



**PENGARUH LAMA PERENDAMAN  $\text{TiO}_2$  DALAM *DYE SENSITIZER*  
EKSTRAK DAUN TEMBAKAU (*Nicotiana tabacum L*) TERHADAP  
EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Hidayatul Fitriya  
NIM 120210102037**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
JEMBER  
2016**



**PENGARUH LAMA PERENDAMAN  $\text{TiO}_2$  DALAM *DYE SENSITIZER*  
EKSTRAK DAUN TEMBAKAU (*Nicotiana tabacum L*) TERHADAP  
EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

**SKRIPSI**

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

Oleh:

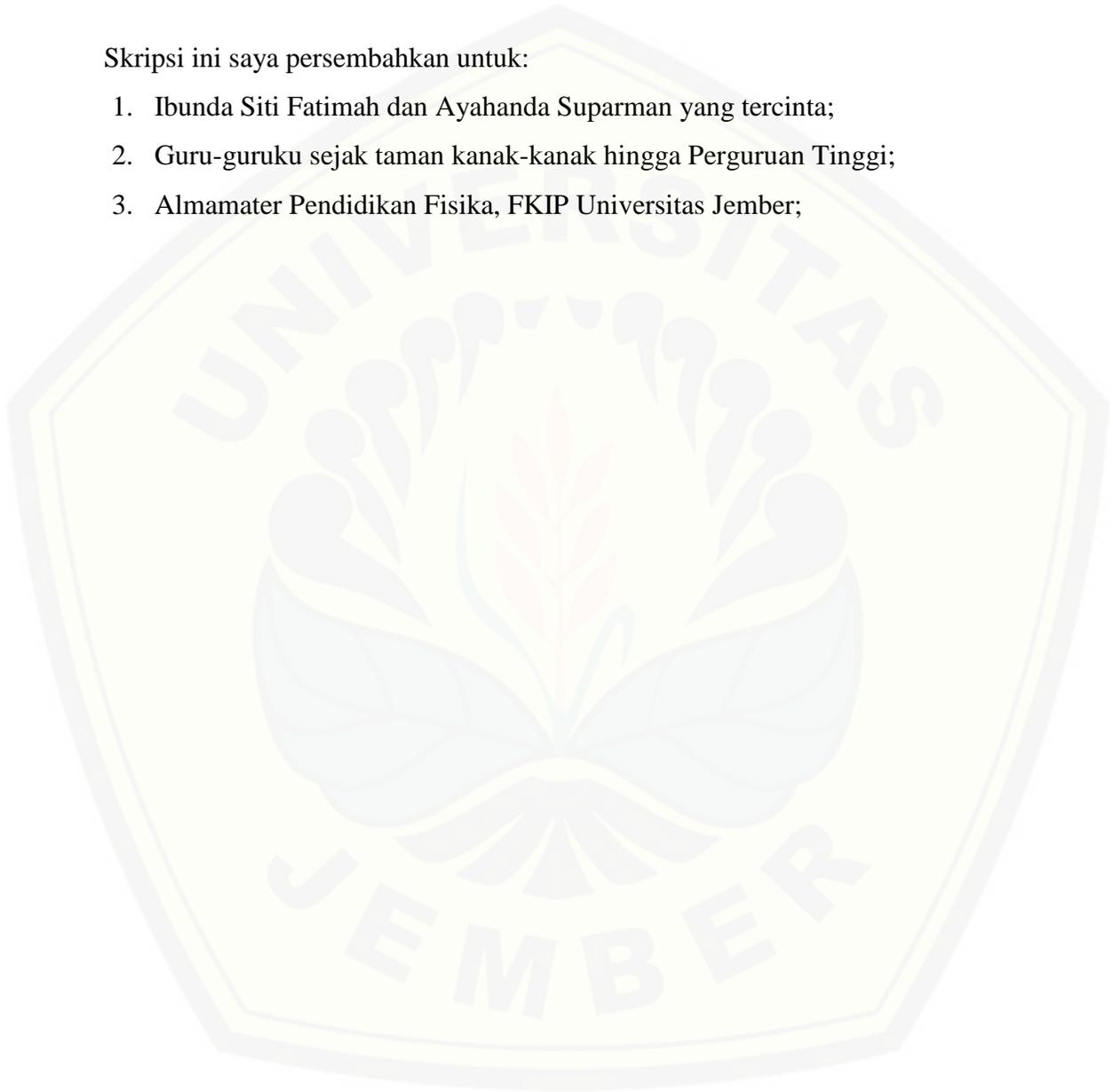
**Hidayatul Fitriya**  
**NIM 120210102037**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
JEMBER  
2016**

**PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Siti Fatimah dan Ayahanda Suparman yang tercinta;
2. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak hingga Perguruan Tinggi;
3. Almamater Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Jember;



**MOTO**

“Dan Allah tidak menjadikan pemberian bala bantuan itu melainkan sebagai kabar gembira bagi (kemenangan) mu, dan agar tentram hatimu karenanya. Dan kemenanganmu itu hanyalah dari Allah Yang Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana”  
(terjemahan Surat Ali Imron ayat 126)<sup>\*)</sup>

---

<sup>\*)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT. Kumudasmoro Grafindo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Hidayatul Fitriya

NIM : 120210102037

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Lama Perendaman  $\text{TiO}_2$  Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 29 Agustus 2016  
Yang menyatakan,

(Hidayatul Fitriya)  
NIM 120210102037

**SKRIPSI**

**PENGARUH LAMA PERENDAMAN  $\text{TiO}_2$  DALAM *DYE SENSITIZER*  
EKSTRAK DAUN TEMBAKAU (*Nicotiana tabacum L*) TERHADAP  
EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

Oleh

Hidayatul Fitriya

NIM 120210102037

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Rif'ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Lama Perendaman  $\text{TiO}_2$  Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Senin, 29 Agustus 2016

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Rif'ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si.  
NIP 19810205 200604 2 001

Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si.  
NIP 19641230 199302 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.  
NIP 19620401 198702 1 001

Drs. Bambang Supriadi, M.Sc.  
NIP 19680710 199302 1 001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd.  
NIP 19540501 198303 1 005

## RINGKASAN

**Pengaruh Lama Perendaman  $\text{TiO}_2$  Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC); Hidayatul Fitriya,120210102037; 2016: 55 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.**

Energi merupakan suatu pembahasan yang amat krusial bagi sebuah Negara, karena energi merupakan salah satu faktor penunjang berkelanjutan dalam bidang ekonomi, sosial dan lingkungan suatu bangsa. Seiring dengan perkembangan teknologi, kebutuhan akan konsumsi energi semakin meningkat. Namun peningkatan kebutuhan masih belum bisa diimbangi dengan pemerataan pasokan energi sampai ke pelosok negeri. Oleh karena itu dibutuhkannya sumber energi alternatif terbarukan yang bisa digunakan untuk menutupi kebutuhan energi yang kurang dan mampu disebarkan secara merata sampai ke wilayah pelosok. Solusi alternatif yang dapat digunakan di Indonesia dengan persebaran dan lokasi wilayah demikian adalah dengan pengembangan sel surya. Salah satu jenis sel surya yang mudah dan murah untuk dibuat adalah DSSC. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lama perendaman efektif untuk DSSC dengan *dye* ekstrak daun tembakau. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi alternatif pemenuhan kebutuhan pasokan energi di wilayah terpencil.

Penelitian ini dilaksanakan dengan melalui beberapa tahapan yakni preparasi larutan Ekstrak klorofil daun Tembakau sebagai *dye sensitizer*, pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ , preparasi elektrolit, preparasi *counter*-elektroda karbon, perakitan DSSC dan yang terakhir adalah pengujian. Variabel bebas yang digunakan oleh penelitian ini adalah lama perendaman lapisan  $\text{TiO}_2$  kedalam *dye sensitizer* dengan lama waktu 30 menit, 1 jam dan 1,5 jam. Pengujian dilakukan mulai pukul 10:00 – 14:00 dan

dilakukan setiap pergantian jam. Hal yang diuji dalam penelitian ini adalah hasil kuat arus dan tegangan yang dikeluarkan serta persentase efisiensi sel surya yang dihasilkan DSSC pada masing-masing variabel.

Penelitian yang telah dilakukan menghasilkan nilai puncak kuat arus dan tegangan oleh DSSC dengan lama perendaman 30 menit, 1 jam dan 1,5 jam pada pukul 12:00 yakni dengan nilai Intensitas cahaya matahari sebesar rata-rata 729,17 Watt/m<sup>2</sup>. Dari 3 DSSC yang diuji, DSSC dengan lama perendaman 1 jam memiliki daya penyerapan *dye* yang lebih tinggi dibandingkan dengan DSSC dengan lama perendaman 30 menit dan memiliki TiO<sub>2</sub> yang tidak larut dalam *dye* akibat terlalu lama direndam. Selanjutnya DSSC yang menghasilkan nilai kuat arus dan tegangan tertinggi adalah DSSC dengan lama perendaman 1 jam (T60) yang memiliki nilai kuat arus sebesar 0,622 mA dan nilai tegangan sebesar 173,6 mV. DSSC dengan lama perendaman 1 Jam juga menghasilkan nilai efisiensi tertinggi yakni sebesar 0,0493%. Oleh karena itu waktu 1 jam menjadi lama perendaman efisien untuk DSSC ekstrak daun tembakau dikarenakan setelah perendaman TiO<sub>2</sub> tidak mengalami pengelupasan akibat terlalu lama direndam dan hasil kuat arus serta tegangan keluaran cukup tinggi dan stabil mengikuti besarnya intensitas radiasi yang dipancarkan oleh matahari.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Lama Perendaman  $TiO_2$  Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)”**. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Keberhasilan dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik langsung maupun tak langsung dan secara materiil maupun moril. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Sunardi, M.Pd. selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes. selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA;
3. Dr Yushardi, M.Si. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika dan selaku Dosen Pembimbing Akademik atas bimbingan dan nasehat kepada penulis selama menjadi mahasiswa Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember;
4. Ibu Rif'ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota atas bimbingan, pengarahan, saran dan dukungan serta kesabaran yang dicurahkan kepada penulis selama penulisan skripsi;
5. Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si. selaku Dosen Penguji Utama dan Drs. Bambang Supriadi, M.Sc. selaku Dosen Penguji Anggota atas saran, masukan serta nasehat yang diberikan dalam penulisan skripsi ini;
6. Ayahanda Suparman dan Ibunda Siti Fatimah serta adik-adik tercinta, Nur Musa'aroh dan Abdul Rozakul Yakin atas dukungan moril serta materiil selama

penulis menyelesaikan pendidikan dan tugas akhir hingga ke jenjang Perguruan Tinggi;

7. Bapak Supriyadi sekeluarga, Bapak Fajar Indah Winarno sekeluarga dan kakak Rena Yunita serta kakak Fajar Andika Sekeluarga atas bantuan dan dukungan selama penulis menyelesaikan pendidikan dan tugas akhir hingga ke jenjang Perguruan Tinggi;
8. Teman-teman Mahasiswa Kelas Unggulan Pendidikan Fisika 2012 FKIP Universitas Jember, Universitas Jember Mengajar, *Future Leader for Anti-Corruption* (FLAC) Jember, Jember Astronomy Club atas semangat yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan di Perguruan Tinggi.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas kontribusinya dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis berharap skripsi ini bisa digunakan sebagai studi awal pengembangan energi terbarukan di Universitas Jember. Penulis juga menerima segala kritik dan saran adi semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk khalayak umum.

Jember, 29 Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN BIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	5
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	5
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	6
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	6
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
<b>2.1 Energi Terbarukan</b> .....	8
<b>2.2 Sel Surya</b> .....	9
<b>2.3 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)</b> .....	13
2.3.1 Pengertian DSSC ( <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> ) .....	13
2.3.2 Komponen DSSC ( <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> ) .....	13
2.3.3 Prinsip Kerja DSSC ( <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> ) .....	17
<b>2.4 Tembakau</b> .....	18
2.4.1 Umum .....	18
2.4.2 Struktur Klorofil Tembakau .....	20
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	22
<b>3.1 Jenis Penelitian</b> .....	22
<b>3.2 Tempat dan Waktu</b> .....	22
<b>3.3 Variabel Penelitian</b> .....	22
<b>3.4 Alat dan Bahan</b> .....	23
<b>3.5 Desain Alat Penelitian</b> .....	25

3.6	Diagram Alir .....	26
3.7	Langkah Penelitian .....	27
3.8	Teknik Penyajian Data .....	33
3.9	Teknik Analisis Data .....	36
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1	Hasil Penelitian .....	38
4.1.1	DSSC dengan lama perendaman 30 menit .....	38
4.1.2	DSSC dengan lama perendaman 1 Jam .....	39
4.1.3	DSSC dengan lama perendaman 1,5 Jam .....	40
4.2	Pembahasan .....	41
4.2.1	Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Tegangan dan Kuat Arus DSSC .....	41
4.2.2	Pengaruh Lama Perendaman Terhadap Kuat Arus dan Tegangan Keluaran Pada DSSC .....	44
4.2.3	Pengaruh Lama Perendaman Terhadap Efisiensi DSSC .....	46
<b>BAB 5.</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>48</b>
5.1	Kesimpulan .....	48
5.2	Saran .....	48
	<b>DAFTAR BACAAN .....</b>	<b>50</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>56</b>

**DAFTAR TABEL**

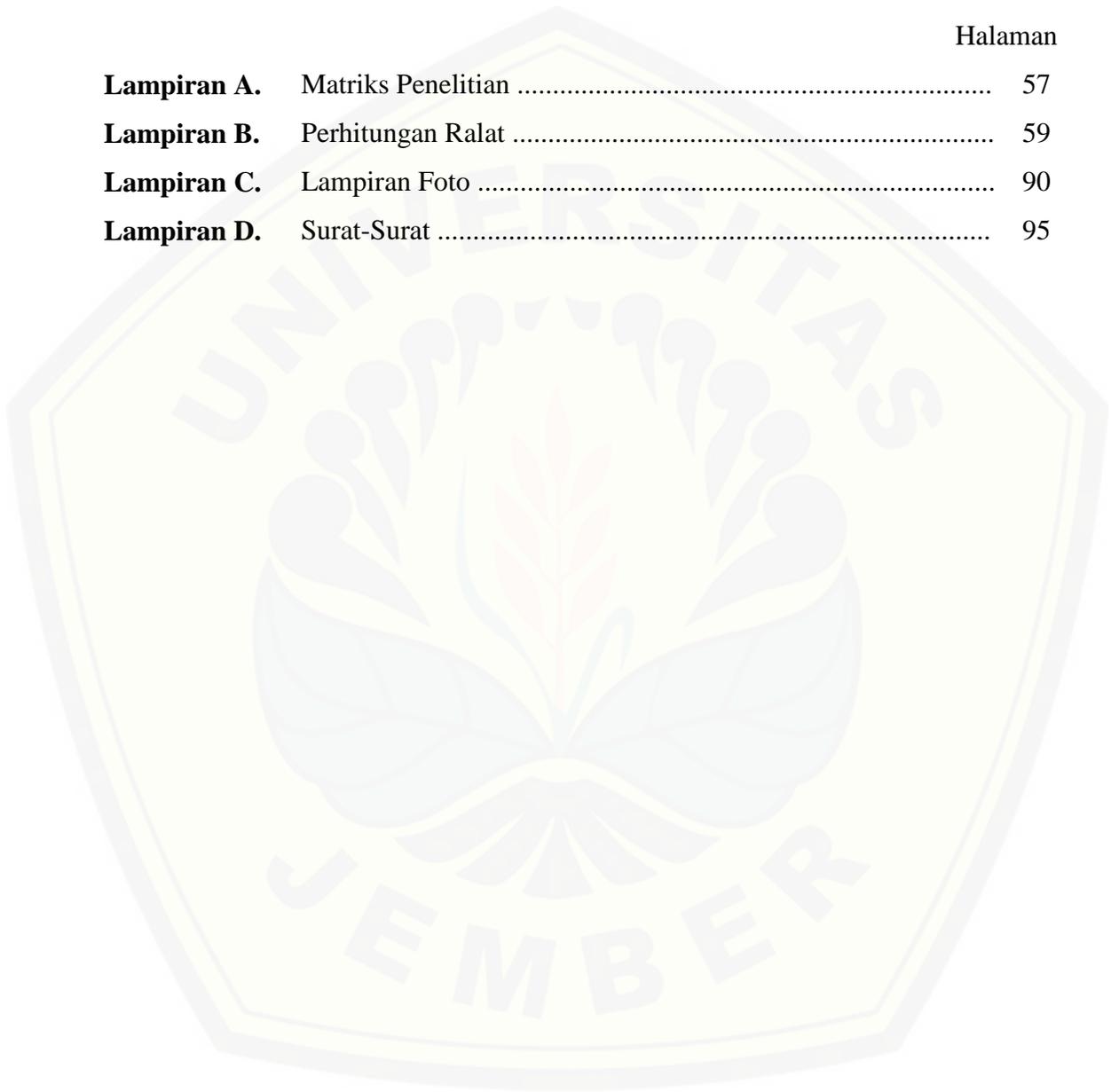
	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Tabel Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 30 menit .....	33
<b>Tabel 3.2</b> Tabel Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 1 jam .....	34
<b>Tabel 3.3</b> Tabel Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 1,5 jam .....	35
<b>Tabel 4.1</b> Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 30 menit .....	39
<b>Tabel 4.2</b> Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 1 jam .....	40
<b>Tabel 4.3</b> Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 1,5 jam .....	41

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Struktur <i>Dye Sensitizer Solar Cell</i> (DSSC).....	14
<b>Gambar 2.2</b> Letak kaca konduktif pada layar <i>handphone</i> .....	15
<b>Gambar 2.3</b> Skema siklus transfer elektron DSSC .....	17
<b>Gambar 2.4</b> Struktur molekul klorofil-a dan klorofil-b .....	21
<b>Gambar 3.1</b> Desain Alat Penelitian .....	25
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Penelitian .....	26
<b>Gambar 3.3</b> Ilustrasi Skema Area Deposisi Pasta TiO <sub>2</sub> .....	29
<b>Gambar 3.4</b> Skema Rangkaian Listrik Pengujian DSSC .....	30
<b>Gambar 4.1</b> Grafik hubungan antara Intensitas Cahaya Matahari dengan waktu pengujian DSSC .....	42
<b>Gambar 4.2</b> Grafik hubungan antara (a) lama perendaman, kuat arus dan waktu uji serta (b) lama perendaman, tegangan dan waktu uji .....	44
<b>Gambar 4.3</b> Grafik hubungan antara lama perendaman, efisiensi dan waktu uji .....	46

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
<b>Lampiran A.</b> Matriks Penelitian .....	57
<b>Lampiran B.</b> Perhitungan Ralat .....	59
<b>Lampiran C.</b> Lampiran Foto .....	90
<b>Lampiran D.</b> Surat-Surat .....	95



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi merupakan suatu pembahasan yang amat krusial bagi sebuah Negara, karena energi merupakan salah satu faktor penunjang berkelanjutan dalam bidang ekonomi, sosial dan lingkungan suatu bangsa (Septina, 2007b:1). Indonesia sebagai salah satu negara dengan jumlah penduduk tertinggi di dunia, menurut data proyeksi yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (2014) berdasarkan hasil sensus penduduk tahun 2010, pada tahun 2014 telah memiliki penduduk sebanyak 252.164.800 jiwa atau naik sekitar 1,345 % dari tahun 2013. Sejalan dengan pertumbuhan penduduk yang terus meroket tiap tahunnya maka dapat disimpulkan bahwa akan terjadi peningkatan konsumsi energi di Indonesia. Berdasarkan data Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (2014), konsumsi energi final Indonesia pada periode 2000-2012 meningkat rata-rata sebesar 2,9 % per tahun. Jenis energi yang paling dominan adalah bahan bakar minyak (BBM) yang meliputi avtur, avgas, bensin, minyak tanah, minyak diesel, minyak solar dan minyak bakar. Sektor transportasi merupakan sektor pengguna BBM yang paling besar (Sugiyono *et al*, 2014: 2). Kementrian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia pada tahun 2006 menerbitkan “Buku Putih Penelitian” yang menyatakan bahwa ketergantungan Negara Indonesia terhadap minyak bumi untuk kebutuhan energi dalam negeri yaitu sebesar 60 % dari konsumsi energi total.

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi menuntut agar masyarakat selalu hidup dekat dengan peralatan elektronik, sehingga energi listrik menjadi salah satu energi utama yang dibutuhkan dalam kehidupan manusia. Pada tahun 2012 kapasitas total pembangkit nasional (PLN, IPP, PPU, IO non BBM) di negara Indonesia adalah sebesar 44,8 Giga Watt (GW). Sekitar 73 % diantaranya

berada di wilayah Jawa Bali, 18 % di wilayah Sumatera, sisanya di wilayah Kalimantan dan Pulau lainnya (Sulawesi, Maluku, NTB-NTT, Papua). Dilihat dari segi input bahan bakar, pembangkit berbahan bakar batubara dan gas mempunyai tingkat penggunaan paling tinggi, masing-masing sekitar 43 % (19,1 GW) dan 27 % (12 GW), kemudian diikuti oleh pembangkit berbahan bakar minyak sekitar 18 % (8,1 GW). Tingginya penggunaan bahan bakar BBM sebagai pembangkit listrik, diimbangi dengan meningkatnya penggunaan bahan bakar energi terbarukan, seperti panas bumi sekitar 3 % (1,3 GW), serta pembangkit listrik tenaga hidro dengan penggunaan sekitar 9 % (4,2 GW). Disamping itu, pembangkit listrik tenaga matahari dan tenaga angin juga sudah mulai beroperasi dengan kapasitas total 6,9 GW. (Sugiyono *et al*, 2014: 14)

Potensi energi terbarukan seperti tenaga air, panas bumi, angin, surya, samudera, maupun biomasa jumlahnya cukup memadai namun tersebar. Berdasarkan ESDM (2013), cadangan panas bumi Indonesia sebesar 16.484 MW dari sekitar 28.617 MW. Kapasitas terpasang pembangkit panas bumi (hingga September 2013) sebesar 1.242 Mega Watt (MW). Sementara itu, potensi biomasa untuk kelistrikan mencapai 49,8 GW dengan kapasitas terpasang pembangkit yang terhubung ke grid sebesar 445 MWe. Potensi tenaga surya di Indonesia cukup tinggi dengan intensitas sebesar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan pemanfaatan baru sebesar 12,1 MWe. Kapasitas terpasang pembangkit tenaga angin baru sekitar 1,1 MWe dari potensi 9.290 MWe. (Sugiyono *et al*, 2014: 17)

Data di atas menunjukkan bahwa pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia masih sangat kurang. Padahal jumlah energi terbarukan yang melimpah dan peran penting energi terbarukan sebagai penunjang kebutuhan energi masyarakat di masa depan sehubungan dengan semakin menurunnya produksi energi tak terbarukan. Berbagai hal yang menyebabkan kurangnya penggunaan sumber energi terbarukan, diantaranya adalah pengetahuan tentang energi terbarukan yang kurang sampai teknologi yang kurang mendukung penggunaan energi terbarukan.

Letak astronomis Indonesia berada di antara  $6^{\circ} 08' \text{LU}$  (Lintang Utara) sampai  $11^{\circ} 15' \text{LS}$  (Lintang Selatan) dan antara  $94^{\circ} 45' \text{BT}$  (Bujur Timur) sampai  $141^{\circ} 05' \text{BT}$  yang membentang di sepanjang garis khatulistiwa. Posisi ini memberikan keuntungan bagi Indonesia karena intensitas sinar matahari yang cukup besar setiap hari dan stabil sepanjang tahun. Energi matahari semacam ini merupakan modal dasar untuk pengembangan sumber energi terbarukan, khususnya energi surya. Setiap detik matahari mengkonversi 5 ton materi menjadi energi yang dipancarkan ke angkasa luar sebanyak  $6,41 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2/\text{hari}$  (Kadir, 1995:15). Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai  $3 \times 10^{24}$  joule per tahun (Asy'ari *et al*, 2012: E-52). Hal ini dapat dimanfaatkan dengan penggunaan sel surya yang dapat menyediakan energi listrik bersih tanpa polusi. Proses konversi energi panas matahari menjadi energi listrik memerlukan sebuah panel surya yang biasa disebut sebagai sel surya. Sel surya umumnya terbuat dari silikon murni. Namun harga panel surya silikon murni kini masih dihitung mahal akibat biaya produksi dan material yang tinggi. Penelitian dan pengembangan sel surya murah dan ramah lingkungan terus dikembangkan dengan tujuan pemanfaatan energi secara optimal. Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, sel surya dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan teknologi dan bahan pembuatannya, yaitu:

- a. Sel surya yang terbuat dari silikon tunggal dan silikon multi kristal,
- b. Sel surya lapis tipis (*thin film solar cell*)
- c. Sel surya organik atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

(Gratzel M, 2003)

Tahun 1991, Professor Michael Gratzel dari EPFL Swiss menemukan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) atau disebut juga sebagai Sel Surya Pewarna Tersensititasi (SSPT) atau sel Gratzel. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan sel surya yang bekerja dengan prinsip fotoelektrokimia dan memiliki penyerap sinar matahari berupa sel organik, yakni dari molekul zat warna tumbuhan dan transfer muatan oleh bahan semikonduktor anorganik nanokristal yang memiliki celah pita

lebar seperti Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ). (O'Regan *et al*, 1991: 109-126). Berbeda dengan sel surya biasa yang penyerapannya menggunakan silicon, DSSC tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi yang cenderung sulit didapat dan berharga mahal.

Solusi yang dapat ditawarkan berdasarkan pada masalah diatas adalah dengan pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) sebagai salah satu pembangkit listrik tenaga matahari yang murah dan mudah untuk dibuat secara individu oleh masyarakat. Zat warna/*Dye* dalam DSSC berfungsi sebagai *sensitizer*. Dalam proses penyinaran, pewarna akan bertugas mengisi elektron ke pita konduksi dari semikonduktor. Ekstrak *dye* atau pigmen tumbuhan yang digunakan sebagai fotosensitizer diantaranya ekstrak klorofil, karoten dan antosianin (LoCascio, 2002). Sejauh ini berbagai jenis bagian tumbuhan telah digunakan sebagai *dye* dalam DSSC, seperti buah beri, kulit manggis, buah mengkudu, berbagai jenis kelopak bunga, daun suji, dan daun cincau. Zat pewarna alami yang digunakan dalam penelitian ini adalah tembakau yang berperan sebagai lapisan penyerap elektron foton cahaya dan akan menjadi eksiton.

Tembakau merupakan salah satu komoditas utama di wilayah Kabupaten Jember, sehingga dapat dipastikan hampir sebagian besar lahan pertanian yang ada di Kabupaten Jember digunakan untuk menanam tanaman tembakau. Kualitas dari tembakau yang dihasilkan pun sudah berkelas dunia (BKPM, 2015). Menurut Hartana, (Siswanto, 2004:9) kandungan senyawa penentu mutu daun tembakau yang telah masak optimal, antara lain karbohidrat, klorofil, karoten dan xantofil. Selain itu, kebanyakan bahan alami yang digunakan dalam pembuatan *dye* untuk DSSC berasal dari *Family Solanaceae*, seperti buah beri dan sebagainya, dikarenakan kandungan kimia bahan pewarnanya yang lengkap sensitif terhadap cahaya dan tembakau adalah salah satu tanaman yang berasal dari keluarga *Solanaceae* yang memiliki tingkat pigmen tinggi (Davis *et al*, 1999:275-276). Berdasarkan hal tersebut, ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) dengan kualitas kematangan yang optimal dapat

menjadi salah satu konsep solusi alternatif pembuatan *dye sensitizer*. Sehingga hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat nantinya sebagai salah satu sumber energi alternatif yang murah dan mudah di buat untuk masyarakat Kabupaten Jember, terutama bagi para petani tembakau.

### 1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan oleh penulis adalah:

- a. Bagaimanakah pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) terhadap besar kuat arus dan tegangan keluaran *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)?
- b. Bagaimanakah pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) terhadap efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)?

### 1.3. Batasan masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Dye sensitized* yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*).
- b. Jenis Kaca *Transparent Conducting Oxide* (TCO) dalam penelitian ini menggunakan kaca *Indium Thin Oxide* (ITO) dari layar *handphone* bekas jenis LED.
- c. Jenis tembakau yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tembakau *Na-Oogst* dengan jenis H-VIII Tembakau Bawah Naungan (TBN)
- d. Penelitian ini hanya menganalisa pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* daun tembakau.
- e. Waktu lama perendaman yang digunakan adalah 30 menit, 1 jam dan 1,5 jam.

- f. Efisiensi sel surya diukur melalui besar kuat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh DSSC.
- g. Proses pengambilan data dilakukan setiap jam mulai dari pukul 10:00 – 14:00
- h. Ruangan yang digunakan penelitian adalah ruangan Laboratorium Lanjut Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan dan Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dan batasan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

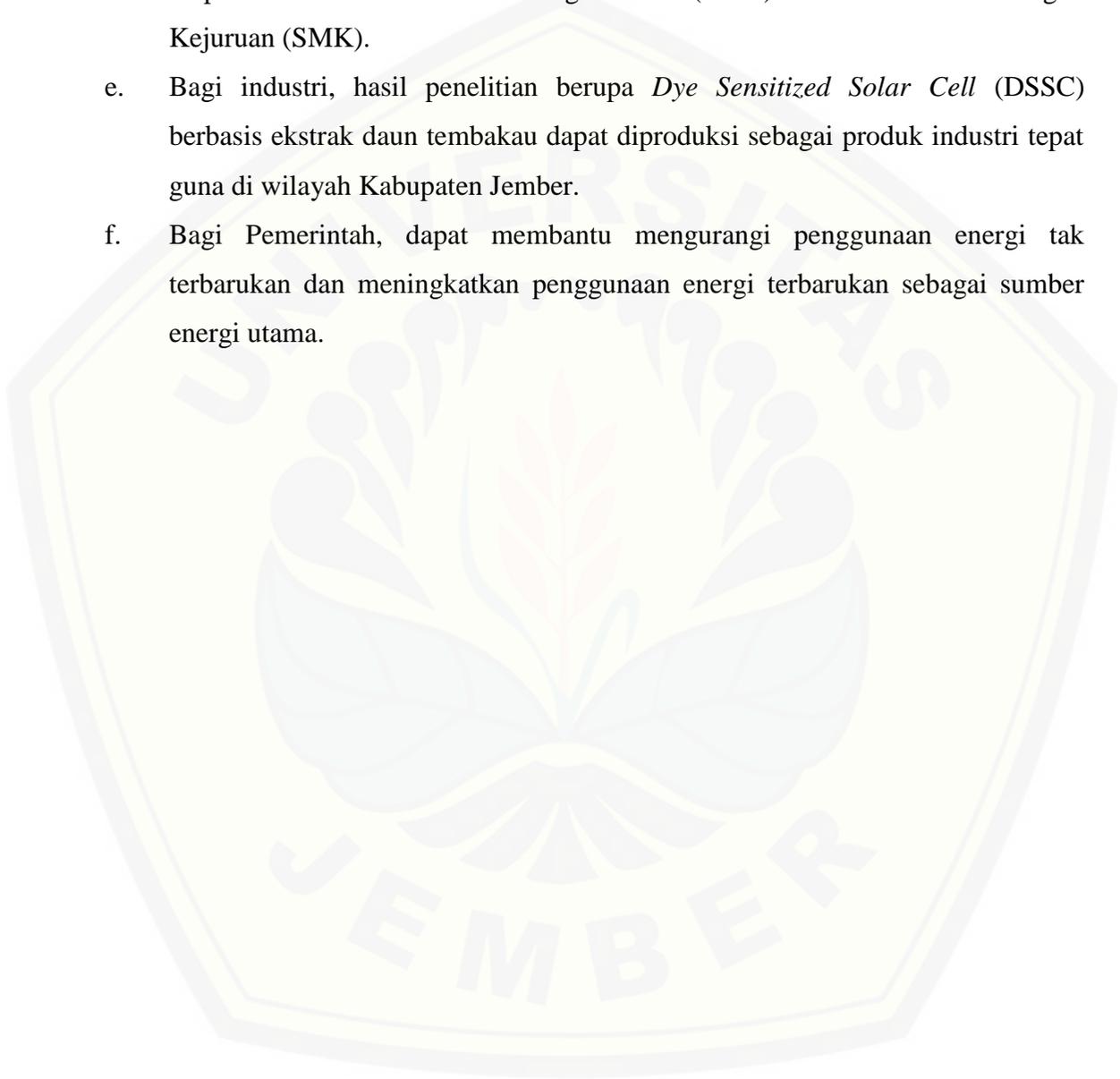
- a. Mengkaji pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) terhadap efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)
- b. Mengkaji pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) terhadap besar kuat arus dan tegangan keluaran *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

- a. Bagi peneliti, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai wacana dan wawasan baru tentang disiplin ilmu yang ditekuni.
- b. Bagi mahasiswa, sebagai acuan informasi ilmiah tentang pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) terhadap efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)
- c. Bagi masyarakat, sebagai salah satu dasar inovasi produk tepat guna yang murah dan mudah untuk dibuat oleh semua kalangan.

- d. Bagi pendidikan, menjadi awal pengembangan pendidikan fisika terapan sederhana dan alat peraga sel surya sederhana yang bisa dibuat dan diaplikasikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) atau Sekolah Menengah Kejuruan (SMK).
- e. Bagi industri, hasil penelitian berupa *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) berbasis ekstrak daun tembakau dapat diproduksi sebagai produk industri tepat guna di wilayah Kabupaten Jember.
- f. Bagi Pemerintah, dapat membantu mengurangi penggunaan energi tak terbarukan dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi utama.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi Terbarukan

Energi adalah hal yang membuat segala sesuatu di sekitar kita terjadi. Ada dua jenis energi yang digunakan oleh manusia menurut Jaliwala (2014:2) saat ini yakni, energi tidak terbarukan (energi konvensional) dan energi terbarukan. Energi tidak terbarukan (energi konvensional) adalah energi yang diambil dari sumber yang ketersediaannya sangat terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sedangkan, energi terbarukan merupakan salah satu jenis energi yang ketersediaannya sangat melimpah di alam dan selalu dapat diperbaharui, bahkan tidak akan pernah habis. Contoh dari sumber energi terbarukan adalah sinar matahari, angin, air, gelombang laut, panas bumi dan sebagainya (Jaliwala *et al.* 2014: 1-3). Tahun 2010, negara-negara dunia mulai melirik sumber-sumber energi terbarukan sebagai pengganti energi tidak terbarukan seperti minyak bumi, batubara, dan gas yang memiliki efek merusak bagi bumi. Semakin menipisnya jumlah cadangan sumber energi tidak terbarukan juga mengakibatkan terjadinya krisis energi di daerah-daerah (Jaliwala *et al.* 2014: 1).

Saat ini penggunaan sumber energi tidak terbarukan untuk listrik masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar batubara dan gas dengan nilai 43 % (19,1 Giga Watt / GW) dan 27 % (12 GW). Sampai tahun 2012, kapasitas total pembangkit nasional di wilayah Indonesia sebesar 44,8 GW, dimana 73 % diantaranya berada di pulau Jawa dan Bali. Namun dalam kisaran periode 2011-2012 terjadi penurunan sumber daya batubara dari 120 miliar ton menjadi 119 miliar ton. Berdasarkan data tersebut dapat diperkirakan bahwa sumber daya batubara akan

habis dalam 75 tahun mendatang dan sumber daya minyak akan habis 12 tahun lagi bila tidak ditemukan cadangan baru (Sugiyono *et al*, 2014: 14-16).

Berbeda dengan energi tidak terbarukan, jumlah energi terbarukan justru masih kurang dioptimalkan pemanfaatannya. Jumlah sumber energi terbarukan di Indonesia sangat memadai, namun lokasinya yang tersebar. Sumber energi tersebut diantaranya adalah cadangan panas bumi Indonesia sebesar 16.484 Mega Watt (MW) dari potensi sekitar 28.617 MW dan kapaistas yang telah terpasang (hingga September 2013) sebesar 1.242 MW. Begitu pula dengan sumber energi surya yang cukup tinggi di Indonesia karena posisi Indonesia yang berada di garis khatulistiwa, dimana sinar matahari akan selalu memancar dan memiliki intensitas yang stabil setiap tahunnya. Indonesia memiliki potensi untuk menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi di masa depan.

Indonesia berada di antara  $11^{\circ}$  Lintang Utara (LU) dan  $6^{\circ}$  Lintang Selatan (LS) membentang di sepanjang garis khatulistiwa sehingga matahari di Indonesia mampu bersinar hingga 2.000 jam pertahunnya. Setiap detik matahari mengkonversi 5 ton materi menjadi energi yang dipancarkan ke angkasa luar sebanyak  $6,41 \cdot 10^7$  W/m<sup>2</sup>/hari (Abdul Kadir, 1995:15). Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai  $3 \times 10^{24}$  joule per tahun (Hasyim Asy'ari, *et al*, 2012: E-52). Intensitas matahari yang dapat ditangkap di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan pemanfaatan baru sebesar 12,1 MWe (Sugiyono *et al*, 2014: 17). Diversifikasi energi terus dilakukan oleh pemerintah untuk mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap penggunaan energi minyak bumi serta meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan.

## 2.2 Sel Surya

Sel surya merupakan salah satu energi alternatif yang bekerja untuk merubah energi matahari menjadi energi listrik (Susmiyanto, 2013). Sel surya atau sel *photovoltaic* adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah

besar diode p-n *junction*, di mana cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik yang berguna. Perubahan ini disebut efek *photovoltaic*. Bidang riset berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai *photovoltaic*.

Sel surya memiliki banyak aplikasi. Mereka terutama cocok untuk digunakan bila tenaga listrik dari *grid* tidak tersedia, seperti di wilayah terpencil, satelit pengorbit bumi, kalkulator genggam, pompa air, dll. Sel surya (dalam bentuk modul atau panel surya) dapat dipasang di atap gedung di mana mereka berhubungan dengan *inverter* ke *grid* listrik dalam sebuah pengaturan *net metering*. Banyak bahan semikonduktor yang dapat dipakai untuk membuat sel surya diantaranya Silikon, Titanium Oksida, Germanium, dll (McDonald S.A. *et al*, 2005:138-42). Sel surya dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan perkembangan teknologi dan bahan pembuatan yang digunakan, yakni sel surya yang terbuat dari silikon tunggal dan silikon multikristal, sel surya lapis tipis (*thin film solar cell*), dan sel surya organik atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) atau Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) (Gratzel M, 2003: 145-153).

Parameter yang digunakan untuk menghitung tingkat keefektifan sel surya yakni bergantung pada kuat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya. Efisiensi energi matahari yang diubah ke energi listrik di bawah pancaran sinar matahari adalah:

$$\eta = \frac{J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{P} \times 100\%$$

Dengan FF (*fill factor*) merupakan factor pengisi yang ditentukan berdasarkan persamaan :

$$FF = \frac{J_m \cdot V_m}{J_{sc} \cdot V_{oc}}$$

Sehingga efisiensi juga bisa dipresentasikan sebagai:

$$\eta = \frac{J_m \cdot V_m}{P} \times 100\%$$

Atau,

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{P \cdot A} \times 100\%$$

(Yuwono,2005:10)

Dimana

: efisiensi (%)

$J_{sc}$  : rapat arus pendek (mA/cm<sup>2</sup>)

$J_m$  : rapat arus maksimum (mA/cm<sup>2</sup>)

$V_{oc}$  : tegangan terbuka (Volt)

$V_m$  : tegangan maksimum (Volt)

$P$  : intensitas sinar matahari di Jember (mW/cm<sup>2</sup>)

$A$  : luas permukaan sel surya (cm<sup>2</sup>)

Persamaan ini digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh oleh Budi Yuwono (2005: 10) dan Triyana K. Chotimah (2012). Selain itu, persamaan tersebut juga digunakan oleh J. M. R. C Fernando dkk dalam penelitian yang berjudul “*Natural Anthocyanins as Photosensizers for Dye-Sensitized Solar Device*” dengan melambangkan P sebagai I yang berarti intensitas sinar matahari. Sedangkan penggunaan simbol persamaan mengacu pada penelitian Akbar Nur Prasatya (2013: 382).

Presentase efisiensi sel surya ini menjadi tolak ukur kualitas kerja dari sel surya itu sendiri. Nilai dari efisiensi salah satunya dipengaruhi oleh kualitas iluminasi atau intensitas cahaya yang dipancarkan oleh sinar matahari. Intensitas cahaya merupakan jumlah energi radiasi yang dipancarkan sebagai cahaya ke satuan arah tertentu. Cahaya matahari memiliki intensitas cahaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber cahaya lainnya. Selain itu spektrum cahaya yang

dipancarkan oleh matahari juga lebih lebar, sehingga cahaya matahari merupakan sumber cahaya paling efektif untuk pengujian. (Septina, 2007b: 5-37)

Kondisi standar yang umum digunakan untuk pengujian sel surya adalah dengan intensitas  $1000 \text{ Wm}^{-2}$ , dan temperatur  $25^{\circ} \text{ C}$ . Kualitas iluminasi pada matahari maupun beberapa alat yang menghasilkan cahaya berbeda-beda. Untuk mengetahui besar intensitas cahaya yang dihasilkan oleh matahari atau lampu pada saat itu bisa menggunakan alat ukur cahaya yang disebut dengan Luxmeter. Luxmeter menghasilkan nilai intensitas cahaya atau tingkat pencahayaan yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya pada posisi dan waktu tertentu dalam satuan Lux. Dalam hal ini, tidak ada konversi satuan langsung antara satuan lux dan  $\text{Wm}^{-2}$ , besarnya konversi berdasarkan pada panjang gelombang atau warna yang dihasilkan oleh sumber cahaya. Oleh karena itu, konversi nilai antara lux dan  $\text{Wm}^{-2}$  seharusnya dilakukan melalui proses percobaan terlebih dahulu. Namun dalam beberapa artikel ilmiah menggunakan perkiraan konversi satuan lux dan  $\text{Wm}^{-2}$  guna mempermudah perolehan hasil. Perkiraan konversi tersebut adalah  $0,0079 \text{ Wm}^{-2}$  per Lux (Hossain,2011:4), atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$1 \text{ Lux} = 0,0079 \text{ Wm}^{-2} \quad (\text{Hossain,2011:4})$$

Selain digunakan oleh M. A. Hossain dkk dalam penelitiannya yang berjudul *Performance Evaluation Of 1.68 kWp DC Operated Solar Pump With Auto Tracker Using Microcontroller Based Data Acquisition System*, nilai konversi ini juga digunakan pada penelitian Anies Ma'rufatin (2011:8) dalam penelitian yang berjudul "Respon pertumbuhan Tanaman kentang (*Solanum tuberosum L.*) Varietas dan Super Jhon dalam sistem Aeroponik terhadap periode pencahayaan" dan Steven Chua dalam *BCCP Teacher Academy* di University of California, Berkeley dengan judul *Light Vs. Distance*.

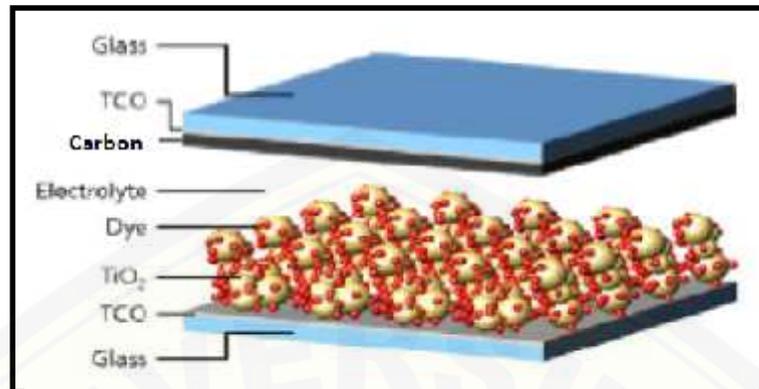
### 2.3 DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

#### 2.3.1 Pengertian DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) merupakan salah satu jenis sel surya yang memanfaatkan prinsip fotoelektrokimia (*photoelectrochemical*) untuk menghasilkan energi listrik dari pancaran energi cahaya dengan memanfaatkan reaksi elektrokimia (suatu reaksi kimia yang melibatkan sifat-sifat kelistrikan suatu zat). Fotoelektrokimia sendiri merupakan pemanfaatan energi cahaya untuk menghasilkan energi listrik melalui perubahan kimia. Sedangkan DSSC atau dalam bahasa Indonesia disebut sebagai Sel Surya Tersensitisasi Pewarna (SSTP) ditemukan pertama kali oleh Professor Michael Gratzel di *Ecole Polytechnique Federale de Lausanne*, Switzerland pada tahun 1991 (Phani G *et al*, 2001:303-309). DSSC tersusun dari dua kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*), masing-masing bekerja sebagai elektroda kerja dan elektroda lawan. Elektroda kerja dibuat dari sebat TCO yang kemudian dideposisikan dengan  $\text{TiO}_2$  tersensitisasi *dye* sebagai pembawa muatan, sedangkan *dye* berfungsi sebagai fotosensitizer.  $\text{TiO}_2$  telah digunakan sebagai material fotokatalis pada awal kemunculan DSSC, dan dapat menghasilkan efisiensi konversi hingga 11% (Gratzel M, 2005). Elektroda lawan terbuat dari kaca TCO yang telah dilapisi oleh karbon. Elektroda kerja dan elektroda lawan selanjutnya dirangkai bersusun (struktur *sandwich*) mengapit elektrolit. Elektrolit redoks yang umum digunakan adalah iodide/triiodide ( $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ ) (Gratzel M, 2003: 145-153).

#### 2.3.2 Komponen DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

DSSC merubah energi cahaya yang berasal dari sinar matahari menjadi energi listrik menggunakan pewarna tersensitisasi dan bekerja sesuai dengan cara kerja semikonduktor, *photoelectrode*, elektrolit redoks, *counter*-elektroda. DSSC terdiri dari :

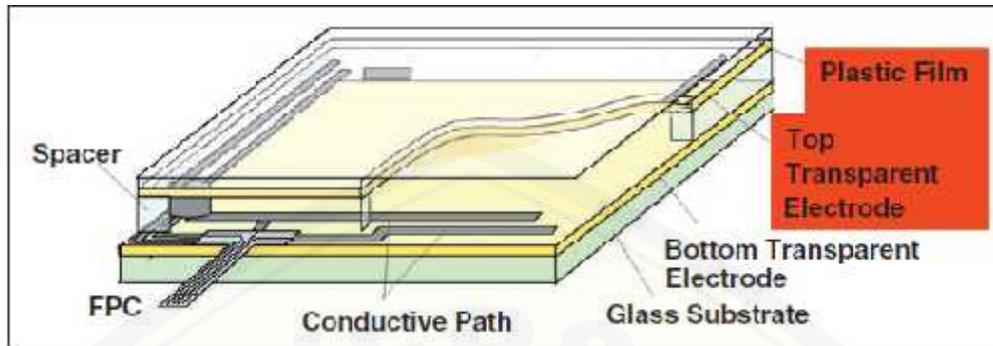


**Gambar 2.1** Struktur *Dye Sensitizer Solar Cell* (DSSC) (Septiana, W. 2007b:19)

a. Kaca electrode/ TCO (*Transparent Conducting Oxide*),

Kaca *electrode* ini berfungsi sebagai penangkap elektron yang dihasilkan dari reaksi kimia dalam iodine, *dye*, karbon dan  $\text{TiO}_2$ . TCO yang diberikan *dye*, dan  $\text{TiO}_2$  berperan sebagai katoda, sedangkan TCO yang diberikan karbon berperan sebagai anoda. Material yang umumnya dipakai sebagai TCO yaitu *Fluoride-Doped Thin Oxide* ( $\text{SnO}_2\text{:F}$  atau FTO) dan *Indium Thin Oxide* ( $\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn}$  atau ITO).

Dalam perkembangan modern ini, kaca konduktif khususnya ITO (*Indium Thin Oxide*) banyak digunakan dalam berbagai peralatan elektronik terutama pada bagian layar atau *display*, seperti layar *handphone* baik layar biasa maupun layar *touchscreen* jenis tertentu, TV, monitor dan sebagainya. Penggunaan ITO pada *display handphone* biasa maupun sensor layar sentuh yang digunakan dalam *smartphone touchscreen* adalah berupa *display* jenis OLED, AMOLED atau Super AMOLED kapasitif yang terdiri dari bahan kaca padat yang bagian atasnya dilapisi dengan suatu lapisan tipis yang disebut dengan *Indium Thin Oxide* ( $\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn}$  atau ITO) dan berfungsi sebagai anode, pemancar cahaya pada layar *handphone* biasa serta penerima sensor sentuhan layar *handphone touchscreen* (Fadhillah, 2014:99-100).



**Gambar 2.2.** Letak kaca konduktif pada layar *handphone* (DeVisser, 2006:32)

b. Lapisan  $\text{TiO}_2$  nanokristal,

$\text{TiO}_2$  merupakan material fotokatalis dengan daya oksidasi kuat, *photobilitas* tinggi dan selektivitas redoks (Ekasari, 2013). Lebar celah energi yang dimiliki oleh titanium oksida adalah 3,2 eV – 3,8 eV (Prasetowati, 2012). Oksida semikonduktor digunakan dalam fotoelektrokimia seperti sel surya karena sifatnya yang stabil dalam menghadapi korosi (Kalyanasundara K, 1998: 347-414). Aplikasi  $\text{TiO}_2$  secara umum adalah sebagai bahan semikonduktor, dimana jika semikonduktor menyerap cahaya atau foton dengan energi yang sama atau lebih besar daripada *band gap*, maka elektron akan melompat atau berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi dan menghasilkan *electron hole* (Arora H *et al*, 2010).

c. Larutan elektrolit redoks iodide/triiodide ( $\text{I}/\text{I}_3^-$ ),

Larutan elektrolit redoks iodide/triiodide ( $\text{I}/\text{I}_3^-$ ), merupakan media elektron diantara fotoelektroda  $\text{TiO}_2$  dan *counter*-elektroda. DSSC pertama kali menggunakan larutan elektrolit organik yang mengandung lithium iodide/iodine. Larutan organik merupakan komponen dasar dari larutan elektrolit yang tersedia di lingkungan untuk  $\text{I}/\text{I}_3^-$  dissolusi dan difusi. (Wu, 2008)

d. *Dye*,

*Dye* berfungsi untuk menyerap foton sehingga menyebabkan terjadinya eksitasi elektron. *Dye* merupakan zat pewarna alami yang terkandung dalam

daun, batang, bunga ataupun akar pada tumbuhan (Susmiyanto, 2013). Ekstrak *dye* atau pigmen tumbuhan yang pernah digunakan sebagai fotosensitizer diantaranya adalah ekstrak *cyanin*, *tannin*, klorofil, karoten, xantofil dan antosianin (Zhou,2011:188). Absorpsi kimia dari *dye* tersebut dapat terjadi karena adanya kondensasi ikatan proton alkohol dengan kelompok hydroxyl pada permukaan  $TiO_2$ . Menurut penelitian Song (2007) dalam penelitiannya telah membuktikan bahwa klorofil dan xantofil dapat tereksitasi saat *dye* dikenai penyinaran, sehingga peneliti mendapatkan efisiensi konversi energi yang lebih baik pada turunan *dye* klorofil.

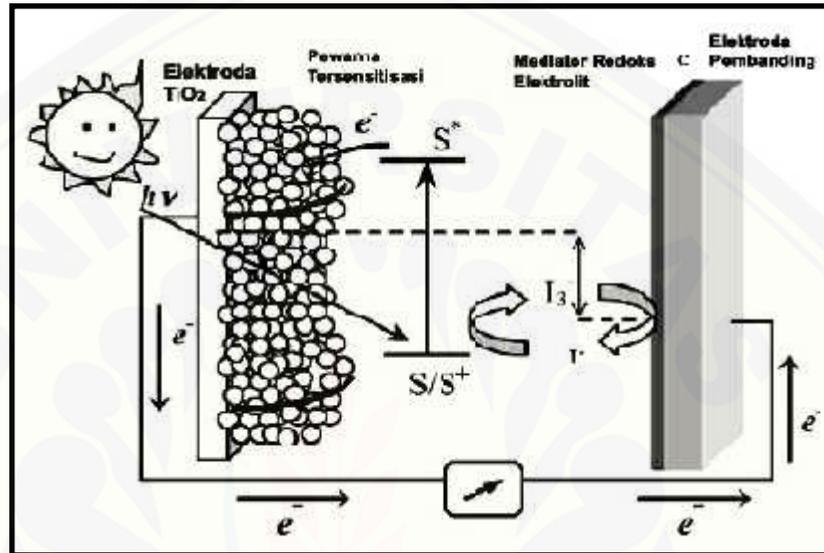
Berdasarkan makhluk hidup yang memiliki, klorofil terbagi menjadi beberapa bentuk. Klorofil-a merupakan klorofil yang dimiliki oleh semua makhluk hidup autotroph. Klorofil-b merupakan klorofil yang dimiliki oleh alga hijau dan tumbuhan darat. Klorofil-c merupakan klorofil yang dimiliki oleh alga pirang, alga keemasan, serta diatom (*Bacillariophyta*). Dan klorofil-d yang dimiliki oleh alga merah (*Rhodophyta*). Perbedaan ini juga didasari oleh perbedaan rumus kimia, dan panjang gelombang yang dapat diserap. Struktur klorofil pada umumnya terdiri dari porifirin tertutup (siklik), suatu tetra pirol, dengan ion magnesium sebagai pusatnya dan “ekor” terpena. Kedua gugus ini disebut sebagai kromofor (pembawa warna) dan memiliki kemampuan untuk mengeksitasi electron apabila terkena cahaya pada panjang gelombang tertentu, sehingga terjadi proses transfer electron pada proses fotosintesis.

e. Karbon

Karbon dalam DSSC berfungsi sebagai *counter*-elektrode. *Counter*-elektrode harus memiliki nilai resistansi yang kecil, tingginya perubahan rapat arus untuk proses reduksi pada muatan perantara. *Counter*-elektrode membantu transfer elektron yang kembali dari rangkaian eksternal dan mengalami elektrolit redoks. (Anandan, 2007)

### 2.3.3 Prinsip Kerja DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

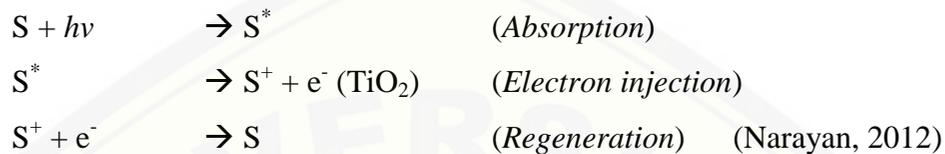
Prinsip kerja dasar dari DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) merupakan reaksi transfer elektron yang dapat digambarkan melalui siklus transfer elektron komponen-komponen DSSC (Kumara *et al*, 2012) sehingga dapat menghasilkan energi listrik.



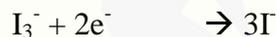
Gambar 2.3 Skema siklus transfer elektron DSSC (Narayan, M.R. 2012: 209)

Siklus transfer elektron dimulai dengan penyerapan energi foton ( $h\nu$ ) dari pancaran sinar matahari oleh *dye* dan mengakibatkan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* dari keadaan dasar ( $S$ ) ke keadaan tereksitasi ( $S^*$ ) peristiwa ini dinamakan sebagai peristiwa absorpsi. Selanjutnya elektron yang berasal dari keadaan tereksitasi dalam pita valensi selanjutnya akan terinjeksi menuju pita konduksi yang terbuat dari bahan semikonduktor titanium oksida ( $TiO_2$ ) melalui hubungan antara titanium dengan gugus karboksil pada *dye*. Sehingga menghasilkan molekul *dye* teroksidasi yang bermuatan positif ( $S^+$ ) dan  $TiO_2$  yang bermuatan negatif. Elektron tersebut kemudian keluar mengalir menuju elektroda TCO, dan terus menuju *counter*-elektroda melalui rangkaian eksternal atau rangkaian yang digunakan diluar rangkaian DSSC. Aliran inilah yang dimanfaatkan sebagai energi listrik. Kekosongan electron pada pita valensi molekul *dye* akan kembali ke keadaan

dasar setelah memperoleh donor elektron dari elektrolit (I) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi, sedangkan I teroksidasi ke keadaan dasar yakni  $I_3^-$ . Siklus transfer elektron dapat diamati melalui persamaan kimia berikut ini:



Iodide elektrolit kembali diregenerasi melalui reduksi triiodida pada *counter*-elektroda dengan memanfaatkan elektron yang berasal dari sirkuit eksternal. Sehingga *hole* pada elektrolit ( $I_3^-$ ), mendapatkan donor elektron pada proses sebelumnya, bergabung dan membentuk iodide (I). Elektron pada iodide baru kemudian didonorkan kembali kepada *dye* yang teoksidasi, sehingga terjadi reaksi transfer elektron yang membentuk siklus transport elektron.



## 2.4 Tembakau

### 2.4.1 Umum

Tembakau (*Nicotiana tobaccum*) merupakan salah satu produk pertanian semusim dan bukan termasuk kedalam komoditas pangan. Indonesia termasuk salah satu penghasil tembakau terbesar dan berkualitas dunia. 2,1 % persediaan daun tembakau dunia berasal dari Indonesia. Tahun 2006, 84% dari total produksi komunitas perkebunan di Kabupaten Jember adalah produksi tembakau. Oleh karena itu komoditas tembakau memiliki potensi produksi dan mampu memberikan sumbangan terbesar dibandingkn komoditas perkebunan lain terhadap perekonomian Kabupaten Jember. (Sari,2014:32)

Klasifikasi tanaman tembakau adalah sebagai berikut:

Divisi : *Tracheophyta*  
Kelas : *Angiospermae*  
Ordo : *Dicotyledoneae*  
Family : *Solanaceae*  
Genus : *Nicotiana*  
Species : *Nicotiana tobaccum*

Tanaman ini merupakan jenis tanaman semak semusim yang tingginya mencapai 2,5 m, berbatang kayu tegak dan berwarna hijau. Jenis daun tembakau merupakan daun tunggal dengan panjang 20-50 cm dan lebar 5-30 cm. Tangkai tanaman berwarna hijau keputihan sepanjang 1-2 cm. Tembakau termasuk tanaman yang memiliki bunga majemuk yang tumbuh di ujung batang. Tanaman ini tidak bisa tumbuh pada iklim yang terlalu kering ataupun terlalu basah, temperatur tumbuh terbaiknya sekitar 21-32,3<sup>0</sup>C. Selain itu tembakau juga memerlukan penyinaran matahari sepanjang hari. Bentuk dari daun tembakau adalah oval atau bulat, sesuai dengan jenis varietasnya. Daun tumbuhan tumbuh berselang-seling mengelilingi batang.

Kabupaten Jember sebagai salah satu wilayah penghasil tembakau terbesar di Indonesia memiliki beberapa jenis tembakau khusus yang dibudidayakan, yakni seperti Tembakau Besuki *Voor-Oogst* (VO), yakni tembakau yang ditanam sebelum panen padi atau ditanam saat musim hujan kemudian dipanen diawal kemarau, dan Tembakau Besuki *Na-Oogst* (NO), yakni tembakau yang ditanam setelah panen padi atau ditanam di akhir musim hujan kemudian dipanen diakhir kemarau. Tembakau Besuki *Na-Oogst* (NO) kebanyakan hanya ditanam oleh perusahaan-perusahaan besar seperti PT Perkebunana Nusantara (PTPN) X, PT Taru Tama Nusantara (TTN) dan PT Tempurejo. Hal ini dikarenakan pengelolaan Tembakau NO yang cenderung rumit dan memerlukan perlakuan khusus. Selain itu biaya produksi dan harga yang mahal membuat tak banyak petani tradisional yang berani menanam tanaman

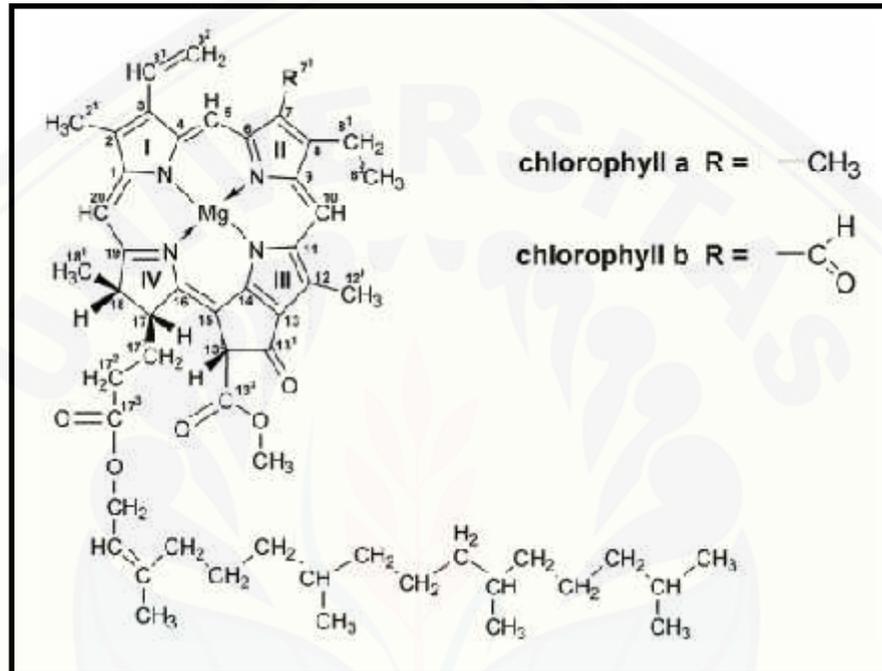
tembakau ini. Potensi tembakau NO terletak di wilayah selatan dari kabupaten Jember. Namun keuntungan dari tembakau NO adalah periode penanamannya yang pasti dan tidak terlalu terganggu oleh perubahan cuaca secara ekstrem karena menggunakan metode penanaman menggunakan naungan jaring tanaman. Berbeda dengan tembakau NO, Tembakau VO justru lebih dipilih oleh petani tradisional maupun pengusaha kecil, karena Tembakau VO bisa ditanam dan dikelola dalam skala kecil, perawatannya mudah dan tidak memerlukan perhatian terlalu khusus serta biaya produksi yang tidak terlalu mahal bila dibandingkan dengan Tembakau NO. Namun tembakau VO lebih jarang ditanam terutama saat cuaca terasa tidak menentu dikarenakan kemungkinan gagal tanam meningkat (ILO.2007:8).

#### 2.4.2 Struktur Klorofil Tembakau

Tanaman tembakau biasanya digunakan sebagai bahan insektisida hayati, karena beberapa kandungan kimia yang terkandung dalam ekstrak tanamannya. Sebagai salah satu tanaman yang tumbuh di iklim tropis, tembakau memiliki kandungan klorofil yang melimpah. Bahkan kandungan klorofil dari tanaman tembakau menentukan kualitas dari daun tembakau sebelum dipanen. Menurut Hartana (Siswanto, 2004: 9-10), kandungan senyawa yang menentukan mutu dari daun tembakau adalah karbohidrat, klorofil, karoten dan xantofil yang terdapat dalam daun tembakau yang telah masak optimal. Tembakau yang bagus untuk diambil ekstrak klorofilnya adalah tembakau yang berwarna hijau tua dengan lebar daun sedang, atau berada pada daun dada batang.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ruly Hamidah dan Cece Suhara (2013), menghasilkan bahwa tembakau yang sehat dan matang secara optimal memiliki jumlah kadar klorofil 34,854 mg/g berat basah. Sebagai salah satu tumbuhan tingkat tinggi, klorofil memiliki 2 jenis klorofil, yakni klorofil-a ( $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ) dan klorofil-b ( $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ). jumlah kandungan masing-masing klorofil adalah 12,818 mg/g klorofil-a dan sebanyak 22,065 mg/g klorofil-b. Begitu

pula dengan hasil penelitian M. J. Kasperbauer dan D. E. Peaslee (1973) yang menyebutkan bahwa konsentrasi klorofil setiap lembarannya lebih peka menyerap cahaya merah. Jumlah klorofil tersebut menunjukkan bahwa tembakau adalah salah satu tumbuhan dengan tingkat penyerapan cahaya yang baik dan optimal.



**Gambar 2.4** Struktur molekul klorofil-a dan klorofil-b (Bialokoz. 2014:146)

Klorofil-a dan klorofil-b pada umumnya berperan untuk membantu proses fotosintesis dengan menyerap energi dari sinar matahari menjadi energi kimia. Klorofil-a berfungsi sebagai penyerap cahaya dengan intensitas tinggi Dan klorofil-b berfungsi sebagai antenna sintetik yang mengumpulkan cahaya (Hamida,2013:16). Sifat peka inilah yang dimanfaatkan untuk menjadi *sensitizer* pada bahan sel surya organik (Nygren, 2010).

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Jenis penelitian

Penelitian ini merupakan *true experiment*. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan perlakuan untuk melihat pengaruh Lama Perendaman TiO<sub>2</sub> Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana Tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Lanjut Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan dan Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember dengan titik koordinat lokasi pengujian 113°30' - 113°45' BT dan 8°00' - 8°30' LS pada 26 Juni 2016 sampai 30 Juli 2016.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variable bebas merupakan variabel yang menjadi titik acuan perlakuan dan menghasilkan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah lama perendaman TiO<sub>2</sub> kedalam *dye sensitized* daun tembakau yang terdiri dari 30 menit, 1 jam dan 1,5 jam.

### 3.3.2 Variabel Terikat

Variabel Terikat merupakan variabel yang merupakan hasil dari perlakuan variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah besar kuat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya.

### 3.3.3 Variable kontrol dalam penelitian ini antara lain:

- a. *Dye sensitized* yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L*) yakni Tembakau *Na-Oogst* dengan jenis H-VIII Tembakau Bawah Naungan (TBN).
- b. Jenis Kaca *Transparent Conducting Oxide* (TCO) dalam penelitian ini menggunakan kaca *Indium Thin Oxide* (ITO) dari layar *handphone* bekas jenis OLED.
- c. Proses pengambilan data dilakukan setiap jam mulai dari pukul 10:00 – 14:00

## 3.4 Alat dan Bahan

### 3.4.1 Alat

Peralatan dan komponen elektronika yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- |                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| a. Gelas kimia        | m. Cawan porselen  |
| b. Multimeter digital | n. Cawan petri     |
| c. Luxmeter           | o. Botol semprot   |
| d. Neraca digital     | p. Botol gelas     |
| e. Pinset             | q. Oven            |
| f. Alat tulis         | r. Batang pengaduk |
| g. Penjepit           | s. Pipet tetes     |
| h. Buku               | t. Pengaduk        |

- i. Spatula kaca
- j. *Ball* pipet
- k. Kertas saring
- l. *Aluminium foil*
- u. Kabel buaya
- v. Kertas kasa
- w. Mortar dan alu

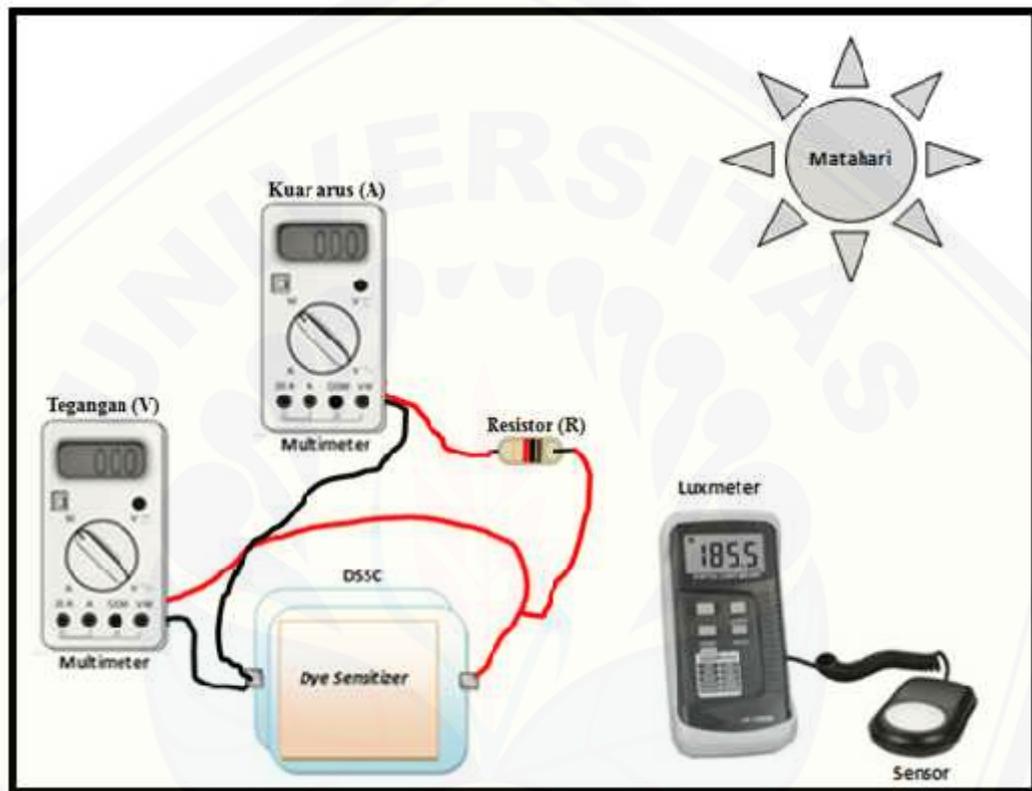
#### 3.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*)
- b. Kaca konduktif *Indium Tin Oxide* (ITO)
- c. Potasium iodide (KI)
- d. Bubuk Titanium Oxide ( $\text{TiO}_2$ )
- f. Acetonitrile
- g. Polyvinyl alkohol (PVA)
- h. Asam asetat
- i. Aquades
- j. Iodine ( $\text{I}_2$ ) cair
- k. Selotip
- l. 97% Ethanol/Methanol
- m. Karbon

### 3.5 Desain Alat Penelitian

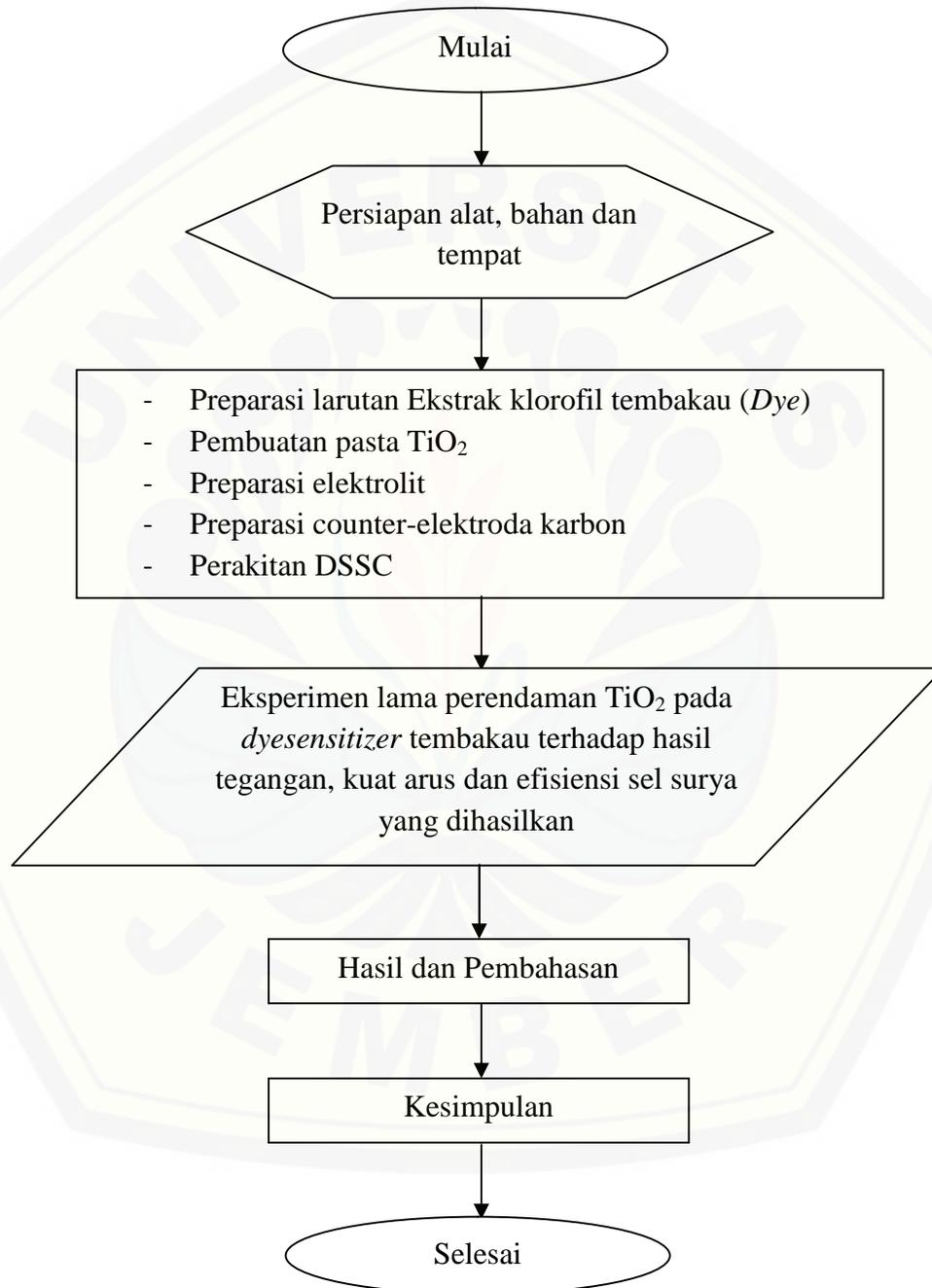
Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Desain Alat Penelitian

### 3.6 Diagram Alir

Diagram alir penelitian ini digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 3.2** Diagram Alir Penelitian

### 3.7 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Wilman Septiana (2007a) yang berjudul “Pembuatan prototipe solar cell murah dengan bahan organic-inorganik (*dye sensitized solar cel*)”, sebagai berikut:

#### 3.7.1 Mempersiapkan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang telah disebutkan sebelumnya dipersiapkan. Alat dan bahan yang digunakan dan harus disiapkan dalam kondisi sebagai berikut:

- a. Multimeter yang telah terkalibrasi dan tampilan angka pada layar dapat dibaca dengan jelas
- b. Kaca konduktif yang telah dicuci dengan aquades dan etanol.

#### 3.7.2 Preparasi Larutan *Dye*

Langkah yang digunakan dalam preparasi larutan *dye* ini mengacu pada hasil terbaik dari penelitian Mochamad Choirul Misbachudin (2013) yang berjudul “Studi awal ekstrak antosianin strawberry sebagai fotosensitizer dalam pembuatan *dye sensitized solar cell* (DSSC)” Daun tembakau ditimbang sebanyak 40 gram lalu dihaluskan dengan mortar. Selanjutnya daun tembakau yang telah halus dicampur dengan methanol, asam asetat dan air (25:4:21) sebanyak 10 ml sambil terus digerus sampai halus. Masukkan daun tembakau dan larutannya yang telah halus kedalam tabung elemeyer yang telah dilapisi oleh aluminium foil. Hal ini bertujuan agar antosianin tidak terkena cahaya sehingga mudah terdegradasi. Larutan tembakau selanjutnya disimpan selama 24 jam. Setelah 24 jam cairan ekstrak disaring menggunakan kertas saring dan dimasukkan dalam botol yang dilapisi dengan aluminium foil juga.

### 3.7.3 Pembuatan Pasta TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub> akan dideposisikan pada TCO sehingga TiO<sub>2</sub> bubuk harus dibuat dalam bentuk pasta, yaitu dengan prosedur pembuatan pasta TiO<sub>2</sub> sebagai berikut (Septiana,2007a:26-27):

- a. Tambahkan Polyvinyl Alcohol (PVA) sebanyak 10% berat kedalam air, kemudian diaduk pada temperature 80<sup>0</sup>C. Suspensi ini akan berfungsi sebagai binder dalam pembuatan pasta.
- b. Tambahkan suspense tersebut kepada bubuk TiO<sub>2</sub> sebanyak kurang lebih 10% volume. Kemudian digerus oleh mortar sampai terbentuk pasta yang baik untuk dilapiskan.
- c. Derajat viskositas dari pasta untuk mendapatkan pasta yang optimal didapat dengan mengatur banyaknya binder dan juga bila diperlukan ditambahkan juga air pada campuran binder dan bubuk TiO<sub>2</sub>,

### 3.7.4 Preparasi Elektrolit

Larutan elektrolit iodide/triiodide dibuat dengan prosedur sebagai berikut (Septiana,2007a:27):

- a. Campurkan potassium iodide (KI) 0.5 M sebanyak 0,8 gram kedalam 10 mL acetonitrile kemudian diaduk.
- b. Tambahkan Iodine (I<sub>2</sub>) 0.05 M sebanyak 0,127 gram kedalam larutan tersebut kemudian diaduk.
- c. Simpan larutan dalam botol tertutup.

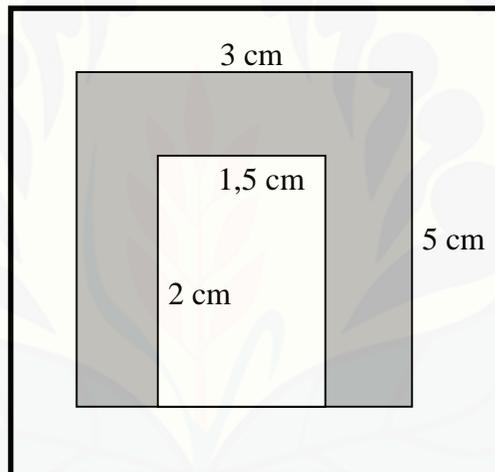
### 3.7.5 Preparasi *Counter*-Elektroda Karbon

Preparasi *counter*-elektroda dilakukan dengan membakar ITO pada sisi konduktif menggunakan api lilin sampai jelangga memenuhi area konduktif tersebut. *Counter*-elektroda berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat reaksi proses reduksi triiodida pada ITO. (Yulika, 2014)

### 3.7.6 Perakitan DSSC

Setelah masing-masing komponen DSSC berhasil dibuat kemudian dilakukan perakitan untuk membentuk sel surya dengan langkah-langkah sebagai berikut (Septiana,2007a:27-29):

- a. Pada ITO yang telah dipotong menjadi ukuran  $\pm 3 \times 5$  cm dibentuk area tempat  $\text{TiO}_2$  dideposisikan menggunakan metoda *doctor-blade* dengan bantuan *scotch tape* pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar  $2 \times 1,5$  dengan ilustrasi pada gambar



**Gambar 3.3** Ilustrasi Skema Area Deposisi Pasta  $\text{TiO}_2$

- b. Pasta  $\text{TiO}_2$  selanjutnya dideposisikan pada area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Kemudian lapisan dikeringkan kurang lebih selama 15 menit selanjutnya lapisan tersebut dibakar/*sintering* dalam tungku listrik pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam. Selanjutnya kaca ITO didinginkan.
- c. Lapisan  $\text{TiO}_2$  kemudian direndam dalam larutan *dye* ekstrak daun tembakau dengan variasi waktu perendaman  $\text{TiO}_2$  kedalam *dye sensitizer* selama 30 menit, 1 jam dan 1,5 jam. Pada proses ini akan terjadi proses absorpsi cyanin ke permukaan  $\text{TiO}_2$ . Setelah permukaan kaca di rendam, dicuci kembali

dengan menggunakan etanol dan dikeringkan dengan tissue pada bagian luarnya.

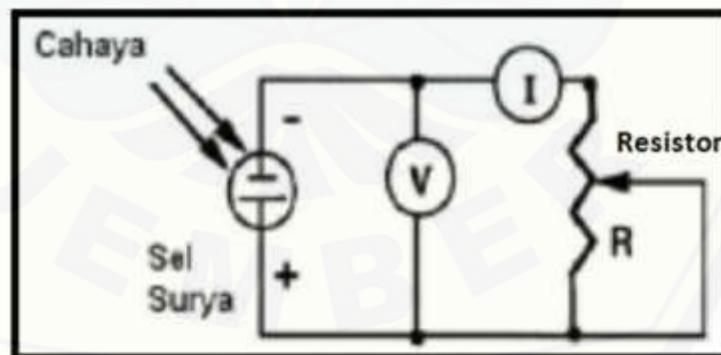
- d. *Counter*-elektroda karbon kemudian diletakkan diatas lapisan  $\text{TiO}_2$  dengan struktur *sandwich* dengan masing-masing ujung diberi *offset* sebesar  $\pm 1$  cm untuk kontak elektrik. Selanjutnya struktur dijepit menggunakan klip pada kedua sisinya agar tidak mudah bergeser.
- e. Membuat *spacer* antara *Counter*-elektroda karbon dan lapisan  $\text{TiO}_2$  agar tidak terjadi arus singkat.
- f. Larutan elektrolit yang telah dibuat sebelumnya kemudian ditetaskan kurang lebih sebanyak 2 tetes pada ruang celah diantara kedua elektroda dan sel surya siap untuk diuji.

### 3.7.7 Pelaksanaan Penelitian

Setelah alat dan bahan telah dirangkai, maka penelitian dapat dilakukan.

Adapun proses penelitian ini dijelaskan sebagai berikut (Septiana,2007a:30):

- a. Sel DSSC yang telah terangkai dirangkai sebagaimana yang digambarkan sesuai dengan gambar rangkaian dibawah ini.



**Gambar 3.4** Skema Rangkaian Listrik Pengujian DSSC

b. Melakukan pengujian

Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian adanya arus dan tegangan yang terukur dari pada sel surya yang telah dibuat dengan menggunakan multimeter. Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya matahari langsung. Pengujian ini dilakukan pada pukul 10:00-14:00 dimana merupakan puncak pancaran sinar matahari ke bumi. Kecerlangan matahari diukur menggunakan lux meter.

c. Mencatat hasil pengukuran pada tabel pengamatan data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah berupa:

- 1) Nilai Iluminansi (Intensitas Pencahayaan) dalam satuan lux yang diperoleh dari pengukuran pancaran sinar matahari.
- 2) Nilai Tegangan (Voltase) dalam satuan Volt yang diperoleh dari tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sel surya.
- 3) Nilai Kuat Arus dalam satuan Ampere yang diperoleh dari kuat arus keluaran yang dihasilkan oleh sel surya.

d. Melakukan percobaan diatas pada semua variable bebas lama waktu perendaman, pada masing-masing lama perendaman dilakukan 3 kali pengulangan pengukuran.

e. Menghitung nilai efisiensi

Data nilai Iluminansi, tegangan dan kuat arus di kalkulasikan berdasarkan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{P \cdot A} \times 100\%$$

(Yuwono,2005:10)

Dimana P merupakan intensitas radiasi matahari ( $\text{watt/m}^2$ ) dan A merupakan luas permukaan sel surya yang disinari oleh sinar matahari.

### 3.7.8 Analisis data

Data yang dianalisis dalam penelitian ini berupa hubungan antara lama perendaman dengan besar tegangan keluaran, lama perendaman dengan besar kuat arus keluaran, dan lama perendaman dengan efisiensi yang dihasilkan untuk memperoleh teori apakah terdapat pengaruh Lama Perendaman  $\text{TiO}_2$  Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana Tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

### 3.7.9 Pembahasan

Tahap pembahasan terhadap penelitian dan hasilnya dapat dilakukan apabila analisis data telah dilakukan. Dalam pembahasan akan diuraikan hasil penelitian sesuai atau tidak dengan teori yang ada.

### 3.7.10 Kesimpulan

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh untuk menjawab rumusan masalah.







### 3.9 Teknik Analisis Data

Setelah melakukan pengukuran pada alat dan bahan maka diketahui:

#### 3.9.1. Menghitung Tegangan Listrik

$$\bar{V} = \frac{\sum \text{Tegangan}}{n}$$

#### 3.9.2. Menghitung rata-rata Kuat Arus Listrik

$$\bar{I} = \frac{\sum \text{Kuat Arus}}{n}$$

#### 3.9.3. Menghitung efisiensi sel surya

##### a. Menghitung nilai iluminansi menjadi intensitas radiasi matahari

Perkiraan konversi 0,0079 W/m<sup>2</sup> per Lux

$$1 \text{ Lux} = 0,0079 \text{ W/m}^2$$

(Hosain,2011:4)

$$I = E \times 0,0079 \text{ W/m}^2$$

##### b. Menghitung efisiensi sel surya

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{P \cdot A} \times 100\%$$

= efisiensi sel surya

$J_m$  = Kuat Arus maksimum (A)

$V_m$  = Tegangan maksimum (V)

I = Intensitas radiasi matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

A = Luas Permukaan (m<sup>2</sup>)

#### 3.9.4. Menghitung kesalahan mutlak pengukuran

##### a. Menghitung kesalahan mutlak iluminasi (E)

$$1) \text{ Kesalahan mutlak } \Delta E = \sqrt{\frac{\sum (E - \bar{E})^2}{n-1}}$$

$$2) \text{ Kesalahan relatif } (E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\%$$

3) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E)

$$4) \text{ HP} = \{ \bar{E} \pm \Delta E \}$$

b. Menghitung kesalahan mutlak Kuat Arus (J)

1) Kesalahan mutlak  $\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}}$

2) Kesalahan relatif (I) =  $\frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\%$

3) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I)

4) HP =  $\{\bar{I} \pm \Delta I\}$

c. Menghitung kesalahan mutlak Tegangan (V)

1) Kesalahan mutlak  $\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}}$

2) Kesalahan relatif (V) =  $\frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\%$

3) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V)

4) HP =  $\{\bar{V} \pm \Delta V\}$

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan oleh peneliti adalah, sebagai berikut:

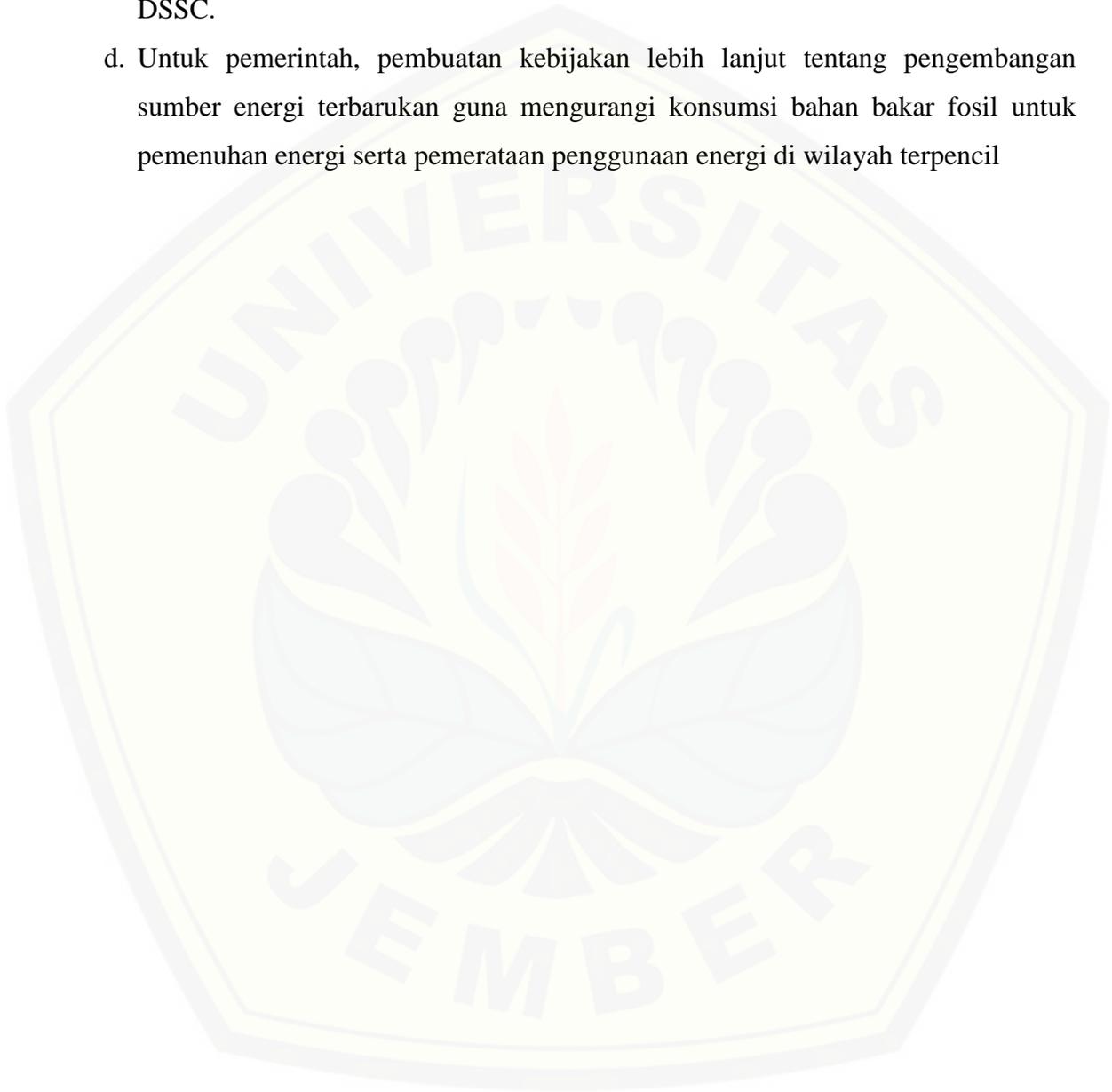
- a. Lama perendaman  $\text{TiO}_2$  memiliki pengaruh terhadap kuat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh DSSC. Semakin lama waktu perendaman, maka *dye* akan terserap dengan baik oleh  $\text{TiO}_2$  serta dapat menghasilkan kuat arus dan tegangan selama  $\text{TiO}_2$  tidak mengalami pelarutan. Kuat arus dan tegangan keluaran efektif dihasilkan oleh DSSC ekstrak daun tembakau dengan lama perendaman 60 menit yakni sebesar 173,6 mV dan 0,621 mA.
- b. Terpengaruhnya nilai kuat arus dan tegangan DSSC membuat efisiensi dari DSSC juga dipengaruhi oleh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  di dalam *dye*. Efisiensi optimal dihasilkan oleh DSSC ekstrak daun tembakau dengan lama perendaman 60 menit yakni sebesar 0,0493% pada pengujian pukul 12:00 dengan intensitas cahaya sebesar  $729,2 \text{ W/m}^2$  untuk area aktif  $3 \text{ cm}^2$ .

### 5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk peneliti maupun penelitian serupa lainnya adalah:

- a. Untuk penelitian selanjutnya, perlu mengkaji lebih jauh mengenai penggunaan kaca konduktif dari layar *handphone* OLED (*Organic LED*) dari segi jenis *handphone*/barang elektronik lain yang menggunakan kaca OLED maupun dari *dye* yang baik untuk kaca konduktif OLED ini guna menghasilkan kestabilan konduktivitas ataupun hambatan yang stabil pada seluruh area substrat.
- b. Untuk Fakultas Keguruan dan Ilmu Pengetahuan, perlu diadakannya penelitian untuk materi fisika terapan sehingga mahasiswa bisa lebih kreatif dalam menuangkan ide dan gagasannya.

- c. Untuk masyarakat pada umumnya, perlu adanya pengetahuan lebih lanjut tentang penggunaan sumber energi terbarukan yang murah dan mudah dibuat, terutama DSSC.
- d. Untuk pemerintah, pembuatan kebijakan lebih lanjut tentang pengembangan sumber energi terbarukan guna mengurangi konsumsi bahan bakar fosil untuk pemenuhan energi serta pemerataan penggunaan energi di wilayah terpencil



## DAFTAR BACAAN

- Anandan, S.. 2007. Recent Improvements and Arising Challenges in Dye-Sensitized Solar Cells. *Solar Energi Materials and Solar Cells*. Vol 91, hal: 843.
- Arora. H., 2010. *Nanomaterials for the Life Science Vol. 8: Nanocomposites*. Inggris : Wiley.
- Asy'ari, H., Jatmiko dan Angga. 2012. Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS*. hal: 52-57.
- Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPM). 2015. Potensi Tembakau di Kabupaten Jember. <http://regionalinvestment.bkpm.go.id/newsipid/commodityarea.php?ia=3509&ic=2587>. [Diakses pada 6 Agustus 2015].
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2014. Proyeksi Penduduk Berdasarkan Hasil Sensus Penduduk 2010. <http://www.bps.go.id/>. [Diakses pada 10 Juni 2015].
- Bialokoz, M.M, & Kaczor, A.A. 2014. Undergraduate Research Article: Computation Analysis of Chlorophyll Structure and UV-Vis Spectra: A Student Research Project on the Spectroscopy of Natural Complexes. *Spectroscopy Letters*.
- Chang, H.P., Qing, Y.Q., Qian, Z. dan, Yong, S.Z.. 2013. Research of NiMH Battery Modeling and Simulation Based on Linear Regression Analysis Method. *TELKOMNIKA*, Vol.11, (4), hal: 683-690.
- Chotimah, T.K., dan Kartini, I. 2012. Efek Intensitas Cahaya terhadap Efisiensi Konversi Daya Sel Surya Organik *Bulk Heterojunction* Berbasis Poly(3-hexylthiophene) dan Phenyl C<sub>61</sub> butyric Acid Methylester. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*. hal: 68-70.
- Chua, S. 2009. Light Vs. Distance. [http://bccp.berkeley.edu/o/Academy/workshop\\_09/pdfs/InverseSquareLawPresentation.pdf](http://bccp.berkeley.edu/o/Academy/workshop_09/pdfs/InverseSquareLawPresentation.pdf) . [Diakses pada 28 April 2016].
- Davis, D.L., & Mark, T.N. 1999. *8A Basic Chemical Constituents of Tobacco Leaf and Differences Among Tobacco Types*. USA: Leffingwell and Associates.

- DeVisser, B.. 2006. *One Of The Biggest Drawbacks To Resistive-Touch-Panel Devices Is The Brittle Nature Of The ITO Coating. An Alternative Coating Made Of Conductive Polymers, Which Promises To Hold Up Much Better In Rugged Conditions, Is Discussed Here*. California, USA: FUJITSU Components America, Inc.
- Ekasari, V. dan Yudoyono, E.. 2013. Fabrikasi DSSC dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber officinale* Linn Var *Rubrum*) Variasi Larutan TiO<sub>2</sub> Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating. *Jurnal Sain dan Seni POMITS* Vol. 2 (1) hal: 15-20.
- Fadhillah, H. & Ahri, B.T.. 2014. Analisis Cara Kerja Layar Sentuh Bersifat Resistif. *SINGUDA ENSIKOM* Vol. 6 (2) hal: 99-105.
- Fernando, J. M. R. C. & Senadeera, G. K. R. 2008. Natural Anthocyanins as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Device. *CURRENT SCIENCE* Vol. 95 (5) hal: 663-666.
- Gratzel, M.. 2003. Dye-Sensitized Solar Cell, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* Vol. 4, hal: 145-153.
- Gtarzel, M. 2005. *Photovoltaic Performance and Long-Term Stability of Dye-sensitized Meosocopic Solar Cells*. Switzerland: Academie Des Sciences.
- Hamida, R., dan Suhara, C.. 2013. Pengaruh Infeksi Cucumber Mosaic Virus (CMV) Terhadap Morfologi, Anatomi, dan Kadar Klorofil Daun Tembakau Cerutu. *Buletin Tananman Tembakau, Serat & Minyak Industri* vol. 5 (1) hal: 11-19. ISSN: 2085.
- Hossain, M. A., Chowdhury, M.M.H., Sabuj, M.N., dan Bari, M.S.. 2011. Performance Evaluation Of 1.68 kWp DC Operated Solar Pump With Auto Tracker Using Microcontroller Based Data Acquisition System. *International Conference on Mechanical Engineering 2011 (ICME2011) Bangladesh*. hal: 1-5. ICME 11-RT-030.
- International Labour Office (ILO). 2007. *Pekerja Anak di Industri Tembakau Jember*. Perubahan Internasional: Jakarta.

- Jaliwala, R.. 2014. *Buku Panduan : Energi yang Terbarukan*. Jakarta : Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat (PNPM) Mandiri.
- Kadir, A. 1995. *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Jakarta: UI-Press
- Kalyanasundaram, K., & Gratzel, M.. 1998. Applications of Functionalized Transition Metal Complexes In Photonic and Optoelectronic Devices. *Coordination Chemistry*.hal: 177.
- Kasperbauer, M. J., & Peaslee D. E.. 1973. Morphology and Photosynthetic Efficiency of Tobacco Leaves That Received End-of-Day Red or Far Red Light during Development. *Plant Physiol*.Vol. 52. hal: 440-442
- Kembaren, S.I.A.. 2015. *Karakterisasi Ekstrak Daun Hemigraphis colorata sebagai Dye pada Dye Sensitizer Solar Cell*. Medan : Universitas Sumatera Utara. hal: 46-50.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). 2013. *Statistik Ketenagalistrikan 2013*. Jakarta: Direktorat Ketenagalistrikan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia (KEMENRISTEK RI). 2006. *Buku Putih Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Energi Baru dan Terbarukan Untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2005-2025*. Jakarta: Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia. hal: 2-15.
- Kittle & Kromer. 1980. *Thermal Physics*.New York:W. H. Freeman.
- Klotz, R.R.. 2008. *Chemical Thermodynamics-Basic Concepts and Methods, 7th ed*. Inggris: Wiley.
- Kumara, M.S.W. & Gontjang, P.. 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*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November. hal: 1-11.

- Leffingwell, J.C.. 1999. *Chapter 8. Leaf Chemistry: Basic Chemical Constituents of Tobacco Leaf and Differences among Tobacco Types*. USA: Blackwell Science (Pub.).
- LoCascio, M. 2002. *Application of Semiconductor Nanocrystals to Photovoltaic Energi Conversion Devices*. New York : Technical White Paper, Troy
- Ma'rufatin, A.2011. *Respon Pertumbuhan Tanaman Kentang (Solanum tuberosum L.) Varietas dan Super Jhon dalam Sistem Aeroponik Terhadap Periode Pencahayaan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor. hal: 9-11.
- McDonald, S.A., Konstantatos, G., Zhang, S., Cyr, P.W., Klem, E.J., Levina, L., dan Sargent, E.H.. 2005. Solution-processed PbS quantum dot infrared photodetectors and photovoltaics. *Nature Materials* **4** (2).
- Misbachudin, M.C., Trihandaru, S., dan Sutresno, A.. 2013. Studi Awal Ekstrak Antosianin Strawberry Sebagai Fotosensitizer dalam Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *Seminar Nasional 2<sup>nd</sup> Lontar Physics Forum 2013*. ISBN:978-602-8047-80-7. hal: 1-5.
- Moller, H.J.. 1993. *Semiconductors For Solar Cells*. London: Artech House, Inc.
- Narayan, M.R. 2012. Review: Dye Sensitized Solar Cells Based On Natural Photosensitizers. *Renewable and Sustainable Energi Review*. Vol. 16. ISSN: 1364-0321. hal: 208-215.
- Nygren, K.. 2010. *Solar Cells Based on Synthesized Nanocrystalline ZnO Thin Films Sensitized by Chlorophyll A and Photopigments Isolated From Spinach*. Swedia: Linkoping University.
- O'Regan, B., & Gratzel, M.. 1991. A Low Cost, High Efficiency Solar Cell Based Upon Dye-Sensitized Colloidal TiO<sub>2</sub> Films. *Nature*, Vol. 353.
- Phani, G., Tulloch, G., Vittorio, D., dan Skyrabin, I.. 2001. Titania Solar Cells: New Photovoltaic Technology. *Renewable Energi*. hal: 22.
- Prasatya, A.N., dan Susanti, D.. 2013. Pengaruh Temperatur Kalsinasi pada Kaca FTO yang di-coating ZnO terhadap Efisiensi DSSC (*Dye Sensitized Solar*

Cell) yang Menggunakan Dye dari Buah Terung Belanda (*Solanum betaceum*). *Jurnal Teknik POMITS vol. 2 (2)*.hal: 378-380.

Prasetyowati, R. 2012. Sel Surya Berbasis Titania Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Pendidikan dan Penerapan MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*. hal: 1-6.

Prananto, H.D., Tyaswuri, A., Stefphanie, C., dan Bahriarto, Y.. 2013. Dye Sensitizer Solar Cell (DSSC) Berbahan Dasar Klorofil Daun Cincau Sebagai Fotosensitizer. *Seminar Nasional Fisika Universitas Negeri Jakarta, 1 Juni 2013*. hal: 30-32.

Qing, Q.C, Feng, C.S., dan Jia, G.Z.. 2004. *Modern Electric Car Technology*. Beijing : Beijing Institute of Technology Press.

Reti, I. & Urmos, A.. 2012. MBE Technology in the Colourful LED and Solar Cell Production. *Obuda University e-Bulletin, Vol.3 (1)* hal: 191-201.

Sari, A.P.P., Santoso, K., dan Januar, J. 2014. Potensi Wilayah dan Dampak Serta Kontribusi Komoditas Tembakau Besuki *NA-OOGST* Tanam Awal Terhadap Sektor Perkebunan Kabupaten Jember. *JSEP Vol. 7 (1)* hal: 32-45.

Sastrawan, R.. 2006. *Photovoltaic Modules of Dye Solar Cells*. University of Freiburg.

Septiana, W., Fajarisandi, D., & Aditia, M.. 2007a. Pembuatan Prototipe Solar Cell dengan Organik-Inorganik (*Dye Sensitized Solar Cell*). Bandung : PT. Rekayasa Industri. hal: 31-36.

Septina, W.. 2007b. *Sintesa Nanokristal Mesopori TiO<sub>2</sub> dengan Metoda Sol-Gel*. Bandung: Institut Teknologi Bandung. hal: 26-36.

Siswanto. 2004. *Monograf Pengembangan Tembakau Unggulan di Sumenep*. Surabaya: UPN "Veteran" Jawa Timur.

Song, W.. 2007. TiO<sub>2</sub> Films Prepared by Micro-plasma Oxidation Method for Dye-Sensitized Solar Cell. *Electrochimia Acta*. hal: 53.

- Suarna, I.W.. 2008. *Model Penanggulangan Masalah Sampah Perkotaan dan Perdesaan*. Bali: Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Udayana.
- Sugiyono, A., Anindhita, Boedoyo, M.S. dan Adiarso. 2014. *Outlook Energi Indonesia 2014 (Indonesia Energi Outlook 2014): Pengembangan Energi Mendukung Program Substitusi BBM*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). hal: 2-6.
- Sumaryanti. 2011. Karakteristik Optik dan Listrik Larutan Klorofil Spirulina Sp sebagai Dye Sensitized Solar Cell. *Jurnal Material dan Energi Indonesia* Vol. 01 (03) hal:141-147. Universitas Padjajaran.
- 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) hal: 1-5.
- The Feynman Lectures on Physics Volume I
- Wu, L.J.Z., Hao, S., Li, P., *et al.*. 2008. Progress On The Electrolytes For Dye-Sensitized Solar Cells. *Pure and Applied Chemistry* Vol. 80, hal: 241.
- Yulika, D., Kusumandari, & Suryana, R.. 2014. Pelapisan TiO<sub>2</sub> di atas FTO dengan Teknik *Slip Casting* dan *Spin Coating* untuk Aplikasi DSSC. *Jurnal Fisika Indonesia*. vol. 18 (53) hal: 66-69.
- Yuwono, B. 2005. *Optimalisasi Panel Sel Surya dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret. hal: 38-41.
- Zhou, H., Wu, L., Gao, Y., dan Ma, T.. 2011. Dye-Sensitized Solar Cells Using 20 Natural Dyes As Sensitizers. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 219. ELSEVIER B.V. 10.1016/j.jphotochem.2011.02.008. hal: 188-194.



**LAMPIRAN – LAMPIRAN**

LAMPIRAN A

MATRIKS PENELITIAN

Nama : Hidayatul Fitriya

NIM : 120210152037

Judul	Permasalahan	Tujuan	Variabel	Indikator	Sumber Data	Metode Penelitian
Pengaruh Lama Perendaman TiO <sub>2</sub> Dalam Dye Sensitizer Ekstrak Daun Tembakau ( <i>Nicotiana tabacum L</i> ) Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)	1. Bagaimanakah pengaruh lama perendaman TiO <sub>2</sub> dalam dye sensitizer ekstrak daun tembakau ( <i>Nicotiana tabacum L</i> ) terhadap besar kuat arus dan tegangan keluaran Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)?	1. Mengkaji pengaruh lama perendaman TiO <sub>2</sub> dalam dye sensitizer ekstrak daun tembakau ( <i>Nicotiana tabacum L</i> ) terhadap besar kuat arus dan tegangan keluaran Dye Sensitized Solar Cell (DSSC).	Variabel bebas : Lama perendaman TiO <sub>2</sub> kedalam dye sensitized daun tembakau yang terdiri dari 30 menit, 1 jam, dan 1,5 jam.  Variabel Terikat: Karakteristik nilai tegangan keluaran dan kuat arus yang dihasilkan.  Variabel kontrol: 1. Dye sensitized yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari ekstrak daun tembakau	Karakteristik nilai tegangan keluaran dan kuat arus yang dihasilkan.	1. Sampel data hasil penelitian adalah tabel dan grafik hasil pengamatan karakteristik nilai tegangan keluaran dan kuat arus yang dihasilkan .  2. Referensi : Jurnal, Karya	1. Jenis penelitian : <i>True Experiment</i> Analisis Deskriptif.  2. Lokasi penelitian : Laboratorium Fisika Lanjut FKIP dan Laboratorium Anorganik Kimia

	<p>2. Bagaimanakah pengaruh lama perendaman <math>\text{TiO}_2</math> dalam <i>dye sensitizer</i> ekstrak daun tembakau (<i>Nicotiana tabacum L</i>) terhadap efisiensi <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)?</p>	<p>2. Mengkaji pengaruh lama perendaman <math>\text{TiO}_2</math> dalam <i>dye sensitizer</i> ekstrak daun tembakau (<i>Nicotiana tabacum L</i>) terhadap efisiensi <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC).</p>	<p>(<i>Nicotiana tabacum L</i>).</p> <p>2. Jenis Kaca <i>Transparent Conducting Oxide</i> (TCO) dalam penelitian ini menggunakan kaca <i>Indium Thin Oxide</i> (ITO) dari layar <i>handphone</i> bekas jenis OLED.</p> <p>3. Waktu lama perendaman yang digunakan adalah 30 menit, 1 jam, dan 1,5 jam.</p> <p>4. Proses pengambilan data dilakukan setiap jam mulai dari pukul 10:00 – 14:00.</p>		<p>Ilmiah, website dan buku-buku terkait.</p>	<p>FMIPA Universitas Jember.</p>
--	--	--	---	--	---	----------------------------------

**LAMPIRAN B**

**PERHITUNGAN RALAT**

**1. Menghitung Tegangan Listrik**

$$\bar{V} = \frac{\sum \text{Tegangan}}{n}$$

a. DSSC T30 dengan lama perendaman 30 menit

$$10:00 : \bar{V} = \frac{(4+3,8+3,5)}{3} = 3,8 \text{ mV}$$

$$11:00 : \bar{V} = \frac{(16,9+15,5+15,1)}{3} = 15,8 \text{ mV}$$

$$12:00 : \bar{V} = \frac{(23,9+23,5+21,1)}{3} = 22,8 \text{ mV}$$

$$13:00 : \bar{V} = \frac{(7,2+6,4+5,3)}{3} = 6,3 \text{ mV}$$

$$14:00 : \bar{V} = \frac{(5,3+4,6+5)}{3} = 4,9 \text{ mV}$$

b. DSSC T60 dengan lama perendaman 60 menit

$$10:00 : \bar{V} = \frac{(7,2+2,1+6,6)}{3} = 6,9 \text{ mV}$$

$$11:00 : \bar{V} = \frac{(167+173+50)}{3} = 130 \text{ mV}$$

$$12:00 : \bar{V} = \frac{(177,9+175,5+167,3)}{3} = 173,6 \text{ mV}$$

$$13:00 : \bar{V} = \frac{(114,8+85,5+105,9)}{3} = 102,1 \text{ mV}$$

$$14:00 : \bar{V} = \frac{(83,4+99,7+89,3)}{3} = 90,8 \text{ mV}$$

c. DSSC T90 dengan lama perendaman 90 menit

$$10:00 : \bar{V} = \frac{(3,2+3,1+3,0)}{3} = 3,1 \text{ mV}$$

$$11:00 : \bar{V} = \frac{(13,6+12,5+12,0)}{3} = 12,7 \text{ mV}$$

$$12:00 : \bar{V} = \frac{(18,3+16,9+16,1)}{3} = 17,1 \text{ mV}$$

$$13:00 : \quad \bar{V} = \frac{(18+16,7+15,8)}{3} = 16,8 \text{ mV}$$

$$14:00 : \quad \bar{V} = \frac{(8,1+7,6+4,8)}{3} = 6,8 \text{ mV}$$

## 2. Menghitung rata-rata Kuat Arus Listrik

$$\bar{I} = \frac{\sum \text{Kuat Arus}}{n}$$

a. DSSC T30 dengan lama perendaman 30 menit

$$10:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0148+0,0140+0,0129)}{3} = 0,0139 \text{ mA}$$

$$11:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0624+0,0572+0,0557)}{3} = 0,0584 \text{ mA}$$

$$12:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0882+0,0867+0,0779)}{3} = 0,0843 \text{ mA}$$

$$13:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0226+0,0236+0,0196)}{3} = 0,0232 \text{ mA}$$

$$14:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0196+0,0170+0,0185)}{3} = 0,0183 \text{ mA}$$

b. DSSC T60 dengan lama perendaman 60 menit

$$10:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0258+0,0254+0,0236)}{3} = 0,0249 \text{ mA}$$

$$11:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,598+0,619+0,179)}{3} = 0,466 \text{ mA}$$

$$12:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,637+0,629+0,599)}{3} = 0,621 \text{ mA}$$

$$13:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,411+0,306+0,379)}{3} = 0,366 \text{ mA}$$

$$14:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,299+0,357+0,319)}{3} = 0,325 \text{ mA}$$

c. DSSC T90 dengan lama perendaman 90 menit

$$10:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0129+0,0125+0,0121)}{3} = 0,0124 \text{ mA}$$

$$11:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0546+0,0502+0,0482)}{3} = 0,0510 \text{ mA}$$

$$12:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0735+0,0679+0,0647)}{3} = 0,0687 \text{ mA}$$

$$13:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0723+0,0671+0,0635)}{3} = 0,0676 \text{ mA}$$

$$14:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0325+0,0305+0,0193)}{3} = 0,0274 \text{ mA}$$

### 3. Menghitung efisiensi sel surya

- a. Menghitung nilai iluminansi menjadi intensitas radiasi matahari

Perkiraan konversi  $0,0079 \text{ W/m}^2$  per Lux

$$1 \text{ Lux} = 0,0079 \text{ W/m}^2 =$$

$$I = \bar{E} \times 0,0079 \text{ W/m}^2$$

$$10:00 : \quad I = 74800 \times 0,0079 = 590,9 \text{ W /m}^2$$

$$11:00 : \quad I = 87766,7 \times 0,0079 = 693,4 \text{ W /m}^2$$

$$12:00 : \quad I = 92300 \times 0,0079 = 729,2 \text{ W /m}^2$$

$$13:00 : \quad I = 84466,7 \times 0,0079 = 667,3 \text{ W /m}^2$$

$$14:00 : \quad I = 73200 \times 0,0079 = 578,3 \text{ W /m}^2$$

### 4. Menghitung efisiensi sel surya

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{P \cdot A} \times 100\%$$

- a. DSSC T30 dengan lama perendaman 30 menit

$$10:00 : \quad \eta = \frac{(0,0139 \times 10^{-3} \text{ A})(3,8 \times 10^{-3} \text{ V})}{(590,9 \text{ W /m}^2)(0,0003 \text{ m}^2)} \times 100\% = 0,0000295 \%$$

$$11:00 : \quad \eta = \frac{(0,0584 \times 10^{-3} \text{ A})(15,8 \times 10^{-3} \text{ V})}{(693,4 \text{ W /m}^2)(0,0003 \text{ m}^2)} \times 100\% = 0,000445 \%$$

$$12:00 : \quad \eta = \frac{(0,0843 \times 10^{-3} \text{ A})(22,8 \times 10^{-3} \text{ V})}{(729,2 \text{ W /m}^2)(0,0003 \text{ m}^2)} \times 100\% = 0,000879 \%$$

$$13:00 : \quad \eta = \frac{(0,0232 \times 10^{-3} \text{ A})(6,3 \times 10^{-3} \text{ V})}{(667,3 \text{ W /m}^2)(0,0003 \text{ m}^2)} \times 100\% = 0,0000732 \%$$

$$14:00 : \quad \eta = \frac{(0,0183 \times 10^{-3} A)(4,9 \times 10^{-3} V)}{(578,3 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0000525 \%$$

b. DSSC T60 dengan lama perendaman 60 meni

$$10:00 : \quad \eta = \frac{(0,0249 \times 10^{-3} A)(6,9 \times 10^{-3} V)}{(590,9 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0000981 \%$$

$$11:00 : \quad \eta = \frac{(0,466 \times 10^{-3} A)(130 \times 10^{-3} V)}{(693,4 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0291 \%$$

$$12:00 : \quad \eta = \frac{(0,621 \times 10^{-3} A)(173,6 \times 10^{-3} V)}{(729,2 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0493 \%$$

$$13:00 : \quad \eta = \frac{(0,366 \times 10^{-3} A)(102,1 \times 10^{-3} V)}{(667,3 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0186 \%$$

$$14:00 : \quad \eta = \frac{(0,325 \times 10^{-3} A)(90,8 \times 10^{-3} V)}{(578,3 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0170 \%$$

c. DSSC T90 dengan lama perendaman 90 menit

$$10:00 : \quad \eta = \frac{(0,0124 \times 10^{-3} A)(3,1 \times 10^{-3} V)}{(590,9 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0000218 \%$$

$$11:00 : \quad \eta = \frac{(0,0510 \times 10^{-3} A)(12,7 \times 10^{-3} V)}{(693,4 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,000312 \%$$

$$12:00 : \quad \eta = \frac{(0,0687 \times 10^{-3} A)(17,1 \times 10^{-3} V)}{(729,2 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,000537 \%$$

$$13:00 : \quad \eta = \frac{(0,0676 \times 10^{-3} A)(16,8 \times 10^{-3} V)}{(667,3 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,000568 \%$$

$$14:00 : \quad \eta = \frac{(0,0274 \times 10^{-3} A)(6,8 \times 10^{-3} V)}{(578,3 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,000108 \%$$

## 5. Menghitung kesalahan mutlak pengukuran

a. Menghitung kesalahan mutlak iluminasi (E)

$$1) \text{ Kesalahan mutlak } \Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}}$$

$$2) \text{ Kesalahan relatif } (E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\%$$

$$3) \text{ Keseksamaan} = 100\% - \text{kesalahan relatif (E)}$$

$$4) \text{ HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\}$$

a) 10:00 :

- 74700 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0945 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{74800 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

- 75000 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 141,4 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,189 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,8 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{74800 \pm 141,4\} \text{ Lux}$$

- 74700 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0945 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{74800 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

b) 11:00 :

- 87900 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 94,3 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,170\%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,8%

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{87766,7 \pm 94,3\} \text{ Lux}$$

- 87600 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 117,8 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,134 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{87766,7 \pm 117,8\} \text{ Lux}$$

- 87800 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 23,6 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0268 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{87766,7 \pm 23,6\} \text{ Lux}$$

c) 12:00 :

- 92300 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 0 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 100 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{92300 \pm 0\} \text{ Lux}$$

- 92200 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0766 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{92300 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

- 92400 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0766 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{92300 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

d) 13:00 :

- 85300

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 589,3 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,698 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,3 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{84466,7 \pm 589,2\} \text{ Lux}$$

- 84600

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 94,3 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,112 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{84466,7 \pm 94,3\} \text{ Lux}$$

- 83500

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 683,5 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,809 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,2 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{84466,7 \pm 683,5\} \text{ Lux}$$

e) 14:00 :

- 73200 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 0 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 100 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{73200 \pm 0\} \text{ Lux}$$

- 73300 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0966 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{73200 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

- 73200 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0966 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{73200 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

b. Menghitung kesalahan mutlak Kuat Arus (I)

$$1) \text{ Kesalahan mutlak } \Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}}$$

$$2) \text{ Kesalahan relatif } (I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\%$$

3) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I)

$$4) \text{ HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\}$$

a) DSSC T30 dengan lama perendaman 30 menit

10:00 :

- 0,0148 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0006 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,58 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,4 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0139 \pm 0,0006\} \text{ mA}$$

- 0,0140 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,00007 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,509 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 99,5 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0139 \pm 0,00007\} \text{ mA}$$

- 0,0129 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0007 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 5,087 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 94,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0139 \pm 0,0007\} \text{ mA}$$

11:00 :

- 0,0624 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0028 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,80 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 95,2 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0584 \pm 0,0028\} \text{ mA}$$

- 0,0572 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0008 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,49 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 98,5 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0584 \pm 0,0008\} \text{ mA}$$

- 0,0557 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0019 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 3,3 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 96,7 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0584 \pm 0,0019\} \text{ mA}$$

12:00 :

- 0,0882 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0027 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 3,29 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 96,7 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0843 \pm 0,0027\} \text{ mA}$$

- 0,0867 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0017 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 2,03 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 97,9%

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0843 \pm 0,0017\} \text{ mA}$$

- 0,0779 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0045 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 5,35 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 94,6 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0843 \pm 0,0045\} \text{ mA}$$

13:00 :

- 0,0266 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0023 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 9,89 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 90,1 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0232 \pm 0,0023\} \text{ mA}$$

- 0,0236 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0002 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,06 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 98,9 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0232 \pm 0,0002\} \text{ mA}$$

- 0,0196 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0025 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 11,1 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 88,9 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0232 \pm 0,0025\} \text{ mA}$$

14:00 :

- 0,0196 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0008 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,89 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,1 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0183 \pm 0,0008\} \text{ mA}$$

- 0,0170 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0009 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 5,13 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 94,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0183 \pm 0,0009\} \text{ mA}$$

- 0,0185 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0001 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,656 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 99,3 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0183 \pm 0,0001\} \text{ mA}$$

b) DSSC T60 dengan lama perendaman 60 menit

10:00 :

- 0,0258 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0006 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 2,38 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 97,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0249 \pm 0,0006\} \text{ mA}$$

- 0,0254 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0003 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,25 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 98,8 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0249 \pm 0,0003\} \text{ mA}$$

- 0,0236 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0009 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 3,85 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 96,2 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0249 \pm 0,0009\} \text{ mA}$$

11:00 :

- 0,598 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0935 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 20,1 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 79,911 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,466 \pm 0,0935\} \text{ mA}$$

- 0,620 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,109 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 23,4 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 76,6 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,466 \pm 0,1091\} \text{ mA}$$

- 0,179 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,203 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 43,5 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 56,5 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,466 \pm 0,2027\} \text{ mA}$$

12:00 :

- 0,637 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0108 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,74 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 98,3 %

$$HP = \{\bar{J} \pm \Delta J\} = \{0,622 \pm 0,0108\} \text{ mA}$$

- 0,629 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0052 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,830 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 99,2 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,622 \pm 0,0052\} \text{ mA}$$

- 0,599 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0160 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 2,58 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 97,4 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,622 \pm 0,0160\} \text{ mA}$$

13:00 :

- 0,411 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0321 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 8,78 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 91,2 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,366 \pm 0,0321\} \text{ mA}$$

- 0,306 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0421 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 11,5 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 88,5 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,366 \pm 0,0421\} \text{ mA}$$

- 0,379 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0095 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 2,59 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 97,4 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,366 \pm 0,0095\} \text{ mA}$$

14:00 :

- 0,299 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0185 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 5,72 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 94,3 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,325 \pm 0,0185\} \text{ mA}$$

- 0,357 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0224 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 6,806 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 93,1 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,325 \pm 0,0224\} \text{ mA}$$

- 0,320 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0037 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,15 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 98,8%

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,325 \pm 0,0037\} \text{ mA}$$

c) DSSC T90 dengan lama perendaman 90 menit

10:00 :

- 0,0129 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0003 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 2,56 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 97,4 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0124 \pm 0,0003\} \text{ mA}$$

- 0,0125 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,00004 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,284 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 99,7 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0124 \pm 0,00004\} \text{ mA}$$

- 0,0121 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0002 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,99 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 98,0 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0124 \pm 0,0002\} \text{ mA}$$

11:00 :

- 0,0546 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0025 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,96 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,0%

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0510 \pm 0,0025\} \text{ mA}$$

- 0,0502 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0006 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,14 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 98,9%

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0510 \pm 0,0006\} \text{ mA}$$

- 0,0482 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0019 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 3,91 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 96,1%

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0510 \pm 0,0019\} \text{ mA}$$

12:00 :

- 0,0735 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0034 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,94 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,1 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0687 \pm 0,0034\} \text{ mA}$$

- 0,0679 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0006 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,823 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 99,2 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0687 \pm 0,0006\} \text{ mA}$$

- 0,0647 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0028 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,12 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0687 \pm 0,0028\} \text{ mA}$$

13:00 :

- 0,0723 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0033 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,89 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,1 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0676 \pm 0,0033\} \text{ mA}$$

- 0,0671 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0003 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,554 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 99,4 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0676 \pm 0,0003\} \text{ mA}$$

- 0,0635 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0029 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,32 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,7 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0676 \pm 0,0029\} \text{ mA}$$

14:00 :

- 0,0325 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0036 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 13,0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 86,9 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0274 \pm 0,0036\} \text{ mA}$$

- 0,0305 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0022 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 7,86 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 92,1 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0274 \pm 0,0022\} \text{ mA}$$

- 0,0193 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0057 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 20,9 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 79,0 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0676 \pm 0,0057\} \text{ mA}$$

c. Menghitung kesalahan mutlak Tegangan (V)

$$1) \text{ Kesalahan mutlak } \Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}}$$

$$2) \text{ Kesalahan relatif } (V) = \frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\%$$

3) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V)

$$4) \text{ HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\}$$

a) DSSC T30 dengan lama perendaman 30 menit

10:00 :

- 4,0 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,16 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\% = 4,4 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,8 \pm 0,16\} \text{ mV}$$

- 3,8 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,024 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\% = 0,63 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 99,4 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,8 \pm 0,024\} \text{ mV}$$

- 3,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,19 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,8 \pm 0,19\} \text{ mV}$$

11:00 :

- 16,9 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,754 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,76 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,2 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{15,8 \pm 0,754\} \text{ mV}$$

- 15,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,236 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,49 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,5 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{15,8 \pm 0,236\} \text{ mV}$$

- 15,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,519 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 3,28 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 96,7 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{15,8 \pm 0,519\} \text{ mV}$$

12:00 :

- 23,9 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,754 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 3,30 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 96,7 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{22,8 \pm 0,754\} \text{ mV}$$

- 23,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,471 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,06 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{22,8 \pm 0,471\} \text{ mV}$$

- 21,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 1,23 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,37 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{22,8 \pm 1,23\} \text{ mV}$$

13:00 :

- 7,2 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,64 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 10,1 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 89,9%

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,3 \pm 0,64\} \text{ mV}$$

- 6,4 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,071 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,1 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,9 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,3 \pm 0,071\} \text{ mV}$$

- 5,3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,71 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 11,3 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 88,8 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,3 \pm 0,71\} \text{ mV}$$

14:00 :

- 5,3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,24 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,8 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,3 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{4,9 \pm 0,24\} \text{ mV}$$

- 4,6 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,26 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,2 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,8 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{4,9 \pm 0,26\} \text{ mV}$$

- 5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,023 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 0,47 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 99,5 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{4,9 \pm 0,023\} \text{ mV}$$

b) DSSC T60 dengan lama perendaman 60 menit

10:00 :

- 7,2 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,16 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,4 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,9 \pm 0,16\} \text{ mV}$$

- 7,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,094 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,4 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,6%

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,9 \pm 0,094\} \text{ mV}$$

- 6,6 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,26 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 3,7 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 96,3%

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,9 \pm 0,26\} \text{ mV}$$

11:00 :

- 167 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 26,2 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 20,1 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 79,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{130 \pm 26,2\} \text{ mV}$$

- 173 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 30,4 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 23,4 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 76,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{130 \pm 30,4\} \text{ mV}$$

- 50 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 56,6 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 43,5 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 56,5 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{130 \pm 56,6\} \text{ mV}$$

12:00 :

- 177,9 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 3,064 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,765 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,24 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{173,6 \pm 3,064\} \text{ mV}$$

- 175,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 1,367 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 0,7876 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 99,21 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{173,6 \pm 1,367\} \text{ mV}$$

- 167,3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 4,431 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,553 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,447 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{173,6 \pm 4,431\} \text{ mV}$$

13:00 :

- 114,8 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 9,004 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 8,821 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 91,18 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{102,1 \pm 9,004\} \text{ mV}$$

- 85,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 11,7 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 11,5 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 88,5 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{102,1 \pm 11,7\} \text{ mV}$$

- 105,9 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 2,711 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,656 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,34 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{102,1 \pm 2,711\} \text{ mV}$$

14:00 :

- 99,7 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 6,29 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 6,93 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 93,1 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{90,8 \pm 6,29\} \text{ mV}$$

- 89,3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 1,06 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,17 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,8 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{90,8 \pm 1,06\} \text{ mV}$$

- 83,4 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 4,95 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,45 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{90,8 \pm 4,95\} \text{ mV}$$

c) DSSC T90 dengan lama perendaman 90 menit

10:00 :

- 3,2 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,071 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,3 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,7 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,1 \pm 0,071\} \text{ mV}$$

- 3,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 100 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,1 \pm 0\} \text{ mV}$$

- 3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,07 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,3 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,7 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,1 \pm 0,07\} \text{ mV}$$

11:00 :

- 13,6 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,636 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,01 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,9 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{12,7 \pm 0,636\} \text{ mV}$$

- 12,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,141 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,11 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,9 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{12,7 \pm 0,141\} \text{ mV}$$

- 12 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,49 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 3,9 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 96,1 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{12,7 \pm 0,49\} \text{ mV}$$

12:00 :

- 18,3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,848 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,99 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,0 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{17,1 \pm 0,848\} \text{ mV}$$

- 16,7 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,283 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,65 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,4%

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{17,1 \pm 0,283\} \text{ mV}$$

- 16,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,707 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,14 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{17,1 \pm 0,707\} \text{ mV}$$

13:00 :

- 18 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,825 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,90 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,1 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{16,8 \pm 0,825\} \text{ mV}$$

- 16,7 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,919 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,46 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,5 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{16,8 \pm 0,919\} \text{ mV}$$

- 15,8 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,731 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,34 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{16,8 \pm 0,731\} \text{ mV}$$

14:00 :

- 8,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,89 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 13,1 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 86,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,8 \pm 0,89\} \text{ mV}$$

- 7,6 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,54 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 7,9 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 92,1%

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,8 \pm 0,54\} \text{ mV}$$

- 4,8 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 1,4 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 21,0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 78,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,8 \pm 1,4\} \text{ mV}$$

LAMPIRAN C

DOKUMENTASI



Kaca Konduktif OLED dari Layar *Handphone*



Proses pembersihan TCO dari *LCD Handphone*



Pembuatan *dye sensitizer* dari ekstrak daun tembakau



*Dye sensitizer* ekstrak daun tembakau



Bahan pembuatan larutan elektrolit



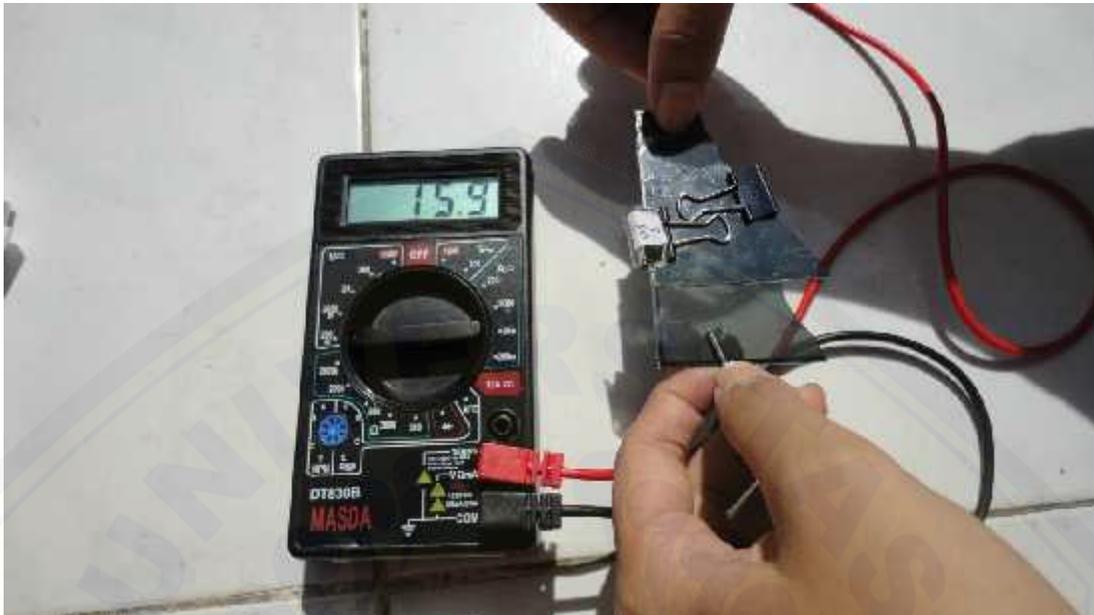
Pelapisan  $\text{TiO}_2$  pada TCO



Proses perendaman DSSC ke dalam *dye sensitizer* dalam ruangan tertutup



Pengujian Intensitas Radiasi Matahari menggunakan Lux Meter



Pengujian DSSC dibawah sinar matahari



Proses Pengujian DSSC



**PENGARUH LAMA PERENDAMAN  $\text{TiO}_2$  DALAM *DYE SENSITIZER*  
EKSTRAK DAUN TEMBAKAU (*Nicotiana tabacum L*) TERHADAP  
EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Hidayatul Fitriya  
NIM 120210102037**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
JEMBER  
2016**



**PENGARUH LAMA PERENDAMAN  $\text{TiO}_2$  DALAM *DYE SENSITIZER*  
EKSTRAK DAUN TEMBAKAU (*Nicotiana tabacum L*) TERHADAP  
EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

**SKRIPSI**

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

Oleh:

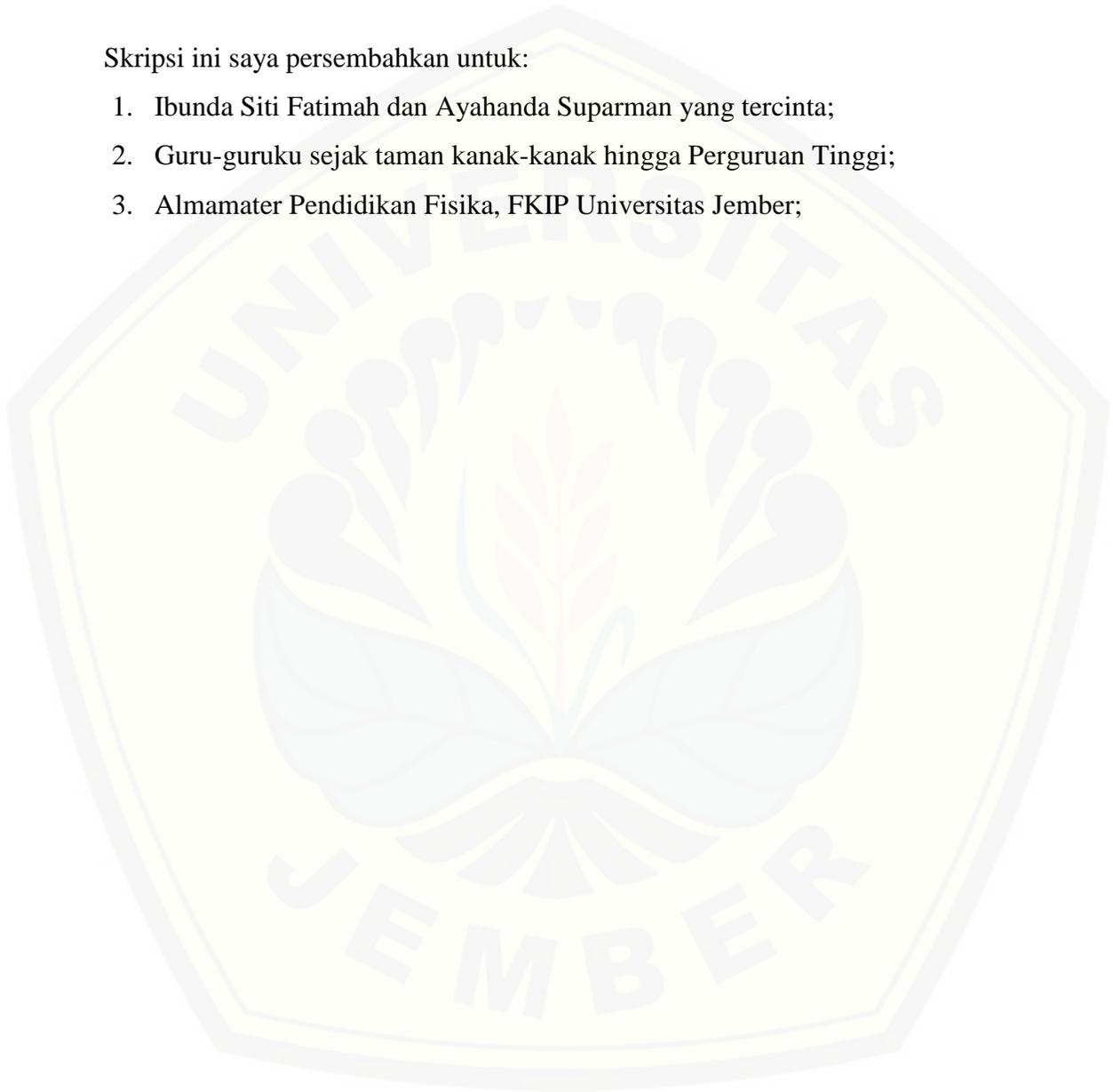
**Hidayatul Fitriya**  
**NIM 120210102037**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA  
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA  
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN  
UNIVERSITAS JEMBER  
JEMBER  
2016**

**PERSEMBAHAN**

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Siti Fatimah dan Ayahanda Suparman yang tercinta;
2. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak hingga Perguruan Tinggi;
3. Almamater Pendidikan Fisika, FKIP Universitas Jember;



**MOTO**

“Dan Allah tidak menjadikan pemberian bala bantuan itu melainkan sebagai kabar gembira bagi (kemenangan) mu, dan agar tentram hatimu karenanya. Dan kemenanganmu itu hanyalah dari Allah Yang Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana”  
(terjemahan Surat Ali Imron ayat 126)<sup>\*)</sup>

---

<sup>\*)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT. Kumudasmoro Grafindo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Hidayatul Fitriya

NIM : 120210102037

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pengaruh Lama Perendaman  $\text{TiO}_2$  Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 29 Agustus 2016  
Yang menyatakan,

(Hidayatul Fitriya)  
NIM 120210102037

**SKRIPSI**

**PENGARUH LAMA PERENDAMAN  $\text{TiO}_2$  DALAM *DYE SENSITIZER*  
EKSTRAK DAUN TEMBAKAU (*Nicotiana tabacum L*) TERHADAP  
EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)***

Oleh

Hidayatul Fitriya

NIM 120210102037

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Rif'ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Lama Perendaman  $\text{TiO}_2$  Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Senin, 29 Agustus 2016

tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Rif'ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si.  
NIP 19810205 200604 2 001

Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si.  
NIP 19641230 199302 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.  
NIP 19620401 198702 1 001

Drs. Bambang Supriadi, M.Sc.  
NIP 19680710 199302 1 001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,

Prof. Dr. Sunardi, M.Pd.  
NIP 19540501 198303 1 005

## RINGKASAN

**Pengaruh Lama Perendaman  $\text{TiO}_2$  Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC); Hidayatul Fitriya,120210102037; 2016: 55 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.**

Energi merupakan suatu pembahasan yang amat krusial bagi sebuah Negara, karena energi merupakan salah satu faktor penunjang berkelanjutan dalam bidang ekonomi, sosial dan lingkungan suatu bangsa. Seiring dengan perkembangan teknologi, kebutuhan akan konsumsi energi semakin meningkat. Namun peningkatan kebutuhan masih belum bisa diimbangi dengan pemerataan pasokan energi sampai ke pelosok negeri. Oleh karena itu dibutuhkannya sumber energi alternatif terbarukan yang bisa digunakan untuk menutupi kebutuhan energi yang kurang dan mampu disebarkan secara merata sampai ke wilayah pelosok. Solusi alternatif yang dapat digunakan di Indonesia dengan persebaran dan lokasi wilayah demikian adalah dengan pengembangan sel surya. Salah satu jenis sel surya yang mudah dan murah untuk dibuat adalah DSSC. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lama perendaman efektif untuk DSSC dengan *dye* ekstrak daun tembakau. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi alternatif pemenuhan kebutuhan pasokan energi di wilayah terpencil.

Penelitian ini dilaksanakan dengan melalui beberapa tahapan yakni preparasi larutan Ekstrak klorofil daun Tembakau sebagai *dye sensitizer*, pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ , preparasi elektrolit, preparasi *counter*-elektroda karbon, perakitan DSSC dan yang terakhir adalah pengujian. Variabel bebas yang digunakan oleh penelitian ini adalah lama perendaman lapisan  $\text{TiO}_2$  kedalam *dye sensitizer* dengan lama waktu 30 menit, 1 jam dan 1,5 jam. Pengujian dilakukan mulai pukul 10:00 – 14:00 dan

dilakukan setiap pergantian jam. Hal yang diuji dalam penelitian ini adalah hasil kuat arus dan tegangan yang dikeluarkan serta persentase efisiensi sel surya yang dihasilkan DSSC pada masing-masing variabel.

Penelitian yang telah dilakukan menghasilkan nilai puncak kuat arus dan tegangan oleh DSSC dengan lama perendaman 30 menit, 1 jam dan 1,5 jam pada pukul 12:00 yakni dengan nilai Intensitas cahaya matahari sebesar rata-rata 729,17 Watt/m<sup>2</sup>. Dari 3 DSSC yang diuji, DSSC dengan lama perendaman 1 jam memiliki daya penyerapan *dye* yang lebih tinggi dibandingkan dengan DSSC dengan lama perendaman 30 menit dan memiliki TiO<sub>2</sub> yang tidak larut dalam *dye* akibat terlalu lama direndam. Selanjutnya DSSC yang menghasilkan nilai kuat arus dan tegangan tertinggi adalah DSSC dengan lama perendaman 1 jam (T60) yang memiliki nilai kuat arus sebesar 0,622 mA dan nilai tegangan sebesar 173,6 mV. DSSC dengan lama perendaman 1 Jam juga menghasilkan nilai efisiensi tertinggi yakni sebesar 0,0493%. Oleh karena itu waktu 1 jam menjadi lama perendaman efisien untuk DSSC ekstrak daun tembakau dikarenakan setelah perendaman TiO<sub>2</sub> tidak mengalami pengelupasan akibat terlalu lama direndam dan hasil kuat arus serta tegangan keluaran cukup tinggi dan stabil mengikuti besarnya intensitas radiasi yang dipancarkan oleh matahari.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Lama Perendaman  $\text{TiO}_2$  Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)”**. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Keberhasilan dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik langsung maupun tak langsung dan secara materiil maupun moril. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Sunardi, M.Pd. selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes. selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA;
3. Dr Yushardi, M.Si. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika dan selaku Dosen Pembimbing Akademik atas bimbingan dan nasehat kepada penulis selama menjadi mahasiswa Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember;
4. Ibu Rif'ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Drs. Albertus Djoko Lesmono, M.Si selaku Dosen Pembimbing Anggota atas bimbingan, pengarahan, saran dan dukungan serta kesabaran yang dicurahkan kepada penulis selama penulisan skripsi;
5. Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si. selaku Dosen Penguji Utama dan Drs. Bambang Supriadi, M.Sc. selaku Dosen Penguji Anggota atas saran, masukan serta nasehat yang diberikan dalam penulisan skripsi ini;
6. Ayahanda Suparman dan Ibunda Siti Fatimah serta adik-adik tercinta, Nur Musa'aroh dan Abdul Rozakul Yakin atas dukungan moril serta materiil selama

penulis menyelesaikan pendidikan dan tugas akhir hingga ke jenjang Perguruan Tinggi;

7. Bapak Supriyadi sekeluarga, Bapak Fajar Indah Winarno sekeluarga dan kakak Rena Yunita serta kakak Fajar Andika Sekeluarga atas bantuan dan dukungan selama penulis menyelesaikan pendidikan dan tugas akhir hingga ke jenjang Perguruan Tinggi;
8. Teman-teman Mahasiswa Kelas Unggulan Pendidikan Fisika 2012 FKIP Universitas Jember, Universitas Jember Mengajar, *Future Leader for Anti-Corruption* (FLAC) Jember, Jember Astronomy Club atas semangat yang diberikan selama penulis menempuh pendidikan di Perguruan Tinggi.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas kontribusinya dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis berharap skripsi ini bisa digunakan sebagai studi awal pengembangan energi terbarukan di Universitas Jember. Penulis juga menerima segala kritik dan saran adi semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk khalayak umum.

Jember, 29 Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN BIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	5
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	5
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	6
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	6
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
<b>2.1 Energi Terbarukan</b> .....	8
<b>2.2 Sel Surya</b> .....	9
<b>2.3 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)</b> .....	13
2.3.1 Pengertian DSSC ( <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> ) .....	13
2.3.2 Komponen DSSC ( <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> ) .....	13
2.3.3 Prinsip Kerja DSSC ( <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> ) .....	17
<b>2.4 Tembakau</b> .....	18
2.4.1 Umum .....	18
2.4.2 Struktur Klorofil Tembakau .....	20
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	22
<b>3.1 Jenis Penelitian</b> .....	22
<b>3.2 Tempat dan Waktu</b> .....	22
<b>3.3 Variabel Penelitian</b> .....	22
<b>3.4 Alat dan Bahan</b> .....	23
<b>3.5 Desain Alat Penelitian</b> .....	25

3.6	Diagram Alir .....	26
3.7	Langkah Penelitian .....	27
3.8	Teknik Penyajian Data .....	33
3.9	Teknik Analisis Data .....	36
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1	Hasil Penelitian .....	38
4.1.1	DSSC dengan lama perendaman 30 menit .....	38
4.1.2	DSSC dengan lama perendaman 1 Jam .....	39
4.1.3	DSSC dengan lama perendaman 1,5 Jam .....	40
4.2	Pembahasan .....	41
4.2.1	Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Tegangan dan Kuat Arus DSSC .....	41
4.2.2	Pengaruh Lama Perendaman Terhadap Kuat Arus dan Tegangan Keluaran Pada DSSC .....	44
4.2.3	Pengaruh Lama Perendaman Terhadap Efisiensi DSSC .....	46
<b>BAB 5.</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>48</b>
5.1	Kesimpulan .....	48
5.2	Saran .....	48
	<b>DAFTAR BACAAN .....</b>	<b>50</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>56</b>

**DAFTAR TABEL**

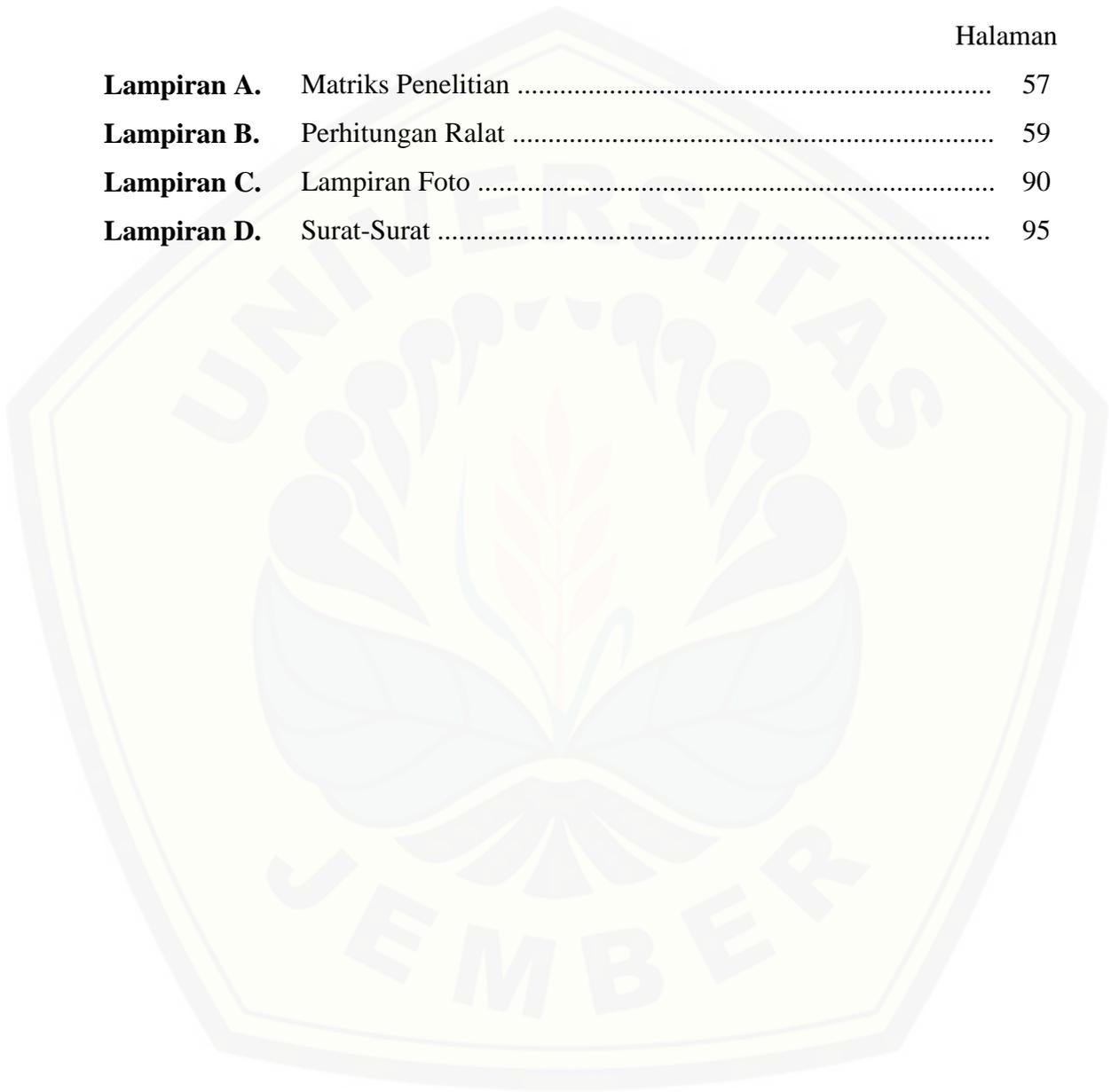
	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Tabel Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 30 menit .....	33
<b>Tabel 3.2</b> Tabel Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 1 jam .....	34
<b>Tabel 3.3</b> Tabel Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 1,5 jam .....	35
<b>Tabel 4.1</b> Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 30 menit .....	39
<b>Tabel 4.2</b> Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 1 jam .....	40
<b>Tabel 4.3</b> Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 1,5 jam .....	41

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Struktur <i>Dye Sensitizer Solar Cell</i> (DSSC).....	14
<b>Gambar 2.2</b> Letak kaca konduktif pada layar <i>handphone</i> .....	15
<b>Gambar 2.3</b> Skema siklus transfer elektron DSSC .....	17
<b>Gambar 2.4</b> Struktur molekul klorofil-a dan klorofil-b .....	21
<b>Gambar 3.1</b> Desain Alat Penelitian .....	25
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Alir Penelitian .....	26
<b>Gambar 3.3</b> Ilustrasi Skema Area Deposisi Pasta TiO <sub>2</sub> .....	29
<b>Gambar 3.4</b> Skema Rangkaian Listrik Pengujian DSSC .....	30
<b>Gambar 4.1</b> Grafik hubungan antara Intensitas Cahaya Matahari dengan waktu pengujian DSSC .....	42
<b>Gambar 4.2</b> Grafik hubungan antara (a) lama perendaman, kuat arus dan waktu uji serta (b) lama perendaman, tegangan dan waktu uji .....	44
<b>Gambar 4.3</b> Grafik hubungan antara lama perendaman, efisiensi dan waktu uji .....	46

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
<b>Lampiran A.</b> Matriks Penelitian .....	57
<b>Lampiran B.</b> Perhitungan Ralat .....	59
<b>Lampiran C.</b> Lampiran Foto .....	90
<b>Lampiran D.</b> Surat-Surat .....	95



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi merupakan suatu pembahasan yang amat krusial bagi sebuah Negara, karena energi merupakan salah satu faktor penunjang berkelanjutan dalam bidang ekonomi, sosial dan lingkungan suatu bangsa (Septina, 2007b:1). Indonesia sebagai salah satu negara dengan jumlah penduduk tertinggi di dunia, menurut data proyeksi yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (2014) berdasarkan hasil sensus penduduk tahun 2010, pada tahun 2014 telah memiliki penduduk sebanyak 252.164.800 jiwa atau naik sekitar 1,345 % dari tahun 2013. Sejalan dengan pertumbuhan penduduk yang terus meroket tiap tahunnya maka dapat disimpulkan bahwa akan terjadi peningkatan konsumsi energi di Indonesia. Berdasarkan data Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (2014), konsumsi energi final Indonesia pada periode 2000-2012 meningkat rata-rata sebesar 2,9 % per tahun. Jenis energi yang paling dominan adalah bahan bakar minyak (BBM) yang meliputi avtur, avgas, bensin, minyak tanah, minyak diesel, minyak solar dan minyak bakar. Sektor transportasi merupakan sektor pengguna BBM yang paling besar (Sugiyono *et al*, 2014: 2). Kementrian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia pada tahun 2006 menerbitkan “Buku Putih Penelitian” yang menyatakan bahwa ketergantungan Negara Indonesia terhadap minyak bumi untuk kebutuhan energi dalam negeri yaitu sebesar 60 % dari konsumsi energi total.

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi menuntut agar masyarakat selalu hidup dekat dengan peralatan elektronik, sehingga energi listrik menjadi salah satu energi utama yang dibutuhkan dalam kehidupan manusia. Pada tahun 2012 kapasitas total pembangkit nasional (PLN, IPP, PPU, IO non BBM) di negara Indonesia adalah sebesar 44,8 Giga Watt (GW). Sekitar 73 % diantaranya

berada di wilayah Jawa Bali, 18 % di wilayah Sumatera, sisanya di wilayah Kalimantan dan Pulau lainnya (Sulawesi, Maluku, NTB-NTT, Papua). Dilihat dari segi input bahan bakar, pembangkit berbahan bakar batubara dan gas mempunyai tingkat penggunaan paling tinggi, masing-masing sekitar 43 % (19,1 GW) dan 27 % (12 GW), kemudian diikuti oleh pembangkit berbahan bakar minyak sekitar 18 % (8,1 GW). Tingginya penggunaan bahan bakar BBM sebagai pembangkit listrik, diimbangi dengan meningkatnya penggunaan bahan bakar energi terbarukan, seperti panas bumi sekitar 3 % (1,3 GW), serta pembangkit listrik tenaga hidro dengan penggunaan sekitar 9 % (4,2 GW). Disamping itu, pembangkit listrik tenaga matahari dan tenaga angin juga sudah mulai beroperasi dengan kapasitas total 6,9 GW. (Sugiyono *et al*, 2014: 14)

Potensi energi terbarukan seperti tenaga air, panas bumi, angin, surya, samudera, maupun biomasa jumlahnya cukup memadai namun tersebar. Berdasarkan ESDM (2013), cadangan panas bumi Indonesia sebesar 16.484 MW dari sekitar 28.617 MW. Kapasitas terpasang pembangkit panas bumi (hingga September 2013) sebesar 1.242 Mega Watt (MW). Sementara itu, potensi biomasa untuk kelistrikan mencapai 49,8 GW dengan kapasitas terpasang pembangkit yang terhubung ke grid sebesar 445 MWe. Potensi tenaga surya di Indonesia cukup tinggi dengan intensitas sebesar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan pemanfaatan baru sebesar 12,1 MWe. Kapasitas terpasang pembangkit tenaga angin baru sekitar 1,1 MWe dari potensi 9.290 MWe. (Sugiyono *et al*, 2014: 17)

Data di atas menunjukkan bahwa pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia masih sangat kurang. Padahal jumlah energi terbarukan yang melimpah dan peran penting energi terbarukan sebagai penunjang kebutuhan energi masyarakat di masa depan sehubungan dengan semakin menurunnya produksi energi tak terbarukan. Berbagai hal yang menyebabkan kurangnya penggunaan sumber energi terbarukan, diantaranya adalah pengetahuan tentang energi terbarukan yang kurang sampai teknologi yang kurang mendukung penggunaan energi terbarukan.

Letak astronomis Indonesia berada di antara  $6^{\circ} 08' \text{LU}$  (Lintang Utara) sampai  $11^{\circ} 15' \text{LS}$  (Lintang Selatan) dan antara  $94^{\circ} 45' \text{BT}$  (Bujur Timur) sampai  $141^{\circ} 05' \text{BT}$  yang membentang di sepanjang garis khatulistiwa. Posisi ini memberikan keuntungan bagi Indonesia karena intensitas sinar matahari yang cukup besar setiap hari dan stabil sepanjang tahun. Energi matahari semacam ini merupakan modal dasar untuk pengembangan sumber energi terbarukan, khususnya energi surya. Setiap detik matahari mengkonversi 5 ton materi menjadi energi yang dipancarkan ke angkasa luar sebanyak  $6,41 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2/\text{hari}$  (Kadir, 1995:15). Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai  $3 \times 10^{24}$  joule per tahun (Asy'ari *et al*, 2012: E-52). Hal ini dapat dimanfaatkan dengan penggunaan sel surya yang dapat menyediakan energi listrik bersih tanpa polusi. Proses konversi energi panas matahari menjadi energi listrik memerlukan sebuah panel surya yang biasa disebut sebagai sel surya. Sel surya umumnya terbuat dari silikon murni. Namun harga panel surya silikon murni kini masih terhitung mahal akibat biaya produksi dan material yang tinggi. Penelitian dan pengembangan sel surya murah dan ramah lingkungan terus dikembangkan dengan tujuan pemanfaatan energi secara optimal. Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, sel surya dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan teknologi dan bahan pembuatannya, yaitu:

- a. Sel surya yang terbuat dari silikon tunggal dan silikon multi kristal,
- b. Sel surya lapis tipis (*thin film solar cell*)
- c. Sel surya organik atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

(Gratzel M, 2003)

Tahun 1991, Professor Michael Gratzel dari EPFL Swiss menemukan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) atau disebut juga sebagai Sel Surya Pewarna Tersensititasi (SSPT) atau sel Gratzel. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan sel surya yang bekerja dengan prinsip fotoelektrokimia dan memiliki penyerap sinar matahari berupa sel organik, yakni dari molekul zat warna tumbuhan dan transfer muatan oleh bahan semikonduktor anorganik nanokristal yang memiliki celah pita

lebar seperti Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ). (O'Regan *et al*, 1991: 109-126). Berbeda dengan sel surya biasa yang penyerapannya menggunakan silicon, DSSC tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi yang cenderung sulit didapat dan berharga mahal.

Solusi yang dapat ditawarkan berdasarkan pada masalah diatas adalah dengan pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) sebagai salah satu pembangkit listrik tenaga matahari yang murah dan mudah untuk dibuat secara individu oleh masyarakat. Zat warna/*Dye* dalam DSSC berfungsi sebagai *sensitizer*. Dalam proses penyinaran, pewarna akan bertugas mengisi elektron ke pita konduksi dari semikonduktor. Ekstrak *dye* atau pigmen tumbuhan yang digunakan sebagai fotosensitizer diantaranya ekstrak klorofil, karoten dan antosianin (LoCascio, 2002). Sejauh ini berbagai jenis bagian tumbuhan telah digunakan sebagai *dye* dalam DSSC, seperti buah beri, kulit manggis, buah mengkudu, berbagai jenis kelopak bunga, daun suji, dan daun cincau. Zat pewarna alami yang digunakan dalam penelitian ini adalah tembakau yang berperan sebagai lapisan penyerap elektron foton cahaya dan akan menjadi eksiton.

Tembakau merupakan salah satu komoditas utama di wilayah Kabupaten Jember, sehingga dapat dipastikan hampir sebagian besar lahan pertanian yang ada di Kabupaten Jember digunakan untuk menanam tanaman tembakau. Kualitas dari tembakau yang dihasilkan pun sudah berkelas dunia (BKPM, 2015). Menurut Hartana, (Siswanto, 2004:9) kandungan senyawa penentu mutu daun tembakau yang telah masak optimal, antara lain karbohidrat, klorofil, karoten dan xantofil. Selain itu, kebanyakan bahan alami yang digunakan dalam pembuatan *dye* untuk DSSC berasal dari *Family Solanaceae*, seperti buah beri dan sebagainya, dikarenakan kandungan kimia bahan pewarnanya yang lengkap sensitif terhadap cahaya dan tembakau adalah salah satu tanaman yang berasal dari keluarga *Solanaceae* yang memiliki tingkat pigmen tinggi (Davis *et al*, 1999:275-276). Berdasarkan hal tersebut, ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) dengan kualitas kematangan yang optimal dapat

menjadi salah satu konsep solusi alternatif pembuatan *dye sensitizer*. Sehingga hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh masyarakat nantinya sebagai salah satu sumber energi alternatif yang murah dan mudah di buat untuk masyarakat Kabupaten Jember, terutama bagi para petani tembakau.

### 1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dapat dirumuskan berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan oleh penulis adalah:

- a. Bagaimanakah pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) terhadap besar kuat arus dan tegangan keluaran *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)?
- b. Bagaimanakah pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) terhadap efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)?

### 1.3. Batasan masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Dye sensitized* yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*).
- b. Jenis Kaca *Transparent Conducting Oxide* (TCO) dalam penelitian ini menggunakan kaca *Indium Thin Oxide* (ITO) dari layar *handphone* bekas jenis LED.
- c. Jenis tembakau yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tembakau *Na-Oogst* dengan jenis H-VIII Tembakau Bawah Naungan (TBN)
- d. Penelitian ini hanya menganalisa pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* daun tembakau.
- e. Waktu lama perendaman yang digunakan adalah 30 menit, 1 jam dan 1,5 jam.

- f. Efisiensi sel surya diukur melalui besar kuat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh DSSC.
- g. Proses pengambilan data dilakukan setiap jam mulai dari pukul 10:00 – 14:00
- h. Ruangan yang digunakan penelitian adalah ruangan Laboratorium Lanjut Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan dan Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dan batasan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

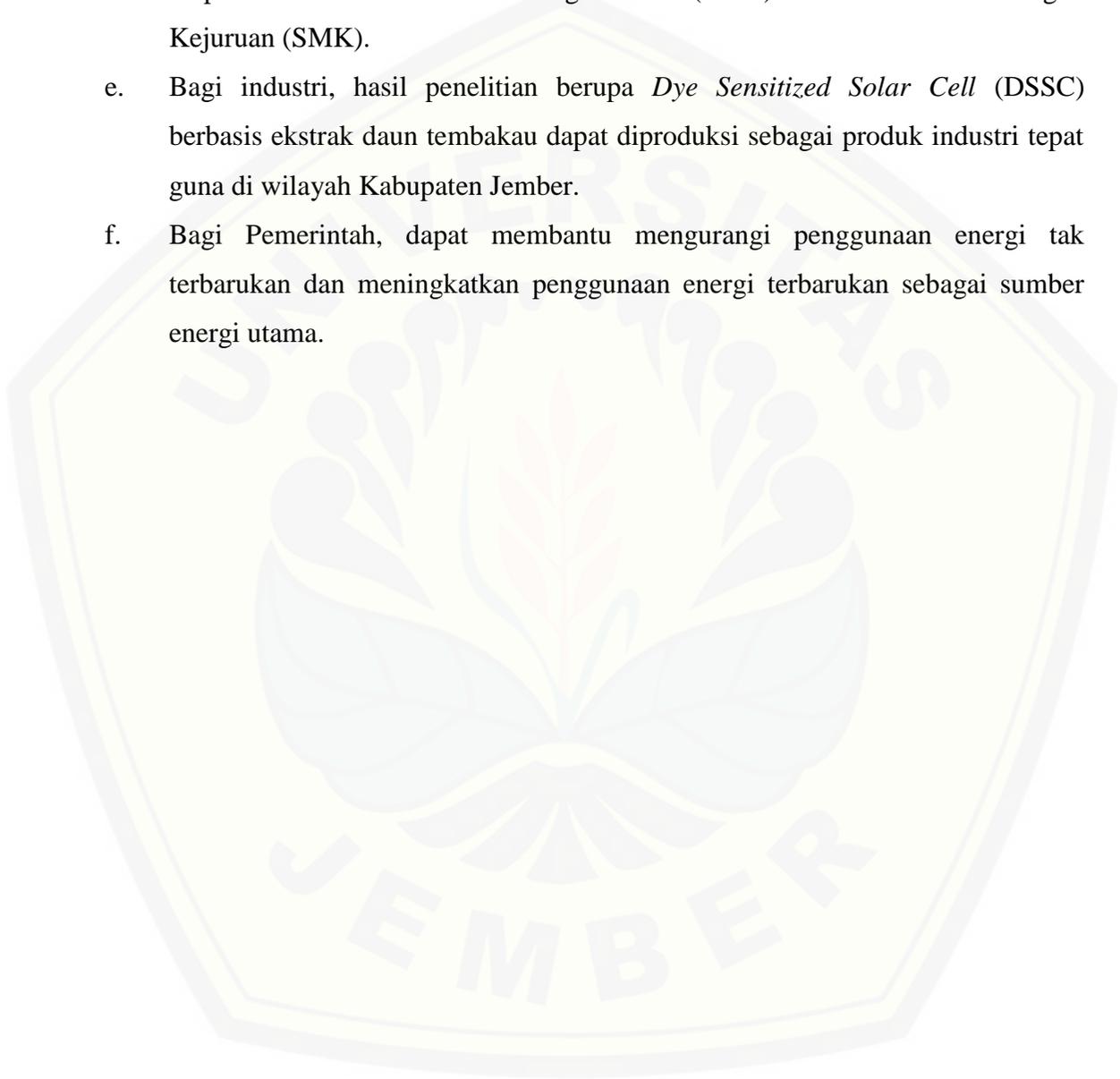
- a. Mengkaji pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) terhadap efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)
- b. Mengkaji pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) terhadap besar kuat arus dan tegangan keluaran *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

- a. Bagi peneliti, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai wacana dan wawasan baru tentang disiplin ilmu yang ditekuni.
- b. Bagi mahasiswa, sebagai acuan informasi ilmiah tentang pengaruh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  dalam *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*) terhadap efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)
- c. Bagi masyarakat, sebagai salah satu dasar inovasi produk tepat guna yang murah dan mudah untuk dibuat oleh semua kalangan.

- d. Bagi pendidikan, menjadi awal pengembangan pendidikan fisika terapan sederhana dan alat peraga sel surya sederhana yang bisa dibuat dan diaplikasikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) atau Sekolah Menengah Kejuruan (SMK).
- e. Bagi industri, hasil penelitian berupa *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) berbasis ekstrak daun tembakau dapat diproduksi sebagai produk industri tepat guna di wilayah Kabupaten Jember.
- f. Bagi Pemerintah, dapat membantu mengurangi penggunaan energi tak terbarukan dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi utama.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi Terbarukan

Energi adalah hal yang membuat segala sesuatu di sekitar kita terjadi. Ada dua jenis energi yang digunakan oleh manusia menurut Jaliwala (2014:2) saat ini yakni, energi tidak terbarukan (energi konvensional) dan energi terbarukan. Energi tidak terbarukan (energi konvensional) adalah energi yang diambil dari sumber yang ketersediaannya sangat terbatas di bumi dan tidak dapat diregenerasi. Sedangkan, energi terbarukan merupakan salah satu jenis energi yang ketersediaannya sangat melimpah di alam dan selalu dapat diperbaharui, bahkan tidak akan pernah habis. Contoh dari sumber energi terbarukan adalah sinar matahari, angin, air, gelombang laut, panas bumi dan sebagainya (Jaliwala *et al.* 2014: 1-3). Tahun 2010, negara-negara dunia mulai melirik sumber-sumber energi terbarukan sebagai pengganti energi tidak terbarukan seperti minyak bumi, batubara, dan gas yang memiliki efek merusak bagi bumi. Semakin menipisnya jumlah cadangan sumber energi tidak terbarukan juga mengakibatkan terjadinya krisis energi di daerah-daerah (Jaliwala *et al.* 2014: 1).

Saat ini penggunaan sumber energi tidak terbarukan untuk listrik masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar batubara dan gas dengan nilai 43 % (19,1 Giga Watt / GW) dan 27 % (12 GW). Sampai tahun 2012, kapasitas total pembangkit nasional di wilayah Indonesia sebesar 44,8 GW, dimana 73 % diantaranya berada di pulau Jawa dan Bali. Namun dalam kisaran periode 2011-2012 terjadi penurunan sumber daya batubara dari 120 miliar ton menjadi 119 miliar ton. Berdasarkan data tersebut dapat diperkirakan bahwa sumber daya batubara akan

habis dalam 75 tahun mendatang dan sumber daya minyak akan habis 12 tahun lagi bila tidak ditemukan cadangan baru (Sugiyono *et al*, 2014: 14-16).

Berbeda dengan energi tidak terbarukan, jumlah energi terbarukan justru masih kurang dioptimalkan pemanfaatannya. Jumlah sumber energi terbarukan di Indonesia sangat memadai, namun lokasinya yang tersebar. Sumber energi tersebut diantaranya adalah cadangan panas bumi Indonesia sebesar 16.484 Mega Watt (MW) dari potensi sekitar 28.617 MW dan kapaistas yang telah terpasang (hingga September 2013) sebesar 1.242 MW. Begitu pula dengan sumber energi surya yang cukup tinggi di Indonesia karena posisi Indonesia yang berada di garis khatulistiwa, dimana sinar matahari akan selalu memancar dan memiliki intensitas yang stabil setiap tahunnya. Indonesia memiliki potensi untuk menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi di masa depan.

Indonesia berada di antara  $11^{\circ}$  Lintang Utara (LU) dan  $6^{\circ}$  Lintang Selatan (LS) membentang di sepanjang garis khatulistiwa sehingga matahari di Indonesia mampu bersinar hingga 2.000 jam pertahunnya. Setiap detik matahari mengkonversi 5 ton materi menjadi energi yang dipancarkan ke angkasa luar sebanyak  $6,41 \cdot 10^7$  W/m<sup>2</sup>/hari (Abdul Kadir, 1995:15). Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi mencapai  $3 \times 10^{24}$  joule per tahun (Hasyim Asy'ari, *et al*, 2012: E-52). Intensitas matahari yang dapat ditangkap di Indonesia sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan pemanfaatan baru sebesar 12,1 MWe (Sugiyono *et al*, 2014: 17). Diversifikasi energi terus dilakukan oleh pemerintah untuk mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap penggunaan energi minyak bumi serta meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan.

## 2.2 Sel Surya

Sel surya merupakan salah satu energi alternatif yang bekerja untuk merubah energi matahari menjadi energi listrik (Susmiyanto, 2013). Sel surya atau sel *photovoltaic* adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah

besar diode p-n *junction*, di mana cahaya matahari mampu menciptakan energi listrik yang berguna. Perubahan ini disebut efek *photovoltaic*. Bidang riset berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai *photovoltaic*.

Sel surya memiliki banyak aplikasi. Mereka terutama cocok untuk digunakan bila tenaga listrik dari *grid* tidak tersedia, seperti di wilayah terpencil, satelit pengorbit bumi, kalkulator genggam, pompa air, dll. Sel surya (dalam bentuk modul atau panel surya) dapat dipasang di atap gedung di mana mereka berhubungan dengan *inverter* ke *grid* listrik dalam sebuah pengaturan *net metering*. Banyak bahan semikonduktor yang dapat dipakai untuk membuat sel surya diantaranya Silikon, Titanium Oksida, Germanium, dll (McDonald S.A. *et al*, 2005:138-42). Sel surya dapat dibedakan menjadi tiga berdasarkan perkembangan teknologi dan bahan pembuatan yang digunakan, yakni sel surya yang terbuat dari silikon tunggal dan silikon multikristal, sel surya lapis tipis (*thin film solar cell*), dan sel surya organik atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) atau Sel Surya Pewarna Tersensitisasi (SSPT) (Gratzel M, 2003: 145-153).

Parameter yang digunakan untuk menghitung tingkat keefektifan sel surya yakni bergantung pada kuat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya. Efisiensi energi matahari yang diubah ke energi listrik di bawah pancaran sinar matahari adalah:

$$\eta = \frac{J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{P} \times 100\%$$

Dengan FF (*fill factor*) merupakan factor pengisi yang ditentukan berdasarkan persamaan :

$$FF = \frac{J_m \cdot V_m}{J_{sc} \cdot V_{oc}}$$

Sehingga efisiensi juga bisa dipresentasikan sebagai:

$$\eta = \frac{J_m \cdot V_m}{P} \times 100\%$$

Atau,

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{P \cdot A} \times 100\%$$

(Yuwono,2005:10)

Dimana

: efisiensi (%)

$J_{sc}$  : rapat arus pendek (mA/cm<sup>2</sup>)

$J_m$  : rapat arus maksimum (mA/cm<sup>2</sup>)

$V_{oc}$  : tegangan terbuka (Volt)

$V_m$  : tegangan maksimum (Volt)

$P$  : intensitas sinar matahari di Jember (mW/cm<sup>2</sup>)

$A$  : luas permukaan sel surya (cm<sup>2</sup>)

Persamaan ini digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh oleh Budi Yuwono (2005: 10) dan Triyana K. Chotimah (2012). Selain itu, persamaan tersebut juga digunakan oleh J. M. R. C Fernando dkk dalam penelitian yang berjudul “*Natural Anthocyanins as Photosensizers for Dye-Sensitized Solar Device*” dengan melambangkan P sebagai I yang berarti intensitas sinar matahari. Sedangkan penggunaan simbol persamaan mengacu pada penelitian Akbar Nur Prasatya (2013: 382).

Presentase efisiensi sel surya ini menjadi tolak ukur kualitas kerja dari sel surya itu sendiri. Nilai dari efisiensi salah satunya dipengaruhi oleh kualitas iluminasi atau intensitas cahaya yang dipancarkan oleh sinar matahari. Intensitas cahaya merupakan jumlah energi radiasi yang dipancarkan sebagai cahaya ke satuan arah tertentu. Cahaya matahari memiliki intensitas cahaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber cahaya lainnya. Selain itu spektrum cahaya yang

dipancarkan oleh matahari juga lebih lebar, sehingga cahaya matahari merupakan sumber cahaya paling efektif untuk pengujian. (Septina, 2007b: 5-37)

Kondisi standar yang umum digunakan untuk pengujian sel surya adalah dengan intensitas  $1000 \text{ Wm}^{-2}$ , dan temperatur  $25^{\circ} \text{ C}$ . Kualitas iluminasi pada matahari maupun beberapa alat yang menghasilkan cahaya berbeda-beda. Untuk mengetahui besar intensitas cahaya yang dihasilkan oleh matahari atau lampu pada saat itu bisa menggunakan alat ukur cahaya yang disebut dengan Luxmeter. Luxmeter menghasilkan nilai intensitas cahaya atau tingkat pencahayaan yang dipancarkan oleh suatu sumber cahaya pada posisi dan waktu tertentu dalam satuan Lux. Dalam hal ini, tidak ada konversi satuan langsung antara satuan lux dan  $\text{Wm}^{-2}$ , besarnya konversi berdasarkan pada panjang gelombang atau warna yang dihasilkan oleh sumber cahaya. Oleh karena itu, konversi nilai antara lux dan  $\text{Wm}^{-2}$  seharusnya dilakukan melalui proses percobaan terlebih dahulu. Namun dalam beberapa artikel ilmiah menggunakan perkiraan konversi satuan lux dan  $\text{Wm}^{-2}$  guna mempermudah perolehan hasil. Perkiraan konversi tersebut adalah  $0,0079 \text{ Wm}^{-2}$  per Lux (Hossain,2011:4), atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$1 \text{ Lux} = 0,0079 \text{ Wm}^{-2} \quad (\text{Hossain},2011:4)$$

Selain digunakan oleh M. A. Hossain dkk dalam penelitiannya yang berjudul *Performance Evaluation Of 1.68 kWp DC Operated Solar Pump With Auto Tracker Using Microcontroller Based Data Acquisition System*, nilai konversi ini juga digunakan pada penelitian Anies Ma'rufatin (2011:8) dalam penelitian yang berjudul "Respon pertumbuhan Tanaman kentang (*Solanum tuberosum L.*) Varietas dan Super Jhon dalam sistem Aeroponik terhadap periode pencahayaan" dan Steven Chua dalam *BCCP Teacher Academy* di University of California, Berkeley dengan judul *Light Vs. Distance*.

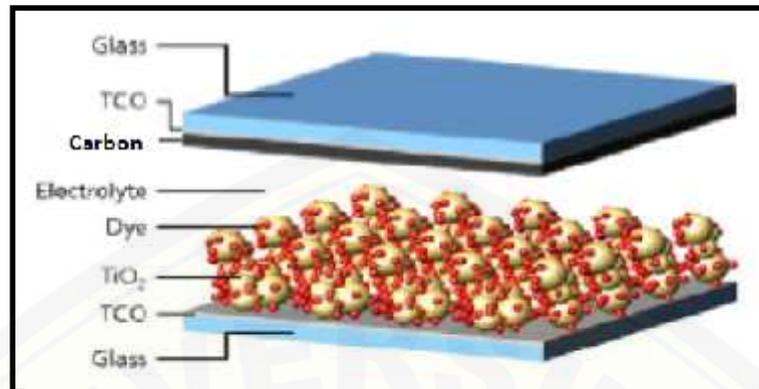
## 2.3 DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

### 2.3.1 Pengertian DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) merupakan salah satu jenis sel surya yang memanfaatkan prinsip fotoelektrokimia (*photoelectrochemical*) untuk menghasilkan energi listrik dari pancaran energi cahaya dengan memanfaatkan reaksi elektrokimia (suatu reaksi kimia yang melibatkan sifat-sifat kelistrikan suatu zat). Fotoelektrokimia sendiri merupakan pemanfaatan energi cahaya untuk menghasilkan energi listrik melalui perubahan kimia. Sedangkan DSSC atau dalam bahasa Indonesia disebut sebagai Sel Surya Tersensitisasi Pewarna (SSTP) ditemukan pertama kali oleh Professor Michael Gratzel di *Ecole Polytechnique Federale de Lausanne*, Switzerland pada tahun 1991 (Phani G *et al*, 2001:303-309). DSSC tersusun dari dua kaca TCO (*Transparent Conducting Oxide*), masing-masing bekerja sebagai elektroda kerja dan elektroda lawan. Elektroda kerja dibuat dari sebat TCO yang kemudian dideposisikan dengan  $\text{TiO}_2$  tersensitisasi *dye* sebagai pembawa muatan, sedangkan *dye* berfungsi sebagai fotosensitizer.  $\text{TiO}_2$  telah digunakan sebagai material fotokatalis pada awal kemunculan DSSC, dan dapat menghasilkan efisiensi konversi hingga 11% (Gratzel M, 2005). Elektroda lawan terbuat dari kaca TCO yang telah dilapisi oleh karbon. Elektroda kerja dan elektroda lawan selanjutnya dirangkai bersusun (struktur *sandwich*) mengapit elektrolit. Elektrolit redoks yang umum digunakan adalah iodide/triiodide ( $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ ) (Gratzel M, 2003: 145-153).

### 2.3.2 Komponen DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

DSSC merubah energi cahaya yang berasal dari sinar matahari menjadi energi listrik menggunakan pewarna tersensitisasi dan bekerja sesuai dengan cara kerja semikonduktor, *photoelectrode*, elektrolit redoks, *counter*-elektroda. DSSC terdiri dari :

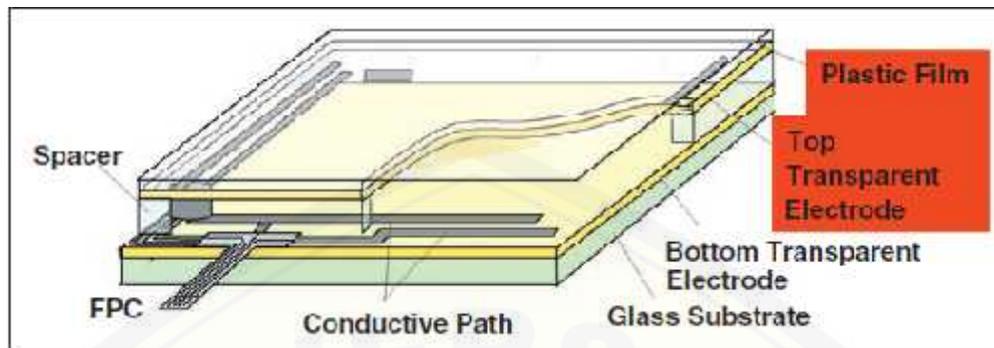


**Gambar 2.1** Struktur *Dye Sensitizer Solar Cell* (DSSC) (Septiana, W. 2007b:19)

a. Kaca electrode/ TCO (*Transparent Conducting Oxide*),

Kaca *electrode* ini berfungsi sebagai penangkap elektron yang dihasilkan dari reaksi kimia dalam iodine, *dye*, karbon dan  $\text{TiO}_2$ . TCO yang diberikan *dye*, dan  $\text{TiO}_2$  berperan sebagai katoda, sedangkan TCO yang diberikan karbon berperan sebagai anoda. Material yang umumnya dipakai sebagai TCO yaitu *Fluoride-Doped Thin Oxide* ( $\text{SnO}_2\text{:F}$  atau FTO) dan *Indium Thin Oxide* ( $\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn}$  atau ITO).

Dalam perkembangan modern ini, kaca konduktif khususnya ITO (*Indium Thin Oxide*) banyak digunakan dalam berbagai peralatan elektronik terutama pada bagian layar atau *display*, seperti layar *handphone* baik layar biasa maupun layar *touchscreen* jenis tertentu, TV, monitor dan sebagainya. Penggunaan ITO pada *display handphone* biasa maupun sensor layar sentuh yang digunakan dalam *smartphone touchscreen* adalah berupa *display* jenis OLED, AMOLED atau Super AMOLED kapasitif yang terdiri dari bahan kaca padat yang bagian atasnya dilapisi dengan suatu lapisan tipis yang disebut dengan *Indium Thin Oxide* ( $\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn}$  atau ITO) dan berfungsi sebagai anode, pemancar cahaya pada layar *handphone* biasa serta penerima sensor sentuhan layar *handphone touchscreen* (Fadhillah, 2014:99-100).



**Gambar 2.2.** Letak kaca konduktif pada layar *handphone* (DeVisser, 2006:32)

b. Lapisan  $\text{TiO}_2$  nanokristal,

$\text{TiO}_2$  merupakan material fotokatalis dengan daya oksidasi kuat, *photobilitas* tinggi dan selektivitas redoks (Ekasari, 2013). Lebar celah energi yang dimiliki oleh titanium oksida adalah 3,2 eV – 3,8 eV (Prasetowati, 2012). Oksida semikonduktor digunakan dalam fotoelektrokimia seperti sel surya karena sifatnya yang stabil dalam menghadapi korosi (Kalyanasundara K, 1998: 347-414). Aplikasi  $\text{TiO}_2$  secara umum adalah sebagai bahan semikonduktor, dimana jika semikonduktor menyerap cahaya atau foton dengan energi yang sama atau lebih besar daripada *band gap*, maka elektron akan melompat atau berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi dan menghasilkan *electron hole* (Arora H *et al*, 2010).

c. Larutan elektrolit redoks iodide/triiodide ( $\text{I}/\text{I}_3^-$ ),

Larutan elektrolit redoks iodide/triiodide ( $\text{I}/\text{I}_3^-$ ), merupakan media elektron diantara fotoelektroda  $\text{TiO}_2$  dan *counter*-elektroda. DSSC pertama kali menggunakan larutan elektrolit organik yang mengandung lithium iodide/iodine. Larutan organik merupakan komponen dasar dari larutan elektrolit yang tersedia di lingkungan untuk  $\text{I}/\text{I}_3^-$  dissolusi dan difusi. (Wu, 2008)

d. *Dye*,

*Dye* berfungsi untuk menyerap foton sehingga menyebabkan terjadinya eksitasi elektron. *Dye* merupakan zat pewarna alami yang terkandung dalam

daun, batang, bunga ataupun akar pada tumbuhan (Susmiyanto, 2013). Ekstrak *dye* atau pigmen tumbuhan yang pernah digunakan sebagai fotosensitizer diantaranya adalah ekstrak *cyanin*, *tannin*, klorofil, karoten, xantofil dan antosianin (Zhou,2011:188). Absorpsi kimia dari *dye* tersebut dapat terjadi karena adanya kondensasi ikatan proton alkohol dengan kelompok hydroxyl pada permukaan  $TiO_2$ . Menurut penelitian Song (2007) dalam penelitiannya telah membuktikan bahwa klorofil dan xantofil dapat tereksitasi saat *dye* dikenai penyinaran, sehingga peneliti mendapatkan efisiensi konversi energi yang lebih baik pada turunan *dye* klorofil.

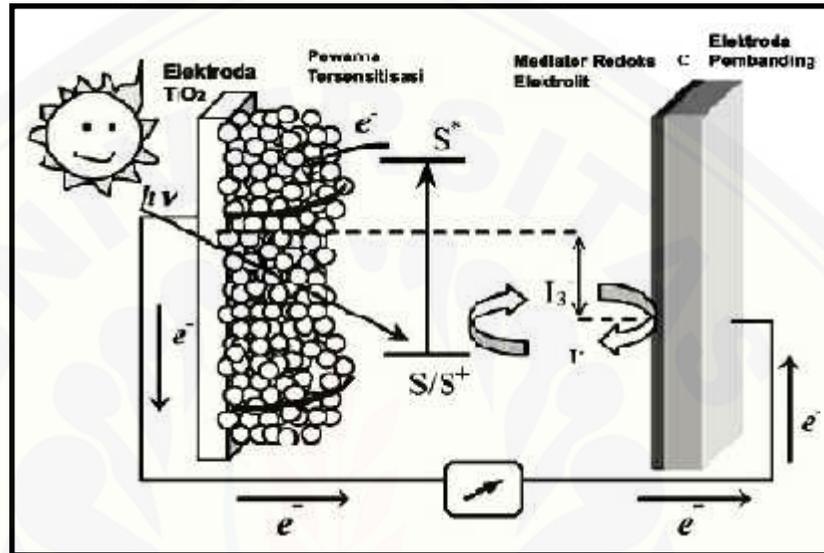
Berdasarkan makhluk hidup yang memiliki, klorofil terbagi menjadi beberapa bentuk. Klorofil-a merupakan klorofil yang dimiliki oleh semua makhluk hidup autotroph. Klorofil-b merupakan klorofil yang dimiliki oleh alga hijau dan tumbuhan darat. Klorofil-c merupakan klorofil yang dimiliki oleh alga pirang, alga keemasan, serta diatom (*Bacillariophyta*). Dan klorofil-d yang dimiliki oleh alga merah (*Rhodophyta*). Perbedaan ini juga didasari oleh perbedaan rumus kimia, dan panjang gelombang yang dapat diserap. Struktur klorofil pada umumnya terdiri dari porifirin tertutup (siklik), suatu tetra pirol, dengan ion magnesium sebagai pusatnya dan “ekor” terpena. Kedua gugus ini disebut sebagai kromofor (pembawa warna) dan memiliki kemampuan untuk mengeksitasi electron apabila terkena cahaya pada panjang gelombang tertentu, sehingga terjadi proses transfer electron pada proses fotosintesis.

e. Karbon

Karbon dalam DSSC berfungsi sebagai *counter*-elektrode. *Counter*-elektrode harus memiliki nilai resistansi yang kecil, tingginya perubahan rapat arus untuk proses reduksi pada muatan perantara. *Counter*-elektrode membantu transfer elektron yang kembali dari rangkaian eksternal dan mengalami elektrolit redoks. (Anandan, 2007)

### 2.3.3 Prinsip Kerja DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*)

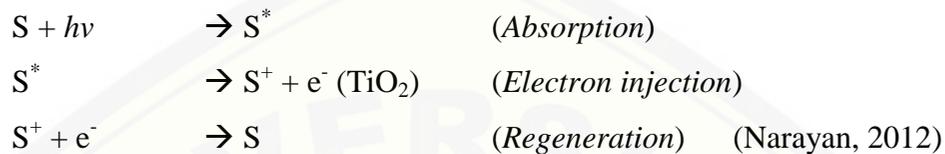
Prinsip kerja dasar dari DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) merupakan reaksi transfer elektron yang dapat digambarkan melalui siklus transfer elektron komponen-komponen DSSC (Kumara *et al*, 2012) sehingga dapat menghasilkan energi listrik.



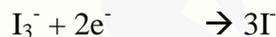
Gambar 2.3 Skema siklus transfer elektron DSSC (Narayan, M.R. 2012: 209)

Siklus transfer elektron dimulai dengan penyerapan energi foton ( $h\nu$ ) dari pancaran sinar matahari oleh *dye* dan mengakibatkan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* dari keadaan dasar ( $S$ ) ke keadaan tereksitasi ( $S^*$ ) peristiwa ini dinamakan sebagai peristiwa absorpsi. Selanjutnya elektron yang berasal dari keadaan tereksitasi dalam pita valensi selanjutnya akan terinjeksi menuju pita konduksi yang terbuat dari bahan semikonduktor titanium oksida ( $\text{TiO}_2$ ) melalui hubungan antara titanium dengan gugus karboksil pada *dye*. Sehingga menghasilkan molekul *dye* teroksidasi yang bermuatan positif ( $S^+$ ) dan  $\text{TiO}_2$  yang bermuatan negatif. Elektron tersebut kemudian keluar mengalir menuju elektroda TCO, dan terus menuju *counter*-elektroda melalui rangkaian eksternal atau rangkaian yang digunakan diluar rangkaian DSSC. Aliran inilah yang dimanfaatkan sebagai energi listrik. Kekosongan electron pada pita valensi molekul *dye* akan kembali ke keadaan

dasar setelah memperoleh donor elektron dari elektrolit (I) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi, sedangkan I teroksidasi ke keadaan dasar yakni  $I_3^-$ . Siklus transfer elektron dapat diamati melalui persamaan kimia berikut ini:



Iodide elektrolit kembali diregenerasi melalui reduksi triiodida pada *counter*-elektroda dengan memanfaatkan elektron yang berasal dari sirkuit eksternal. Sehingga *hole* pada elektrolit ( $I_3^-$ ), mendapatkan donor elektron pada proses sebelumnya, bergabung dan membentuk iodide (I). Elektron pada iodide baru kemudian didonorkan kembali kepada *dye* yang teoksidasi, sehingga terjadi reaksi transfer elektron yang membentuk siklus transport elektron.



## 2.4 Tembakau

### 2.4.1 Umum

Tembakau (*Nicotiana tobaccum*) merupakan salah satu produk pertanian semusim dan bukan termasuk kedalam komoditas pangan. Indonesia termasuk salah satu penghasil tembakau terbesar dan berkualitas dunia. 2,1 % persediaan daun tembakau dunia berasal dari Indonesia. Tahun 2006, 84% dari total produksi komunitas perkebunan di Kabupaten Jember adalah produksi tembakau. Oleh karena itu komoditas tembakau memiliki potensi produksi dan mampu memberikan sumbangan terbesar dibandingkn komoditas perkebunan lain terhadap perekonomian Kabupaten Jember. (Sari,2014:32)

Klasifikasi tanaman tembakau adalah sebagai berikut:

Divisi : *Tracheophyta*  
Kelas : *Angiospermae*  
Ordo : *Dicotyledoneae*  
Family : *Solanaceae*  
Genus : *Nicotiana*  
Species : *Nicotiana tobaccum*

Tanaman ini merupakan jenis tanaman semak semusim yang tingginya mencapai 2,5 m, berbatang kayu tegak dan berwarna hijau. Jenis daun tembakau merupakan daun tunggal dengan panjang 20-50 cm dan lebar 5-30 cm. Tangkai tanaman berwarna hijau keputihan sepanjang 1-2 cm. Tembakau termasuk tanaman yang memiliki bunga majemuk yang tumbuh di ujung batang. Tanaman ini tidak bisa tumbuh pada iklim yang terlalu kering ataupun terlalu basah, temperatur tumbuh terbaiknya sekitar 21-32,3<sup>0</sup>C. Selain itu tembakau juga memerlukan penyinaran matahari sepanjang hari. Bentuk dari daun tembakau adalah oval atau bulat, sesuai dengan jenis varietasnya. Daun tumbuhan tumbuh berselang-seling mengelilingi batang.

Kabupaten Jember sebagai salah satu wilayah penghasil tembakau terbesar di Indonesia memiliki beberapa jenis tembakau khusus yang dibudidayakan, yakni seperti Tembakau Besuki *Voor-Oogst* (VO), yakni tembakau yang ditanam sebelum panen padi atau ditanam saat musim hujan kemudian dipanen diawal kemarau, dan Tembakau Besuki *Na-Oogst* (NO), yakni tembakau yang ditanam setelah panen padi atau ditanam di akhir musim hujan kemudian dipanen diakhir kemarau. Tembakau Besuki *Na-Oogst* (NO) kebanyakan hanya ditanam oleh perusahaan-perusahaan besar seperti PT Perkebunana Nusantara (PTPN) X, PT Taru Tama Nusantara (TTN) dan PT Tempurejo. Hal ini dikarenakan pengelolaan Tembakau NO yang cenderung rumit dan memerlukan perlakuan khusus. Selain itu biaya produksi dan harga yang mahal membuat tak banyak petani tradisional yang berani menanam tanaman

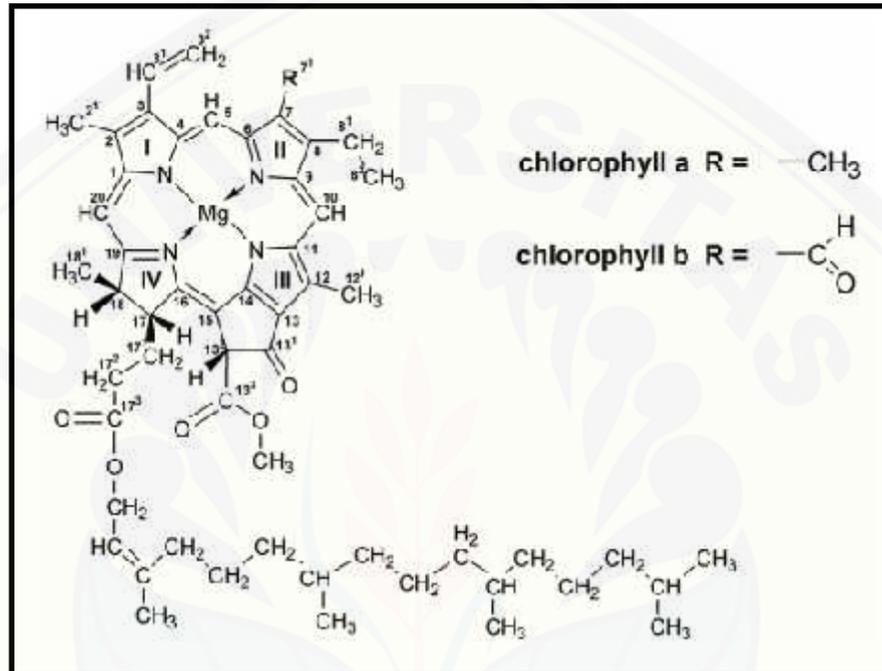
tembakau ini. Potensi tembakau NO terletak di wilayah selatan dari kabupaten Jember. Namun keuntungan dari tembakau NO adalah periode penanamannya yang pasti dan tidak terlalu terganggu oleh perubahan cuaca secara ekstrem karena menggunakan metode penanaman menggunakan naungan jaring tanaman. Berbeda dengan tembakau NO, Tembakau VO justru lebih dipilih oleh petani tradisional maupun pengusaha kecil, karena Tembakau VO bisa ditanam dan dikelola dalam skala kecil, perawatannya mudah dan tidak memerlukan perhatian terlalu khusus serta biaya produksi yang tidak terlalu mahal bila dibandingkan dengan Tembakau NO. Namun tembakau VO lebih jarang ditanam terutama saat cuaca terasa tidak menentu dikarenakan kemungkinan gagal tanam meningkat (ILO.2007:8).

#### 2.4.2 Struktur Klorofil Tembakau

Tanaman tembakau biasanya digunakan sebagai bahan insektisida hayati, karena beberapa kandungan kimia yang terkandung dalam ekstrak tanamannya. Sebagai salah satu tanaman yang tumbuh di iklim tropis, tembakau memiliki kandungan klorofil yang melimpah. Bahkan kandungan klorofil dari tanaman tembakau menentukan kualitas dari daun tembakau sebelum dipanen. Menurut Hartana (Siswanto, 2004: 9-10), kandungan senyawa yang menentukan mutu dari daun tembakau adalah karbohidrat, klorofil, karoten dan xantofil yang terdapat dalam daun tembakau yang telah masak optimal. Tembakau yang bagus untuk diambil ekstrak klorofilnya adalah tembakau yang berwarna hijau tua dengan lebar daun sedang, atau berada pada daun dada batang.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ruly Hamidah dan Cece Suhara (2013), menghasilkan bahwa tembakau yang sehat dan matang secara optimal memiliki jumlah kadar klorofil 34,854 mg/g berat basah. Sebagai salah satu tumbuhan tingkat tinggi, klorofil memiliki 2 jenis klorofil, yakni klorofil-a ( $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ) dan klorofil-b ( $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ ). jumlah kandungan masing-masing klorofil adalah 12,818 mg/g klorofil-a dan sebanyak 22,065 mg/g klorofil-b. Begitu

pula dengan hasil penelitian M. J. Kasperbauer dan D. E. Peaslee (1973) yang menyebutkan bahwa konsentrasi klorofil setiap lembarannya lebih peka menyerap cahaya merah. Jumlah klorofil tersebut menunjukkan bahwa tembakau adalah salah satu tumbuhan dengan tingkat penyerapan cahaya yang baik dan optimal.



**Gambar 2.4** Struktur molekul klorofil-a dan klorofil-b (Bialokoz. 2014:146)

Klorofil-a dan klorofil-b pada umumnya berperan untuk membantu proses fotosintesis dengan menyerap energi dari sinar matahari menjadi energi kimia. Klorofil-a berfungsi sebagai penyerap cahaya dengan intensitas tinggi Dan klorofil-b berfungsi sebagai antenna sintetis yang mengumpulkan cahaya (Hamida,2013:16). Sifat peka inilah yang dimanfaatkan untuk menjadi *sensitizer* pada bahan sel surya organik (Nygren, 2010).

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Jenis penelitian

Penelitian ini merupakan *true experiment*. Penelitian ini dilakukan dengan memberikan perlakuan untuk melihat pengaruh Lama Perendaman TiO<sub>2</sub> Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana Tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

### 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Lanjut Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan dan Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember dengan titik koordinat lokasi pengujian 113°30' - 113°45' BT dan 8°00' - 8°30' LS pada 26 Juni 2016 sampai 30 Juli 2016.

### 3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variable bebas merupakan variabel yang menjadi titik acuan perlakuan dan menghasilkan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah lama perendaman TiO<sub>2</sub> kedalam *dye sensitized* daun tembakau yang terdiri dari 30 menit, 1 jam dan 1,5 jam.

### 3.3.2 Variabel Terikat

Variabel Terikat merupakan variabel yang merupakan hasil dari perlakuan variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah besar kuat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya.

### 3.3.3 Variable kontrol dalam penelitian ini antara lain:

- a. *Dye sensitized* yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L*) yakni Tembakau *Na-Oogst* dengan jenis H-VIII Tembakau Bawah Naungan (TBN).
- b. Jenis Kaca *Transparent Conducting Oxide* (TCO) dalam penelitian ini menggunakan kaca *Indium Thin Oxide* (ITO) dari layar *handphone* bekas jenis OLED.
- c. Proses pengambilan data dilakukan setiap jam mulai dari pukul 10:00 – 14:00

## 3.4 Alat dan Bahan

### 3.4.1 Alat

Peralatan dan komponen elektronika yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- |                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| a. Gelas kimia        | m. Cawan porselen  |
| b. Multimeter digital | n. Cawan petri     |
| c. Luxmeter           | o. Botol semprot   |
| d. Neraca digital     | p. Botol gelas     |
| e. Pinset             | q. Oven            |
| f. Alat tulis         | r. Batang pengaduk |
| g. Penjepit           | s. Pipet tetes     |
| h. Buku               | t. Pengaduk        |

- i. Spatula kaca
- j. *Ball* pipet
- k. Kertas saring
- l. *Aluminium foil*
- u. Kabel buaya
- v. Kertas kasa
- w. Mortar dan alu

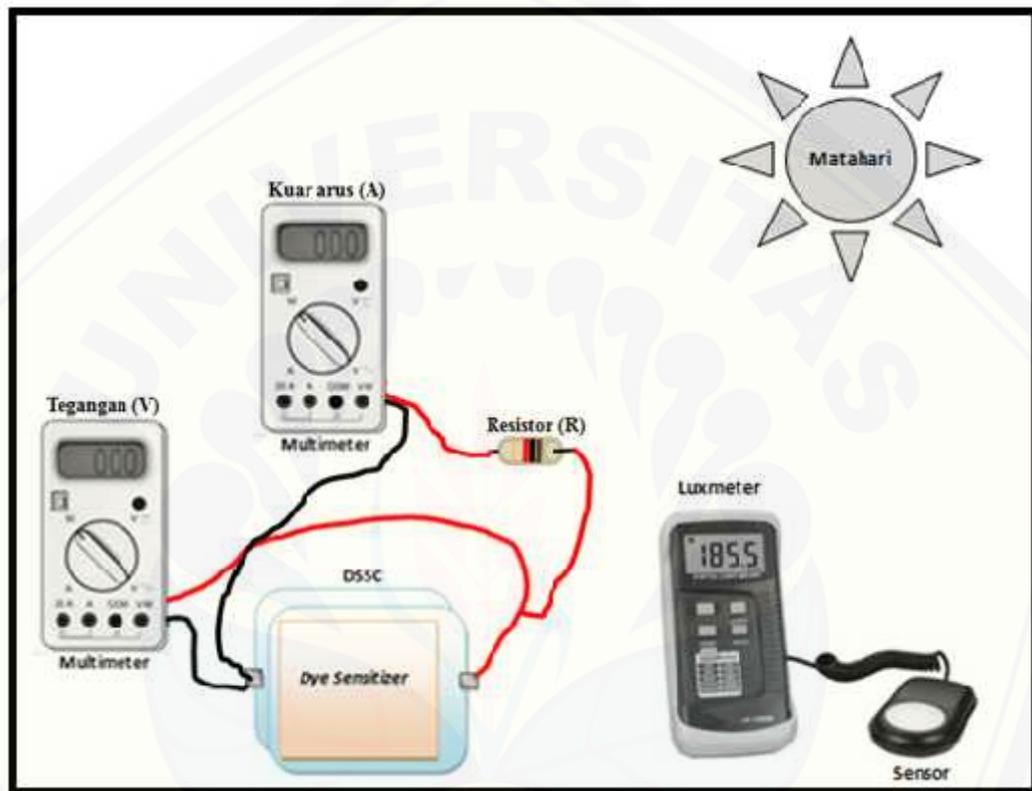
#### 3.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Ekstrak daun tembakau (*Nicotiana tabacum L.*)
- b. Kaca konduktif *Indium Tin Oxide* (ITO)
- c. Potasium iodide (KI)
- d. Bubuk Titanium Oxide ( $\text{TiO}_2$ )
- f. Acetonitrile
- g. Polyvinyl alkohol (PVA)
- h. Asam asetat
- i. Aquades
- j. Iodine ( $\text{I}_2$ ) cair
- k. Selotip
- l. 97% Ethanol/Methanol
- m. Karbon

### 3.5 Desain Alat Penelitian

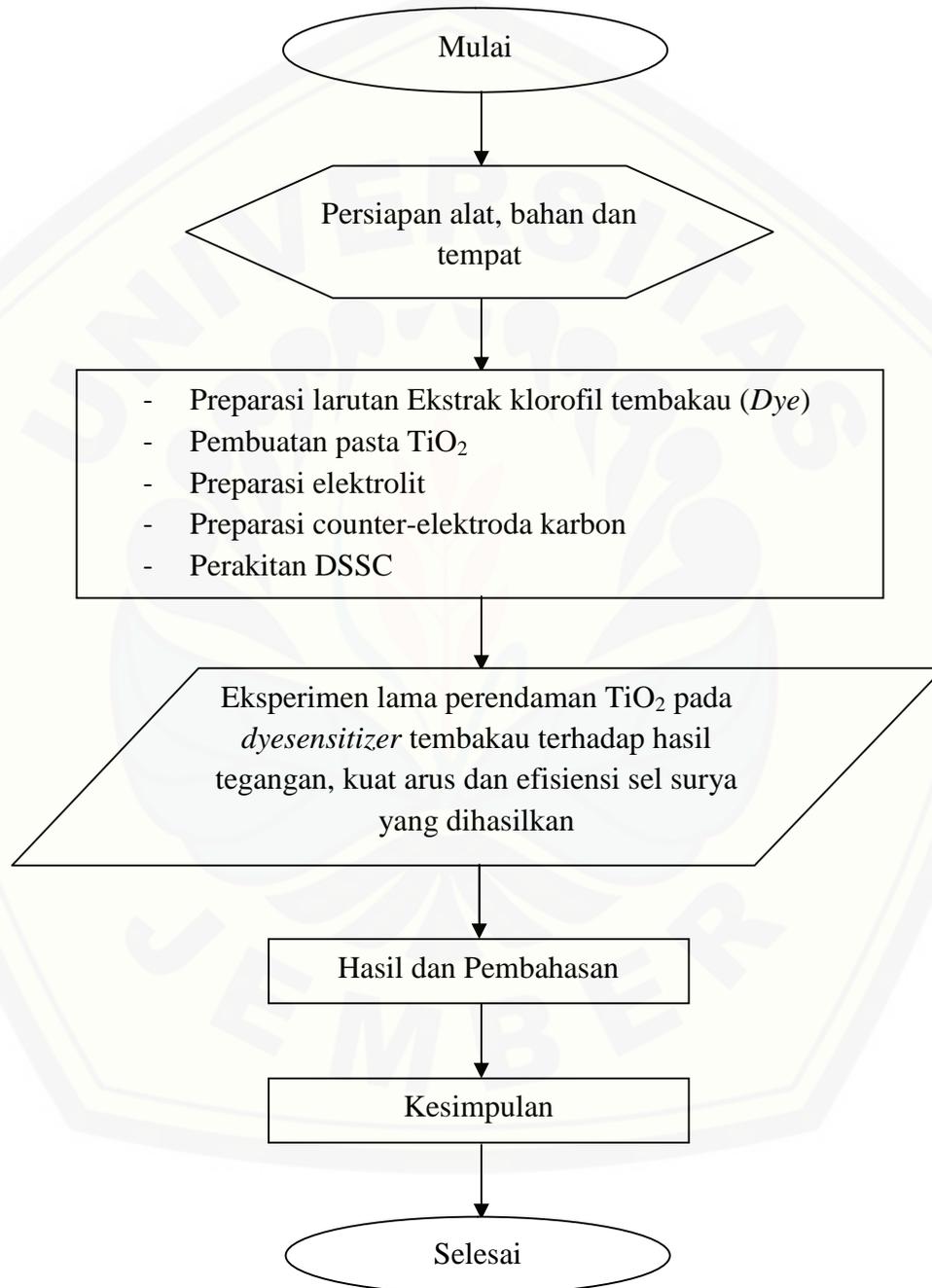
Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Desain Alat Penelitian

### 3.6 Diagram Alir

Diagram alir penelitian ini digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 3.2** Diagram Alir Penelitian

### 3.7 Langkah Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Wilman Septiana (2007a) yang berjudul “Pembuatan prototipe solar cell murah dengan bahan organic-inorganik (*dye sensitized solar cel*)”, sebagai berikut:

#### 3.7.1 Mempersiapkan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang telah disebutkan sebelumnya dipersiapkan. Alat dan bahan yang digunakan dan harus disiapkan dalam kondisi sebagai berikut:

- a. Multimeter yang telah terkalibrasi dan tampilan angka pada layar dapat dibaca dengan jelas
- b. Kaca konduktif yang telah dicuci dengan aquades dan etanol.

#### 3.7.2 Preparasi Larutan *Dye*

Langkah yang digunakan dalam preparasi larutan *dye* ini mengacu pada hasil terbaik dari penelitian Mochamad Choirul Misbachudin (2013) yang berjudul “Studi awal ekstrak antosianin strawberry sebagai fotosensitizer dalam pembuatan *dye sensitized solar cell* (DSSC)” Daun tembakau ditimbang sebanyak 40 gram lalu dihaluskan dengan mortar. Selanjutnya daun tembakau yang telah halus dicampur dengan methanol, asam asetat dan air (25:4:21) sebanyak 10 ml sambil terus digerus sampai halus. Masukkan daun tembakau dan larutannya yang telah halus kedalam tabung elemeyer yang telah dilapisi oleh aluminium foil. Hal ini bertujuan agar antosianin tidak terkena cahaya sehingga mudah terdegradasi. Larutan tembakau selanjutnya disimpan selama 24 jam. Setelah 24 jam cairan ekstrak disaring menggunakan kertas saring dan dimasukkan dalam botol yang dilapisi dengan aluminium foil juga.

### 3.7.3 Pembuatan Pasta TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub> akan dideposisikan pada TCO sehingga TiO<sub>2</sub> bubuk harus dibuat dalam bentuk pasta, yaitu dengan prosedur pembuatan pasta TiO<sub>2</sub> sebagai berikut (Septiana,2007a:26-27):

- a. Tambahkan Polyvinyl Alcohol (PVA) sebanyak 10% berat kedalam air, kemudian diaduk pada temperature 80<sup>0</sup>C. Suspensi ini akan berfungsi sebagai binder dalam pembuatan pasta.
- b. Tambahkan suspense tersebut kepada bubuk TiO<sub>2</sub> sebanyak kurang lebih 10% volume. Kemudian digerus oleh mortar sampai terbentuk pasta yang baik untuk dilapiskan.
- c. Derajat viskositas dari pasta untuk mendapatkan pasta yang optimal didapat dengan mengatur banyaknya binder dan juga bila diperlukan ditambahkan juga air pada campuran binder dan bubuk TiO<sub>2</sub>,

### 3.7.4 Preparasi Elektrolit

Larutan elektrolit iodide/triiodide dibuat dengan prosedur sebagai berikut (Septiana,2007a:27):

- a. Campurkan potassium iodide (KI) 0.5 M sebanyak 0,8 gram kedalam 10 mL acetonitrile kemudian diaduk.
- b. Tambahkan Iodine (I<sub>2</sub>) 0.05 M sebanyak 0,127 gram kedalam larutan tersebut kemudian diaduk.
- c. Simpan larutan dalam botol tertutup.

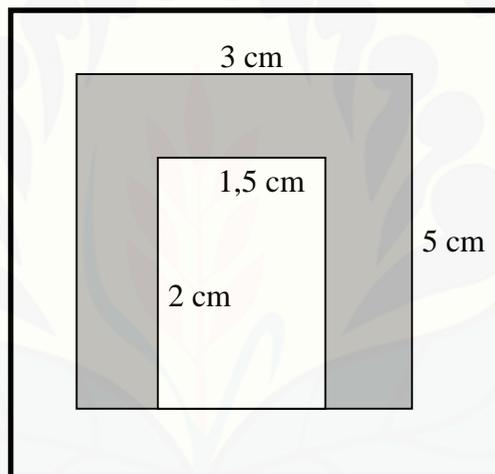
### 3.7.5 Preparasi *Counter*-Elektroda Karbon

Preparasi *counter*-elektroda dilakukan dengan membakar ITO pada sisi konduktif menggunakan api lilin sampai jelangga memenuhi area konduktif tersebut. *Counter*-elektroda berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat reaksi proses reduksi triiodida pada ITO. (Yulika, 2014)

### 3.7.6 Perakitan DSSC

Setelah masing-masing komponen DSSC berhasil dibuat kemudian dilakukan perakitan untuk membentuk sel surya dengan langkah-langkah sebagai berikut (Septiana,2007a:27-29):

- a. Pada ITO yang telah dipotong menjadi ukuran  $\pm 3 \times 5$  cm dibentuk area tempat  $\text{TiO}_2$  dideposisikan menggunakan metoda *doctor-blade* dengan bantuan *scotch tape* pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar  $2 \times 1,5$  dengan ilustrasi pada gambar



**Gambar 3.3** Ilustrasi Skema Area Deposisi Pasta  $\text{TiO}_2$

- b. Pasta  $\text{TiO}_2$  selanjutnya dideposisikan pada area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Kemudian lapisan dikeringkan kurang lebih selama 15 menit selanjutnya lapisan tersebut dibakar/*sintering* dalam tungku listrik pada temperatur  $100^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam. Selanjutnya kaca ITO didinginkan.
- c. Lapisan  $\text{TiO}_2$  kemudian direndam dalam larutan *dye* ekstrak daun tembakau dengan variasi waktu perendaman  $\text{TiO}_2$  kedalam *dye sensitizer* selama 30 menit, 1 jam dan 1,5 jam. Pada proses ini akan terjadi proses absorpsi cyanin ke permukaan  $\text{TiO}_2$ . Setelah permukaan kaca di rendam, dicuci kembali

dengan menggunakan etanol dan dikeringkan dengan tissue pada bagian luarnya.

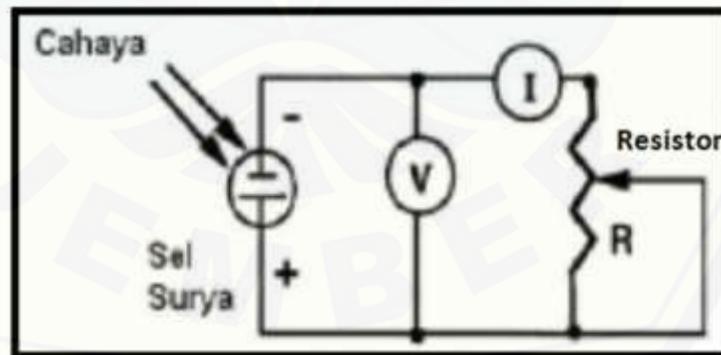
- d. *Counter*-elektroda karbon kemudian diletakkan diatas lapisan  $\text{TiO}_2$  dengan struktur *sandwich* dengan masing-masing ujung diberi *offset* sebesar  $\pm 1$  cm untuk kontak elektrik. Selanjutnya struktur dijepit menggunakan klip pada kedua sisinya agar tidak mudah bergeser.
- e. Membuat *spacer* antara *Counter*-elektroda karbon dan lapisan  $\text{TiO}_2$  agar tidak terjadi arus singkat.
- f. Larutan elektrolit yang telah dibuat sebelumnya kemudian ditetaskan kurang lebih sebanyak 2 tetes pada ruang celah diantara kedua elektroda dan sel surya siap untuk diuji.

### 3.7.7 Pelaksanaan Penelitian

Setelah alat dan bahan telah dirangkai, maka penelitian dapat dilakukan.

Adapun proses penelitian ini dijelaskan sebagai berikut (Septiana,2007a:30):

- a. Sel DSSC yang telah terangkai dirangkai sebagaimana yang digambarkan sesuai dengan gambar rangkaian dibawah ini.



**Gambar 3.4** Skema Rangkaian Listrik Pengujian DSSC

b. Melakukan pengujian

Pengujian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian adanya arus dan tegangan yang terukur dari pada sel surya yang telah dibuat dengan menggunakan multimeter. Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya matahari langsung. Pengujian ini dilakukan pada pukul 10:00-14:00 dimana merupakan puncak pancaran sinar matahari ke bumi. Kecerlangan matahari diukur menggunakan lux meter.

c. Mencatat hasil pengukuran pada tabel pengamatan data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah berupa:

- 1) Nilai Iluminansi (Intensitas Pencahayaan) dalam satuan lux yang diperoleh dari pengukuran pancaran sinar matahari.
- 2) Nilai Tegangan (Voltase) dalam satuan Volt yang diperoleh dari tegangan keluaran yang dihasilkan oleh sel surya.
- 3) Nilai Kuat Arus dalam satuan Ampere yang diperoleh dari kuat arus keluaran yang dihasilkan oleh sel surya.

d. Melakukan percobaan diatas pada semua variable bebas lama waktu perendaman, pada masing-masing lama perendaman dilakukan 3 kali pengulangan pengukuran.

e. Menghitung nilai efisiensi

Data nilai Iluminansi, tegangan dan kuat arus di kalkulasikan berdasarkan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{P \cdot A} \times 100\%$$

(Yuwono,2005:10)

Dimana P merupakan intensitas radiasi matahari ( $\text{watt/m}^2$ ) dan A merupakan luas permukaan sel surya yang disinari oleh sinar matahari.

### 3.7.8 Analisis data

Data yang dianalisis dalam penelitian ini berupa hubungan antara lama perendaman dengan besar tegangan keluaran, lama perendaman dengan besar kuat arus keluaran, dan lama perendaman dengan efisiensi yang dihasilkan untuk memperoleh teori apakah terdapat pengaruh Lama Perendaman  $\text{TiO}_2$  Dalam *Dye Sensitizer* Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana Tabacum L*) Terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

### 3.7.9 Pembahasan

Tahap pembahasan terhadap penelitian dan hasilnya dapat dilakukan apabila analisis data telah dilakukan. Dalam pembahasan akan diuraikan hasil penelitian sesuai atau tidak dengan teori yang ada.

### 3.7.10 Kesimpulan

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh untuk menjawab rumusan masalah.







### 3.9 Teknik Analisis Data

Setelah melakukan pengukuran pada alat dan bahan maka diketahui:

#### 3.9.1. Menghitung Tegangan Listrik

$$\bar{V} = \frac{\sum \text{Tegangan}}{n}$$

#### 3.9.2. Menghitung rata-rata Kuat Arus Listrik

$$\bar{I} = \frac{\sum \text{Kuat Arus}}{n}$$

#### 3.9.3. Menghitung efisiensi sel surya

##### a. Menghitung nilai iluminansi menjadi intensitas radiasi matahari

Perkiraan konversi 0,0079 W/m<sup>2</sup> per Lux

$$1 \text{ Lux} = 0,0079 \text{ W/m}^2$$

(Hosain,2011:4)

$$I = E \times 0,0079 \text{ W/m}^2$$

##### b. Menghitung efisiensi sel surya

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{P \cdot A} \times 100\%$$

= efisiensi sel surya

$J_m$  = Kuat Arus maksimum (A)

$V_m$  = Tegangan maksimum (V)

I = Intensitas radiasi matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

A = Luas Permukaan (m<sup>2</sup>)

#### 3.9.4. Menghitung kesalahan mutlak pengukuran

##### a. Menghitung kesalahan mutlak iluminasi (E)

$$1) \text{ Kesalahan mutlak } \Delta E = \sqrt{\frac{\sum (E - \bar{E})^2}{n-1}}$$

$$2) \text{ Kesalahan relatif } (E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\%$$

3) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E)

$$4) \text{ HP} = \{ \bar{E} \pm \Delta E \}$$

b. Menghitung kesalahan mutlak Kuat Arus (J)

1) Kesalahan mutlak  $\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}}$

2) Kesalahan relatif (I) =  $\frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\%$

3) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I)

4) HP =  $\{\bar{I} \pm \Delta I\}$

c. Menghitung kesalahan mutlak Tegangan (V)

1) Kesalahan mutlak  $\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}}$

2) Kesalahan relatif (V) =  $\frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\%$

3) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V)

4) HP =  $\{\bar{V} \pm \Delta V\}$

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

Pembuatan DSSC dan pengambilan data pada penelitian ini dilaksanakan secara terpisah di dua lokasi yang terletak di Universitas Jember mulai dari tanggal 26 Juni 2016 sampai 30 Juli 2016. Lokasi pembuatan DSSC di Laboratorium Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Sedangkan lokasi pengujian berada di Lapangan Basket Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember dengan titik koordinat lokasi  $113^{\circ}30'$  -  $113^{\circ}45'$  BT dan  $8^{\circ}00'$  -  $8^{\circ}30'$  LS. Perkiraan puncak pancaran sinar matahari di Kabupaten Jember terjadi antara pukul 11:30- 12:30 WIB untuk 1-30 Juli 2016. Sedangkan untuk posisi matahari pukul 10:00 sampai 14:00 yang ditunjukkan melalui aplikasi stellarium adalah berada pada latitude  $0^{\circ} 00' 03.3''$  sampai  $0^{\circ} 00' 04.3''$  dari sebelah utara pengamat. Posisi ini menunjukkan bahwa matahari sedang berada pada wilayah khatulistiwa dan posisi tersebut menunjukkan bahwa matahari hampir tepat di atas pengamat. Posisi kemiringan matahari terhadap peneliti menentukan besarnya intensitas cahaya yang dipancarkan. (Asy'ari, 2012:55)

#### 4.1.1 DSSC dengan lama perendaman 30 menit.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa DSSC dengan lama perendaman 30 menit menghasilkan nilai kuat arus dan tegangan maksimal pada pengujian yang dilakukan pukul 12:00 yakni sebesar 0,0842 mA dan 22,8 mV. Dengan nilai Intensitas Radiasi Matahari rata-rata sebesar  $729,2 \text{ Watt/m}^2$  DSSC dengan lama perendaman 30 menit dapat menghasilkan efisiensi sebesar 0,000879%. Hasil pengujian DSSC dengan lama perendaman 30 menit dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 30 menit.

Waktu	Illuminansi (Lux)	Intensitas Radiasi Matahari (Watt/m <sup>2</sup> )	Rata-rata Intensitas Radiasi Matahari (Watt/m <sup>2</sup> )	Kuat Arus ( $\times 10^{-3}$ A)	Rata-rata Kuat Arus ( $\times 10^{-3}$ A)	Tegangan ( $\times 10^{-3}$ V)	Rata-rata Tegangan ( $\times 10^{-3}$ V)	Efisiensi (%)
10:00	74700	590,1	590,9	0,0148	0,0139	4	3,8	0,0000295
	75000	592,5		0,0140		3,8		
	74700	590,1		0,0129		3,5		
11:00	87900	694,4	693,4	0,0624	0,0584	16,9	15,8	0,000445
	87600	692,0		0,0572		15,5		
	87800	693,6		0,0557		15,1		
12:00	92300	729,2	729,2	0,0882	0,0842	23,9	22,8	0,000879
	92200	728,4		0,0867		23,5		
	92400	729,9		0,0779		21,1		
13:00	85300	673,9	667,3	0,0266	0,0233	7,2	6,3	0,0000732
	84600	668,3		0,0236		6,4		
	83500	659,6		0,0196		5,3		
14:00	73200	578,3	578,3	0,0196	0,0183	5,3	4,9	0,0000525
	73300	579,1		0,0170		4,6		
	73100	577,5		0,0185		5		

#### 4.1.2 DSSC dengan lama perendaman 1 Jam

Pada hasil penelitian yang dilakukan pada DSSC dengan lama perendaman 1 Jam menunjukkan bahwa nilai kuat arus dan tegangan maksimal pada pengujian juga diperoleh pada pukul 12:00 yakni sebesar 0,622 mA dan 173,6 mV. Dengan nilai Intensitas Radiasi Matahari rata-rata sebesar 729,2 Watt/m<sup>2</sup> DSSC dengan lama perendaman 1 Jam dapat menghasilkan efisiensi sebesar 0,0493%. Hasil pengujian DSSC dengan lama perendaman 1 Jam dapat dilihat pada tabel 4.2.

**Tabel 4.2.** Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 1 Jam.

Waktu	Illuminansi (Lux)	Intensitas Radiasi Matahari (Watt/m <sup>2</sup> )	Rata-rata Intensitas Radiasi Matahari (Watt/m <sup>2</sup> )	Kuat Arus ( $\times 10^{-3}$ A)	Rata-rata Kuat Arus ( $\times 10^{-3}$ A)	Tegangan ( $\times 10^{-3}$ V)	Rata-rata Tegangan ( $\times 10^{-3}$ V)	Efisiensi (%)
10:00	74700	590,1	590,9	0,0258	0,0249	7,2	6,9	0,0000981
	75000	592,5		0,0254		7,1		
	74700	590,1		0,0236		6,6		
11:00	87900	694,4	693,4	0,598	0,466	167	130	0,0291
	87600	692,0		0,619		173		
	87800	693,6		0,179		50		
12:00	92300	729,2	729,22	0,637	0,622	177,9	173,6	0,0493
	92200	728,3		0,628		175,5		
	92400	729,9		0,599		167,3		
13:00	85300	673,9	667,3	0,411	0,366	114,8	102,1	0,0186
	84600	668,3		0,306		85,5		
	83500	659,6		0,379		105,9		
14:00	73200	578,3	578,3	0,298	0,325	83,4	90,8	0,0170
	73300	579,1		0,357		99,7		
	73100	577,5		0,319		89,3		

#### 4.1.3 DSSC dengan lama perendaman 1,5 Jam.

Pada DSSC dengan lama perendaman 1,5 jam, TiO<sub>2</sub> yang dilapiskan pada kaca konduktif mulai terlihat larut, namun jumlah TiO<sub>2</sub> yang larut masih terlihat sedikit dan masih belum mempengaruhi bentuk dan ukuran dari lapisan TiO<sub>2</sub>. DSSC ini menghasilkan nilai kuat arus dan tegangan maksimal pada pengujian yang dilakukan pada pukul 12:00 yakni sebesar 0,0687 mA dan 17,1 mV. Dengan nilai Intensitas Radiasi Matahari rata-rata sebesar 729,2 Watt/m<sup>2</sup> DSSC dengan lama perendaman 1,5 Jam menghasilkan nilai efisiensi sebesar 0,000537%. Hasil pengujian DSSC dengan lama perendaman 1,5 Jam dapat dilihat pada tabel 4.3.

**Tabel 4.3.** Pengamatan hasil kuat arus dan tegangan keluaran dari DSSC dengan lama perendaman 1,5 Jam.

Waktu	Illuminansi (Lux)	Intensitas Radiasi Matahari (Watt/m <sup>2</sup> )	Rata-rata Intensitas Radiasi Matahari (Watt/m <sup>2</sup> )	Kuat Arus ( $\times 10^{-3}$ A)	Rata-rata Kuat Arus ( $\times 10^{-3}$ A)	Tegangan ( $\times 10^{-3}$ V)	Rata-rata Tegangan ( $\times 10^{-3}$ V)	Efisiensi (%)
10:00	74700	590,1	590,9	0,0129	0,0124	3,2	3,1	0,000218
	75000	592,5		0,0125		3,1		
	74700	590,1		0,0121		3		
11:00	87900	694,4	693,4	0,0546	0,0510	13,6	12,7	0,000312
	87600	692,0		0,0502		12,5		
	87800	693,6		0,0482		12		
12:00	92300	729,2	729,2	0,0735	0,0687	18,3	17,1	0,000537
	92200	728,4		0,0679		16,9		
	92400	729,9		0,0647		16,1		
13:00	85300	673,9	667,3	0,0723	0,0676	18	16,8	0,000569
	84600	668,3		0,0671		16,7		
	83500	659,6		0,0635		15,8		
14:00	73200	578,3	578,3	0,0325	0,0274	8,1	6,8	0,000108
	73300	579,1		0,0305		7,6		
	73100	577,5		0,0193		4,8		

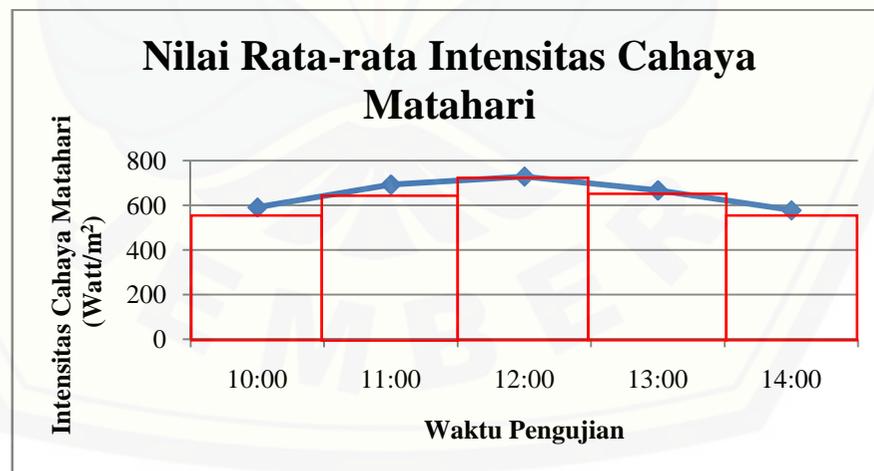
## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1. Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Tegangan dan Kuat Arus DSSC

Berdasarkan hasil penelitian yang disampaikan oleh Haryo D. Prananto, dkk. (2013: 30-32), dikatakan bahwa besarnya intensitas cahayanya yang dipaparkan oleh sumber cahaya dapat mempengaruhi besarnya tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh sel surya, terutama sel surya DSSC. Sri Ita Alemina Kembaren (2015) juga mengatakan bahwa semakin besar intensitas cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya tersebut, maka semakin besar pula tegangan dan kuat arus yang

dihasilkan oleh sel surya. Penelitian ini menggunakan cahaya matahari langsung sebagai sumber energi cahaya yang akan diubah oleh sel surya DSSC menjadi sumber energi listrik. Intensitas cahaya matahari paling efektif yang ditangkap oleh sel surya adalah pada pukul 10:00 – 14:00 dengan nilai puncak yang terjadi pada pukul 12:00 hal ini dikarenakan posisi matahari saat pukul 12:00 tepat tegak lurus dengan permukaan sel surya yang menghadap tegak lurus dari horizon. Sedangkan pada pukul 10:00 – 14:00 merupakan posisi sinar matahari mulai optimal memancarkan cahayanya ke bumi. (Asy'ari, 2012: 52-57).

Penelitian ini menggunakan waktu pengujian pukul 10:00, 11:00, 12:00, 13:00 dan 14:00. Nilai intensitas cahaya yang dihasilkan melalui pengujian intensitas cahaya matahari menggunakan luxmeter dan dikonversi menggunakan nilai 0,0079 Watt/m<sup>2</sup> tiap Lux yang berasal dari perkiraan konversi satuan Lux oleh M. A. Gossain dkk (2011) dan Anies Ma'rufatin (2011). Hasil pengujian besarnya intensitas cahaya matahari yang dihasilkan dalam penelitian ini digambarkan melalui grafik hubungan antara waktu pengujian dan besarnya intensitas cahaya matahari yang dipancarkan pada Gambar 4.1.

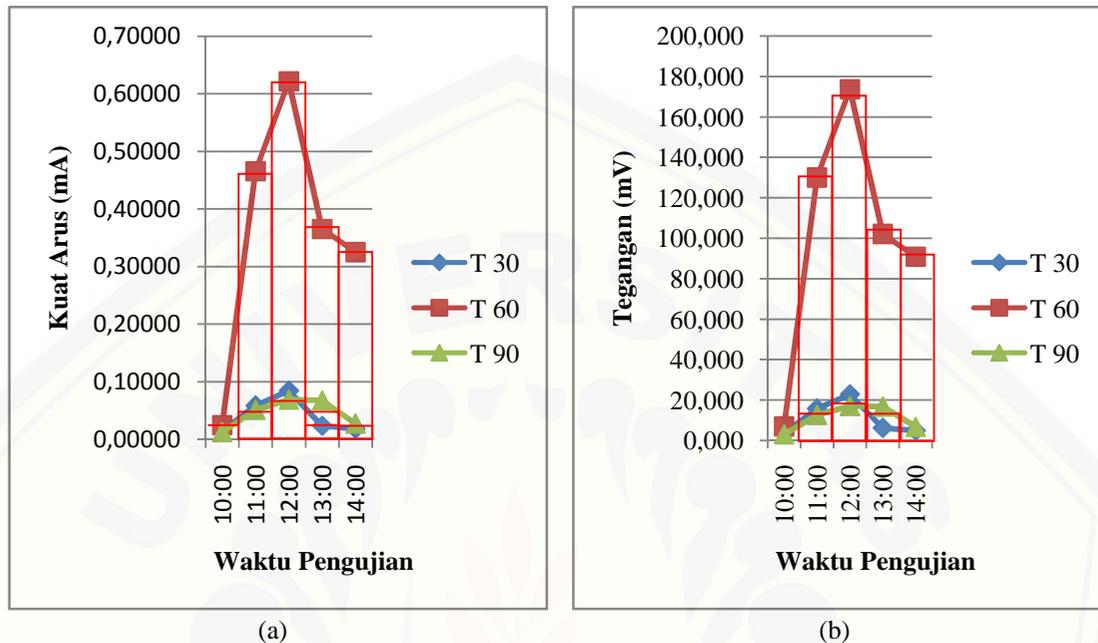


**Gambar 4.1.** Grafik hubungan antara Intensitas Cahaya Matahari dengan waktu pengujian DSSC

Hasil grafik diatas menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari optimal yang dipancarkan pada pukul 12:00 dengan nilai intensitas rata-rata sebesar 92300 Lux atau 729,2 Watt/m<sup>2</sup>. Dan grafik diatas menunjukkan grafik melengkung yang berarti intensitas cahaya yang dipancarkan oleh sinar matahari pada hari itu mulai dari pukul 10:00 semakin tinggi mendekati pukul 12:00 dan intensitas tersebut mulai berkurang mendekati pukul 14:00. Grafik besar tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh DSSC pada tiap-tiap lama perendaman dapat diamati pada Gambar 4.2. Pada saat melakukan pengamatan, posisi matahari terletak pada kemiringan 0° 00' 03.3" sampai 0° 00' 04.3" dari sebelah utara pengamat. Posisi matahari menentukan besar kecilnya intensitas matahari yang dipancarkan pada saat itu dan menentukan puncak pancaran sinar matahari pada waktu tersebut. Pada waktu pengujian, puncak pancaran sinar matahari terjadi antara pukul 11:30-12:30.

Grafik di bawah ini menunjukkan bahwa hasil keluaran DSSC telah sesuai dengan literasi yang dijelaskan diatas. Pada grafik tersebut ditunjukkan bahwa grafik tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh DSSC tiap masing-masing lama perendaman memiliki grafik melengkung dengan titik puncak yang terjadi pada pukul 12:00 siang. Sehingga intensitas cahaya matahari dapat dikatakan telah mempengaruhi besar nilai tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh DSSC dengan *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau.

### Nilai Rata-rata Kuat Arus dan Tegangan DSSC



(a) Grafik Kuat Arus; (b) Grafik Tegangan

**Gambar 4.2.** Grafik hubungan antara lama perendaman, kuat arus dan tegangan

#### 4.2.2. Pengaruh Lama Perendaman Terhadap Kuat Arus dan Tegangan Keluaran Pada DSSC

Karakteristik suatu sel surya dapat diamati salah satunya melalui hasil tegangan keluaran dan kuat arus yang dihasilkan oleh sel surya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh semakin besar intensitas cahaya yang dipancarkan maka semakin besar pula tegangan serta kuat arus yang dihasilkan oleh sel surya. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah lama waktu perendaman layer pasta  $\text{TiO}_2$  pada *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau. Lama waktu yang digunakan untuk perendaman adalah 30 menit (T30), 1 jam (T60) dan 1,5 jam (T90). Menurut Anna Maulina (2014) dan Dwi Susmiyanto (2013), 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 memiliki nilai puncak pada waktu uji 12:00 dan DSSC dengan perendaman dalam *dye* selama 1 Jam (T60) memiliki nilai kuat arus yang lebih tinggi dibandingkan dengan DSSC dengan lama perendaman lainnya. Besar kuat arus rata-rata paling tinggi yang dapat dihasilkan oleh DSSC T60 adalah 0,622 mA. Sedangkan nilai tegangan rata-rata DSSC T60 yang juga merupakan tegangan tertinggi DSSC dengan lama perendaman lainnya yakni sebesar 173,6 mV. Semua hasil ini dicapai pada pengujian pukul 12:00 (J12).

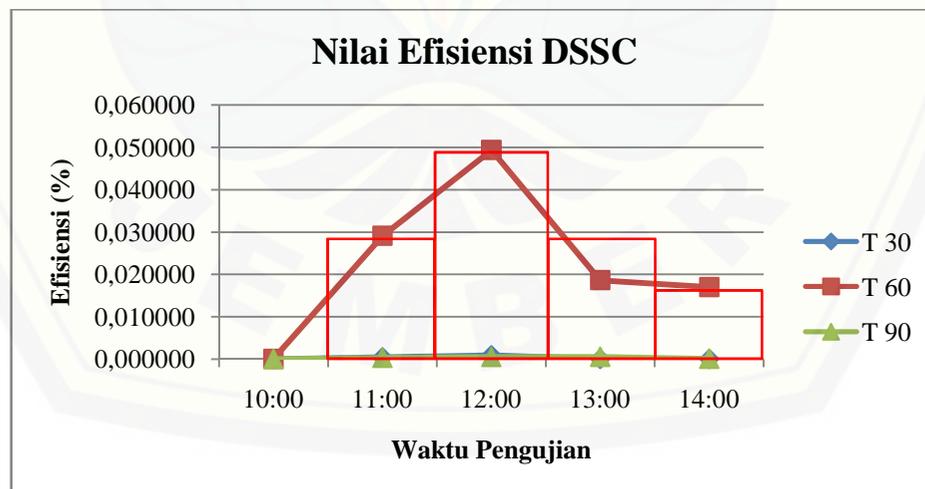
Pada gambar grafik diatas hanya berisi 3 variasi perlakuan lama perendaman, yakni 30 menit, 1 jam, dan 1,5 jam. Hal ini dikarenakan, mulai dari lama perendaman 1,5 jam  $\text{TiO}_2$  sudah terlihat mulai larut dalam *dye* sehingga hasil pengukuran tegangan dan kuat arus terlihat menurun. Pengelupasan  $\text{TiO}_2$  yang terjadi pada DSSC dengan lama perendaman 1,5 jam atau T90, menyebabkan berkurangnya kemampuan sel surya untuk mengkonversi energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari menjadi energi listrik. Hal ini ditunjukkan dengan nilai grafik yang rendah. Selain itu, penyerapan *dye* yang kurang optimal juga membuat nilai tegangan dan kuat arus yang dihasilkan menjadi sangat rendah, hal ini terjadi pada DSSC dengan lama perendaman 30 menit.

Di sisi lain, DSSC dengan lama waktu perendaman 1 jam memiliki kemampuan menghasilkan daya yang lebih baik dibandingkan dengan DSSC dengan lama waktu perendaman lainnya. Bila dianalisis dari T60 yang menghasilkan hasil yang maksimal dikarenakan penyerapan *dye* pada  $\text{TiO}_2$  berjalan dengan optimal selain itu *dye* yang bersifat asam menambah kemampuan  $\text{TiO}_2$  dalam mengangkut elektron. Maka DSSC dengan lama waktu perendaman 60 menit merupakan DSSC yang baik dalam menghasilkan tegangan dan kuat arus yang optimal. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa lama perendaman yang baik untuk DSSC dengan *dye*

ekstrak daun tembakau dan menggunakan LED sebagai konduktifnya tidak lebih dari 1 jam.

#### 4.2.3. Pengaruh Lama Perendaman Terhadap Efisiensi DSSC

Sejalan dengan grafik yang dihasilkan oleh tegangan keluaran dan kuat arus, nilai efisiensi sel surya tertinggi pada masing-masing DSSC dicapai pada pukul 12:00 siang, yang merupakan puncak paparan intensitas cahaya matahari. Sedangkan besar efisiensi tertinggi dari beberapa DSSC yang berhasil diuji dicapai oleh DSSC dengan lama perendaman 1 jam yakni dengan nilai 0,0493%. Nilai ini tergolong sebagai nilai yang cukup tinggi bagi sebuah DSSC dengan kaca LED sebagai pengganti kaca konduktif, walaupun begitu nilai efisiensi ini perlu ditingkatkan kembali. Hal ini menunjukkan bahwa DSSC dengan *dye sensitizer* ekstrak daun tembakau layak untuk dikembangkan lebih lanjut agar pada pengembangan selanjutnya DSSC ini bisa menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Hasil perhitungan efisiensi DSSC dalam penelitian ini dapat diamati melalui gambar grafik garis pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3.** Grafik hubungan antara lama perendaman, efisiensi dan waktu uji

Pengujian DSSC ini bukan tanpa hambatan, perakitan bentuk dan *spacher* 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 OLED sebagai pengganti kaca konduktif ITO menghasilkan nilai hambatan yang lebih tinggi dari kaca ITO murni dan warna OLED yang gelap membuat DSSC menjadi tidak transparan. Adapula kaca OLED yang sangat tipis dan mudah pecah membuat pembuatan DSSC cukup sulit, karena kaca OLED tidak dapat dipotong menggunakan pemotong kaca biasa selain itu apabila terkena tekanan berlebih saat pemisahan dari lapisan *display handphone* ataupun saat pembuatan dan pengujian DSSC maka kaca OLED akan langsung pecah.

Selain itu pelapisan  $\text{TiO}_2$  yang masih sangat sederhana dengan menggunakan metode *doctor blade* manual membuat  $\text{TiO}_2$  mudah terkelupas saat direndam dalam *dye* dalam waktu yang cukup lama. Kendala terakhir inilah yang mengakibatkan DSSC T90 menjadi menurun drastis dikarenakan larutnya  $\text{TiO}_2$  pada elektroda kerja pada DSSC. Oleh karena itu, DSSC dengan ekstrak daun tembakau masih memerlukan pengembangan penelitian lebih lanjut terutama untuk meningkatkan nilai efisiensi dan menstabilkan nilai energi listrik yang dihasilkan.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan oleh peneliti adalah, sebagai berikut:

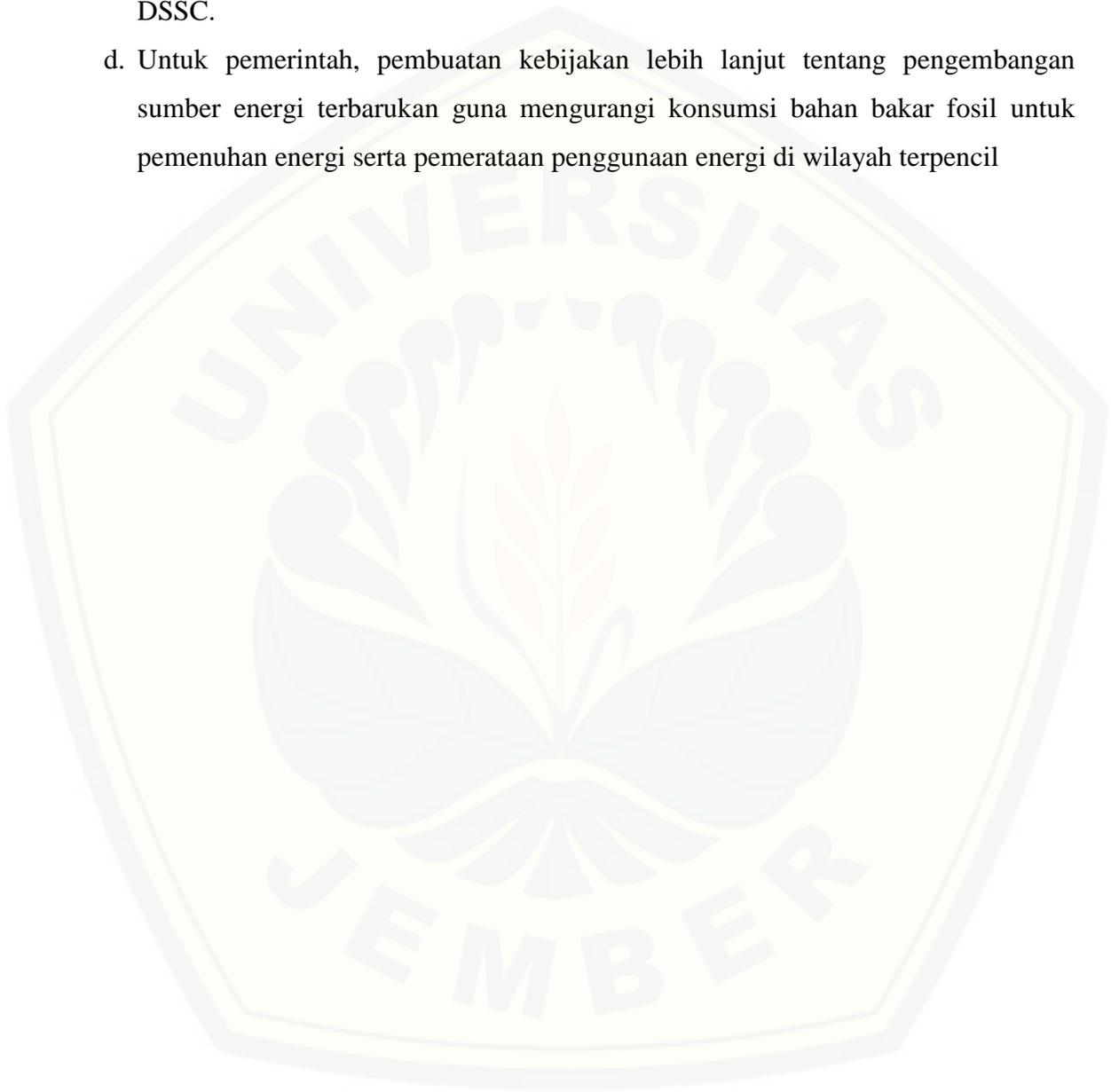
- a. Lama perendaman  $\text{TiO}_2$  memiliki pengaruh terhadap kuat arus dan tegangan yang dihasilkan oleh DSSC. Semakin lama waktu perendaman, maka *dye* akan terserap dengan baik oleh  $\text{TiO}_2$  serta dapat menghasilkan kuat arus dan tegangan selama  $\text{TiO}_2$  tidak mengalami pelarutan. Kuat arus dan tegangan keluaran efektif dihasilkan oleh DSSC ekstrak daun tembakau dengan lama perendaman 60 menit yakni sebesar 173,6 mV dan 0,621 mA.
- b. Terpengaruhnya nilai kuat arus dan tegangan DSSC membuat efisiensi dari DSSC juga dipengaruhi oleh lama perendaman  $\text{TiO}_2$  di dalam *dye*. Efisiensi optimal dihasilkan oleh DSSC ekstrak daun tembakau dengan lama perendaman 60 menit yakni sebesar 0,0493% pada pengujian pukul 12:00 dengan intensitas cahaya sebesar  $729,2 \text{ W/m}^2$  untuk area aktif  $3 \text{ cm}^2$ .

### 5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk peneliti maupun penelitian serupa lainnya adalah:

- a. Untuk penelitian selanjutnya, perlu mengkaji lebih jauh mengenai penggunaan kaca konduktif dari layar *handphone* OLED (*Organic LED*) dari segi jenis *handphone*/barang elektronik lain yang menggunakan kaca OLED maupun dari *dye* yang baik untuk kaca konduktif OLED ini guna menghasilkan kestabilan konduktivitas ataupun hambatan yang stabil pada seluruh area substrat.
- b. Untuk Fakultas Keguruan dan Ilmu Pengetahuan, perlu diadakannya penelitian untuk materi fisika terapan sehingga mahasiswa bisa lebih kreatif dalam menuangkan ide dan gagasannya.

- c. Untuk masyarakat pada umumnya, perlu adanya pengetahuan lebih lanjut tentang penggunaan sumber energi terbarukan yang murah dan mudah dibuat, terutama DSSC.
- d. Untuk pemerintah, pembuatan kebijakan lebih lanjut tentang pengembangan sumber energi terbarukan guna mengurangi konsumsi bahan bakar fosil untuk pemenuhan energi serta pemerataan penggunaan energi di wilayah terpencil



## DAFTAR BACAAN

- Anandan, S.. 2007. Recent Improvements and Arising Challenges in Dye-Sensitized Solar Cells. *Solar Energi Materials and Solar Cells*. Vol 91, hal: 843.
- Arora. H., 2010. *Nanomaterials for the Life Science Vol. 8: Nanocomposites*. Inggris : Wiley.
- Asy'ari, H., Jatmiko dan Angga. 2012. Intensitas Cahaya Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Sel Surya. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS*. hal: 52-57.
- Badan Koordinasi Penanaman Modal (BKPM). 2015. Potensi Tembakau di Kabupaten Jember. <http://regionalinvestment.bkpm.go.id/newsipid/commodityarea.php?ia=3509&ic=2587>. [Diakses pada 6 Agustus 2015].
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2014. Proyeksi Penduduk Berdasarkan Hasil Sensus Penduduk 2010. <http://www.bps.go.id/>. [Diakses pada 10 Juni 2015].
- Bialokoz, M.M, & Kaczor, A.A. 2014. Undergraduate Research Article: Computation Analysis of Chlorophyll Structure and UV-Vis Spectra: A Student Research Project on the Spectroscopy of Natural Complexes. *Spectroscopy Letters*.
- Chang, H.P., Qing, Y.Q., Qian, Z. dan, Yong, S.Z.. 2013. Research of NiMH Battery Modeling and Simulation Based on Linear Regression Analysis Method. *TELKOMNIKA*, Vol.11, (4), hal: 683-690.
- Chotimah, T.K., dan Kartini, I. 2012. Efek Intensitas Cahaya terhadap Efisiensi Konversi Daya Sel Surya Organik *Bulk Heterojunction* Berbasis Poly(3-hexylthiophene) dan Phenyl C<sub>61</sub> butyric Acid Methylester. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*. hal: 68-70.
- Chua, S. 2009. Light Vs. Distance. [http://bccp.berkeley.edu/o/Academy/workshop\\_09/pdfs/InverseSquareLawPresentation.pdf](http://bccp.berkeley.edu/o/Academy/workshop_09/pdfs/InverseSquareLawPresentation.pdf) . [Diakses pada 28 April 2016].
- Davis, D.L., & Mark, T.N. 1999. *8A Basic Chemical Constituents of Tobacco Leaf and Differences Among Tobacco Types*. USA: Leffingwell and Associates.

- DeVisser, B.. 2006. *One Of The Biggest Drawbacks To Resistive-Touch-Panel Devices Is The Brittle Nature Of The ITO Coating. An Alternative Coating Made Of Conductive Polymers, Which Promises To Hold Up Much Better In Rugged Conditions, Is Discussed Here*. California, USA: FUJITSU Components America, Inc.
- Ekasari, V. dan Yudoyono, E.. 2013. Fabrikasi DSSC dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber officinale* Linn Var *Rubrum*) Variasi Larutan TiO<sub>2</sub> Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating. *Jurnal Sain dan Seni POMITS* Vol. 2 (1) hal: 15-20.
- Fadhillah, H. & Ahri, B.T.. 2014. Analisis Cara Kerja Layar Sentuh Bersifat Resistif. *SINGUDA ENSIKOM* Vol. 6 (2) hal: 99-105.
- Fernando, J. M. R. C. & Senadeera, G. K. R. 2008. Natural Anthocyanins as Photosensitizers for Dye-Sensitized Solar Device. *CURRENT SCIENCE* Vol. 95 (5) hal: 663-666.
- Gratzel, M.. 2003. Dye-Sensitized Solar Cell, *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* Vol. 4, hal: 145-153.
- Gtarzel, M. 2005. *Photovoltaic Performance and Long-Term Stability of Dye-sensitized Meosocopic Solar Cells*. Switzerland: Academie Des Sciences.
- Hamida, R., dan Suhara, C.. 2013. Pengaruh Infeksi Cucumber Mosaic Virus (CMV) Terhadap Morfologi, Anatomi, dan Kadar Klorofil Daun Tembakau Cerutu. *Buletin Tananman Tembakau, Serat & Minyak Industri* vol. 5 (1) hal: 11-19. ISSN: 2085.
- Hossain, M. A., Chowdhury, M.M.H., Sabuj, M.N., dan Bari, M.S.. 2011. Performance Evaluation Of 1.68 kWp DC Operated Solar Pump With Auto Tracker Using Microcontroller Based Data Acquisition System. *International Conference on Mechanical Engineering 2011 (ICME2011) Bangladesh*. hal: 1-5. ICME 11-RT-030.
- International Labour Office (ILO). 2007. *Pekerja Anak di Industri Tembakau Jember*. Perubahan Internasional: Jakarta.

- Jaliwala, R.. 2014. *Buku Panduan : Energi yang Terbarukan*. Jakarta : Program Nasional Pemberdayaan Masyarakat (PNPM) Mandiri.
- Kadir, A. 1995. *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Jakarta: UI-Press
- Kalyanasundaram, K., & Gratzel, M.. 1998. Applications of Functionalized Transition Metal Complexes In Photonic and Optoelectronic Devices. *Coordination Chemistry*.hal: 177.
- Kasperbauer, M. J., & Peaslee D. E.. 1973. Morphology and Photosynthetic Efficiency of Tobacco Leaves That Received End-of-Day Red or Far Red Light during Development. *Plant Physiol*.Vol. 52. hal: 440-442
- Kembaren, S.I.A.. 2015. *Karakterisasi Ekstrak Daun Hemigraphis colorata sebagai Dye pada Dye Sensitizer Solar Cell*. Medan : Universitas Sumatera Utara. hal: 46-50.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). 2013. *Statistik Ketenagalistrikan 2013*. Jakarta: Direktorat Ketenagalistrikan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia (KEMENRISTEK RI). 2006. *Buku Putih Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Energi Baru dan Terbarukan Untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2005-2025*. Jakarta: Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia. hal: 2-15.
- Kittle & Kromer. 1980. *Thermal Physics*.New York:W. H. Freeman.
- Klotz, R.R.. 2008. *Chemical Thermodynamics-Basic Concepts and Methods, 7th ed*. Inggris: Wiley.
- Kumara, M.S.W. & Gontjang, P.. 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*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November. hal: 1-11.

- Leffingwell, J.C.. 1999. *Chapter 8. Leaf Chemistry: Basic Chemical Constituents of Tobacco Leaf and Differences among Tobacco Types*. USA: Blackwell Science (Pub.).
- LoCascio, M. 2002. *Application of Semiconductor Nanocrystals to Photovoltaic Energi Conversion Devices*. New York : Technical White Paper, Troy
- Ma'rufatin, A.2011. *Respon Pertumbuhan Tanaman Kentang (Solanum tuberosum L.) Varietas dan Super Jhon dalam Sistem Aeroponik Terhadap Periode Pencahayaan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor. hal: 9-11.
- McDonald, S.A., Konstantatos, G., Zhang, S., Cyr, P.W., Klem, E.J., Levina, L., dan Sargent, E.H.. 2005. Solution-processed PbS quantum dot infrared photodetectors and photovoltaics. *Nature Materials* **4** (2).
- Misbachudin, M.C., Trihandaru, S., dan Sutresno, A.. 2013. Studi Awal Ekstrak Antosianin Strawberry Sebagai Fotosensitizer dalam Pembuatan Prototipe *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *Seminar Nasional 2<sup>nd</sup> Lontar Physics Forum 2013*. ISBN:978-602-8047-80-7. hal: 1-5.
- Moller, H.J.. 1993. *Semiconductors For Solar Cells*. London: Artech House, Inc.
- Narayan, M.R. 2012. Review: Dye Sensitized Solar Cells Based On Natural Photosensitizers. *Renewable and Sustainable Energi Review*. Vol. 16. ISSN: 1364-0321. hal: 208-215.
- Nygren, K.. 2010. *Solar Cells Based on Synthesized Nanocrystalline ZnO Thin Films Sensitized by Chlorophyll A and Photopigments Isolated From Spinach*. Swedia: Linkoping University.
- O'Regan, B., & Gratzel, M.. 1991. A Low Cost, High Efficiency Solar Cell Based Upon Dye-Sensitized Colloidal TiO<sub>2</sub> Films. *Nature*, Vol. 353.
- Phani, G., Tulloch, G., Vittorio, D., dan Skyrabin, I.. 2001. Titania Solar Cells: New Photovoltaic Technology. *Renewable Energi*. hal: 22.
- Prasatya, A.N., dan Susanti, D.. 2013. Pengaruh Temperatur Kalsinasi pada Kaca FTO yang di-coating ZnO terhadap Efisiensi DSSC (*Dye Sensitized Solar*

Cell) yang Menggunakan Dye dari Buah Terung Belanda (*Solanum betaceum*). *Jurnal Teknik POMITS vol. 2 (2)*.hal: 378-380.

Prasetyowati, R. 2012. Sel Surya Berbasis Titania Sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Pendidikan dan Penerapan MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta*. hal: 1-6.

Prananto, H.D., Tyaswuri, A., Stefphanie, C., dan Bahriarto, Y.. 2013. Dye Sensitizer Solar Cell (DSSC) Berbahan Dasar Klorofil Daun Cincau Sebagai Fotosensitizer. *Seminar Nasional Fisika Universitas Negeri Jakarta, 1 Juni 2013*. hal: 30-32.

Qing, Q.C, Feng, C.S., dan Jia, G.Z.. 2004. *Modern Electric Car Technology*. Beijing : Beijing Institute of Technology Press.

Reti, I. & Urmos, A.. 2012. MBE Technology in the Colourful LED and Solar Cell Production. *Obuda University e-Bulletin, Vol.3 (1)* hal: 191-201.

Sari, A.P.P., Santoso, K., dan Januar, J. 2014. Potensi Wilayah dan Dampak Serta Kontribusi Komoditas Tembakau Besuki *NA-OOGST* Tanam Awal Terhadap Sektor Perkebunan Kabupaten Jember. *JSEP Vol. 7 (1)* hal: 32-45.

Sastrawan, R.. 2006. *Photovoltaic Modules of Dye Solar Cells*. University of Freiburg.

Septiana, W., Fajarisandi, D., & Aditia, M.. 2007a. Pembuatan Prototipe Solar Cell dengan Organik-Inorganik (*Dye Sensitized Solar Cell*). Bandung : PT. Rekayasa Industri. hal: 31-36.

Septina, W.. 2007b. *Sintesa Nanokristal Mesopori TiO<sub>2</sub> dengan Metoda Sol-Gel*. Bandung: Institut Teknologi Bandung. hal: 26-36.

Siswanto. 2004. *Monograf Pengembangan Tembakau Unggulan di Sumenep*. Surabaya: UPN "Veteran" Jawa Timur.

Song, W.. 2007. TiO<sub>2</sub> Films Prepared by Micro-plasma Oxidation Method for Dye-Sensitized Solar Cell. *Electrochimia Acta*. hal: 53.

- Suarna, I.W.. 2008. *Model Penanggulangan Masalah Sampah Perkotaan dan Perdesaan*. Bali: Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Udayana.
- Sugiyono, A., Anindhita, Boedoyo, M.S. dan Adiarso. 2014. *Outlook Energi Indonesia 2014 (Indonesia Energi Outlook 2014): Pengembangan Energi Mendukung Program Substitusi BBM*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). hal: 2-6.
- Sumaryanti. 2011. Karakteristik Optik dan Listrik Larutan Klorofil Spirulina Sp sebagai Dye Sensitized Solar Cell. *Jurnal Material dan Energi Indonesia* Vol. 01 (03) hal:141-147. Universitas Padjajaran.
- 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) hal: 1-5.
- The Feynman Lectures on Physics Volume I
- Wu, L.J.Z., Hao, S., Li, P., *et al.*. 2008. Progress On The Electrolytes For Dye-Sensitized Solar Cells. *Pure and Applied Chemistry* Vol. 80, hal: 241.
- Yulika, D., Kusumandari, & Suryana, R.. 2014. Pelapisan TiO<sub>2</sub> di atas FTO dengan Teknik *Slip Casting* dan *Spin Coating* untuk Aplikasi DSSC. *Jurnal Fisika Indonesia*. vol. 18 (53) hal: 66-69.
- Yuwono, B. 2005. *Optimalisasi Panel Sel Surya dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret. hal: 38-41.
- Zhou, H., Wu, L., Gao, Y., dan Ma, T.. 2011. Dye-Sensitized Solar Cells Using 20 Natural Dyes As Sensitizers. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 219. ELSEVIER B.V. 10.1016/j.jphotochem.2011.02.008. hal: 188-194.



**LAMPIRAN – LAMPIRAN**

LAMPIRAN A

MATRIKS PENELITIAN

Nama : Hidayatul Fitriya

NIM : 120210152037

Judul	Permasalahan	Tujuan	Variabel	Indikator	Sumber Data	Metode Penelitian
Pengaruh Lama Perendaman TiO <sub>2</sub> Dalam Dye Sensitizer Ekstrak Daun Tembakau ( <i>Nicotiana tabacum L</i> ) Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)	1. Bagaimanakah pengaruh lama perendaman TiO <sub>2</sub> dalam dye sensitizer ekstrak daun tembakau ( <i>Nicotiana tabacum L</i> ) terhadap besar kuat arus dan tegangan keluaran Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)?	1. Mengkaji pengaruh lama perendaman TiO <sub>2</sub> dalam dye sensitizer ekstrak daun tembakau ( <i>Nicotiana tabacum L</i> ) terhadap besar kuat arus dan tegangan keluaran Dye Sensitized Solar Cell (DSSC).	Variabel bebas : Lama perendaman TiO <sub>2</sub> kedalam dye sensitized daun tembakau yang terdiri dari 30 menit, 1 jam, dan 1,5 jam.  Variabel Terikat: Karakteristik nilai tegangan keluaran dan kuat arus yang dihasilkan.  Variabel kontrol: 1. Dye sensitized yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari ekstrak daun tembakau	Karakteristik nilai tegangan keluaran dan kuat arus yang dihasilkan.	1. Sampel data hasil penelitian adalah tabel dan grafik hasil pengamatan karakteristik nilai tegangan keluaran dan kuat arus yang dihasilkan .  2. Referensi : Jurnal, Karya	1. Jenis penelitian : <i>True Experiment</i> Analisis Deskriptif.  2. Lokasi penelitian : Laboratorium Fisika Lanjut FKIP dan Laboratorium Anorganik Kimia

	<p>2. Bagaimanakah pengaruh lama perendaman <math>\text{TiO}_2</math> dalam <i>dye sensitizer</i> ekstrak daun tembakau (<i>Nicotiana tabacum L</i>) terhadap efisiensi <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)?</p>	<p>2. Mengkaji pengaruh lama perendaman <math>\text{TiO}_2</math> dalam <i>dye sensitizer</i> ekstrak daun tembakau (<i>Nicotiana tabacum L</i>) terhadap efisiensi <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC).</p>	<p>(<i>Nicotiana tabacum L</i>).</p> <p>2. Jenis Kaca <i>Transparent Conducting Oxide</i> (TCO) dalam penelitian ini menggunakan kaca <i>Indium Thin Oxide</i> (ITO) dari layar <i>handphone</i> bekas jenis OLED.</p> <p>3. Waktu lama perendaman yang digunakan adalah 30 menit, 1 jam, dan 1,5 jam.</p> <p>4. Proses pengambilan data dilakukan setiap jam mulai dari pukul 10:00 – 14:00.</p>		<p>Ilmiah, website dan buku-buku terkait.</p>	<p>FMIPA Universitas Jember.</p>
--	--	--	---	--	---	----------------------------------

**LAMPIRAN B**

**PERHITUNGAN RALAT**

**1. Menghitung Tegangan Listrik**

$$\bar{V} = \frac{\sum \text{Tegangan}}{n}$$

a. DSSC T30 dengan lama perendaman 30 menit

$$10:00 : \quad \bar{V} = \frac{(4+3,8+3,5)}{3} = 3,8 \text{ mV}$$

$$11:00 : \quad \bar{V} = \frac{(16,9+15,5+15,1)}{3} = 15,8 \text{ mV}$$

$$12:00 : \quad \bar{V} = \frac{(23,9+23,5+21,1)}{3} = 22,8 \text{ mV}$$

$$13:00 : \quad \bar{V} = \frac{(7,2+6,4+5,3)}{3} = 6,3 \text{ mV}$$

$$14:00 : \quad \bar{V} = \frac{(5,3+4,6+5)}{3} = 4,9 \text{ mV}$$

b. DSSC T60 dengan lama perendaman 60 menit

$$10:00 : \quad \bar{V} = \frac{(7,2+2,1+6,6)}{3} = 6,9 \text{ mV}$$

$$11:00 : \quad \bar{V} = \frac{(167+173+50)}{3} = 130 \text{ mV}$$

$$12:00 : \quad \bar{V} = \frac{(177,9+175,5+167,3)}{3} = 173,6 \text{ mV}$$

$$13:00 : \quad \bar{V} = \frac{(114,8+85,5+105,9)}{3} = 102,1 \text{ mV}$$

$$14:00 : \quad \bar{V} = \frac{(83,4+99,7+89,3)}{3} = 90,8 \text{ mV}$$

c. DSSC T90 dengan lama perendaman 90 menit

$$10:00 : \quad \bar{V} = \frac{(3,2+3,1+3,0)}{3} = 3,1 \text{ mV}$$

$$11:00 : \quad \bar{V} = \frac{(13,6+12,5+12,0)}{3} = 12,7 \text{ mV}$$

$$12:00 : \quad \bar{V} = \frac{(18,3+16,9+16,1)}{3} = 17,1 \text{ mV}$$

$$13:00 : \quad \bar{V} = \frac{(18+16,7+15,8)}{3} = 16,8 \text{ mV}$$

$$14:00 : \quad \bar{V} = \frac{(8,1+7,6+4,8)}{3} = 6,8 \text{ mV}$$

## 2. Menghitung rata-rata Kuat Arus Listrik

$$\bar{I} = \frac{\sum \text{Kuat Arus}}{n}$$

a. DSSC T30 dengan lama perendaman 30 menit

$$10:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0148+0,0140+0,0129)}{3} = 0,0139 \text{ mA}$$

$$11:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0624+0,0572+0,0557)}{3} = 0,0584 \text{ mA}$$

$$12:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0882+0,0867+0,0779)}{3} = 0,0843 \text{ mA}$$

$$13:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0226+0,0236+0,0196)}{3} = 0,0232 \text{ mA}$$

$$14:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0196+0,0170+0,0185)}{3} = 0,0183 \text{ mA}$$

b. DSSC T60 dengan lama perendaman 60 menit

$$10:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0258+0,0254+0,0236)}{3} = 0,0249 \text{ mA}$$

$$11:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,598+0,619+0,179)}{3} = 0,466 \text{ mA}$$

$$12:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,637+0,629+0,599)}{3} = 0,621 \text{ mA}$$

$$13:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,411+0,306+0,379)}{3} = 0,366 \text{ mA}$$

$$14:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,299+0,357+0,319)}{3} = 0,325 \text{ mA}$$

c. DSSC T90 dengan lama perendaman 90 menit

$$10:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0129+0,0125+0,0121)}{3} = 0,0124 \text{ mA}$$

$$11:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0546+0,0502+0,0482)}{3} = 0,0510 \text{ mA}$$

$$12:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0735+0,0679+0,0647)}{3} = 0,0687 \text{ mA}$$

$$13:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0723+0,0671+0,0635)}{3} = 0,0676 \text{ mA}$$

$$14:00 : \quad \bar{I} = \frac{(0,0325+0,0305+0,0193)}{3} = 0,0274 \text{ mA}$$

### 3. Menghitung efisiensi sel surya

- a. Menghitung nilai iluminansi menjadi intensitas radiasi matahari

Perkiraan konversi  $0,0079 \text{ W/m}^2$  per Lux

$$1 \text{ Lux} = 0,0079 \text{ W/m}^2 =$$

$$I = \bar{E} \times 0,0079 \text{ W/m}^2$$

$$10:00 : \quad I = 74800 \times 0,0079 = 590,9 \text{ W /m}^2$$

$$11:00 : \quad I = 87766,7 \times 0,0079 = 693,4 \text{ W /m}^2$$

$$12:00 : \quad I = 92300 \times 0,0079 = 729,2 \text{ W /m}^2$$

$$13:00 : \quad I = 84466,7 \times 0,0079 = 667,3 \text{ W /m}^2$$

$$14:00 : \quad I = 73200 \times 0,0079 = 578,3 \text{ W /m}^2$$

### 4. Menghitung efisiensi sel surya

$$\eta = \frac{I_m \cdot V_m}{P \cdot A} \times 100\%$$

- a. DSSC T30 dengan lama perendaman 30 menit

$$10:00 : \quad \eta = \frac{(0,0139 \times 10^{-3} \text{ A})(3,8 \times 10^{-3} \text{ V})}{(590,9 \text{ W /m}^2)(0,0003 \text{ m}^2)} \times 100\% = 0,0000295 \%$$

$$11:00 : \quad \eta = \frac{(0,0584 \times 10^{-3} \text{ A})(15,8 \times 10^{-3} \text{ V})}{(693,4 \text{ W /m}^2)(0,0003 \text{ m}^2)} \times 100\% = 0,000445 \%$$

$$12:00 : \quad \eta = \frac{(0,0843 \times 10^{-3} \text{ A})(22,8 \times 10^{-3} \text{ V})}{(729,2 \text{ W /m}^2)(0,0003 \text{ m}^2)} \times 100\% = 0,000879 \%$$

$$13:00 : \quad \eta = \frac{(0,0232 \times 10^{-3} \text{ A})(6,3 \times 10^{-3} \text{ V})}{(667,3 \text{ W /m}^2)(0,0003 \text{ m}^2)} \times 100\% = 0,0000732 \%$$

$$14:00 : \quad \eta = \frac{(0,0183 \times 10^{-3} A)(4,9 \times 10^{-3} V)}{(578,3 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0000525 \%$$

b. DSSC T60 dengan lama perendaman 60 meni

$$10:00 : \quad \eta = \frac{(0,0249 \times 10^{-3} A)(6,9 \times 10^{-3} V)}{(590,9 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0000981 \%$$

$$11:00 : \quad \eta = \frac{(0,466 \times 10^{-3} A)(130 \times 10^{-3} V)}{(693,4 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0291 \%$$

$$12:00 : \quad \eta = \frac{(0,621 \times 10^{-3} A)(173,6 \times 10^{-3} V)}{(729,2 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0493 \%$$

$$13:00 : \quad \eta = \frac{(0,366 \times 10^{-3} A)(102,1 \times 10^{-3} V)}{(667,3 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0186 \%$$

$$14:00 : \quad \eta = \frac{(0,325 \times 10^{-3} A)(90,8 \times 10^{-3} V)}{(578,3 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0170 \%$$

c. DSSC T90 dengan lama perendaman 90 menit

$$10:00 : \quad \eta = \frac{(0,0124 \times 10^{-3} A)(3,1 \times 10^{-3} V)}{(590,9 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,0000218 \%$$

$$11:00 : \quad \eta = \frac{(0,0510 \times 10^{-3} A)(12,7 \times 10^{-3} V)}{(693,4 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,000312 \%$$

$$12:00 : \quad \eta = \frac{(0,0687 \times 10^{-3} A)(17,1 \times 10^{-3} V)}{(729,2 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,000537 \%$$

$$13:00 : \quad \eta = \frac{(0,0676 \times 10^{-3} A)(16,8 \times 10^{-3} V)}{(667,3 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,000568 \%$$

$$14:00 : \quad \eta = \frac{(0,0274 \times 10^{-3} A)(6,8 \times 10^{-3} V)}{(578,3 W / m^2)(0,0003 m^2)} \times 100\% = 0,000108 \%$$

## 5. Menghitung kesalahan mutlak pengukuran

a. Menghitung kesalahan mutlak iluminasi (E)

$$1) \text{ Kesalahan mutlak } \Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}}$$

$$2) \text{ Kesalahan relatif (E) } = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\%$$

$$3) \text{ Keseksamaan } = 100\% - \text{kesalahan relatif (E)}$$

$$4) \text{ HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\}$$

a) 10:00 :

- 74700 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0945 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{74800 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

- 75000 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 141,4 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,189 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,8 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{74800 \pm 141,4\} \text{ Lux}$$

- 74700 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0945 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{74800 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

b) 11:00 :

- 87900 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 94,3 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,170\%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,8%

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{87766,7 \pm 94,3\} \text{ Lux}$$

- 87600 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 117,8 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,134 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{87766,7 \pm 117,8\} \text{ Lux}$$

- 87800 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 23,6 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0268 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{87766,7 \pm 23,6\} \text{ Lux}$$

c) 12:00 :

- 92300 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 0 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 100 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{92300 \pm 0\} \text{ Lux}$$

- 92200 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0766 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{92300 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

- 92400 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0766 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{92300 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

d) 13:00 :

- 85300

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 589,3 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,698 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,3 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{84466,7 \pm 589,2\} \text{ Lux}$$

- 84600

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 94,3 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,112 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{84466,7 \pm 94,3\} \text{ Lux}$$

- 83500

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 683,5 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,809 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,2 %

$$HP = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{84466,7 \pm 683,5\} \text{ Lux}$$

e) 14:00 :

- 73200 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 0 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 100 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{73200 \pm 0\} \text{ Lux}$$

- 73300 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0966 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{73200 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

- 73200 Lux

$$\Delta E = \sqrt{\frac{\sum(E-\bar{E})^2}{n-1}} = 70,7 \text{ Lux}$$

$$(E) = \frac{\Delta E}{\bar{E}} \times 100\% = 0,0966 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (E) = 99,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{E} \pm \Delta E\} = \{73200 \pm 70,7\} \text{ Lux}$$

b. Menghitung kesalahan mutlak Kuat Arus (I)

$$1) \text{ Kesalahan mutlak } \Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}}$$

$$2) \text{ Kesalahan relatif } (I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\%$$

3) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I)

$$4) \text{ HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\}$$

a) DSSC T30 dengan lama perendaman 30 menit

10:00 :

- 0,0148 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0006 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,58 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,4 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0139 \pm 0,0006\} \text{ mA}$$

- 0,0140 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,00007 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,509 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 99,5 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0139 \pm 0,00007\} \text{ mA}$$

- 0,0129 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0007 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 5,087 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 94,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0139 \pm 0,0007\} \text{ mA}$$

11:00 :

- 0,0624 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0028 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,80 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 95,2 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0584 \pm 0,0028\} \text{ mA}$$

- 0,0572 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0008 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,49 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 98,5 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0584 \pm 0,0008\} \text{ mA}$$

- 0,0557 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0019 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 3,3 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 96,7 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0584 \pm 0,0019\} \text{ mA}$$

12:00 :

- 0,0882 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0027 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 3,29 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 96,7 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0843 \pm 0,0027\} \text{ mA}$$

- 0,0867 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0017 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 2,03 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 97,9%

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0843 \pm 0,0017\} \text{ mA}$$

- 0,0779 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0045 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 5,35 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 94,6 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0843 \pm 0,0045\} \text{ mA}$$

13:00 :

- 0,0266 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0023 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 9,89 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 90,1 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0232 \pm 0,0023\} \text{ mA}$$

- 0,0236 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0002 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,06 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 98,9 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0232 \pm 0,0002\} \text{ mA}$$

- 0,0196 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0025 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 11,1 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 88,9 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0232 \pm 0,0025\} \text{ mA}$$

14:00 :

- 0,0196 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0008 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,89 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,1 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0183 \pm 0,0008\} \text{ mA}$$

- 0,0170 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0009 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 5,13 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 94,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0183 \pm 0,0009\} \text{ mA}$$

- 0,0185 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0001 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,656 \%$$

Keseeksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 99,3 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0183 \pm 0,0001\} \text{ mA}$$

b) DSSC T60 dengan lama perendaman 60 menit

10:00 :

- 0,0258 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0006 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 2,38 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 97,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0249 \pm 0,0006\} \text{ mA}$$

- 0,0254 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0003 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,25 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 98,8 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0249 \pm 0,0003\} \text{ mA}$$

- 0,0236 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0009 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 3,85 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 96,2 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0249 \pm 0,0009\} \text{ mA}$$

11:00 :

- 0,598 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0935 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 20,1 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 79,911 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,466 \pm 0,0935\} \text{ mA}$$

- 0,620 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,109 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 23,4 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 76,6 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,466 \pm 0,1091\} \text{ mA}$$

- 0,179 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,203 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 43,5 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 56,5 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,466 \pm 0,2027\} \text{ mA}$$

12:00 :

- 0,637 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0108 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,74 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 98,3 %

$$HP = \{\bar{J} \pm \Delta J\} = \{0,622 \pm 0,0108\} \text{ mA}$$

- 0,629 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0052 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,830 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 99,2 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,622 \pm 0,0052\} \text{ mA}$$

- 0,599 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0160 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 2,58 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif ( $I$ ) = 97,4 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,622 \pm 0,0160\} \text{ mA}$$

13:00 :

- 0,411 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0321 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 8,78 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 91,2 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,366 \pm 0,0321\} \text{ mA}$$

- 0,306 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0421 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 11,5 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 88,5 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,366 \pm 0,0421\} \text{ mA}$$

- 0,379 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0095 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 2,59 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 97,4 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,366 \pm 0,0095\} \text{ mA}$$

14:00 :

- 0,299 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0185 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 5,72 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 94,3 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,325 \pm 0,0185\} \text{ mA}$$

- 0,357 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0224 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 6,806 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 93,1 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,325 \pm 0,0224\} \text{ mA}$$

- 0,320 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0037 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,15 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 98,8%

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,325 \pm 0,0037\} \text{ mA}$$

c) DSSC T90 dengan lama perendaman 90 menit

10:00 :

- 0,0129 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0003 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 2,56 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 97,4 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0124 \pm 0,0003\} \text{ mA}$$

- 0,0125 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,00004 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,284 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 99,7 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0124 \pm 0,00004\} \text{ mA}$$

- 0,0121 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0002 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,99 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 98,0 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0124 \pm 0,0002\} \text{ mA}$$

11:00 :

- 0,0546 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0025 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,96 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,0%

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0510 \pm 0,0025\} \text{ mA}$$

- 0,0502 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0006 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 1,14 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 98,9%

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0510 \pm 0,0006\} \text{ mA}$$

- 0,0482 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0019 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 3,91 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 96,1%

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0510 \pm 0,0019\} \text{ mA}$$

12:00 :

- 0,0735 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0034 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,94 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,1 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0687 \pm 0,0034\} \text{ mA}$$

- 0,0679 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0006 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,823 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 99,2 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0687 \pm 0,0006\} \text{ mA}$$

- 0,0647 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0028 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,12 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0687 \pm 0,0028\} \text{ mA}$$

13:00 :

- 0,0723 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0033 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,89 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,1 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0676 \pm 0,0033\} \text{ mA}$$

- 0,0671 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0003 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 0,554 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 99,4 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0676 \pm 0,0003\} \text{ mA}$$

- 0,0635 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0029 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 4,32 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 95,7 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0676 \pm 0,0029\} \text{ mA}$$

14:00 :

- 0,0325 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0036 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 13,0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 86,9 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0274 \pm 0,0036\} \text{ mA}$$

- 0,0305 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0022 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 7,86 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 92,1 %

$$HP = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0274 \pm 0,0022\} \text{ mA}$$

- 0,0193 mA

$$\Delta I = \sqrt{\frac{\sum(I-\bar{I})^2}{n-1}} = 0,0057 \text{ mA}$$

$$(I) = \frac{\Delta I}{\bar{I}} \times 100\% = 20,9 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (I) = 79,0 %

$$\text{HP} = \{\bar{I} \pm \Delta I\} = \{0,0676 \pm 0,0057\} \text{ mA}$$

c. Menghitung kesalahan mutlak Tegangan (V)

$$1) \text{ Kesalahan mutlak } \Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}}$$

$$2) \text{ Kesalahan relatif } (V) = \frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\%$$

3) Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V)

$$4) \text{ HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\}$$

a) DSSC T30 dengan lama perendaman 30 menit

10:00 :

- 4,0 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,16 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\% = 4,4 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,8 \pm 0,16\} \text{ mV}$$

- 3,8 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,024 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{\bar{V}} \times 100\% = 0,63 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 99,4 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,8 \pm 0,024\} \text{ mV}$$

- 3,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,19 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,8 \pm 0,19\} \text{ mV}$$

11:00 :

- 16,9 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,754 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,76 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,2 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{15,8 \pm 0,754\} \text{ mV}$$

- 15,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,236 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,49 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,5 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{15,8 \pm 0,236\} \text{ mV}$$

- 15,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,519 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 3,28 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 96,7 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{15,8 \pm 0,519\} \text{ mV}$$

12:00 :

- 23,9 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,754 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 3,30 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 96,7 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{22,8 \pm 0,754\} \text{ mV}$$

- 23,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,471 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,06 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{22,8 \pm 0,471\} \text{ mV}$$

- 21,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 1,23 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,37 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{22,8 \pm 1,23\} \text{ mV}$$

13:00 :

- 7,2 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,64 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 10,1 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 89,9%

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,3 \pm 0,64\} \text{ mV}$$

- 6,4 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,071 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,1 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,9 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,3 \pm 0,071\} \text{ mV}$$

- 5,3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,71 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 11,3 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 88,8 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,3 \pm 0,71\} \text{ mV}$$

14:00 :

- 5,3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,24 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,8 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,3 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{4,9 \pm 0,24\} \text{ mV}$$

- 4,6 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,26 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,2 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,8 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{4,9 \pm 0,26\} \text{ mV}$$

- 5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,023 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 0,47 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 99,5 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{4,9 \pm 0,023\} \text{ mV}$$

b) DSSC T60 dengan lama perendaman 60 menit

10:00 :

- 7,2 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,16 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,4 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,9 \pm 0,16\} \text{ mV}$$

- 7,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,094 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,4 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,6%

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,9 \pm 0,094\} \text{ mV}$$

- 6,6 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,26 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 3,7 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 96,3%

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,9 \pm 0,26\} \text{ mV}$$

11:00 :

- 167 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 26,2 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 20,1 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 79,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{130 \pm 26,2\} \text{ mV}$$

- 173 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 30,4 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 23,4 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 76,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{130 \pm 30,4\} \text{ mV}$$

- 50 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 56,6 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 43,5 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 56,5 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{130 \pm 56,6\} \text{ mV}$$

12:00 :

- 177,9 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 3,064 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,765 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,24 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{173,6 \pm 3,064\} \text{ mV}$$

- 175,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 1,367 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 0,7876 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 99,21 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{173,6 \pm 1,367\} \text{ mV}$$

- 167,3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 4,431 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,553 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,447 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{173,6 \pm 4,431\} \text{ mV}$$

13:00 :

- 114,8 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 9,004 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 8,821 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 91,18 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{102,1 \pm 9,004\} \text{ mV}$$

- 85,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 11,7 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 11,5 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 88,5 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{102,1 \pm 11,7\} \text{ mV}$$

- 105,9 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 2,711 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,656 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,34 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{102,1 \pm 2,711\} \text{ mV}$$

14:00 :

- 99,7 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 6,29 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 6,93 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 93,1 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{90,8 \pm 6,29\} \text{ mV}$$

- 89,3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 1,06 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,17 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,8 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{90,8 \pm 1,06\} \text{ mV}$$

- 83,4 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 4,95 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,45 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{90,8 \pm 4,95\} \text{ mV}$$

c) DSSC T90 dengan lama perendaman 90 menit

10:00 :

- 3,2 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,071 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,3 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,7 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,1 \pm 0,071\} \text{ mV}$$

- 3,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 100 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,1 \pm 0\} \text{ mV}$$

- 3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,07 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 2,3 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 97,7 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{3,1 \pm 0,07\} \text{ mV}$$

11:00 :

- 13,6 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,636 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,01 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,9 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{12,7 \pm 0,636\} \text{ mV}$$

- 12,5 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,141 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,11 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,9 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{12,7 \pm 0,141\} \text{ mV}$$

- 12 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,49 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 3,9 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 96,1 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{12,7 \pm 0,49\} \text{ mV}$$

12:00 :

- 18,3 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,848 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,99 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,0 %

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{17,1 \pm 0,848\} \text{ mV}$$

- 16,7 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,283 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 1,65 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 98,4%

$$HP = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{17,1 \pm 0,283\} \text{ mV}$$

- 16,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,707 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,14 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{17,1 \pm 0,707\} \text{ mV}$$

13:00 :

- 18 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,825 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,90 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,1 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{16,8 \pm 0,825\} \text{ mV}$$

- 16,7 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,919 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 5,46 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 94,5 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{16,8 \pm 0,919\} \text{ mV}$$

- 15,8 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,731 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 4,34 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 95,6 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{16,8 \pm 0,731\} \text{ mV}$$

14:00 :

- 8,1 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,89 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 13,1 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 86,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,8 \pm 0,89\} \text{ mV}$$

- 7,6 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 0,54 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 7,9 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 92,1%

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,8 \pm 0,54\} \text{ mV}$$

- 4,8 mV

$$\Delta V = \sqrt{\frac{\sum(V-\bar{V})^2}{n-1}} = 1,4 \text{ mV}$$

$$(V) = \frac{\Delta V}{V} \times 100\% = 21,0 \%$$

Keseksamaan = 100% - kesalahan relatif (V) = 78,9 %

$$\text{HP} = \{\bar{V} \pm \Delta V\} = \{6,8 \pm 1,4\} \text{ mV}$$

LAMPIRAN C

DOKUMENTASI



Kaca Konduktif OLED dari Layar *Handphone*



Proses pembersihan TCO dari *LCD Handphone*



Pembuatan *dye sensitizer* dari ekstrak daun tembakau



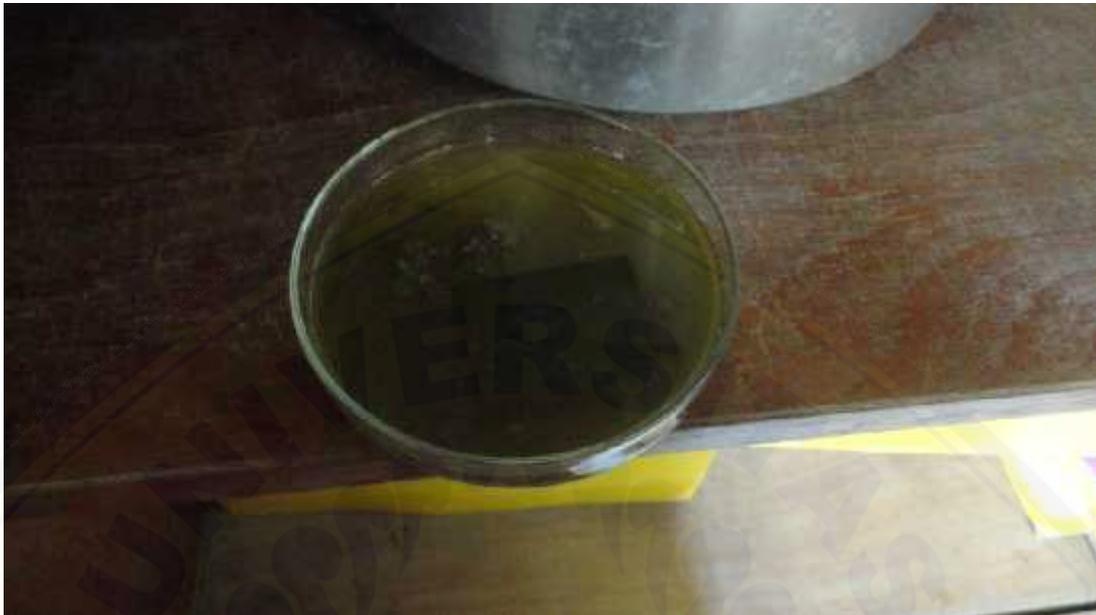
*Dye sensitizer* ekstrak daun tembakau



Bahan pembuatan larutan elektrolit



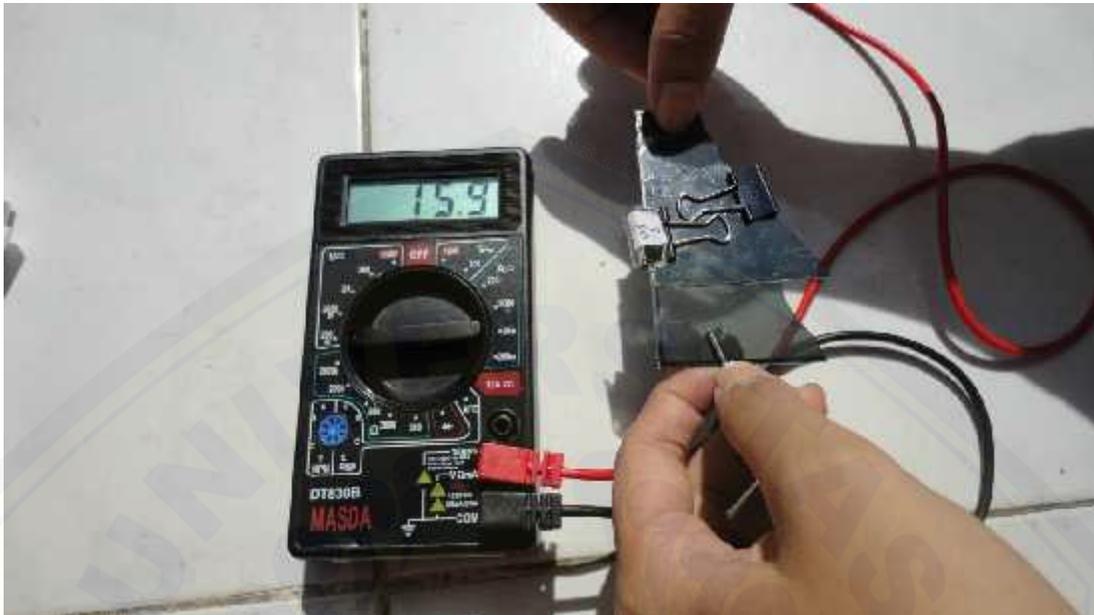
Pelapisan  $\text{TiO}_2$  pada TCO



Proses perendaman DSSC ke dalam *dye sensitizer* dalam ruangan tertutup



Pengujian Intensitas Radiasi Matahari menggunakan Lux Meter



Pengujian DSSC dibawah sinar matahari



Proses Pengujian DSSC