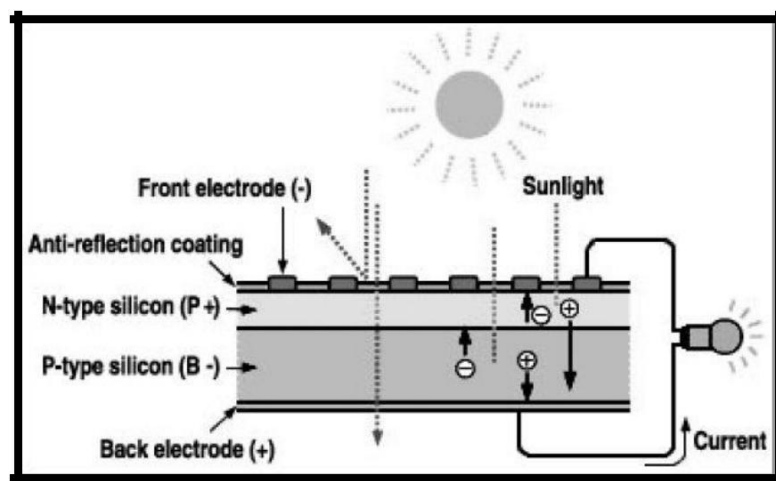




cell yang murah dan mudah dalam pembuatannya. Sel surya dikembangkan dalam tiga generasi (Green, 2003).

### 2.2.1. Struktur Umum Sel Surya

Struktur dari sel surya pada umumnya terdiri dari satu atau lebih jenis material semikonduktor dengan dua daerah yang berbeda yaitu, daerah positif dan negatif atau biasa disingkat p dan n (*p-n junction semiconductor*). Kedua elektroda ini akan menghantarkan arus listrik jika diberi sinar matahari (Gratzel, 2001:340).



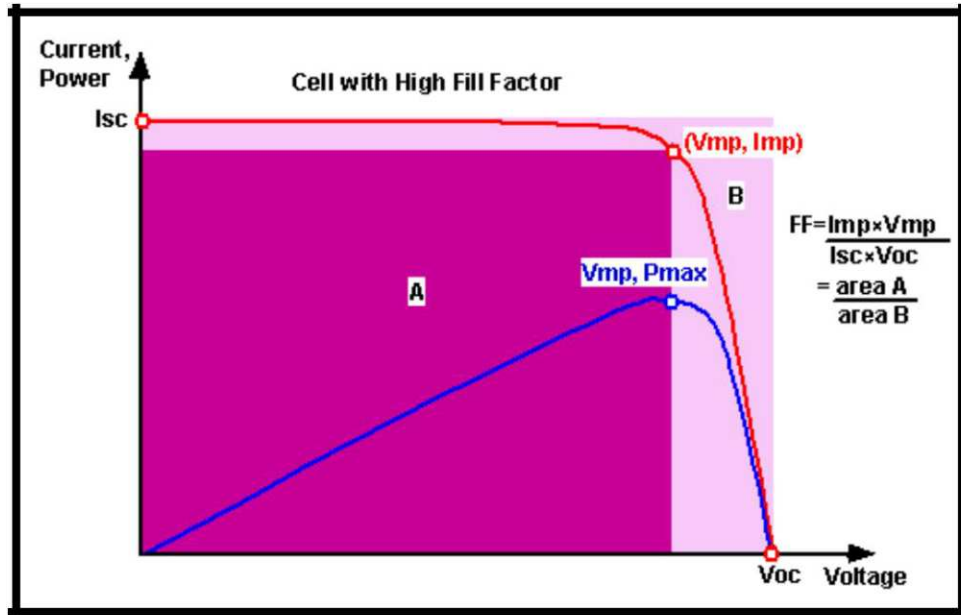
Gambar 2.2. Cara kerja sel surya silikon (Halme, 2002)

Sambungan yang disinari foton dengan energi yang sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* pada pita valensi. Elektron dan *hole* ini dapat bergerak dalam materi sehingga menghasilkan pasangan elektron-*hole*. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-*n* akan kembali ke area-*p* sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir. Skema kerja sel surya silikon ditunjukkan pada gambar di atas.



### 2.3. Performa Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan dan arus. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus tegangan ( $I-V$ ) ditunjukkan pada gambar di bawah.



Gambar 2.3. Bentuk khusus dari kurva  $I-V$  solar cell (Green, 1981)

Keterangan pada Gambar :

1. Tegangan rangkaian terbuka (*Open Circuit Voltage*);  $V_{oc}$
2. Arus hubungan pendek (*Short Circuit Current*);  $I_{sc}$
3. *Fill Factor* ( $FF$ )
4. Arus tegangan pada MPP :  $I_{mpp}, V_{mpp}$ .

Sel dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ). Titik pada kurva  $I-V$  yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* ( $FF$ ), merupakan rasio tegangan dan arus pada keadaan daya maksimum dan tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ), dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ), yang dapat dirumuskan dengan persamaan (Halme, 2002).



$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.1)$$

Dimana:

$I_{max}$  : arus yang dihasilkan pada saat daya maksimum dari solar sel (ampere)

$V_{max}$  : tegangan yang dihasilkan pada saat daya maksimum dari solar sel (volt)

$I_{sc}$  : arus yang dihasilkan ketika terjadi hubungan pendek (beban mendekati  $0 \Omega$ ) (ampere)

$V_{oc}$  : tegangan yang dihasilkan ketika belum terjadi aliran arus (volt).

Persamaan *fill factor* digunakan untuk mengukur bagaimana luasan persegi pada karakteristik *I-V* suatu sel surya, secara empiris hubungan antara *fill factor* dengan  $V_{oc}$ , Keterbatasan utama dalam persamaan berikut adalah bahwa persamaan ini mewakili *FF* maksimum, walaupun dalam praktiknya *FF* akan lebih rendah karena adanya kerugian resistif parasit, yang dibahas dalam Pengaruh Resistensi Parasit. Oleh karena itu, *FF* paling banyak ditentukan dari pengukuran kurva *I-V* dan didefinisikan sebagai daya maksimum dibagi dengan produk  $I_{sc} \times V_{oc}$ . (Green, 1981). Persamaan *fill factor* empiris dapat diuraikan melalui persamaan berikut:

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \quad (2.2)$$

Efisiensi sel surya dapat didefinisikan sebagai perbandingan dari Daya Maksimum ( $P_{max}$ ) panel surya dengan daya intensitas matahari (*irradiance* matahari):

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{light}} \times 100\% \quad (2.3)$$

dengan  $P_{Max}$  adalah :

$$P_{max} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{A} \quad (2.4)$$

dimana,

$P_{Max}$  : daya maksimum yang dihasilkan sel surya (watt)

$P_{input}$  : daya dari sinar yang mengenai sel surya (watt)

antara  $P_{light}$  yang diperoleh melalui parameter *lux*. *Lux* adalah lumen per meter persegi. *Lux* (*luminous flux*) dapat diartikan pula sebagai total dari cahaya



tampak yang menunjukkan intensitas pencahayaan pada suatu permukaan tertentu. Cahaya akan tampak semakin redup bila seiring bertambahnya luasan area yang disinari. Cahaya memiliki dualitas sifat sebagai materi dan gelombang. Dengan sendirinya cahaya memiliki energi dalam tingkatan tertentu. Daya (W) yang dikirimkan oleh suatu sumber cahaya berbanding lurus dengan iluminasi,  $E_v$  (lux) dikalikan dengan luasan area ( $m^2$ ) dibagi dengan *luminous efficiency*,  $\eta$ (lm/W). Yang diekspresikan sebagai berikut:

$$P_{light} (W) = E_v (lm) \frac{A (m^2)}{\eta (\frac{lm}{W})} \quad (2.5)$$

dapat pula diperoleh dengan membagi  $\phi_v$ (lm) intensitas penyinaran dengan  $\eta$ (lm/W) *luminous efficacy*. Yang dijabarkan sebagai berikut :

$$P_{light} = \frac{\phi_v(lm)}{\eta(\frac{lm}{W})} \quad (2.6)$$

Tabel 2.1. Nilai *Luminous efficacy* dari berbagai jenis sumber cahaya (Sumber : <https://www.rapidtables.com/calc/light/how-lux-to-watt.html>)

<i>Light type</i>	<i>Typical luminous efficacy (lumens/watt)</i>
<i>Tungsten incandescent light bulb</i>	12.5-17.5
<i>Halogen lamp</i>	16-24
<i>Fluorescent lamp</i>	45-75
<i>LED lamp</i>	80-100
<i>Metal halide lamp</i>	75-100
<i>High pressure sodium vapor lamp</i>	85-150
<i>Low pressure sodium vapor lamp</i>	100-200
<i>Mercury vapor lamp</i>	35-65

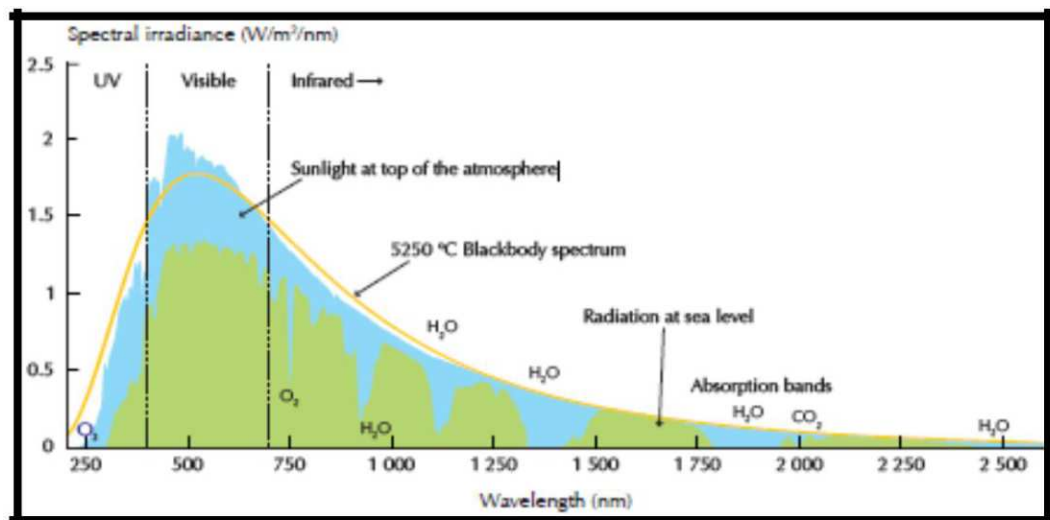
Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi sel surya. Nilai efisiensi konversi DSSC yang dikembangkan saat ini

bawah 1%, seperti yang dilakukan oleh Aliah, Hasniah(2016), dengan atkan daun bayam merah dan jahe merah sebagai *dye* pada DSSC, dengan oleh masing masing *fill factor* sebesar 0,329 dan kinerja 0,0044% untuk



*dye* daun bayam merah, sementara *fill factor* sebesar 0,1903 dan kinerja 0,000372% untuk *dye* daun jahe merah, begitupun hasil yang diperoleh Nur Hasbi Wahab (2016) dengan menggunakan tomat merah sebagai *dye* pada DSSC *fill factor* sebesar 0,2308 dan kinerja 0.003892 %.

Efisiensi dari sel surya tergantung pada temperatur dari sel dan yang lebih penting lagi adalah kualitas iluminasi. Misalnya total intensitas cahaya dan intensitas spektrum yang terdistribusi. Oleh karena itu, standar kondisi pengukuran harus dikembangkan sejalan dengan pengujian sel surya di laboratorium. Kondisi standar yang telah digunakan untuk menguji solar sel dengan intensitas cahaya  $1000 \text{ W/m}^2$ , distribusi spektrum dari pancaran matahari seperti gambar dibawah dan temperatur sel  $25^\circ\text{C}$ . Daya yang dikeluarkan *solar cell* pada kondisi ini adalah daya normal dari sel, atau modul, dan dicatat sebagai puncak daya (*peak watt*),  $W_p$  (Halme, 2002).



Gambar 2.4. Spektrum pancaran matahari (Halme, 2002).

## 2.4. Klasifikasi Sel Surya

Perkembangannya sel surya (*solar cell*) dibedakan atas tiga generasi. Sel surya yang pertama kali ditemukan adalah sel surya dengan bahan silikon kristal. Sel surya dengan silikon ini, memiliki efisiensi yang sangat tinggi. Teknologinya sangat mahal sehingga tidak efisien sebagai sumber energi (Hardian, dkk, 2010:7).



Generasi pertama, muncul teknologi sel surya generasi kedua yaitu sel surya dengan lapisan tipis (*thin film*). Sel surya ini menghasilkan efisiensi yang lebih rendah dari sel surya silikon. Generasi ketiga dari sel surya adalah teknologi yang berasal dari bahan polimer yaitu sel surya organik atau *dye sensitized solar cells* (DSSC) serta sel surya foto elektrokimia (Hardian, 2010:7). Namun secara umum, Sel surya dapat dikategorikan berdasarkan bahan penyusun sel surya yaitu sel surya tipe anorganik (konvensional) dan organik.

#### 2.4.1. Sel Surya Tipe Anorganik (Konvensional)

Sel surya konvensional terdiri dari lapisan silikon. Sel ini mengubah cahaya menjadi energi listrik menggunakan efek *photovoltaic*. Serapan cahaya dalam sel surya menyebabkan elektron tereksitasi dan menyebabkan terjadinya pasangan *electron-holes*. Perpindahan elektron dan *holes* menyebabkan sel surya bekerja. Tetapi untuk menghindari rekombinasi prematur elektron dan *hole*, Si harus sangat murni dan bebas dari kerusakan. Sel surya konvensional lain yang menggunakan semikonduktor klasik seperti C-Si, CdS/CdTe, CdS/CdInSe juga memiliki beberapa kendala seperti sel surya Si yaitu membutuhkan biaya produksi yang cukup tinggi, rumit dan menyebabkan masalah lingkungan karena pemakaian logam berat. Diantara sel surya berbasis bahan semikonduktor, sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan zat warna sebagai sensitiser mempunyai beberapa kelebihan antara lain biaya produksi murah dan ramah lingkungan (Saehana, S. (2012).

#### 2.4.2. Sel Surya Tipe Organik

Sel Surya Tipe organik atau biasa di kenal sebagai Sel fotoelektrokimia, merupakan sel surya organik yang tersensitasi zat warna, sel ini memanfaatkan reaksi fotokimia untuk menghasilkan listrik. Sel fotoelektrokimia, memiliki kelebihan dibandingkan dengan sel surya silikon, antara lain rendahnya biaya untuk memproduksi, dan rentang yang luas dalam penyerapan cahaya tampak. Pada umumnya, struktur sel dalam struktur *sandwich*, dengan substrat transparan lapisan atas dan bawah yang bersifat *Transparan Conductive Oxide* (Yang Jiao, et al., 2012).

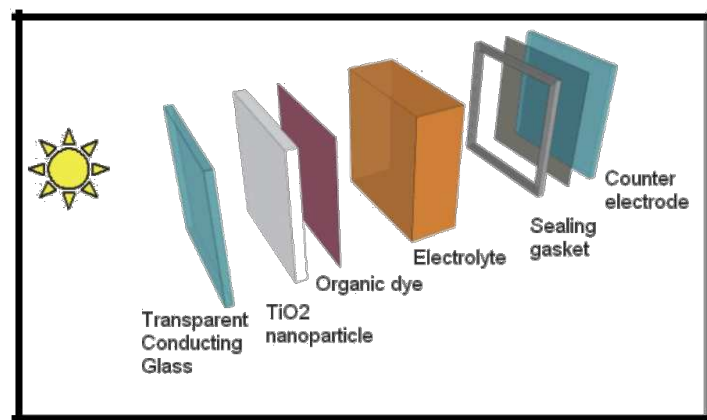


## 2.5. Dye sensitized solar cell (DSSC)

*Dye sensitized solar cell* (DSSC) merupakan sel surya yang tersensitasi oleh zat warna. Sel surya ini dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik. Gratzel pada tahun 1991 menemukan bahwa TiO<sub>2</sub> (*titanium dioksida*) yang disensitasi oleh *dye* dalam larutan elektrolit dapat menghasilkan arus listrik dengan efisiensi 7,1 %. Solar ini kemudian disebut sebagai *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC). Peningkatan efisiensi dari DSSC terus dikembangkan. Hingga saat ini efisiensi maksimal yang berhasil didapatkan yaitu 10 % (Gratzel, 2003).

DSSC menggunakan molekul zat warna yang teradsorpsi pada semikonduktor oksida nanokristalin seperti TiO<sub>2</sub>. Pengumpulan sinar matahari atau penyerapan cahaya (oleh pewarna) dan proses pengumpulan muatan (oleh semikonduktor) dipisahkan, menirukan penyerapan cahaya alami dalam proses fotosintesis. (Yang Jiao, et al., 2012).

DSSC tersusun dari tiga komponen utama yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda lawan (*counter electrode*) dan larutan elektrolit. Elektroda kerja merupakan lapis tipis TiO<sub>2</sub> pada substrat kaca transparan berkonduksi (*Transparent Conductive Oxide*) yang mengadsorpsi zat warna kompleks Ru (II) sebagai *sensitizer*. Sedangkan elektroda lawan pada sel Grätzel berupa substrat kaca transparan berkonduksi yang dilapisi platina (Pt) sebagai katalis reaksi redoks. Larutan elektrolit yang digunakan adalah pasangan redoks I<sup>-</sup>/I<sup>3-</sup> dalam pelarut organik. Adapun susunan satu sel DSSC dapat dilihat pada gambar dibawah.



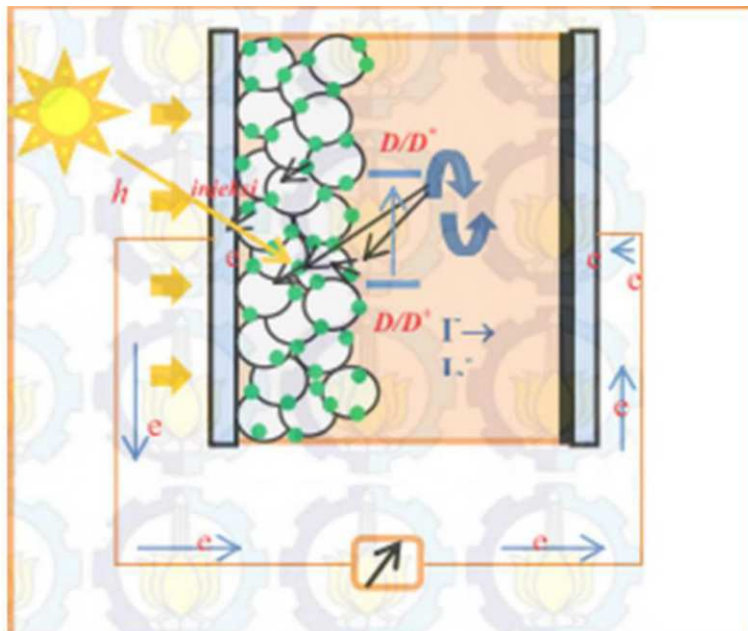
2.5. Susunan Satu Sel DSSC Seperti *Sandwich* (Yang Jiao, et al., 2012).



## 2.6. Cara Kerja Dye sensitized solar cell (DSSC)

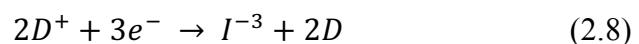
Prinsip kerja dari DSSC, pada dasarnya merupakan reaksi dari transfer elektron, meliputi (Setiawan dkk, 2015) :

1. Eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D\*)



Gambar 2.6. Skema Kerja dari DSSC (Setiawan dkk, 2015).

2. Setelah dari *excited state*, elektron langsung terinjeksi menuju *conduction band* (ECB) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D<sup>+</sup>). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I<sup>-</sup>) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.



3. Elektron akan mengalir menuju elektroda CE (*Counter-Elektrode*) melalui rangkaian eksternal setelah mencapai elektroda WE (*Working Electrode*),.

danya katalis pada elektroda CE (*Counter Electrode*), elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I<sup>3-</sup>), akibat





donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk *iodide* ( $I^-$ ).



5. *Iodide* ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus *transport* elektron. kemudian dari siklus ini, secara langsung akan terjadi konversi cahaya matahari menjadi listrik.

Energi cahaya yang diterima oleh zat warna mengakibatkan tereksitasinya elektron dari HOMO (*High Occupied Molecular Orbital*) pada zat warna ke pita LUMO (*Low Unoccupied Molecular Orbital*) dan menyebabkan terjadinya *hole* pada orbital HOMO. Hole ini kemudian diregenerasi kembali oleh pemberian elektron dari larutan elektrolit, sehingga pada sisi elektroda pembeding akan bermuatan positif sedangkan pada sisi TCO yang terlapisi  $TiO_2$  mempunyai potensial negatif. Hal ini menyebabkan terjadinya perbedaan beda potensial antara kedua elektroda tersebut, sehingga terjadi aliran listrik (Gratzel, 2003:146).

## 2.7. Komponen Dye sensitized solar cell (DSSC)

Komponen-komponen yang terdapat pada rangkaian DSSC adalah sebagai berikut:

### 2.7.1. Substrat

Bagian depan DSSC terdapat lapisan substrat kaca, yang di atasnya menutupi lapisan tipis berupa lapisan transparan. Lapisan ini sangat penting karena memungkinkan sinar matahari masuk sel saat melakukan pembawa elektron ke sirkuit luar. Lapisan luar atau substrat yang sering digunakan adalah TCO (*Transparent Conductive Oxide*). Material yang dipakai pada umumnya adalah *F-doped* atau *In-doped tin oxide* (FTO atau ITO) dan *Aluminum-doped zinc oxide* (AZO). (Yang Jiao, et al., 2012).

Properti dari jenis khas ITO dan FTO dari beberapa produsen terkenal ditunjukkan pada tabel berikut:



Tabel 2.2. Sifat beberapa jenis bahan ITO dan FTO. (Yang Jiao, et al., 2012).

<i>Conductive Glass</i>	<i>Company</i>	<i>Light Transmittance</i>	<i>Conductive (Ohm/sq)</i>	<i>Thickness (mm)</i>	<i>Size (cm x cm)</i>
ITO	Nanocs	>85%	5	1,1	1 x 3
ITO	PG&O	85%	4,5	1,1	2 x 3
FTO	NSG	>84%	<7	3	100 x 100

### 2.7.2. Lapisan TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub> merupakan bahan semikonduktor yang bersifat *inert*, stabil terhadap fotokorosi dan korosi oleh bahan kimia. Aplikasi TiO<sub>2</sub> sebagai semikonduktor telah banyak dilaporkan. Berbagai metode dilakukan dalam aplikasi pemanfaatan TiO<sub>2</sub> pada DSSC diantaranya dengan metode *Micro-Plasma Oxidation* (MPO), dengan metode sintesa sol-gel. (Saehana, S. (2012).

Lapisan TiO<sub>2</sub> memiliki *bandgap* yang tinggi (>3 eV) dan memiliki transmisi optik yang baik. Penggunaan TiO<sub>2</sub> diantaranya untuk manufaktur elemen optik. Selain itu TiO<sub>2</sub> berpotensi pada aplikasi divais elektronik seperti DSSC, sensor gas, dan lain-lainnya (Marchad, 2004).

TiO<sub>2</sub> dengan struktur nanopori yaitu ukuran pori dalam skala nano akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah *dye* yang teradsorp yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terabsorpsi.

### 2.7.3. Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada DSSC adalah pasangan redoks iod (I<sup>-</sup>) dan triiodida (I<sup>3-</sup>) (Gratzel, 1998:752). Dalam proses redoks, elektrolit menghasilkan elektron dan melakukan proses siklus dalam sel (Gratzel, 1998:752) yang menggantikan elektrolit zat warna yang tereksitasi. Untuk mempercepat proses reaksi dalam sel digunakan katalis yaitu karbon (Prasetyo, dkk, 2014:47).

Prasetyo, dkk (2014:47) telah melakukan variasi elektrolit terhadap kinerja *Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan menggunakan KI, NaI dan TEAI dan membandingkan masing-masing elektrolit dengan I<sub>2</sub>. Berdasarkan nilai efisiensi,



elektrolit KI lebih baik dibandingkan dengan elektrolit lainnya yaitu 0,057% sedangkan elektrolit NaI dan TEAl adalah 0,0014% dan 0,0006%.

#### 2.7.4. Zat Warna

Komponen selanjutnya adalah zat warna. Material ini memberikan pengaruh pada semikonduktor terhadap cahaya. Di dalam proses DSSC, cahaya foton yang diserap oleh zat warna akan mengalami eksitasi elektron. Proses ini memberikan energi kepada elektron untuk pindah menuju pita konduksi dari TiO<sub>2</sub>. Akibatnya elektron mengalir menuju elektroda, rangkaian listrik sampai ke *counter elektroda*. Elektrolit kemudian membawa elektron-elektron kembali ke zat warna yang berasal dari *counter elektroda* (Nuryadi, 2011:35).

DSSC pada umumnya menggunakan suatu zat warna buatan pada rangkaian sel surya. Salah satu *dye* yang disintesis dari campuran logam dan senyawa organik adalah N<sub>3</sub> *rhutenium complex*. Zat warna ini telah diaplikasikan pada DSSC dan diketahui memiliki efisiensi yang sangat tinggi (Gratzel, 2003:148).

Zat warna alami dapat digunakan sebagai *fotonsitizer* pada DSSC, tetapi efisiensinya masih lebih rendah dibandingkan zat warna sintesis. Zat warna alami diperoleh dari ekstrak bagian-bagian tumbuhan seperti daun, batang atau bunga. Zat warna alami memiliki beberapa keuntungan dibandingkan *dye* sintesis seperti tidak beracun atau berbahaya, lebih murah dan ramah lingkungan (Hug, dkk, 2014:224) sehingga berpotensi sebagai bahan zat warna alternatif.

Penelitian telah dilakukan menggunakan zat warna alami. Diantaranya DSSC dengan menggunakan zat warna dari ekstrak *raspberry* dan kembang sepatu dengan tingkat efisiensi 3,04% (Alhamed, 2012:1370).

Senyawa kimia yang berperan pada zat warna alami yaitu antosianin, karotenoid, klorofil dan flavonoid. Antosianin (bahasa Inggris: *anthocyanin*, dari gabungan kata Yunani : *anthos* = "bunga", dan *cyanos* = "biru") adalah pigmen larut air yang secara alami terdapat pada berbagai jenis tumbuhan. Sesuai namanya, pigmen ini memberikan warna pada bunga, buah, dan daun tumbuhan. Pigmen ini telah banyak digunakan sebagai pewarna alami pada berbagai produk dan berbagai aplikasi lainnya.



Antosianin dapat menyerap cahaya dan membentuk sebuah warna pada tanaman. Penggunaan antosianin pada DSSC telah dilakukan misalnya pada buah *strawberry* dimana tegangan yang dihasilkan akan semakin besar apabila konsentrasi antosianin *strawberry* besar. Konsentrasi antosianin *strawberry* 6,4 mg/100 gr diperoleh tegangan 271,3 mV sedangkan konsentrasi 11,5 mg/100 gr menghasilkan tegangan 516,6 mV (Misbachudin, 2013:5).

Penelitian ini menggunakan ekstrak zat warna buah Buni yang berwarna ungu. Kandungan alami yang terdapat dalam buah Buni adalah antosianin, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai *dye* untuk efisiensi DSSC yang lebih baik.

### 2.7.5. Elektroda Lawan

Bagian belakang DSSC ada substrat gelas lain yang dilapisi lapisan tipis. Elektroda lawan merupakan substrat kaca FTO yang dilapisi oleh katalis. Katalis dibuat dari bahan yang berfungsi mempercepat kinetika reaksi kimia dalam proses reduksi triiodid pada substrat FTO. Beberapa bahan dan metode yang dapat digunakan dalam pendeposisian ke FTO. Salah satu bahan yang dapat diseposisikan pada FTO adalah serbuk Platina. Pt (Platina) digunakan sebagai katalis untuk meregenerasi  $I^-$  dan sebagai bahan katoda. Pt (Platina) adalah bahan terbaik secara teknis untuk membuat perangkat yang efisien. Tapi mengingat tingginya biaya, katoda karbon sudah ada pengganti yang ideal, seperti karbon hitam, karbon nanotube dll. Metode yang dapat digunakan dalam pembuatan *counter* elektroda antara lain *sputtering*, *spin coating*, *screen printing* dan *spray pyrolysis*. (Yang Jiao, et al., 2012).

Tahun 2006, kelompok Grätzel menggunakan karbon hitam sebagai bahan elektroda kontra, dan mencapai efisiensi 9,1% yaitu 83% dari yang menggunakan Pt (Platina). Polimer juga bisa digunakan. Film polianilin pada baja tahan karat dengan elektrokimia dasar polimerisasi telah dipublikasi sebagai elektroda *counter* DSSC karena material ini murah dan tidak rapuh (Ye, L., dkk, 2011).



## 2.8. Buah Buni (*Antidesma bunius*)

Buni dalam bahasa ilmiah diberi nama *Antidesma bunius*. Tanaman ini berupa pohon yang tingginya dapat mencapai 15-30 m, garis tengah batang sekitar 20-25 cm, bercabang banyak dan rindang. Bunga jantan dan betina buah Buni masing-masing terletak pada pohon yang berlainan, tersusun dalam bentuk malai. Ukuran bunga betina lebih besar daripada bunga jantan. Warna buah Buni mula-mula hijau terang, setelah dewasa menjadi merah. Buah Buni tersusun dalam tandan, berbentuk bulat atau bulat telur, bergaris tengah sekitar 3 cm (Lembaga Biologi Nasional 1977). Menurut Heyne (1987), buah Buni sedikit lebih besar dari kacang kapri, mula-mula berwarna merah sangat asam, kemudian kehitam-hitaman dan berair dengan rasa manis keasam-asaman.



Gambar 2.7. Buah Buni (Yulistyarini dkk 2000 dan Tohir 1981)

*Antidesma bunius* tumbuh liar di wilayah yang lebih basah di India, dari Himalaya ke selatan dan timur, di Sri Lanka, Myanmar, dan Malaysia. Buni ini mungkin tidak berasal dari Filipina dan Malaysia, tetapi jika demikian halnya, tanaman ini telah diintroduksi pada masa prasejarah, dan telah bernalisasi secara luas, sekurang-kurangnya di Filipina. Buni dibudidayakan secara besar-besaran di Indo-Cina dan di berbagai daerah di Indonesia, terutama di Jawa. Di Malaysia dan Filipina, Buni jarang dibudidayakan (Gruèzo 1997). Di daerah tropik

Buni dapat tumbuh pada ketinggian 0-1000 m dpl. Di Indonesia Buni di propinsi-propinsi bagian timur yang beriklim muson, serta di bagian yang berhawa lembab, dengan demikian Buni selain toleran terhadap



kekeringan juga dapat hidup di daerah lembab (Yulistyarini dkk 2000 dan Tohir 1981).

Kulit dan daun mengandung alkaloid yang memiliki khasiat obat, tetapi dilaporkan juga beracun. Kayu buah Buni berwarna kemerah-merahan dan keras yang kurang bermanfaat namun memiliki mutu yang cukup baik. Di Malaysia jenis dari marga yang sama dipakai sebagai pohon untuk penghutan kembali tanah-tanah gundul. Jenis tersebut menyukai tempat yang terbuka dan dapat tumbuh berkompetisi dengan alang-alang (Lembaga Biologi Nasional 1977).

Klasifikasi buah Buni adalah sebagai berikut:

Kerajaan	: Plantae
Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Ordo	: Malpighiales
Famili	: Phyllanthaceae
Bangsa	: Antidesmeae
Upabangsa	: Antidesminae
Genus	: <i>Antidesma</i>
Spesies	: <i>Antidesma bunius</i>

Gruèzo (1997) telah meneliti kandungan bagian buah yang dapat dimakan merupakan 65-80% dari keseluruhan buah. Asam sitrat merupakan asam organik yang paling menonjol dalam buah Buni. Kandungan gizi untuk setiap 100 g buah Buni dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini:



Tabel 2.3. Kandungan gizi pada 100 gram buah Buni (Sumber: Gruèzo 1997)

Kandungan Gizi	Satuan	Jumlah
Energi	Kj	134
Air	G	90-95
Karbohidrat	G	6,3
Protein	G	0,7
Lemak	G	0,8
Kalsium	mg	3,7-120
Fosfor	mg	22-40
Besi	mg	0,1-0,7
Vitamin A	IU	10
Vitamin C	mg	8

Penanganan pasca panen buah yang tidak dilakukan secara hati-hati akan mengakibatkan terjadinya perubahan fisiologis, fisik, kimiawi, parasitik atau mikrobiologis yang menyebabkan bahan pangan tersebut tidak dapat dimanfaatkan lagi. Cara penanganan pasca panen yang dapat dilakukan adalah dengan cara mengelola buah menjadi suatu olahan pangan. Variasi pengolahan buah Buni pada masyarakat Indonesia masih rendah yaitu hanya dikonsumsi segar atau dikonsumsi sebagai rujak (Muchtadi 2000 dan Lembaga Biologi Nasional 1977).

Pengolahan buah Buni menjadi berbagai olahan diharapkan dapat meningkatkan pemanfaatan buah lokal, mengurangi kehilangan hasil pertanian dan memperpanjang masa simpan (Muchtadi 2000).

Analisis larutan zat warna antosianin dari buah Buni (*Antidesma bunius L*) dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang diukur pada panjang gelombang 400–700 nm dan diperoleh panjang gelombang maksimum sebesar 525 nm dengan absorbansi 0,148.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa zat warna dari buah Buni (*Antidesma bunius L*) menyerap spektrum pada panjang gelombang tampak. Panjang gelombang tampak pada panjang gelombang 525 nm adalah spektrum warna biru-hijau karena itu, zat warna antosianin dari buah Buni (*Antidesma bunius L*) memantulkan warna merah karena menyerap warna biru-hijau dan memantulkan warna merah



keunguan. Warna merah keunguan pada pigmen antosianin ini menunjukkan adanya glukosida yang terikat pada suatu senyawa sianidin. Zat warna utama yang terdapat pada buah Buni adalah delphinidin-3-O-glukosida, sianidin-3-O- glukosida dan sianidin-3-O-rutinosida. Senyawa tersebut merupakan golongan flavonoid dan fenolik. (Pengestuti, Diah Lestari., dkk, 2008)





## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2018 – Mei 2019. Preparasi sampel dan pengujian dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

#### 3.2. Alat dan Bahan

##### 3.2.1. Alat

Peralatan yang digunakan antara lain multimeter, *lux meter*, gelas kimia, cawan petri, mortar alu, *spatula*, timbangan digital, penyaring, aluminium *foil*, botol tetes, *heat gun*, lilin, korek api, lampu LED 8 Watt, *alligator clip*, *ultrasonic cleaner*, *nano sprayer*.

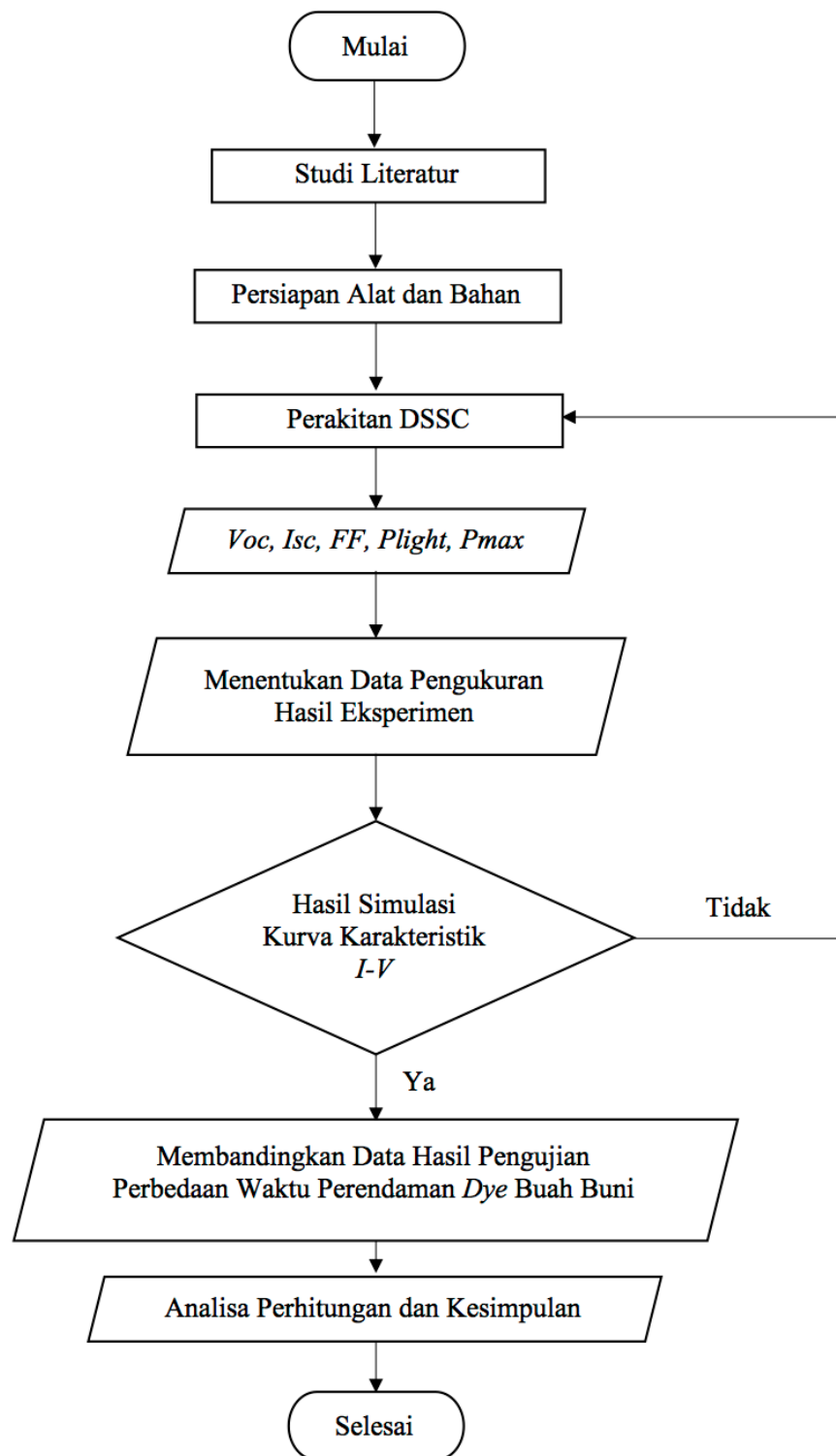
##### 3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Kaca
- b.  $\text{SnCl}_2$
- c.  $\text{TiO}_2$
- d. Asam asetat
- e. Detergen triton X-100
- f. Buah Buni
- g. Elektrolit triiodida ( $\text{I}^3^-$ )
- h. *Aceton*
- i. Aquades
- i. Etanol.



### 3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. *Flow chart* penelitian



### 3.4. Prosedur Penelitian

#### a. Persiapan Substrat

Kaca dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm, dicuci bersih menggunakan deterjen dengan air mengalir, setelah kering merendam kaca menggunakan *acetone* hingga 20 menit, setelah kering kemudian di masukkan pada gelas kimia yang berisi alkohol. *Ultrasonic cleaner* diisi aquades/etanol sampai pada batas yang telah ditentukan. Gelas kimia yang berisi kaca dan alkohol tersebut dimasukkan ke *ultrasonic cleaner*. Proses pembersihan di *setting* dengan waktu 10 menit. Setelah 10 menit, kaca diambil dan dikeringkan dengan menggunakan *heat gun*.

Larutan  $\text{SnCl}_2$  dengan mencampurkan etanol sebagai peralut dengan perbandingan 1:3. Menggunakan 4 gram  $\text{SnCl}_2$  dan 12 ml etanol, diaduk hingga terbentuk larutan homogen. Setelah diperoleh larutan  $\text{SnCl}_2$  dengan etanol, memasukkan larutan tersebut kedalam *nano sprayer* sebagai bahan pengisi.

Menghasilkan konduktif *glass*, terlebih dahulu kaca diberi perlakuan panas *preheating* dengan menggunakan *heat gun* selama 10 menit pada suhu  $500\text{ }^\circ\text{C}$ . Saat kaca masih dalam keadaan panas di semprotkan larutan  $\text{SnCl}_2$  dengan etanol diatas permukaan kaca yang terkena panas tadi dengan menggunakan *nano sprayer* selama 3 detik dengan jarak 5 cm.

Seluruh permukaan kaca sudah terlapiasi larutan  $\text{SnCl}_2$  dengan etanol dilakukan pemanasan kembali dengan menggunakan *heat gun* selama 10 menit pada suhu  $500\text{ }^\circ\text{C}$ . Nilai resistansi dari setiap kaca yang telah terlapiasi oleh  $\text{SnCl}_2$ , kaca yang dipilih untuk dilapiasi pasta semikonduktor  $\text{TiO}_2$  adalah kaca yang mempunyai nilai resistansi yang paling rendah dengan lapisan tipis dan transparan dimaksudkan nilai unjuk kerja dari suatu sel yang maksimal.

#### b. Pembuatan Pasta $\text{TiO}_2$

Pasta  $\text{TiO}_2$  dibuat dengan terlebih dahulu mempersiapkan 6 gram serbuk yang digerus terlebih dahulu dalam mortar alu dan diayak. Mempersiapkan 10 ml asetat, dan (25 ml etanol dicampur dengan 1 gram HEC) di aduk dengan batang mortar (*distirer*) hingga semua HEC larut dengan etanol. Serbuk



TiO<sub>2</sub> di aduk sambil menambahkan asam asetat dan larutan etanol campur HEC secara bertahap, apabila pasta sudah mulai mengering, kembali melakukan penambahan asam asetat dan larutan etanol campur HEC, total waktu pengadukan dilakukan selama 30 menit dan diakhir pengadukan ditambahkan 2 tetes detergen triton X-100, hingga diperoleh Pasta TiO<sub>2</sub> yang diinginkan. TiO<sub>2</sub> yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam botol tetes dan ditutup. Sebelum digunakan, botol berisi TiO<sub>2</sub> tersebut dikocok terlebih dahulu.

### c. Ekstraksi Buah Buni

Daging buah Buni (*Antidesma bunius*) dipotong kecil-kecil, ditimbang seberat 150 gram dan dimasukkan dalam blender, ditambah 15 ml pelarut etanol, pada proses ekstraksi yang dilakukan pada zat pelarut yang digunakan sebagai berikut:

- Dye 100 gram Buah Buni ditambahkan 15 ml etanol.

Pelarut pada *dye* buah Buni yang telah dihaluskan, kemudian disimpan selama 7 hari ditempat gelap dalam wadah tertutup. Setelah 7 hari ekstrak disaring dengan penyaring. Larutan hasil filtrasi dimasukkan ke dalam botol yang sudah dilapisi aluminium *foil* dan disimpan ditempat yang gelap.

### d. Elektrolit Triiodida (I<sup>3-</sup>)

Elektrolit yang digunakan adalah pasangan redoks I<sup>-</sup>/I<sup>3-</sup> dalam pelarut organik yang berfungsi untuk menghasilkan elektro dan melakukan proses sirkulasi dalam sel.

### e. Perakitan DSSC

Prosedur perakitan DSSC adalah :

1. Memilih kaca yang telah dilapisi SnCl<sub>2</sub> yang mempunyai nilai resistansi yang paling rendah dengan lapisan tipis dan transparan.

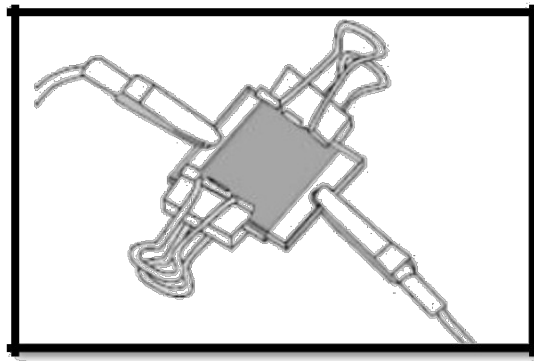
Isi kaca ditempel selotip sebagai pembatas sehingga diperoleh luas kaca untuk dilapisi pasta ukuran 1 cm x 1 cm.



3. Pasta  $\text{TiO}_2$  yang disimpan dalam botol dikocok terlebih dahulu. Kemudian dideposisikan diatas permukaan kaca yang telah dilapisi larutan  $\text{SnCl}_2$  yang sudah disiapkan, dan diratakan dengan *spatula*.
4. Kemudian lapisan didiamkan selama  $\pm 5$  menit.
5. Setelah itu dipanaskan (*sintering*) dengan mengunaka *heat gun* sampai pada temperatur  $500^\circ\text{C}$  selama sekitar 30 menit.
6. Lapisan  $\text{TiO}_2$  yang telah dibuat dengan ukuran luas permukaan 1 cm x 1 cm direndam pada ekstrak *dye* daging buah Buni dalam cawan petri. Perendaman dilakukan dengan variasi waktu selama 12 jam, 24 jam, 36 jam dan 48 jam.
7. Setelah elektroda kerja selesai dibuat, dilakukan penetesan elektrolit pada elektroda kerja. Penempatan elektrolit pada elektroda kerja, yaitu elektroda  $\text{TiO}_2$  yang sudah tersensitisasi oleh *dye* sebelum disusun menjadi lapisan *sandwich*. Penetesan dilakukan sebanyak 3 tetes sampai seluruh permukaan lapisan  $\text{TiO}_2$  terkena elektrolit. Untuk mencegah elektrolit tidak kemana-mana atau tumpah, maka dibuatkan *sealant* pembatas dari plester yang di pasang pada keempat sisi kaca konduktif.
8. Membuat elektroda pembanding dengan membakar pada api dari lilin sampai terbentuk lapisan karbon. Pada 3 tepi kaca di gosok menggunakan *cutton bud* untuk membuat batas.
9. Lapisan DSSC dibuat dengan menyusun secara *offset* lapisan  $\text{TiO}_2$  tersensitisasi *dye* dengan lapisan elektroda karbon.
10. Penyusunan secara *off set* agar mudah dalam pengujian. Kaca konduktif yang telah dilapisi dengan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang merupakan elektroda kerja digabungkan dengan kaca konduktif yang tidak dilapisi dengan  $\text{TiO}_2$  (elektroda lawan). Penggabungan direkatkan dengan menggunakan *paper clip* pada kedua sisinya. Dimaksudkan agar cairan elektrolit tidak tumpah.

Struktur DSSC dibuat seperti gambar berikut:



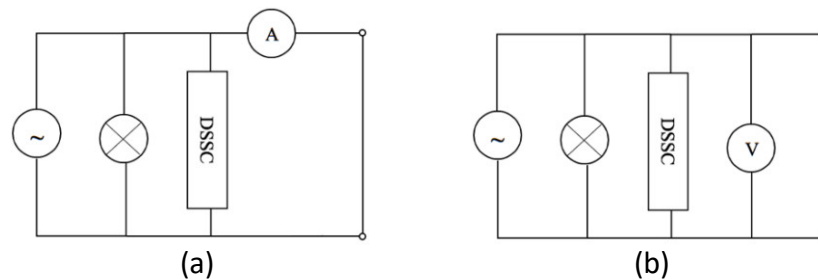


Gambar 3.2. Struktur DSSC pada penelitian ini

11. Melakukan langkah 1 sampai 10 dengan menggunakan *dye* ekstrak daging buah Buni.
12. Lapisan DSSC yang terbentuk dikarakterisasi arus dan tegangannya dengan menggunakan multimeter. Sumber cahaya diarahkan tegak lurus terhadap permukaan sel. Pengujian dilakukan dengan sumber cahaya lampu LED 8 Watt dengan intensitas cahaya berkisar  $0,043 \text{ W/m}^2$  dengan pengukuran menggunakan *lux meter* atau *solar power meter*.

### 3.5. Pengujian karakteristik $I-V$ DSSC

Pengujian DSSC dilakukan dengan mengukur karakteristik  $I-V$  pada dua macam DSSC yang telah dibuat dengan *dye* daging buah Buni dengan cairan perendaman dengan menggunakan etanol. Sel surya dihubungkan dengan kabel multimeter pada kedua sisi, dengan kutub (+) pada elektroda pembanding, sedangkan kutub (-) pada elektroda kerja. Untuk mengukur nilai tegangan maka sel surya dihubungkan secara paralel sedangkan untuk mengukur nilai arus maka sel surya dihubungkan secara seri pada rangkaian listrik sederhana. Skema pengujian ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.3. (a) Skema pengujian  $I_{sc}$  pada DSSC ,(b) Skema Pengujian  $V_{oc}$  pada DSSC.



Data yang dihasilkan diplot dalam grafik rapat arus terhadap tegangan (kurva  $I-V$ ) dan dari kurva  $I-V$  tersebut dapat ditentukan tegangan rangkaian terbuka (*open-circuit voltage*), arus hubungan singkat (*short-circuit current*), tegangan daya maksimum, arus daya maksimum dan *fill factor* (harga yang mendekati konstanta suatu sel *fotovoltaik* dengan perbandingan antara daya maksimum yang didapat beban dengan perkalian  $I_{sc}$  dan  $V_{oc}$ ) serta efisiensi. secara empirik *fill factor* dapat diperoleh melalui persamaan:

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \quad (3.1)$$

Menggunakan Persamaan *Fill factor* diatas, daya maksimum dari sel surya akan dihitung berdasarkan persamaan:

$$P_{max} = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{A} \quad (3.2)$$

Efisiensi konversi ( $\eta$ ) sel surya didefinisikan sebagai persentase daya keluaran optimum terhadap energi cahaya yang digunakan, yang dituliskan sebagai :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{light}} \times 100\% = \frac{V_{oc} \times I_{sc} \times FF}{P_{light} \times A} \times 100\% \quad (3.3)$$



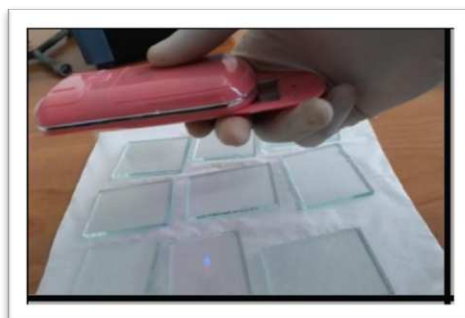
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pelarut *dye* terhadap serapan optik lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang berperan terhadap fotoanoda pada DSSC, mengkaji pengaruh konsentrasi *dye* terhadap kinerja listrik DSSC akibat dari variasi lama perendaman. Analisis dilakukan pada ekstraksi *Dye*, dan karakterisasi arus tegangan (*I-V*) DSSC.

#### 4.1. Pembuatan Kaca Konduktif

Pembuatan kaca konduktif dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Hasanuddin dengan menggunakan teknologi *spray* dilakukan pada temperatur  $500^\circ\text{C}$ . Untuk menghasilkan kaca konduktif, setelah kaca telah dibersihkan dengan menggunakan *ultrasonic cleaner*, terlebih dahulu kaca diberi perlakuan panas *preheating* dengan menggunakan *heat gun* selama 10 menit pada suhu  $500^\circ\text{C}$ . Perlakuan panas *preheating* dilakukan untuk memberikan panas awal pada substrat, agar larutan  $\text{SnCl}_2$  dapat langsung menempel pada kaca, disebabkan karena jika tidak dilakukan *preheating* banyak larutan  $\text{SnCl}_2$  yang tidak menempel pada kaca substrat akibat udara panas yang bertekanan besar keluar dari mulut *heat gun*. Kemudian saat kaca masih dalam keadaan panas disemprotkan larutan  $\text{SnCl}_2$  dengan etanol diatas permukaan kaca yang terkena panas tadi dengan menggunakan *nano sprayer* selama 3 detik dengan jarak 5 cm.



gambar 4.1. Proses penyemprotan larutan  $\text{SnCl}_2$  pada kaca substrat.





Permukaan kaca sudah terlapisi larutan  $\text{SnCl}_2$  dengan etanol dilakukan pemanasan kembali dengan menggunakan *heat gun* selama 10 menit pada suhu  $500^\circ\text{C}$ . Mengukur nilai resistansi dari setiap kaca yang telah terlapisi oleh  $\text{SnCl}_2$ , kaca yang dipilih untuk dilapisi pasta semikonduktor  $\text{TiO}_2$  adalah kaca yang mempunyai nilai resistansi yang paling rendah dengan lapisan tipis dan transparan dimaksudkan nilai unjuk kerja dari suatu sel yang maksimal dimana pada penelitian kali ini di dapatkan nilai resistansi sebesar 10 ohm hingga 40 ohm.



Gambar 4.2. Pengukuran nilai resistansi pada kaca konduktif yang telah di *sintering*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Aliah, 2016) nilai resistansi dari kaca substrat berpengaruh besar pada kinerja dari solar sel, semakin rendah nilai resistansi dari kaca substrat, dengan lapisan yang tipis, dan tampak yang transparan, maka semakin besar efisiensi atau kinerja dari *solar cell* (DSSC).

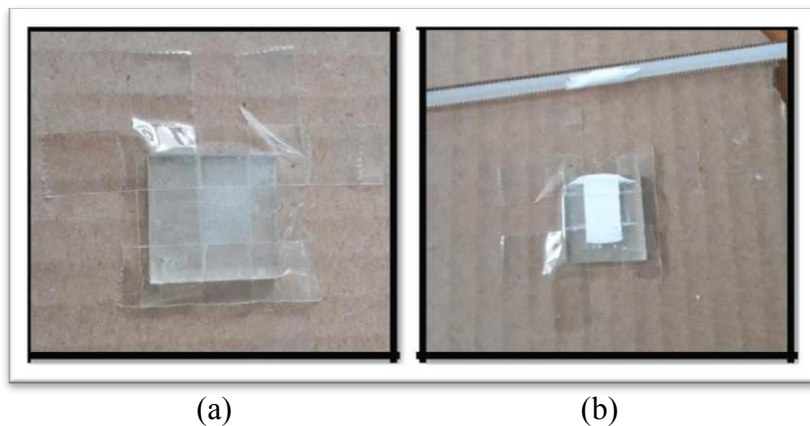
Bila hambatan sama dengan nol, maka didapatkan arus hubungan singkat (*short circuit current*) atau  $I_{sc}$  sebagai fungsi *irradiance* sel surya. Bila hambatannya sangat besar, maka tidak arus yang melewatinya, kondisi ini sama dengan memutus penghubung pada *ampere meter* dan hasil penunjukkan pada pengukur *voltmeter* merupakan tegangan tanpa beban (*open circuit voltage*) atau  $V_{oc}$  (Bowono, 2010).



#### **apisan Elektroda $\text{TiO}_2$**

apisan pasta  $\text{TiO}_2$  dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin as Hasanuddin. Dalam penelitian ini,  $\text{TiO}_2$  yang digunakan berukuran

mikro dengan fase anatase, hal ini disebabkan fase anatase lebih *photoaktif* dari pada fase *rutile* dan *brookite*. Pada pembuatan pasta TiO<sub>2</sub>, perbandingan jumlah TiO<sub>2</sub> dengan material cair (asam asetat, HEC, dan detergen Triton X-100) harus diperhatikan, dengan campuran 6 gram TiO<sub>2</sub>, 25 ml etanol dicampurkan dengan HEC (*Hidroxy Ethyl Cellulose*), sebagai bahan pengental karna bahan *Cellulose* bersifat merangkap air, dan 9 ml asam asetat dan 2 tetes larutan pengganti triton X-100 (detergen), karena jika rasio TiO<sub>2</sub> terlalu tinggi sedangkan material cairnya rendah maka akan menyebabkan pasta TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan terlalu kental dan nantinya bisa membuat lapisan tipis TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan terlalu tebal, sehingga cenderung terkelupas dari permukaan kaca TCO. Sebaliknya jika rasio TiO<sub>2</sub> terlalu kecil dan material cairnya terlalu tinggi, menyebabkan pasta TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan terlalu cair dan nantinya bisa membuat lapisan tipis TiO<sub>2</sub> yang dihasilkan terlalu tipis yang akan berakibat lapisan mudah menguap dan sel surya yang dihasilkan nantinya tidak cukup kuat untuk menyerap sinar matahari.



Gambar 4.3. (a) Pembuatan batas pelapisan TiO<sub>2</sub> ,(b) Proses pelapisan lapisan tipis TiO<sub>2</sub> dengan *spatula*.

Lapisan tersebut dipanaskan dengan menggunakan *heat gun pada* suhu 500°C sekitar 30 menit. Proses pemanasan ini dilakukan dengan tujuan untuk membentuk *porous* (pori-pori) sehingga terbentuk lapisan TiO<sub>2</sub> yang memiliki *surface area* yang besar, juga untuk menghilangkan senyawa organik yang masih tertinggal pori-pori TiO<sub>2</sub> sehingga menjadikan partikel-partikel TiO<sub>2</sub> lebih kuat dan menghantarkan listrik.



### 4.3. Pembuatan Ekstraksi *Dye*

Penelitian ini telah digunakan hasil ekstraksi dari buah Buni. Buah Buni diekstraksi menggunakan pelarut etanol. Buah Buni dihaluskan dan ditimbang sebanyak 150 gram. Kemudian dicampurkan dengan larutan etanol sebanyak 15 ml.



Gambar 4.4. Penimbangan buah Buni sebelum dicampurkan pelarut

Buah Buni yang telah disimpan di tempat gelap selama 7 hari. Ekstrak yang telah dimaserasi kemudian disimpan selama 7 hari dengan tujuan untuk mempercepat degradasi kimia (suatu reaksi perubahan kimia atau peruraian suatu senyawa atau molekul menjadi senyawa atau molekul yang lebih sederhana) senyawa-senyawa yang terkandung didalam ekstrak sehingga hal ini berpengaruh pada aktivitas antioksidan pada ekstrak, kemudian disaring dengan menggunakan penyaring. Ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi. Proses maserasi dilakukan dengan merendam tumbuhan dalam pelarut organik seperti pada etanol.



Gambar 4.5. Proses penyaringan ekstrak dengan menggunakan penyaring.



Metode maserasi bertujuan untuk mengambil zat atau senyawa aktif yang terdapat pada suatu bahan menggunakan pelarut tertentu, dimana dalam mengekstrak zat warna diperlukan metode yang sesuai dengan sifat bahan (sumber pigmen) agar dihasilkan stabilitas pigmen yang tinggi (Bowono., 2010).



Gambar 4.6. Perendaman kaca yang telah dilapisi  $\text{TiO}_2$  pada *dye* buah Buni.

Perendaman, akan terjadi pemecahan dinding sel tempat pigmen seperti antosianoplas dan kloroplas akibat perbedaan tekanan di dalam dan di luar sel tumbuhan. Pigmen yang keluar dari sel kemudian larut dalam pelarut organik. Pigmen yang diekstrak berkaitan erat dengan panjang gelombang sinar matahari yang diserap. *Sensitizer* yang efektif harus menyerap cahaya melebihi rentang dari cahaya tampak hingga daerah inframerah, dan keadaan eksitasinya harus lebih besar dari pita konduksi  $\text{TiO}_2$ . Hasil ekstraksi tersebut didapatkan *dye* buah Buni dengan pelarut etanol.

#### 4.4. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan

Tahapan percobaan yang telah dilakukan di atas, selanjutnya akan dilakukan pengukuran arus dan tegangan setiap sampel DSSC. Sistem sel surya dalam pengujian ini bertindak seperti dioda, yang memiliki sifat menyerahkan arus bolak-balik. Sistem sel surya dikatakan mati, apabila arus ( $I_{sc}$ ) yang dihasilkan sistem saat tegangan ( $V_{oc}$ ) bernilai nol, ini menandakan bahwa sistem tersebut tidak

ran elektron yang bisa menghasilkan arus listrik. Hal ini akibat sambungan luktur tipe- $p$  dan tipe- $n$ , apabila semikonduktor tipe- $p$  disentuh dengan luktur tipe- $n$  maka akan terjadi difusi *hole* dan tipe- $p$  menuju tipe- $n$  dan



difusi elektron dari tipe- $n$  menuju tipe- $p$ . Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe- $n$  dan daerah lebih negatif pada batas tipe- $p$ .

Batas tempat terjadinya perbedaan muatan pada sambungan  $p-n$  disebut daerah *depleksi*. Elektron lebih yang memasuki bahan tipe- $p$  menyebabkan sisi daerah *depleksi* bermuatan negatif, yang cenderung menarik elektron lainnya dari daerah  $n$ . Dalam keadaan setimbang, tumpukan elektron yang cukup banyak akan menghentikan sama sekali aliran elektron. Adanya beda muatan pada daerah *depleksi* mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya *arus drift*. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi, sehingga secara keseluruhan tidak arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan  $p-n$  tersebut. Elektron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. Kehadiran medan listrik pada elektron mengakibatkan elektron bergerak.

Semikonduktor sambungan  $p-n$  disinari maka akan terjadi pelepasan elektron dan *hole* pada semikonduktor tersebut. Lepasnya pembawa muatan tersebut mengakibatkan penambahan kuat medan listrik di daerah *depleksi*. Pada keadaan ini *arus drift* lebih besar daripada arus difusi, sehingga secara keseluruhan dihasilkan arus berupa *arus drift* yaitu arus yang dihasilkan karena muncul medan listrik. Arus inilah yang kemudian dimanfaatkan oleh sel surya sambungan  $p-n$  sebagai arus listrik.

Kinerja sel surya sangat dipengaruhi oleh konstruksi sistem sel surya itu sendiri, seperti elektroda kerja (*working electrode*), elektroda lawan (*counter electrode*) dan larutan elektrolit yang digunakan. Selain itu kinerja alat ukur juga bisa mempengaruhi pengukuran kinerja sel surya.

Proses diawali dengan menghubungkan *probe* positif pada substrat yang terlapis karbon dari *probe* negatif pada substrat yang terlapis  $TiO_2$  dengan menggunakan *jumper*. Arus hubungan singkat ( $I_{sc}$ ), tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), daya maksimum ( $P_{max}$ ), kinerja dapat dihasilkan, pengukuran intensitas menggunakan *lux meter* maupun *power solar meter*. Namun terlebih dahulu penentuan *fill factor*, secara empirik *fill factor* (Persamaan 2.2).



$V_{oc}$  di sini adalah “ $V_{oc}$  terukur ” yang diperoleh dengan menggunakan multimeter. Dengan diketahuinya nilai *Fill Factor (FF)* maka nilai  $P_{Max}$  dari Persamaan 3.2 dapat diketahui, sehingga besar nilai kinerja dari suatu solar sel DSSC dapat diperoleh.

$PLight$  (Persamaan 2.5) yang diperoleh melalui parameter *lux*. *Lux* adalah lumen per satuan. *Lux (luminous flux)* dapat diartikan pula sebagai total dari cahaya tampak yang menunjukkan intensitas pencahayaan pada suatu permukaan tertentu. Cahaya akan tampak semakin redup bila seiring bertambahnya luasan area yang disinari. Cahaya memiliki dualitas sifat sebagai materi dan gelombang. Dengan sendirinya cahaya memiliki energi dalam tingkatan tertentu. Daya (W) yang dikirimkan oleh suatu sumber cahaya berbanding lurus dengan iluminasi,  $E$  (*lux*) dikalikan dengan luasan area ( $m^2$ ) dibagi dengan *luminous efficiency*,  $\eta(lm/W)$ , dapat pula diperoleh dengan membagi intensitas penyinaran dengan  $\eta(lm/W)$  *luminous efficacy*.

Lampu LED 8 watt digunakan sebagai sumber penerangan, diperoleh nilai *lux* sebesar 38793 *lux*, dengan *luminous efficacy* 90 *lumens* per watt. Maka diperoleh nilai  $P$  sebesar 0,0000043 Watt dengan luasan area  $0,0001 m^2$ , sehingga diperoleh  $PLight$  sebesar  $0,043 W/m^2$ .

Output atau keluaran yang bisa ditinjau dari sel surya adalah kinerja atau efisiensi. Kinerja menunjukkan kemampuan sel surya untuk mengubah sel matahari menjadi energi listrik. Kinerja suatu sel surya dapat diketahui dengan meninjau kurva karakteristik  $I-V$  (arus-tegangan).

Kinerja panel surya yang tinggi maka  $P_{max}$  harus besar dengan luas penampang yang seminim mungkin. Kinerja suatu panel surya memang sangat penting, karena semakin tinggi kinerja dari suatu sel surya maka performa suatu panel surya semakin baik. Kinerja sangat berpengaruh kepada Daya Maksimum ( $P_{max}$ ) dan luas penampang suatu panel surya. Tetapi bila menginginkan panel surya berkinerja tinggi dengan mengorbankan luas area yang diperkecil, hal ini

adalah besar dan sangatlah tidak dianjurkan karena nantinya akan garuhi *life time* suatu panel surya.



Karakterisasi kurva  $I-V$  dilakukan untuk melihat sifat listrik DSSC yang telah dibuat. Pengujian yang dilakukan yaitu menggunakan  $I-V$  measurement system atau multimeter dengan sumber cahaya menggunakan lampu LED dengan menggunakan  $lux$  meter untuk mengukur intensitas cahaya yang mengenai *solar cell* (PLight) hingga sebesar intensitas 0,043 Watt/m<sup>2</sup>.

Hasil karakterisasi  $I-V$  dilakukan menggunakan skema pengujian  $I-V$  pada DSSC Gambar 3.3 (a) dan Gambar 3.3 (b) untuk mengetahui sifat listrik dari DSSC yang telah siap di uji. Saat cahaya membawa energi foton mengenai DSSC, akan ada elektron dari *dye* yang mendesak elektron dari TiO<sub>2</sub> tereksitasi dari pita konduksi ke pita valensi dan menuju elektroda kerja sehingga tercipta arus dalam DSSC.

Berikut merupakan hasil pengujian dengan menggunakan hasil ekstraksi buah Buni sebagai *dye* dengan variasi lama perendaman :

Tabel 4.1. Hasil pengujian dengan variasi lama perendaman.

Hasil Pengujian DSSC Ekstraksi Buah Buni		
Waktu Perendaman	$V_{oc}$ (V)	$I_{sc}$ (mA)
12 Jam	0,4	0,009
24 Jam	0,6	0,042
36 Jam	1,3	0,07
48 Jam	1,1	0,052

Kinerja DSSC dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu  $I_{sc}$  (*short circuit current*),  $V_{oc}$  (*open circuit voltage*) dan (A) luas permukaan sel surya yang disinari.  $I_{sc}$  merupakan arus hubung singkat yang terjadi ketika tegangan bisa sama dengan nol atau mendekati nilai nol. Arus ini sama dengan jumlah foton yang di  
 kan menjadi pasangan elektron-hole. Semakin banyak elektron yang  
 i, maka kinerja yang dihasilkan juga semakin besar.  $V_{oc}$  merupakan nilai  
 ketika belum terjadi aliran arus karena semua eksiton terekombinasi



sehingga dalam DSSC tidak mengalir arus.  $FF$  merupakan perbandingan daya maksimum ( $P_{max}$ ) terhadap arus kontak ( $I_{sc}$ ) dan tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ).  $Fill Factor$  bertambah dengan meningkatnya mobilitas elektron. Peningkatan mobilitas elektron akan meningkatkan arus. Jika nilai  $fill factor$  lebih tinggi dari 0,7 atau 70% maka sel tersebut lebih baik. (Aliah, 2016).

Efisiensi dari DSSC pada penelitian kali ini dapat dihitung dengan persamaan 3.3, dan untuk menghitung daya maksimum pada DSSC dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1 diperlukan sejauh mana efisiensi dari DSSC tersebut dapat dilakukan dengan membandingkan DSSC buah Buni tersebut dengan lampu LED 8 Watt. Sedangkan efisiensi daya yang dihasilkan lampu dapat didapatkan menggunakan persamaan 3.3.

Hasil perhitungan yang didapatkan dengan variasi lama perendaman :

Tabel 4.2. Hasil perhitungan dari DSSC Ekstraksi Buah Buni.

Hasil Perhitungan DSSC Ekstraksi Buah Buni				
Waktu Perendaman	$FF$	$P_{max}$ (W/m <sup>2</sup> )	$P_{light}$ (W/m <sup>2</sup> )	Efisiensi (%)
12 Jam	0,20477	0,00073715481	0,043	0,001714
24 Jam	0,20550	0,00604158116	0,043	0,014050
36 Jam	0,25952	0,02361657672	0,043	0,054922
48 Jam	0,23865	0,01365073911	0,043	0,031746

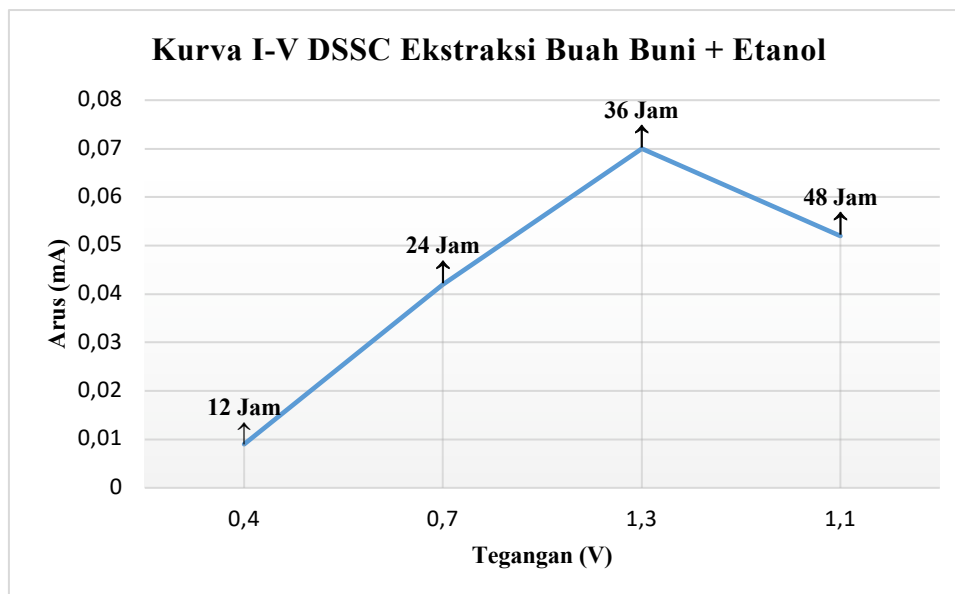
Tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) dengan hasil ekstraksi *dye* buah Buni yang dilarutkan menggunakan etanol 96%, hasil terbaik diperoleh dengan perendaman 36 jam menghasilkan tegangan mencapai 1,3 V dengan kuat arus 0,07 mA dengan kinerja 0,054922%. Arus keluaran sel surya (disebut juga arus foton) masih terbilang baik jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh oleh diperoleh Nurahab (2016). Dengan menggunakan tomat merah sebagai *dye* pada DSSC tegangan 8,6 mV dan arus 5,8 mA dengan  $fill factor$  sebesar 0,2308 dan 0,03892 % .





Kecilnya arus keluaran yang dihasilkan disebabkan oleh resistansi lapisan elektroda semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dan elektrolit yang sangat besar. Dengan nilai resistansi yang sangat besar ini mengakibatkan elektron yang diinjeksi dari *dye* mengalami hambatan yang sangat besar di dalam lapisan  $\text{TiO}_2$ , sehingga jumlah elektron mengalir ke rangkaian luar menjadi kecil. Penyebab lainnya dapat diakibatkan oleh belum optimalnya fungsi *dye* dalam pembangkitan dan injeksi elektron ke lapisan elektroda  $\text{TiO}_2$ .

Absorbansi dipengaruhi oleh kandungan antosianin yang ada dalam larutan dan yang terjerap (teradsorpsi) pada permukaan  $\text{TiO}_2$ , dimana kandungan antosianin sebanding dengan cahaya yang diserap (absorbansi).



Gambar 4.7. Grafik *I-V* hasil pengujian dengan menggunakan *dye* daging buah Buni + etanol.

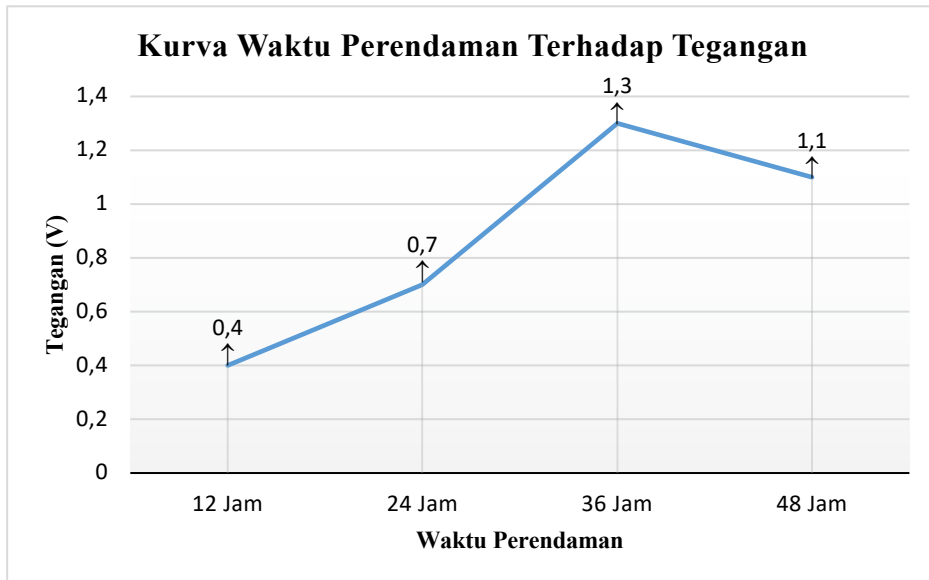
Gambar diatas terlihat bahwa lamanya perendaman dan mempengaruhi nilai absorbansi. Menurut Dwi Susmiyanto dkk (2013:104-105), lama perendaman memiliki pengaruh terhadap tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh DSSC. Dimana semakin lama waktu perendaman, maka semakin tinggi pula tegangan dan kuat arus yang dihasilkan. Grafik diatas menunjukkan bahwa seluruh DSSC

nilai tertinggi pada lama perendaman 36 jam dan DSSC dengan perendaman dalam *dye* selama 48 Jam memiliki nilai kuat arus yang lebih tinggi

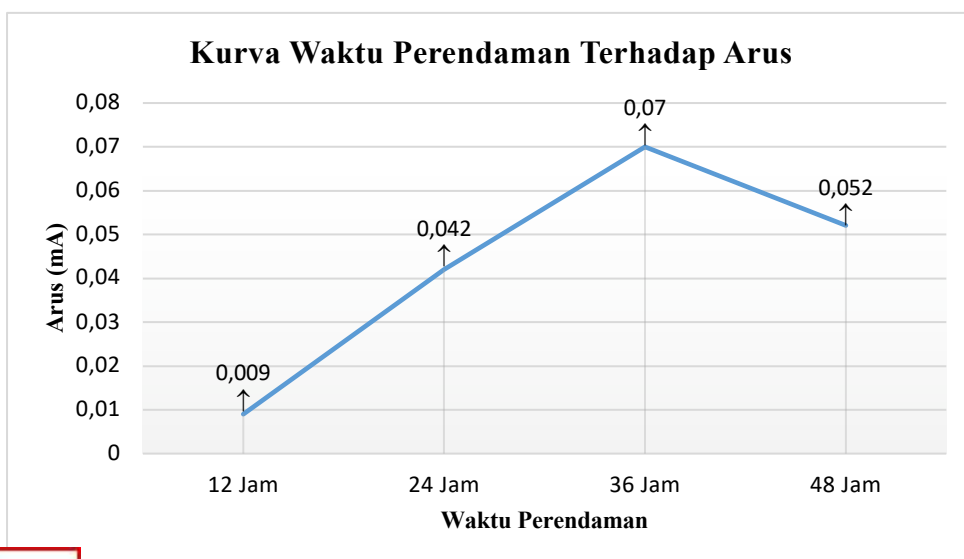


dibandingkan dengan DSSC dengan lama perendaman 24 jam dan lama perendaman 12 jam.

Besar kuat arus paling tinggi yang dapat dihasilkan oleh DSSC 36 jam adalah 0,07 mA. Sedangkan nilai tegangan DSSC 36 jam yang juga merupakan tegangan tertinggi DSSC dengan lama perendaman lainnya yakni sebesar 1,3 V.



Gambar 4.8. Grafik lama perendaman terhadap tegangan dengan menggunakan *dye* daging buah Buni + etanol.



Gambar 4.9. Grafik lama perendaman terhadap arus dengan menggunakan *dye* daging buah Buni + etanol.



Gambar grafik diatas hanya berisi 4 variasi perlakuan lama perendaman, yakni 12 jam, 24 jam, 36 jam, dan 48 jam. Hal ini dikarenakan, setiap semikonduktor memiliki batas maksimum dalam penyerapan ekstraksi *dye*, berdasarkan pada penelitian penelitian sebelumnya, lama perendaman optimal dalam penyerapan TiO<sub>2</sub> adalah 36 jam, di samping itu pada lama perendaman 48 jam TiO<sub>2</sub> sudah terlihat mulai larut dalam *dye* sehingga hasil pengukuran tegangan dan kuat arus terlihat menurun, menyebabkan berkurangnya kemampuan sel surya untuk mengkonversi energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari menjadi energi listrik. Selain itu, penyerapan *dye* yang kurang optimal juga membuat nilai tegangan dan kuat arus yang dihasilkan menjadi cukup rendah.

Lamanya perendaman mempengaruhi nilai absorbansi. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu perendaman semakin tinggi konsentrasi molekul antosianin yang teradsorpsi pada permukaan partikel TiO<sub>2</sub>. Semakin lama perendaman maka warna lapisan semakin gelap (ungu tua). Sedangkan nilai absorbansi dipengaruhi oleh kandungan antosianin yang ada dalam larutan dan yang terserap (terabsorpsi) pada permukaan TiO<sub>2</sub>, dimana kandungan antosianin sebanding dengan cahaya yang diserap.

Baisuni (2016) menyatakan, dengan menggunakan *dye* ekstrak daun jambu biji, terlihat bahwa lama perendaman elektroda kerja pada *dye* mempengaruhi voltase dan arus yang dihasilkan, variasi perendaman 36 jam merupakan lama perendaman yang optimum pada penelitian ini. Hal ini karena *dye* yang mampu diabsorpsi oleh TiO<sub>2</sub> memiliki batas maksimal untuk mengisi rongga-rongga yang terdapat pada TiO<sub>2</sub>. Semakin banyaknya *dye* yang menempel pada lapisan TiO<sub>2</sub> dan energi foton yang diserap semakin banyak dan juga semakin besar daya yang dimiliki oleh prototipe DSSC tersebut. Tetapi apabila terlalu banyak *dye* yang menempel pada lapisan TiO<sub>2</sub> akan menyebabkan lapisan TiO<sub>2</sub> tertutup oleh *dye*, sehingga menghambat laju dari elektron yang tereksitasi oleh *dye* menuju elektroda seperti yang terjadi pada perendaman 48 jam, dimana pada perendaman 48 jam arus dan yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan perendaman 36 jam. Penurunan arus dan tegangan seiring lamanya perendaman juga disebabkan karena besar lapisan TiO<sub>2</sub> terdegradasi oleh larutan *dye*, sehingga TiO<sub>2</sub> berfungsi



untuk menampung elektron dari *dye* kurang optimal karena kemampuan  $\text{TiO}_2$  untuk mengikat *dye* kurang maksimal.

Konsentrasi dari pelarut etanol berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan oleh *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Nilai tegangan tertinggi terdapat pada DSSC yang menggunakan etanol absolut sebagai pelarut pasta. Sedangkan nilai tegangan terendah terdapat pada DSSC dengan aquades sebagai pelarut pastanya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Mori (2010) yang mengatakan, umumnya pelarut organik untuk pasta  $\text{TiO}_2$  dapat membentuk lapisan film yang lebih seragam dibandingkan dengan pasta dari campuran air. Sehingga tegangan yang dihasilkan dengan menggunakan pelarut etanol, lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan pelarut aquades. Pengujian sampel dengan menggunakan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi dari sampel tersebut. Analisa SEM dilakukan pada sampel terbaik dari masing masing pelarut yaitu sampel dengan pelarut etanol absolut tiga kali pelapisan, sampel dengan pelarut 50 % etanol tiga kali pelapisan dan sampel dengan pelarut aquades tiga kali pelapisan. Secara umum partikel  $\text{TiO}_2$  memiliki bentuk spherical. Menurut Shanmugam (2015), partikel  $\text{TiO}_2$  Yang berbentuk Spherical dapat memperbanyak adsorpsi *dye* pada permukaan substrat. Jika adsorpsi molekul *dye* berlangsung dengan baik, maka akan meningkatkan injeksi elektron sehingga efisiensi dari sel surya menjadi lebih baik.

Hasil karakterisasi arus-tegangan sel surya ditunjukkan pada gambar grafik diatas masing-masing untuk sel yang direndam *dye* antosianin selama 12 jam, 24 jam, 36 jam, dan 48 jam. Kedua kurva arus-tegangan yang diperoleh menunjukkan pola yang belum sempurna, dimana kurva  $I-V$  untuk perendaman 12 jam dengan 24 jam hampir sama, meskipun nilai  $V_{oc}$  pada waktu perendaman 24 jam lebih tinggi dibandingkan dengan perendaman 12 jam. Hasil kurva  $I-V$  ini masih lebih baik daripada yang diperoleh oleh (Hidayatul Fitriya, 2017) dengan menggunakan *dye* ekstrak daun tembakau. Hal lain dikarenakan pada sel surya (Hidayatul Fitriya, 2017) sumber cahaya yang digunakan berupa cahaya matahari. Cahaya matahari nya tidak tetap, setiap jam berbeda-beda tergantung cuaca pada hari Sedangkan pada penelitian ini menggunakan sumber cahaya dari sinar lampu LED 8 Watt. Lampu ini biasanya digunakan sebagai sumber cahaya



tampak, lampu ini menghasilkan cahaya tampak dalam daerah panjang gelombang 350-2500 nm. Tampak juga bahwa kurva untuk sampel yang direndam selama 36 jam lebih tinggi daripada yang direndam *dye* selama 12 jam, dan 24 jam dan 48 jam, hal ini mengindikasikan bahwa kinerja sel dengan perendaman *dye* lebih lama memiliki performa lebih baik tetapi daya optimum yang di hasilkan terdapat pada perendaman 36 jam.

Nilai arus keluaran DSSC disebabkan oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel dan ketebalan pasta  $\text{TiO}_2$  yang dideposisikan pada kaca yang telah dilapisi  $\text{SnCl}_2$ , lama perendaman pada *dye* dan penggunaan elektrolit cair (Kumara M. W., 2012). Ketebalan lapisan yang relatif besar memperbesar hambatan internal sehingga mengurangi mobilitas muatan yang melewati sel. Tegangan pada sel surya berbasis DSSC ini dihasilkan dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks, dan arus yang dihasilkan berhubungan dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi, intensitas penyinaran serta *dye* yang digunakan sebagai *sensitizer* (Cari, 2013).

Elektron dalam sistem sel surya dihasilkan dari elektron zat warna yang tereksitasi karena mendapat cahaya pada daerah cahaya tampak, kemudian akan diinjeksi ke dalam pita konduksi semikonduktor  $\text{TiO}_2$ . Terjadinya injeksi elektron zat warna kedalam pita konduksi  $\text{TiO}_2$  dipermudah dengan adanya interkasi/ikatan antara zat warna (*dye*) dan  $\text{TiO}_2$ , jika elektron lebih sulit mengalami injeksi menyebabkan terjadi aliran elektron yang kemudian menghasilkan sistem sel surya yang mati. Sistem sel surya juga bisa mati karena terjadinya *short* pada sistem akibat kontak langsung elektroda kerja (*working electrode*) dan elektroda lawan (*counter electrode*). Hal ini bisa terjadi jika larutan elektrolit tidak terdistribusi secara merata pada seluruh permukaan kontak elektroda kerja – elektroda lawan. Oleh karena itu penggunaan *sealant* (pembatas atau lapisan pelindung) dari bahan polimer berfungsi untuk menahan elektrolit supaya tidak kemana-mana.

Nilai keluaran tegangan dan arus yang diperoleh dengan menggunakan sumber lampu LED 8 Watt terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan sudah cukup stabil namun arus yang dihasilkan kurang optimal.



Pengujian performa dari DSSC pada sampel perendaman 36 jam menggunakan lampu LED 8 Watt dengan tegangan *input* lampu yang berubah-ubah dari 220 Volt hingga 0 Volt. Pengukuran performa DSSC kali ini menggunakan skema rangkaian ditunjukkan pada Gambar 3.3. (a) dan Gambar 3.3. (b).

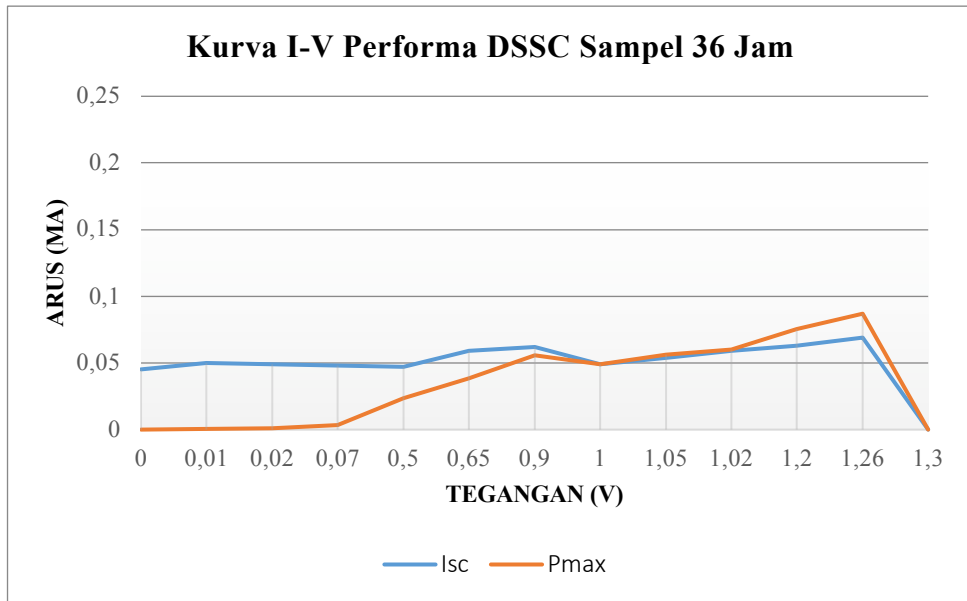
Berikut merupakan hasil pengujian performa DSSC pada sampel perendaman 36 jam dengan menggunakan hasil ekstraksi buah Buni sebagai *dye* dengan variasi besar tegangan *input* pada lampu :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Performa DSSC pada sampel 36 Jam

Pengujian Performa DSSC Sampel 36 Jam			
Vin (V)	Voc (V)	Isc (mA)	Pmax (W)
0	0	0,045	0
20	0,01	0,05	0,0005
40	0,02	0,049	0,00098
60	0,07	0,048	0,00336
80	0,5	0,047	0,0235
100	0,65	0,059	0,03835
120	0,9	0,0619	0,05571
140	1	0,0492	0,0492
160	1,05	0,0537	0,056385
180	1,02	0,0591	0,060282
200	1,2	0,0629	0,07548
220	1,26	0,069	0,08694

Pengujian performa DSSC dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu *Isc* (*short circuit current*), *Voc* (*open circuit voltage*) dan (A) luas permukaan sel surya yang disinari. Pengujian performa DSSC kali ini menggunakan lampu LED 8 Watt sebagai sumber penerangan, dimana besaran nilai tegangan input pada sumber lampu kali ini diubah-ubah dari 220 volt hingga 0 volt.





Gambar 4.10. Grafik  $I-V$  hasil pengujian performa DSSC pada sampel perendaman 36 jam.

Gambar grafik diatas terlihat bahwa tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) yang di hasilkan berkurang seiring dengan pengurangan nilai tegangan *input* pada sumber lampu, dimana lampu sebagai pengganti cahaya matahari untuk sumber penerangan yang di terima DSSC. Hal ini disebabkan karena besaran lux yang diterima pada DSSC juga semakin berkurang. Arus *short circuit* terbaca pada DSSC ketika kondisi ruangan gelap (lampu mati) pada saat sumber tegangan lampu sebesar 20 volt, tetapi dikarenakan DSSC menyerap cahaya sehingga arusnya masih ada yang terbaca.

Intensitas sangat mempengaruhi daya keluaran dari DSSC. Semakin besar intensitas, semakin banyak jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi, sehingga semakin besar arus. Selain itu, rendahnya arus keluaran ini juga disebabkan oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel dan ketebalan pasta  $TiO_2$  yang dideposisikan pada kaca, lama perendaman pada *dye*, penggunaan elektrolit cair. Dalam penelitian ini digunakan elektrolit cair, dimana elektrolit tersebut semakin lama digunakan akan semakin habis karena menguap, dan menghasilkan

transfer elektron yang kurang maksimal. Sesuai dengan fungsi dari elektrolit transfer elektron / muatan, jika elektrolit habis atau bahkan tidak ada, maka transfer elektron akan berkurang / tidak ada.



Ukuran  $\text{TiO}_2$  yang digunakan dalam penelitian ini adalah berukuran mikro. Sebenarnya, yang paling utama dalam pembuatan DSSC adalah  $\text{TiO}_2$  dengan fasa anatase (seperti yang telah digunakan dalam penelitian ini) karena memiliki *bandgap* yang lebar. Pada umumnya, yang digunakan dalam pembuatan DSSC adalah  $\text{TiO}_2$  berfasa anatase dengan ukuran nano. Dimana ukuran nano ini memiliki pengaruh terhadap jumlah *dye* yang terserap.

Ketebalan lapisan yang tidak seragam sehingga berpengaruh pada terhambatnya proses keluarnya elektron. Dalam DSSC tegangan yang timbul karena adanya perbedaan tingkat energi konduksi elektroda  $\text{TiO}_2$  dengan potensial elektrokimia dan arus yang timbul dipengaruhi oleh (intensitas) foton yang diserap *dye* dan akan di transfer oleh elektrolit. Proses akan terjadi secara kontinyu. Proses tersebut merupakan proses konversi energi dari foton menjadi listrik.

#### 4.5. Analisis DSSC yang telah dibuat

Berdasarkan hasil percobaan dan data-data yang telah diperoleh, terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan sudah cukup baik dan stabil namun arus yang dihasilkan kurang optimal. Hal ini disebabkan karena resistansi DSSC yang masih sangat besar, sehingga mengakibatkan elektron yang di injeksikan dari *dye* mengalami hambatan, sehingga jumlah elektron yang mengalir menjadi kecil, belum optimalnya fungsi *dye* dalam pembangkitan dan injeksi elektron ke lapisan elektroda serta sumber cahaya yang digunakan. Intensitas sangat mempengaruhi daya keluaran dari DSSC. Semakin besar intensitas, semakin banyak jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi, sehingga semakin besar arus yang dihasilkan. Selain itu, rendahnya arus keluaran ini juga disebabkan oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel dan ketebalan pasta  $\text{TiO}_2$  yang dideposisikan pada kaca ITO, lama perendaman pada *dye*, dan penggunaan elektrolit.

Tegangan DSSC yang dihasilkan berasal dari perbedaan tingkat energi elektroda semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dengan potensial elektrokimia pasangan redoks, sedangkan arus yang dihasilkan terkait dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran





serta kerja *dye* yang digunakan. Berdasarkan hasil percobaan dan data-data yang telah diperoleh, terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan sudah cukup baik dan stabil namun arus yang dihasilkan kurang optimal. Hal ini disebabkan karena resistansi DSSC yang masih sangat besar, sehingga mengakibatkan elektron yang di injeksikan dari *dye* mengalami hambatan, sehingga jumlah elektron yang mengalir menjadi kecil, belum optimalnya fungsi *dye* dalam pembangkitan dan injeksi elektron ke lapisan elektroda serta sumber cahaya yang digunakan juga berpengaruh. Intensitas sangat mempengaruhi daya keluaran dari DSSC. Semakin besar intensitas, semakin banyak jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi, sehingga semakin besar arus yang dihasilkan. Selain itu, kurang stabilnya tegangan keluaran ini juga disebabkan oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel dan ketebalan pasta TiO<sub>2</sub> yang dideposisikan pada kaca konduktif, lama perendaman pada *dye*, dan penggunaan elektrolit.

Kestabilan nilai arus yang dihasilkan dari DSSC yang telah dibuat masih rendah, sehingga perhitungan nilai *fill factor* dan daya maksimum dari DSSC yang telah dibuat tidak dapat dilakukan. Pengujian DSSC ini bukan tanpa hambatan, perakitan bentuk dan konstruksi dari DSSC yang masih sederhana mengakibatkan cairan elektrolit yang mudah menguap, cepat habis, kering dan mengkristal sehingga pengukuran harus dilakukan dengan cepat dan terus memberikan cairan elektrolit secara berulang-ulang pada DSSC saat pengujian berlangsung. Selain itu penggunaan kaca substrat yang dilapisi SnCl<sub>2</sub> sebagai pengganti kaca konduktif ITO menghasilkan nilai hambatan yang lebih tinggi dari kaca ITO murni dan warna kaca substrat yang dilapisi SnCl<sub>2</sub> yang buram/gelap membuat DSSC menjadi tidak transparan.

Pelapisan TiO<sub>2</sub> juga masih sangat sederhana dengan menggunakan metode *doctor blade* manual membuat TiO<sub>2</sub> mudah terkelupas saat direndam dalam *dye* dalam waktu yang cukup lama. Oleh karena itu, DSSC dengan ekstrak buah Buni masih memerlukan pengembangan penelitian lebih lanjut terutama untuk meningkatkan nilai efisiensi dan menstabilkan nilai energi listrik yang dihasilkan.



## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Simpulan

1. Unjuk kerja dari DSSC dengan menggunakan hasil ekstraksi buah Buni (*Antidesma bunius*) sebagai *dye*, hasil yang diperoleh pada perendaman 36 jam dengan arus 0,07 mA dan tegangan 1,3 V. Besar nilai arus dan tegangan yang didapatkan pada perendaman 36 jam terbilang cukup optimal dibandingkan perendaman selama 48 jam yang lebih kecil.
2. Unjuk kerja dari DSSC akibat dari variasi lama perendaman pada *dye* didapatkan 4 hasil pengujian, yaitu :
  - a. Pertama hasil terbaik diperoleh dengan perendaman 36 jam, didapatkan tegangan sebesar 1,3 volt dan arus sebesar 0,07 mA.
  - b. Kedua hasil yang diperoleh dengan perendaman 48 jam, didapatkan tegangan sebesar 1,1 volt dan arus sebesar 0,052 mA.
  - c. Ketiga hasil yang diperoleh dengan perendaman 24 jam, didapatkan tegangan sebesar 0,7 volt dan arus sebesar 0,042 mA.
  - d. Keempat hasil yang diperoleh dengan perendaman 12 jam, didapatkan tegangan sebesar 0,4 volt dan arus sebesar 0,009 mA.
3. Kenaikan tegangan yang cukup tinggi dari 0,4 volt hingga 1,3 volt dimana kenaikan tegangan ini seiring dengan lamanya waktu perendaman, tetapi pada arus yang dihasilkan oleh DSSC buah Buni ini terbilang kecil yaitu 0,009 mA pada 12 jam perendaman, 0,042 mA pada 24 jam perendaman, 0,048 mA pada 48 jam perendaman dan yang tertinggi hanya 0,07 mA pada 36 jam perendaman. Kecilnya arus yang dihasilkan disebabkan karena resistansi pasta  $\text{TiO}_2$  yang digunakan sangatlah besar sehingga menyebabkan nilai arus yang dihasilkan sangat kecil.



4. Daya yang dihasilkan oleh DSSC masih terbilang kecil sehingga masih kurang ekonomis dalam pembuatannya dikarenakan pada saat pembuatan memerlukan alat dengan daya yang cukup besar.
5. Performa DSSC yang dihasilkan cukup baik dimana pada saat kondisi gelap (lampu sebagai sumber cahaya pengganti matahari telah mati), DSSC masih menghasilkan arus *short circuit* tetapi DSSC sudah tidak menghasilkan tegangan *open circuit*.

## 5.2. Saran

1. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan  $\text{TiO}_2$  yang berukuran nano.
2. Menggunakan metode lain dalam pelapisan  $\text{TiO}_2$  agar lapisan yang dihasilkan ketebalannya bisa merata.
3. Menggunakan metode lain dalam penyusunan *sandwich* DSSC (tidak menggunakan klip binder) agar elektrolit yang diteteskan tidak mudah keluar, sehingga elektrolit tidak cepat habis.
4. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya melakukan variasi yang lebih menarik lagi sehingga nantinya dapat diketahui formula atau parameter optimal yang baik digunakan dalam pembuatan DSSC berikutnya, diantaranya seperti variasi pelarut, suhu dan lama waktu *sintering* pasta semikonduktor, preparasi kaca konduktif, metode lain dalam proses pelapisan pasta semikonduktor pada kaca konduktif, dan variasi variasi pendukung lainnya.
5. Pemilihan buah dan tingkat kematangan buah yang akan digunakan sebagai *dye*, karena pada penelitian ini studi dengan menggunakan hasil ekstraksi buah Buni tidak matang dengan pelarut etanol, tidak dilakukan pengujian arus dan voltage karena pada saat perendaman kaca substrat yang telah dilapisi semikonduktor  $\text{TiO}_2$ , baik itu pada perendaman 12 jam, 24 jam, 36 jam maupun 48 jam, *dye* tidak menempel pada substrat sama sekali, salah satu hal yang menyebabkan hal tersebut adalah kurang antosianin yang



keluarkan buah Buni tidak matang sehingga tidak ada *dye* yang menempel pada lapisan semikonduktor TiO<sub>2</sub>.

6. Pemilihan ketebalan kaca yang akan digunakan pada substrak juga perlu diperhatikan, karena pada penelitian kali ini juga mencoba kaca dengan ukuran dan ketebalan yang berbeda yang menyebabkan kaca retak pada kaca ukuran 3 cm x 3 cm dengan ketebalan yang cukup tebal.
7. Menggunakan elektrolit gel atau padatan, agar tidak mudah menguap sehingga arus yang dihasilkan lebih besar, stabil dan dapat menghasilkan arus dan tegangan terus-menerus.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alhamed, Mounir, dkk. “*Studying Of Natural Dyes Properties As Photo-Sensitizer For Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)*”. *Journal of Electron Devices* 16 (2012): h. 1370-1383.
- Aliah Hasniah, 2016, “Potensi Aplikasi Bayam Merah Dan Jahe Merah Sebagai Dye Pada Sel Surya Berbasis Dye (Dssc)”, Skripsi, Lembaga Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat Uin Sunan Gunung Djati, Bandung.
- Baisuni, Nur Muhammad, 2016, “Pengaruh Variasi Perendaman Elektroda Kerja Terhadap Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Menggunakan Ekstrak Daun Jambu Biji (*Psidium Guajava L.*) Sebagai Dye Sensitizer”, skripsi, Teknik Mesin Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- BPPT Indonesia, 2016, “*Outlook Energi Indonesia 2016*”, ISBN, Jakarta.
- Buwono, M. C. (2010). *Arus Sel Surya Dengan Rekonfigurasi Seri-Paralel Arus Sel Surya Dengan Rekonfigurasi Seri-Paralel*. Universitas Indonesia.
- Cari, Nurussanah, Boisandi, Anita, Supriyanto, A., & Suryana, R. (2013). Pengaruh Konsentrasi Poly (3-hexylthiophene) (P3HT) terhadap Peningkatan Efisiensi Dye Sensitized Solar Cells. Seminar Nasional Lontar Physics Forum 2, 1331-1337.
- Fitriah, Hidayatul,Dkk, 2017, “Pengaruh Lama Perendaman Tio<sub>2</sub> Dalam Dye Sensitizer Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana Tabacum L*) Terhadap Efisiensi Dye Sensitizer Solar Cell (Dssc)” Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Jember.
- Gratzel, M. 2001, “Photoelectrochemical Cells”. *Nature* 414: h. 338-344.
- Gruèzo. 1997. *Buah-Buahan yang Dapat Dimakan*. Editor: Verheij E, W. M. Coronel R. E. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama. 568hal.
- Helme J., 2002, “*Dye sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : Technical Review And Preliminary Test*”, Master Thesis of Helsinki University of Technology.



- Hardian, Arie, dkk.2010, “*Sintesis dan Karakterisasi Kristal Cair Ionik Berbasis Garam Fatty Imidazolinium sebagai Elektrolit Redoks pada Sel Surya Terensitisasi Zat Warna*”. *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia* 1, no. 1 h: 7.
- Heyne, K. 1987. *Tumbuhan Berguna Indonesia*. Jakarta: Badan Litbang Kehutanan. 1247hal.
- Hug, Hubert, dkk.2014, “*Biophotovoltaics: Natural Pigments In Dye-Sensitized Solar Cells*”. *Applied Energy* 115 : 216-225.
- Ihsan. 2013. *Peningkatan Suhu Modul dan Daya Keluaran Panel Surya dengan Menggunakan reflektor*. *Jurnal Teknosains*, volume 7 nomer 2, hlm: 275-283.
- Kumara, & Sukma, M. W. (2012). *Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell(DSSC) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus Hybridus L.) Sebagai Dye Sensitizer Dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya Pada DSSC*. Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lembaga Biologi Nasional. 1977. *Buah-Buahan*. Bogor: LIPI. 133hal.
- Marchand C,. 2004. *Characterization of TiO<sub>2</sub> Thin Films and multilayer Antireflective*. Jobin Yvon Horiba, France.
- Misbachudin, Mochamad Choirul.2013,“*Studi Awal Ekstrak Antosianin Strawberry Sebagai Fotosensitizer dalam Pembuatan Protipe Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)*”. *Lontar Physics Forum* 1350 : h. 1-5.
- Muchtadi, D. 2000. *Sayur-sayuran Sumber Serat dan Antioksidan: Mencegah Penyakit Degeneratif*. Bogor: Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Nuryadi, Ratno. 2011,“*Efek Adsorpsi Dye Ke Dalam Lapisan TiO<sub>2</sub> Dengan Metode Elektroforesis : DSSC Berbasis Lapisan TiO<sub>2</sub> Terbuat Dengan Metode Slip Casting dan Metode Elektroforesis*”. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* 8, no. 1: h. 35-40.
- O’regan dan Gratzel, M. 1991. “*A Low-Cost, High Efficiency Solar Cell Based On e-Sensitized Colloidal Tio<sub>2</sub> Films*”. *Nature* Vol. 353. Issue 6346, 737.
- A Mutua, Kindt R, Jamnadass R, S Anthony. 2009, *Agroforestry database: a tree reference and selection guide version*.



- Pengestuti, Diah Lestari., dkk. 2008, “Pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan *Sensitizer* Antosianin dari Buah Buni (*Antidesma bunius L*)”. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, no. 11: h. 70-77.
- Prasetyo, Yoga Hari, dkk. 2014, “Studi Variasi Elektrolit Terhadap Kinerja Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)”. *Jurnal Fisika Indonesia* 53, no. 18: h. 47-49.
- Saehana, S. 2012. *Studi Pengembangan Sel Surya Berbahan Dasar TiO<sub>2</sub> menggunakan metode elektroplating*, Disertasi, Jurusan Fisika FMIPA ITB.
- Setiawan, dkk. 2015. *Sel Surya Berbasis Pewarna Alami dan Potensi Pengembangannya di Indonesia sebagai Sumber Energi Alternatif yang Ramah Lingkungan*. Bali: UU.
- Smestad, G.P., dan Gratzel, M. 1998, “*Demonstrating electron Transfer and Nanotechnology : A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline energy Converter*”, *J.Chem. Educ.*, 75, 752-756.
- Susmiyanto, D., Wibowo, N.A. dan Sutresno, A.. 2013. Fabrikasi Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SPPT) dengan Memanfaatkan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas L*). Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains VIII UKSW. Vol. 4 (1) : 104-105.
- Tohir, K. A. 1981. *Bercocok Tanam Pohon Buah-Buahan*. Jakarta: Prannya Paramita. 328hal.
- Wang, S. Y. 2007. *Functional Food Ingredients and Nutraceuticals: Processing Technologies*. Editor: Shi J. United States: CRC Press. 427hal.
- West Keld. 2003. “*Solar Cell Beyond Silocon*”. Riso National Laboratory.
- Yang Jiao, dkk,2012, “*Dye Sensitized Solar Cells Principles and New Design*“, *Beijing National Laboratory for Condensed Matter Physics and Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing China*.
- Ye, L., Tian, L., Peng, T., & Zan, L,2011, “*Synthesis Of Highly Symmetrical Bioi Single-Crystal Nanosheets And Their {001} Facet-Dependent Photoactivity*”, *Journal of Materials Chemistry* 21, 12479-12484.

rini, T, Ariyanti E. E., Yulia N. D. 2000. Jenis-jenis tanaman buah yang bermanfaat untuk usaha konservasi lahan kering. Prosiding Seminar Hari



Cinta Puspa dan Satwa Nasional. Kebun Raya Bogor. 05 November 2000.  
katalog.pdii.lipi.go.id [18 Juni 2010].





## LAMPIRAN

### Proses pembuatan kaca konduktif



L.1. Kaca biasa yang berukuran 3 cm x 3 cm dan 2 cm x 2 cm yang telah di rendam menggunakan cairan *acetone* selama 20 menit.



L.2. Perendaman kaca pada *ultrasonic cleaner* selama 10 menit mensterilkan kaca.

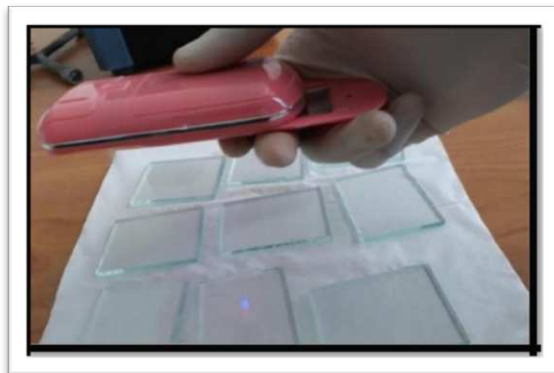


kemudian dikeringkan menggunakan *heatgun* bersuhu 500°C selama 10 menit.





L.4. Proses melarutkan  $\text{SnCl}_2$  dengan etanol sebagai larutan yang digunakan sebagai lapisan kaca agar menjadi kaca konduktif.



L.5. Proses penyemprotan larutan  $\text{SnCl}_2$  + etanol pada kaca dengan menggunakan *nano sprayer* secara merata.



6. Pengukuran resistansi pada kaca konduktif setelah melalui proses penyemprotan larutan  $\text{SnCl}_2$  dan pemanasan  $500^\circ\text{C}$  selama 10 menit.



### Proses Pembuatan Pasta



L.7. Proses pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  dengan mencampurkan 1 gr HEC + 25 ml etanol dan 6 gr  $\text{TiO}_2$  + 9 ml asam asetat.

### Proses Pembuatan *Dye* Buah Buni



L.8. Buah Buni matang.





L.9. Buah Buni belum matang.



L.10. Buah Buni yang sudah dihaluskan sebanyak 150 gr.



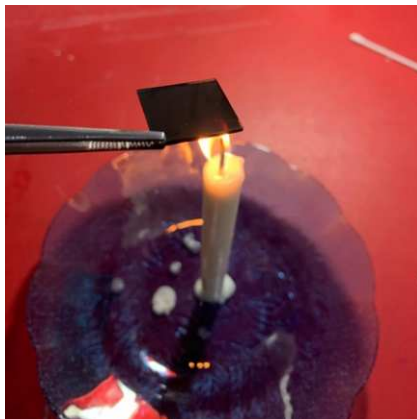
L.11. Proses penyaringan buah sebanyak 150 gr.



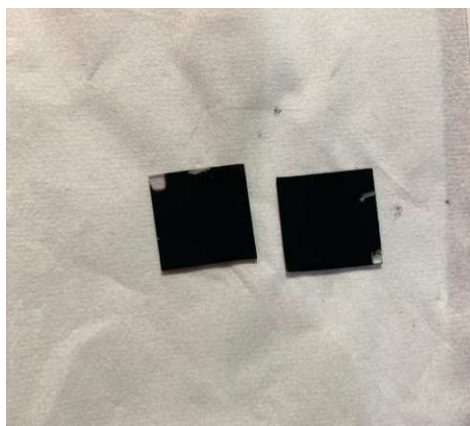


L.12. Buah Buni yang telah disaring kemudian ditambahkan dengan etanol sebanyak 15 ml dan kemudian disimpan selama 7 hari di ruangan yang gelap.

### Proses Pembuatan Elektroda Lawan



L.13. Proses pelapisan karbon pada kaca konduktif sebagai elektroda lawan pada DSSC.



L.14. Kaca konduktif yang telah dilapisi karbon.



### Proses Pelapisan Pasta TiO<sub>2</sub> pada Kaca Konduktif

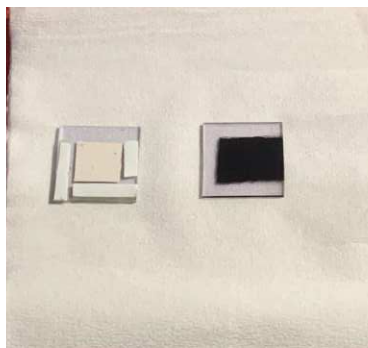


L.15. Proses pelapisan kaca konduktif dengan pasta TiO<sub>2</sub> dengan menggunakan metode *doctor blade*.

### Proses Perendama Kaca Konduktif pada Ekstrak *Dye* Buah Buni



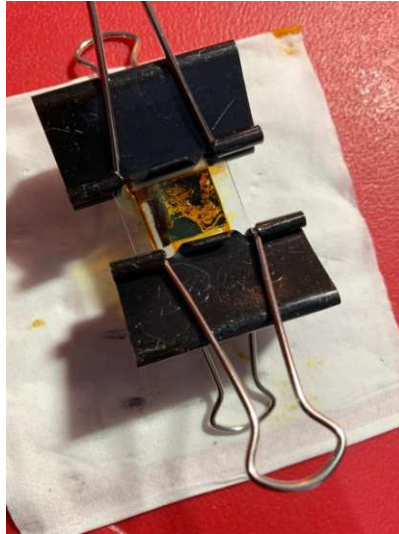
L.16. Proses perendama kaca konduktif yang telah dilapisi pasta TiO<sub>2</sub> dengan variasi lama waktu yang telah ditentukan.



L.17. Kaca konduktif yang telah direndam dan kaca konduktif yang menggunakan elektroda karbon yang siap dirakit.



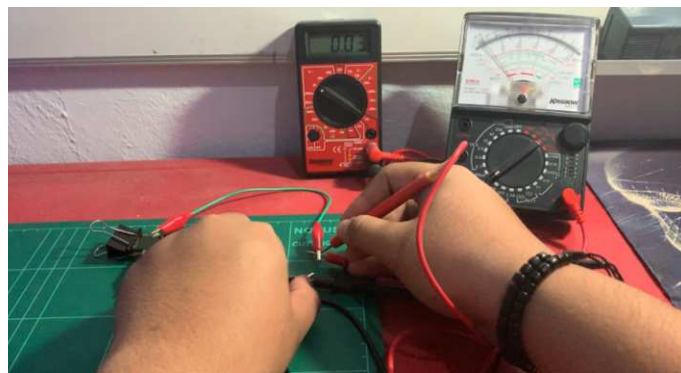
## Peraktitan DSSC



L.18. DSSC yang telah dirakit dan siap untuk diukur arus *short circuit* dan tegangan *open circuit*.



L.19. Pengukuran Voc (Tegangan *Open Circuit*) pada DSSC yang telah dirakit.



. Pengukuran Isc (Arus *Short Circuit*) pada DSSC yang telah dirakit.

