



THESIS SF 142502

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DYE SENSITIZED*  
*SOLAR CELLS* (DSSC) BERBASIS KOMPOSIT  
 $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$**

Musyaro'ah  
1114201004

DOSEN PEMBIMBING  
Endarko, Ph.D.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN INSTRUMENTASI  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016



THESIS SF 142502

**FABRICATION AND CHARACTERISATION OF DYE  
SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC) BASED ON  
TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> COMPOSITE**

Musyaro'ah  
1114201004

SUPERVISOR  
Endarko, Ph.D.

MAGISTER PROGRAMME  
INSTRUMENTATION  
DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016

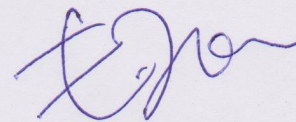
**Thesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Master Sains (M.Si)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**oleh:  
Musyaro'ah  
NRP. 1114 201 004**

**Tanggal Ujian : 21 Juni 2016  
Periode Wisuda : September 2016**

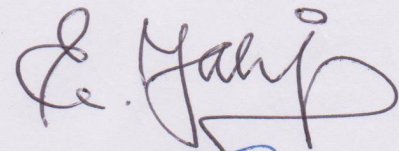
Disetujui oleh:

1. Endarko, M.Si, Ph.D.  
NIP 1974111719903.1.001



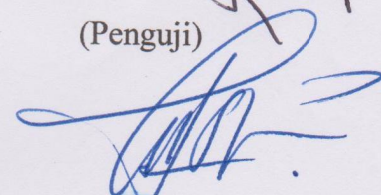
(Pembimbing)

2. Prof. Ir. Eddy Yahya, M.Sc, Ph.D.  
NIP 19471126197210.1.001



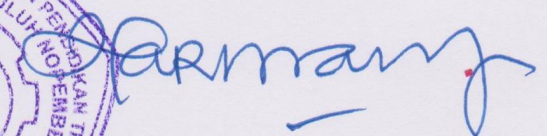
(Penguji)

3. Dr. Mashuri, M.Si.  
NIP 19691216199402.1.001



(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,



Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M. Sc. Ph.D.  
NIP 1960120211987011001

## FABRIKASI DAN KAREKTERISASI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) BERBASIS KOMPOSIT $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$

Nama mahasiswa : Musyaro'ah  
NRP : 1114201004  
Pembimbing : Endarko, Ph. D.

### ABSTRAK

Fabrikasi dan karakterisasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) berbasis komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  telah berhasil dilakukan. Penelitian bertujuan untuk mengoptimalkan proses transfer dan pemisahan muatan, serta mengurangi rekombinasi prematur di dalam sel, sehingga dapat meningkatkan efisiensi konversi serta stabilitas kinerja sel surya tersensitisasi *dye*. Dalam penelitian ini digunakan tiga jenis semikonduktor sebagai elektroda kerja yaitu  $\text{TiO}_2$  murni, komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  dan  $\text{SnO}_2$  murni, elektrolit gel berbasis polimer PEG dengan BM 1000, lempeng karbon sebagai elektroda lawan (katoda), serta N-749 sebagai *Dye Sensitizer*. Sumber cahaya lampu xenon dengan intensitas  $100\text{mW}/\text{cm}^2$  digunakan untuk menguji performansi dari DSSC. Hasil pengukuran dan perhitungan diperoleh bahwa DSSC berbasis elektroda komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  mempunyai kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan DSSC berbasis elektroda  $\text{TiO}_2$  murni dan berbasis elektroda  $\text{SnO}_2$  murni, dengan nilai efisiensi berturut-turut 0,041, 0,019 dan 0,0114%.

**Kata kunci :** *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC), komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ , *dye* sintetis N-749

## FABRICATION AND CHARACTERIZATION DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) BASED ON TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> COMPOSITE

Name : Musyaro'ah  
Student Identity : 1114201004  
Advisor : Endarko, Ph. D.

### ABSTRACT

Photoanode of dye-sensitized solar cells based on TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> composite has successfully been fabricated and characterized. The proposed study was to optimize the process of transfer and charge separation to reduce premature recombination in the cells thereby increasing the conversion efficiency and stability of dye-sensitized solar cell performance. Three types of semiconductors as the working electrode were used in this study, namely pure TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> composite and pure SnO<sub>2</sub>, polymer gel electrolyte based PEG 1000, carbon plate as the counter electrode (cathode), and N-749 as a dye sensitizer. Xenon light source with an intensity of 100 mW/cm<sup>2</sup> is used to test the performance of the DSSC. The results of measurements and calculations showed that the DSSC based on the TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> composite has better performance than the DSSC based on the pure TiO<sub>2</sub> and based on the pure SnO<sub>2</sub>, with the efficiency values were at 0.041, 0.019 and 0.0114%, respectively.

**Keywords:** Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC), TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> composite, synthetic dye N-749

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

*Alhamdulillah rabbil 'alamin*, Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia, petunjuk, pertolongan dan keridho'an-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul :

### **FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DYE SENSITIZED SOLAR CELLS* (DSSC) BERBASIS KOMPOSIT $TiO_2/SnO_2$ .**

Penulis sangat menyadari bahwa keberhasilan Tesis ini tidak lebih dari bantuan, bimbingan dan informasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Moh. Sakti Sholikhin dan Ibu Hj. Zahrotul Musyarofah, suami dan ibu saya yang telah mendidik dengan penuh kasih sayang dan tak henti-hentinya berdo'a memberikan dukungan secara materi dan spiritual hingga akhirnya penulis bisa mencapai semua ini. Tak lupa penulis ucapkan terimakasih kepada Saudara-saudaya penulis, Kakak Moh. Umar Said, S.H. dan Adik Mu'awikin yang sudah memberikan semangat.
2. Bapak Endarko, M.Si, Ph.D, selaku dosen wali dan dosen pembimbing yang telah bersedia mengarahkan, membimbing dan memotivasi dalam penyusunan tesis ini.
3. Bapak Prof. Ir. Eddy Yahya, M.Sc, Ph.D. selaku dosen penguji. Terimakasih atas saran dan kritiknya.
4. Bapak Dr. Mashuri, S.Si, M.Sc selaku dosen penguji. Terimakasih atas saran dan kritiknya.
5. Bapak Gatut Yudoyono, MT yang banyak membantu dalam memberikan informasi, pengetahuan serta membantu memberikan berbagai bahan dalam riset tesis ini.

6. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku ketua jurusan Fisika FMIPA ITS.
7. Bapak Dr. Mashuri, M.Si., selaku ketua Program Studi Pasca Sarjana Jurusan Fisika FMIPA ITS
8. Seluruh dosen dan civitas akademika Jurusan Fisika ITS atas ilmu yang telah diberikan selama ini. Semoga bisa menjadi ilmu yang bermanfaat.
9. Tim diskusi riset “DSSC-Instrumentasi” yang bermarkas di Lab. Instrumentasi; Huda, Luki, Wahyu, Seni, Fajar, Robbi’atul Addawiyah dan Body, berbagi suka-duka dalam riset ini. Tak lupa pula ucapan terimakasih kepada Ibu Nurrisma Puspitasari, M.Si yang mau berbagi pengalaman penelitian ke tim ini.
10. Teman-teman di Lab. Instrumentasi dan Laboratorium Optoelektronika.
11. Teman-teman Fisika lainnya, teman-teman dari Jurusan dan Fakultas di ITS lainnya, serta teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

*Wassalamu’alaikum Wr. Wb.*

Surabaya, 27 Juni 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah .....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB 2. KAJIAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Sel Surya.....	5
2.2 Performasi Sel Surya.....	6
2.3 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC).....	7
2.4 Struktur DSSC.....	11
2.5 Prinsip Kerja DSSC.....	12
2.6 Polietilen Glikol.....	13
2.7 Dye Sintesis N-749.....	14
2.8 Perendaman Elektroda Kerja Pada Larutan Dye.....	15
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>18</b>
3.1 Alat dan Bahan.....	18
3.2 Langkah Kerja.....	19
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.4 Prosedur Kerja.....	20



<b>BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	28
4.1 Karakteristik Serbuk TiO <sub>2</sub> /SnO <sub>2</sub> .....	28
4.2 Karakteristik Morfologi Elektroda TiO <sub>2</sub> /SnO <sub>2</sub> .....	30
4.3 Karakteristik Absorbansi Dye N-749.....	32
4.4 Karakteristik <i>Voc</i> , <i>Jsc</i> , <i>Vmpp</i> , <i>Jmpp</i> , <i>Fill Factor</i> dan Efisiensi.....	33
<b>BAB 5 KESIMPULAN.....</b>	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran.....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	38
<b>LAMPIRAN.....</b>	42
<b>BIOGRAFI PENULIS.....</b>	54

## DAFTAR GAMBAR

2.1	Karakteristik arus dan tegangan (I-V) sebuah sel surya.....	5
2.2	Struktur DSSC.....	8
2.3	Serbuk dan struktur Kristal SnO <sub>2</sub> .....	10
2.4	Prinsip kerja DSSC.....	12
2.5	Struktur kimia Dye N-749.....	14
2.6	Struktur kimia Ruthenium Kompleks N-749.....	15
3.1	Diagram alir penelitian .....	19

## DAFTAR TABEL

4.1 Hasil Karakterisasi DSSC.....	33
-----------------------------------	----

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Hasil Olah Software Match.....	42
LAMPIRAN B Hasil Olah Software Maud.....	46
LAMPIRAN C Karakteristik dengan SEM-EDX.....	48
LAMPIRAN D Data Karakteristik Arus dan Tegangan DSSC.....	50

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ketersediaan energi di dunia ini semakin lama semakin menipis. Di sisi lain kebutuhan energi dari tahun ke-tahun semakin meningkat dalam perkembangan teknologi dan industri. Kebutuhan terhadap energi fosil seperti minyak bumi dan gas tercatat sebesar 55% dan batu bara sebesar 25% dari total persediaan energi yang ada. Sementara pemanfaatan energi terbarukan seperti geothermal, angin, energi matahari, dan biomass hanya 3% (Yam, 2010). Salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan sumber energi fosil adalah pemanfaatan energi radiasi matahari yang jumlahnya tak terbatas. Di samping itu cahaya matahari merupakan salah satu sumber energi alternatif yang bersih dan ramah lingkungan.

Energi radiasi matahari dapat dikonversi langsung menjadi energi listrik melalui suatu alat konversi yang disebut *Solar Cell*. Perkembangan nanoteknologi yang menarik saat ini dari teknologi sel surya adalah sel surya yang dikembangkan oleh Grätzel. Sel ini terdiri dari sebuah lapisan partikel nano ( $\text{TiO}_2$ ) yang direndam dalam sebuah fotosensitizer (pemeka cahaya). Sel ini sering juga disebut dengan sel Grätzel atau *dye sensitized solar cells* (DSSC) atau sel surya berbasis pewarna tersensitisasi (Grätzel, M., 2004)

DSSC mulai dikembangkan Grätzel dan O'Regan pada tahun 1991. Pembuatan jenis sel surya tersensitisasi ini tergolong mudah dan tidak membutuhkan biaya mahal. DSSC tersusun dari beberapa komponen antara lain, semikonduktor oksida, lapisan *dye* (pewarna), *counter electroda*, dan elektrolit. Efisiensi konversi yang dihasilkan dari sistem sel surya tersensitisasi *dye* telah mencapai 10-11% (Schmidt-Mende *et al.* 2006, Chiba *et al.* 2006). Namun demikian, sel surya ini memiliki kelemahan yaitu sel surya ini mempunyai stabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan sel surya konvensional berbasis silikon. (Huang *et al.* 2007, Jeong *et al.* 2004).

Sebelumnya sudah banyak dilakukan penelitian tentang *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Pada tahun 2013 Jun Liu dkk menggunakan bahan  $\text{ZnO}_2/\text{SnO}_2$

sebagai semikonduktornya, kaca FTO yang dimodifikasi dengan platina yang berfungsi sebagai elektroda counter dan N719 sebagai *dye*. Pada penelitian tersebut menggunakan perbandingan 1 : 1 untuk ZnO<sub>2</sub> dan SnO<sub>2</sub>, efisiensi yg dihasilkan adalah 1,82% (Jun Liu et al., 2013). Pada tahun 2014 Eun Hee Jo dkk menggunakan TiO<sub>2</sub> sebagai semikonduktor, *polyethylene glycol* (PEG) dalam pembuatan pasta gel TiO<sub>2</sub> melalui metode *aerosol templating* dengan variasi (0, 0,10, 0,25, dan 0,50 wt%) dan N719 sebagai *dye*. Pada penelitian tersebut efisiensi yang paling besar didapatkan ketika TiO<sub>2</sub> dicampur dengan PEG (0,25 wt%) adalah 6,17% (Eun Hee Jo et al., 2014). Pada tahun 2014 Seok Jun Seo dkk menambahkan bahan polimer (*Polyethylene Oxide*) pada elektrolit yang bertujuan untuk memperbaiki stabilitas DSSC, menggunakan TiO<sub>2</sub> sebagai semikonduktor dan N719 sebagai *dye*. Pada penelitian tersebut menghasilkan efisiensi sebesar 9,2% (Seok Jun Seo et al., 2014). Pada tahun 2014 Diah Susanti dkk mencoba menggunakan bahan alami (*Tamarillo* atau buah terong Belanda) sebagai *dye* serta menggunakan variasi suhu kalsinasi TiO<sub>2</sub> (550°C, 650°C dan 750°C). Hasil efisiensi yang paling besar didapatkan pada suhu kalsinasi 650°C yaitu sebesar 0,19% (Diah Susanti et al., 2014).

Hingga saat ini berbagai variasi optimasi dilakukan oleh banyak kelompok peneliti untuk meningkatkan efisiensi konversi maupun stabilitas kinerja sel surya tersensitisasi *dye*. Oleh karena itu berbagai rekayasa telah dilakukan diantaranya dengan memodifikasi elektroda TiO<sub>2</sub> dan elektrolit serta *dye* yang digunakan. Untuk memperbaiki stabilitas sel misalnya, para peneliti mengembangkan sel dengan elektrolit padat sebagai pengganti elektrolit cair yang mudah degradasi atau bocor, diantaranya adalah elektrolit berbasis polimer yang mengandung kopel redoks (Hao *et al.* 2004, Huang *et al.* 2007, Jeong *et al.* 2004, Joseph *et al.* 2006, Wang *et al.* 2004) atau elektrolit berbasis bahan konduktor *hole* (Schmidt-Mende *et al.* 2006, Lancelle-Beltran *et al.* 2006, Senadeera *et al.* 2005). Sedangkan untuk mengoptimalkan proses transfer dan pemisahan muatan yang mengurangi rekombinasi prematur di dalam sel, dilakukan modifikasi elektroda TiO<sub>2</sub> misalnya dalam bentuk komposit seperti TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> (Sasikala *et al.* 2009), TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Zhang *et al.* 2003) dan TiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> (Lee *et al.* 2003). Modifikasi elektroda TiO<sub>2</sub>

juga dapat dilakukan dengan memasukkan atau melapisi partikel  $\text{TiO}_2$  dengan bahan oksida logam yang memiliki celah pita energi lebar. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan aktif elektroda partikel semikonduktor sehingga lebih banyak molekul *dye* yang dapat teradsorpsi di dalam elektroda (Kang *et al.* 2007).

Dengan alasan tersebut, dalam penelitian ini DSSC yang dikembangkan menggunakan elektroda  $\text{TiO}_2$  termodifikasi  $\text{SnO}_2$  membentuk komposit. Sedangkan untuk mengurangi terjadinya degradasi elektrolit, digunakan larutan iodida/triiodida ( $\text{I}/\text{I}_3^-$ ) sebagai kopel redoks yang diinsersi ke dalam gel polimer PEG (*polyethylene glycol*) sehingga dapat menghindari terjadinya kebocoran. Elektrolit gel polimer ini juga bertindak sebagai perekat kedua elektroda, yaitu fotoanoda  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  tersensitisasi *dye* dan elektroda lawan (katoda) berupa lempeng karbon, serta pemanfaatan *dye* dari bahan sintesis N-749 sebagai *Dye Sensitizer* terhadap peningkatan efisiensinya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a) Bagaimana cara membuat prototipe DSSC berbasis  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  sebagai bahan semikonduktor dengan menggunakan bahan sintesis N-749 sebagai *dye sensitizer* yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik.
- b) Bagaimana pengaruh  $\text{SnO}_2$  terhadap proses transfer dan pemisahan muatan pada  $\text{TiO}_2$ .

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada perumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

- a) Membuat prototipe DSSC berbasis  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  sebagai bahan semikonduktor dengan menggunakan bahan sintesis N-749 sebagai *dye sensitizer* yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik.
- b) Mengetahui pengaruh  $\text{SnO}_2$  terhadap proses transfer dan pemisahan muatan pada  $\text{TiO}_2$ .

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a) Teknik pembuatan  $\text{TiO}_2$  dengan menggunakan metode kopresipitasi, tidak dilakukan dengan metode yang lain.
- b) Pencampuran bahan semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dengan  $\text{SnO}_2$ , tidak dilakukan pencampuran dengan semikonduktor atau logam yang lain.
- c) Dye yang digunakan adalah N-749 yang merupakan produk dari *Sigma Aldrich*. Karakterisasi yang dilakukan terkait dengan dye ini adalah mengetahui absorbansi dye terhadap panjang gelombang cahaya, tidak diteliti secara rinci karakteristik mengenai interaksi dye terhadap lapisan  $\text{TiO}_2$  dan elektrolit.
- d) Teknik pendeposisian pasta  $\text{TiO}_2$  pada kaca konduktif dilakukan menggunakan teknik *doktor blade*, tidak dilakukan variasi teknik pendeposisian lainnya.
- e) Pada elektrolit berbasis Polimer yang digunakan adalah PEG, tidak dilakukan dengan bahan polimer yang lain.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai memberi gagasan dan pengembangan dalam bidang riset fotovoltaik sebagai energi terbarukan yang mudah dalam pembuatannya.



## BAB 2

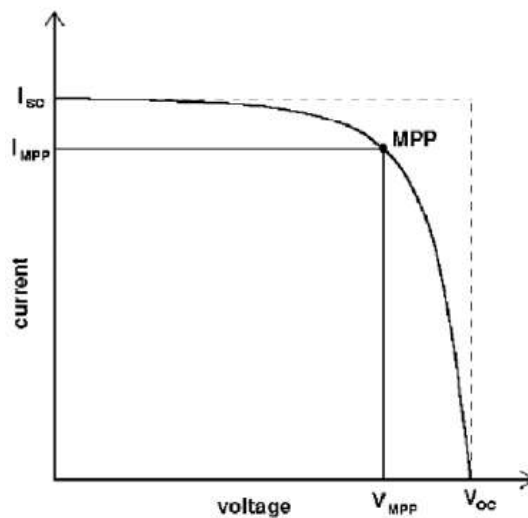
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sel Surya

Sel surya atau fotovoltaik adalah perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Pada tahun 1954 peneliti di Bell Telephone menemukan untuk pertama kali sel surya silikon berbasis p-n junction dengan efisiensi 6%. Sekarang ini, sel surya silikon mendominasi pasar sel surya dengan pangsa pasar sekitar 82% dan efisiensi lab dan komersil berturut-turut yaitu 24,7% dan 15% (Green, Martin.A, 2001).

#### 2.2 Performansi Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini direpresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) (Gambar 2.1).



Gambar 2.1. Karakteristik Arus dan Tegangan (I-V) sebuah sel surya  
(Green,Martin.A, 1982)

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama (Green,Martin.A, 1982).

Pada Gambar 2.1, diperlihatkan tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ), Arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ), *Maximum Power Point* (*MPP*), tegangan dan arus pada *MPP* ( $V_{MPP}$  dan  $I_{MPP}$ ). Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tergangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *Fill factor* (*FF*) Unjuk kerja sel surya adalah faktor pengisian. *Fill factor* sel surya merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan perbandingan daya maksimum yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian antara  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$ , menurut persamaan (Green,Martin.A, 1982),

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

Dengan menggunakan *fill factor* maka maksimum daya dari sel surya didapat dari persamaan,

$$P_{MAX} = V_{oc}I_{sc}FF \quad (2.2)$$

Sehingga efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel ( $P_{MAX}$ ) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang ( $P_{Cahaya}$ ) :

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{Cahaya}} \quad (2.3)$$

Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya (Green,Martin.A, 1982).

### 2.3 Bahan Komposit

Bahan komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu dari sifat kimia maupun fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya lebih kuat, tahan korosi dan memiliki biaya perakitan yang lebih murah. Komposit memiliki sifat mekanik yang lebih bagus dari logam, kekakuan jenis (modulus

Young/density) dan kekuatan jenisnya lebih tinggi dari logam (William., J.C. et al., 2003)

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

Pada umumnya solar sel (berbahan silikon) merupakan penerapan dari prinsip sambungan semikonduktor tipe-p dan tipe-n, namun kini sel surya mengalami pengembangan sehingga tercipta sel surya generasi baru untuk mengatasi persoalan pada biaya pembuatan dan bahan yang digunakan. Generasi sel surya selanjutnya sampai kepada sel surya tersensitisasi zat warna yang disebut *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*, pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991. *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* merupakan pengembangan atau modifikasi dari sel surya fotoelektrokimia dengan sistem yang baru. Sel surya fotoelektrokimia menggunakan efek fotovoltaiik untuk menghasilkan listrik, dimana efek fotovoltaiik tersebut didasarkan pada persambungan antara bahan semikonduktor dengan cairan elektrolit yang mengandung pasangan reduksi dan oksidasi. Sistem baru dari DSSC ini adalah adanya dye atau zat warna sebagai sensitizer (membuat sel surya menjadi peka terhadap cahaya) untuk menyerap cahaya dan menginjeksikan elektron pada bahan semikonduktor (Smestad dan Gratzel, 1998).

#### **2.5 Struktur DSSC**

DSSC terdiri dari lapisan nano semikonduktor berpori sebagai fotoanode, dye sebagai fotosensitizer, elektrolit redoks dan elektroda lawan (elektroda pembanding) yang diberi lapisan katalis. Struktur DSSC berbentuk sandwich, dimana dua elektroda yaitu elektroda  $\text{TiO}_2$  tersensitisasi dye dan elektroda lawan terkatalis mengapit elektrolit membentuk sistem sel fotovoltaiik (Maddu, 2010). Susunan bagian-bagian dari DSSC yang lebih dikenal dengan *sandwich* dapat diamati pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Susunan DSSC

### 2.5.1 Kaca Konduktif Transparan

Kaca konduktif transparan merupakan tempat melekatnya material DSSC. Biasa pula disebut substrat. Substrat yang digunakan pada umumnya adalah kaca yang berlapis TCO agar dapat menghantar listrik. Oksida yang umum digunakan antara lain AZO (*Aluminium-doped Zinc Oxide*), FTO (*Fluorine-doped Tin Oxide*), ATO (*antimony-doped tin oxide*) dan ITO (*Indium-doped Tin Oxide*). Keunggulan dari kaca konduktif tersebut adalah sifatnya yang meskipun konduktif secara elektrik, dapat ditembus cahaya. Sifat ini penting karena tanpa cahaya yang mengenai penyerap cahaya, foton tidak akan mengeksitasi elektron pada lapisan penyerap cahaya. Tanpa adanya elektron yang tereksitasi, tidak akan terjadi pemisahan elektron yang berarti tidak akan dihasilkan muatan listrik. Sifat penghantar listrik dari kaca kemudian dipergunakan untuk menghantarkan elektron menuju sirkuit dan kembali ke sel surya karena didalam logam juga ada elektron lepas (Puspitasari, 2012). Pada penelitian ini digunakan ITO, hal ini dikarenakan ITO memiliki nilai resistansi terkecil diantara kaca konduktif lainnya.

### 2.5.2 Lapisan Semikonduktor

Penggunaan oksida semikonduktor dalam fotoelektrokimia dikarenakan kestabilannya menghadapi fotokorosi. Selain itu, pita energi yang besar dibutuhkan dalam DSSC untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari, sehingga foton yang terserap lebih banyak. Struktur nanopori dalam layer oksida DSSC sangat mempengaruhi kemampuan menyerap

cahaya. Hal ini dikarenakan struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi. Dengan demikian dye yang teradsorpsi semakin banyak sehingga kinerja sistem lebih stabil (Handini, 2008).

Semikonduktor yang digunakan dalam penelitian DSSC antara lain: ZnO, CdSe, CdS, WO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, dan Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Namun TiO<sub>2</sub> adalah material yang sering digunakan karena efisiensi DSSC menggunakan TiO<sub>2</sub> masih belum tertandingi dengan semikonduktor yang lain (Kalyanasundaram, K., Grätzel, M., 1998).

#### 2.5.2.1 TiO<sub>2</sub>

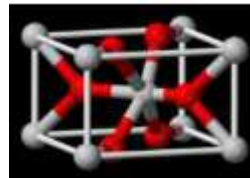
Material TiO<sub>2</sub> adalah material semikonduktor tipe-n yang memiliki energi gap sebesar 3,2 eV dan menyerap sinar pada daerah ultraviolet. Material ini memiliki kemampuan yang baik dalam fotokimia dan fotoelektrokimia. Di alam umumnya TiO<sub>2</sub> mempunyai tiga fasa yaitu rutile, anatase, dan brookite. Fasa rutile dari TiO<sub>2</sub> adalah fasa yang umum dan merupakan fasa yang disintesis dari mineral *ilmenite* melalui proses Becher. Pada proses Becher, oksida besi yang terkandung dalam *ilmenite* dipisahkan dengan temperatur tinggi dan juga dengan bantuan gas sulfat atau klor sehingga menghasilkan TiO<sub>2</sub> rutile dengan kemurnian 91 – 93%. Titania pada fasa anatase umumnya stabil pada ukuran partikel kurang dari 11 nm, fasa brookite pada ukuran partikel 11 – 35 nm, dan fasa rutile diatas 35 nm (H. Zhang, J.F. Banfield, 2000). Untuk aplikasinya pada DSSC, TiO<sub>2</sub> yang digunakan adalah fase anatase dan campuran anatase - rutile. Akan tetapi, sebagian besar penelitian menggunakan TiO<sub>2</sub> fase anatase karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi (Gratzel 2003, Maddu 2010). Kemampuan fotoaktif yang tinggi merupakan kemampuan penyerapan yang tinggi. Partikel dari TiO<sub>2</sub> umumnya berukuran mikro atau nano. Dengan struktur ukuran yang lebih kecil, yaitu nanopori, akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori ini mempunyai karakteristik luas permukaan yang besar sehingga akan meningkatkan jumlah dye yang menempel pada TiO<sub>2</sub> yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang diserap dan meningkatkan produksi fotoelektron (H. Zhang dan J.F. Banfield, 2000).

### 2.5.2.2 SnO<sub>2</sub>

SnO<sub>2</sub> merupakan suatu senyawa ionik, yang non-stoikiometri, karena adanya cacat titik berupa kelebihan atom logam Sn (Stannic). SnO<sub>2</sub> banyak dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi karena stabil terhadap perlakuan panas dan biaya pendeposisiannya yang relatif murah. Material SnO<sub>2</sub> adalah material semikonduktor tipe-n yang memiliki energi gap sebesar 3,6 eV (Sridhar, Sriharan, 2014). Serbuk dan struktur kristal material SnO<sub>2</sub> diperlihatkan pada Gambar 2.3 dan Karakteristik SnO<sub>2</sub> diperlihatkan pada Tabel 2.1. Material Oksida SnO<sub>2</sub> disebut juga keramik. SnO<sub>2</sub> merupakan paduan dua unsur yaitu logam dan non logam yang berikatan ionik dan atau ikatan kovalen.



(a)



(b)

Gambar 2.3 (a) Serbuk SnO<sub>2</sub>. (b) Struktur Kristal SnO<sub>2</sub> (Earnshaw, A., 1984)

Tabel 2.1 Karakteristik SnO<sub>2</sub> (Elaine, A., 2005)

<b>Properties</b>	
Nama IUPAC	Tin (IV) Oxide
Molekul Formula	SnO <sub>2</sub>
Molar massa	150,71 g mol <sup>-1</sup>
Tampilan	Serbuk berwarna putih atau abu-abu terang
Densitas	6,95 g/cm <sup>3</sup> (20 °C) 6,85 g/cm <sup>3</sup> (24 °C)
Titik leleh	1.630 °C
Titik Didih	1.800 – 1900 °C
Sucsepsibilitas magnetik ( $\chi$ )	-4,1 x 10 <sup>-5</sup> cm <sup>3</sup> /mol
Indeks Bias	2,006

### 2.5.3 Dye

*Dye* adalah material yang memberikan pengaruh sensitisasi semikonduktor terhadap cahaya. *Dye* pada DSSC juga berperan sebagai lapisan penyerap foton

dan akan tereksitasi menjadi eksiton. Dalam proses penyinaran, pewarna akan bertugas 'menyuntikkan' atau menginjeksi elektron ke pita konduksi dari semikonduktor. Dengan kata lain, *dye* berperan sebagai donor elektron yang dibangkitkan ketika proses menyerap cahaya (Halme, 2002). *Dye* yang digunakan pada DSSC terdiri dari dua jenis, yaitu *dye* sintetis dan *dye* alami. *Dye* alami didapatkan dari ekstrak bagian tumbuhan yang mengandung antosianin, klorofil, karoten, dan *curcumin* yang mengandung gugus karbonil dan hidroksil, sedangkan *dye* sintetis terbuat dari bahan Rutherfordium kompleks mengandung gugus karboksil. Gugus-gugus tersebut berfungsi untuk menempelkan diri pada permukaan semikonduktor oksida (Silviyanti, 2013 ; Puspitasari, 2013).

#### 2.5.4 Elektrolit

Elektrolit pada DSSC berfungsi untuk meregenerasi elektron pada *dye* yang telah mengalami eksitasi dan kehilangan elektron. Dapat dikatakan bahwa elektrolit pada DSSC ini berfungsi sebagai transfer elektron. Elektrolit berfasa cair yang umum digunakan adalah yang berbasis pelarut. Hal ini terdapat kekurangan karena elektrolit jenis ini tidak stabil dalam jangka panjang. Ketidakstabilan ini disebabkan karena jenis pelarut yang digunakan biasanya adalah pelarut organik dan digabungkan dengan proses penyinaran yang menimbulkan panas. Maka akan terjadi kehilangan elektrolit yang berarti bahwa *dye* tidak dapat teregenerasi, dan proses pengubahan energi matahari menjadi listrik dapat terhenti (Smestad dan Grätzel, 1998). Untuk mengatasi kebocoran elektrolit, elektrolit dapat dibuat dalam bentuk gel. Pada umumnya elektrolit gel terbuat dari bahan polimer yang dicampur dengan elektrolit cair (Maddu, 2012).

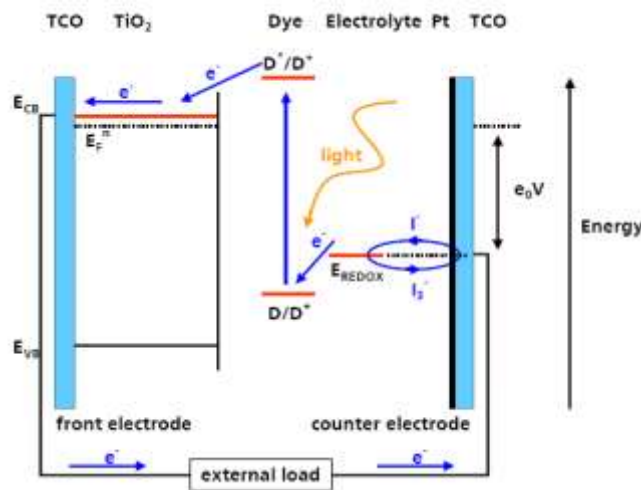
#### 2.5.5 Katalis

Katalis dibutuhkan untuk mempercepat proses reduksi ion triiodide pada kaca substrat. Lapisan katalis pada umumnya terbuat dari platinum, grafit dan emas. Penggunaan karbon tidak sebaik platinum dan emas karena sifat katalis terhadap reduksi ion  $I_3^-$  lebih rendah dibandingkan platinum (Won J.L, 2008).

Namun platinum dan emas harganya sangat mahal, sehingga penggunaan katalis grafit/karbon merupakan pilihan *low-cost*. Selain itu grafit/karbon mempunyai luas permukaan tinggi dan keaktifan dalam reduksi triiodide menyerupai platina. Material karbon tahan terhadap korosi dimana hal hal sangat dibutuhkan mengingat penggunaan elektrolit pada DSSC (Silviyanti, 2013).

## 2.6 Prinsip Kerja DSSC

Prinsip kerja pada DSSC secara skematik dapat ditunjukkan pada Gambar 2.4 dan proses yang terjadi di dalam DSSC dapat dijelaskan sebagai berikut (O'regan dan Gratzel, 1991; Smestad dan Grätzel, 1998):

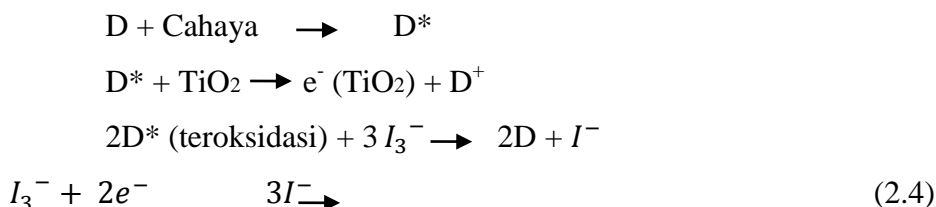


Gambar 2.4 Prinsip kerja DSSC (Halme, 2002)

Ketika foton dengan energi lebih besar dari pada jarak level HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) dan level LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital) pada molekul *dye*, mengakibatkan elektron tereksitasi ke level HOMO dan menghasilkan *dye* teroksidasi (D\*) pada level LUMO. Elektron-elektron tersebut terinjeksi ke pita konduksi TiO<sub>2</sub> dan mengalir menuju rangkaian luar sehingga menghasilkan arus listrik. *Dye* yang teroksidasi tadi mengakibatkan reaksi oksidasi iodide (I<sup>-</sup>) menjadi triiodida (I<sub>3</sub><sup>-</sup>) di dalam elektrolit. Elektron-elektron selanjutnya masuk kembali ke dalam sel melalui elektroda lawan dan menginduksi reaksi reduksi triiodida (I<sub>3</sub><sup>-</sup>) menjadi iodida (I<sup>-</sup>) di dalam sel. Secara



keseluruhan, prinsip  $\text{TiO}_2$  tersensitisasi dye melibatkan beberapa reaksi kimia secara berurutan dan berkesinambungan serta reversibel hingga membentuk siklus, oleh karena itu digunakan elektrolit redoks. Reaksi-reaksi kimia yang terjadi secara berurutan di dalam sel sebagai berikut (Smestad & Grätzel, 1998):



Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya tersensitisasi dye berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor ( $\text{TiO}_2$ ) dan potensial elektrokimia pasangan kopel redoks ( $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ ). Sedangkan arus yang dihasilkan terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja *dye* yang digunakan (Smestad & Grätzel, 1998).

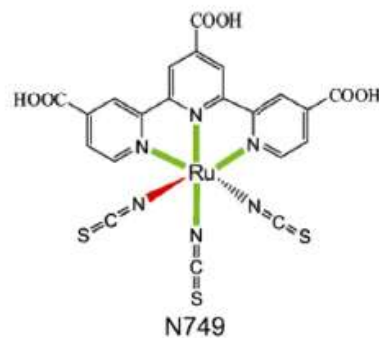
## 2.7 Polietilen Glikol

Polietilen Glikol (PEG) disebut juga makrogol, merupakan polimer sintetik dari oksietilen dengan rumus struktur  $\text{H}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$ , dimana  $n$  adalah jumlah rata-rata gugus oksietilen. PEG umumnya memiliki bobot molekul antara 200 – 300000. Penamaan PEG umumnya ditentukan dengan bilangan yang menunjukkan bobot molekul rata-rata. Konsistensinya sangat dipengaruhi oleh bobot molekul. PEG dengan bobot molekul 200 – 600 (PEG 200-600) berbentuk cair, PEG 1500 semi padat, dan PEG 3000 – 20000 atau lebih berupa padatan semi kristalin, dan PEG dengan bobot molekul lebih besar dari 100000 berbentuk seperti resin pada suhu kamar. Umumnya PEG dengan bobot molekul 1500 – 20000 yang digunakan untuk pembuatan dispersi padat (Leuner and Dressman, 2000). Polimer ini mudah larut dalam berbagai pelarut, titik leleh dan toksisitasnya rendah, berada dalam bentuk semi kristalin (Craig, 1990). Kebanyakan PEG yang digunakan memiliki bobot molekul antara 4000 dan 20000, khususnya PEG 4000 dan 6000. Proses pembuatan dispersi padat dengan PEG 4000, umumnya menggunakan metode peleburan, karena lebih mudah dan murah (Leuner dan Dressman, 2000).

## 2.8 Dye Sintetis N-749 (*Black Dye*)

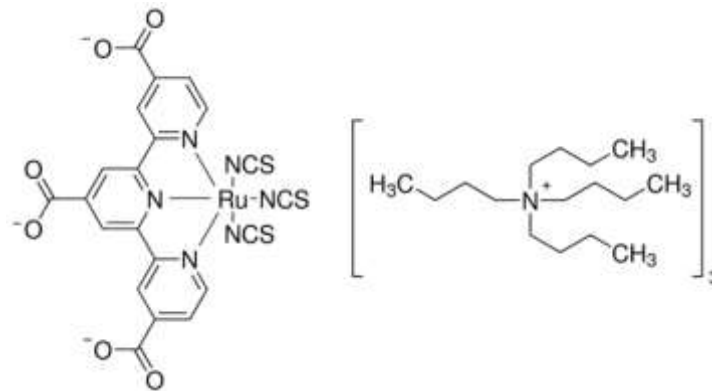
Dye dalam DSSC amat berperan penting karena sebagai penangkap elektron tereksitasi dari foton. Dye yang efisien harus memiliki sifat optik dan karakteristik penyerapan yang intens pada daerah cahaya tampak dan memiliki sifat adsorpsi kimia yang kuat ke Permukaan  $\text{TiO}_2$ . Selain itu, dye teroksidasi harus cepat diregenerasi untuk menghindari proses rekombinasi elektron. Untuk kebutuhan tersebut dihasilkan dye sintesis dari bahan kimia.

Dye sintetis yang digunakan sebagai sensitizer adalah dye turunan dari Ruthenium kompleks, salah satunya adalah dye N-749. Dye N-749 biasa disebut dengan *black dye*, dye ini berwarna hijau kehitaman dan memiliki terpyridyl ligan sekitar logam ruthenium. Dye N-749 merupakan nama produk dari Sigma Aldrich. Dye ini mempunyai nama lain yakni Black dye, Ruthenium 620, Tris (N,N,N-tributyl-1-butanaminium)[[2,2''6',2''-terpyridine] 4,4',4''tricarboxylato(3-) N1,N1', N1''] tris(thiocyanato-N)hydrogen ruthenate(4-). Rumus empiris dari dye ini adalah  $\text{C}_{69}\text{H}_{116}\text{N}_9\text{O}_6\text{RuS}_3$ . Penyerapan untuk dye N749 adalah sekitar 860 nm (Bang S.Y, 2012). Struktur kimia dye ini ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Struktur kimia Dye N-749 (Bang S.Y, 2012).

Dye berfungsi untuk menyerap cahaya dan memanfaatkan energi dari cahaya untuk menghasilkan elektron tereksitasi untuk diproses menjadi arus listrik. Unsur ruthenium (Ru) dalam Ruthenium kompleks mengikat unsur-unsur lainnya yang saling berkaitan dan memiliki gugus karboksil yang berfungsi untuk menempelkan diri pada permukaan semikonduktor oksida hingga sebagai pendonor elektron (Gratzel, 2003).



Gambar 2.6 Struktur kimia Ruthenium Kompleks N-749 (Sigma Aldrich).

Ketika cahaya sampai ke ruthenium kompleks, unsur  $\text{Ru}^{2+}$  memberikan energi sehingga terjadi elektron tereksitasi kondisi HOMO (Highest Occupied Molecular Orbit) kemudian melewati rantai penghubungnya ( $\text{N}=\text{S}=\text{C}$ ) hingga sampai ke ligan  $\text{COOH}$  yang merupakan level LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbit). Satu struktur ruthenium kompleks pada dye N-749 memiliki 3 buah ligan  $\text{COOH}$  yang masing-masing berkontribusi memberikan 1 buah elektron tereksitasi, sehingga sebuah senyawa ruthenium kompleks N-749 seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.5 akan menghasilkan 3 buah elektron tereksitasi. Dye N-749 ini merupakan senyawa kompleks, saling terkait, sehingga akan tersusun oleh banyak ligan  $\text{COOH}$  yang menghasilkan elektron terksitasi untuk disebarkan ke pertikel  $\text{TiO}_2$  dan selanjutnya didistribusikan ke lapisan konduktif ITO sebagai sumber arus listrik (Abrahamsson, Malin. 2001). Dalam prosesnya pula ligan  $\text{COOH}$  yang teroksidasi (melepas elektron) akan mengalami reduksi (menangkap elektron) yang diperoleh dari siklus pada elektrolit.

## 2.9 Perendaman Elektroda Kerja Pada Larutan Dye

Elektroda kerja yang merupakan lapisan  $\text{TiO}_2$  yang dideposisi pada kaca konduktif perlu direndam dalam larutan dye (dyesensitizer) dengan tujuan agar dye akan terserap (masuk) kepori-pori lapisan  $\text{TiO}_2$ , sehingga bila keberadaan dye yang terserap dalam sebuah sistem kerja DSSC adalah maksimum, maka dye yang terkandung dalam lapisan  $\text{TiO}_2$  dapat berkerja dengan baik dalam proses penangkapan foton dan eksitasi elektron. Seo, Y dan Kim, J.H menyebutkan

bahwa banyak penelitian terhadap optimalisasi dye diantaranya menggunakan larutan dye dengan variasi konsentrasi kandungan (Molaritas), meningkatkan suhu larutan dye, dan menerapkan medan listrik (Seo dan Kim, 2012). Pertama, metode yang menggunakan pewarna sangat terkonsentrasi (Molaritas) biasanya membuang molekul dye mahal dalam penelitiannya, terutama bila diterapkan pada sel skala besar. Kedua, peningkatkan suhu larutan dye merupakan cara yang efektif untuk mengurangi waktu adsorpsi, namun memiliki keterbatasan waktu adsorpsi karena molekul dye akan diserap bila suhunya lebih dari  $80^{\circ}\text{C}$ . Terakhir, adalah metode penarikan molekul dye terionisasi negatif dengan medan listrik untuk mengurangi lama waktu adsorpsi.

## 2.10 Spektrofotometer UV –Vis

Spektrofotometri merupakan suatu metode analisa yang didasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis oleh suatu lajur larutan berwarna pada panjang gelombang spesifik dengan menggunakan monokromator prisma atau kisi difraksi dengan detektor fototube. Spektrofotometri dapat dianggap sebagai perluasan suatu pemeriksaan visual dengan studi yang lebih mendalam dari absorpsi energi. Absorpsi radiasi oleh suatu sampel diukur pada berbagai panjang gelombang dan dialirkan oleh suatu perekam untuk menghasilkan spektrum tertentu yang khas untuk komponen yang berbeda (Hardjono , 1991).

Spektrofotometer adalah alat untuk mengukur transmittan atau absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrofotometer merupakan gabungan dari alat optik dan elektronika serta sifat-sifat kimia fisiknya dimana detektor yang digunakan secara langsung dapat mengukur intensitas dari cahaya yang dipancarkan ( $I_t$ ) dan secara tidak langsung cahaya yang diabsorpsi ( $I_a$ ), jadi tergantung pada spektrum elektromagnetik yang diabsorb oleh benda. Tiap media akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu tergantung pada senyawa atau warna yang terbentuk. Secara garis besar spektrofotometer terdiri dari 4 bagian penting yaitu : Sumber cahaya, monokromator, cuvet, dan detektor.

Sumber cahaya yang digunakan harus memiliki pancaran radiasi yang stabil dan intensitasnya tinggi. Sumber sinar polikromatis berfungsi sebagai sumber sinar polikromatis dengan berbagai macam rentang panjang gelombang.

Monokromator adalah alat yang berfungsi untuk menguraikan cahaya polikromatis menjadi beberapa komponen panjang gelombang tertentu. Atau disebut sebagai pendispersi/penyebar cahaya.

Cuvet spektrofotometer adalah suatu alat yang digunakan sebagai tempat contoh atau cuplikan yang akan dianalisis. Peranan detektor penerima adalah memberikan respon terhadap cahaya pada berbagai panjang gelombang. Detektor akan mengubah cahaya menjadi sinyal listrik yang selanjutnya akan ditampilkan oleh penampil data dalam bentuk jarum penunjuk atau angka digital.

Dalam analisis secara spektrofotometri terdapat tiga daerah panjang gelombang elektromagnetik yang digunakan, yaitu (Giancoli, 2001):

- Daerah UV ;  $\lambda = 100 - 400 \text{ nm}$
- Daerah visible (tampak);  $\lambda = 400 - 700 \text{ nm}$
- Daerah inframerah (IR);  $\lambda = 700 - 0,3 \mu\text{m}$

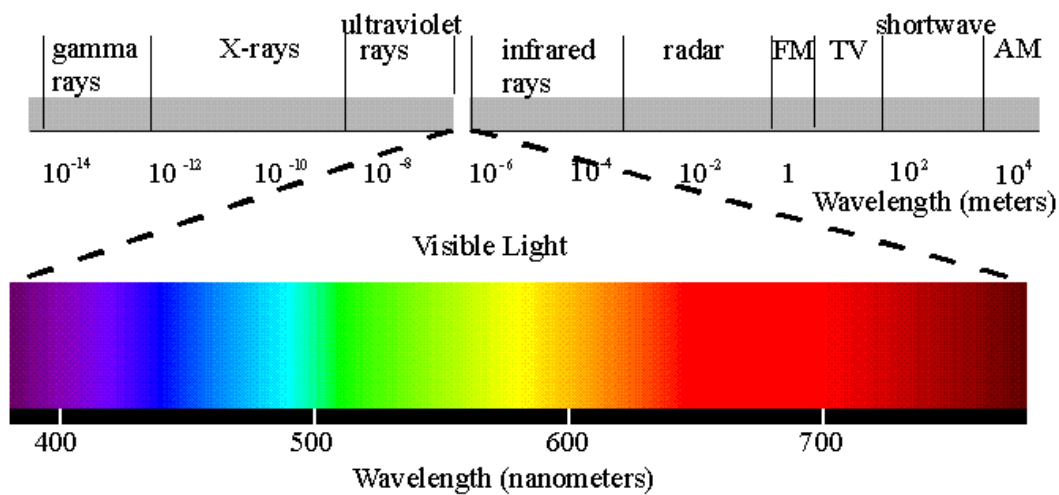
Manusia dengan ketampakan warna yang normal, dapat mengkorelasikan panjang gelombang cahaya yang mengenai mata dengan indera subjektif mengenai warna, dan memang warna kadang-kadang digunakan agar tidak repot untuk menandai porsi-porsi spektrum tertentu, seperti dipaparkan dalam klasifikasi kasar.

Tabel 2.2 Skala Panjang Gelombang Absorpsi Cahaya Tampak  
(Yadong Qi, 2005).

Panjang Gelombang (nm)	Warna-warna yang diserap	Warna komplementer (warna yang terlihat)
400-435	Ungu	Hijau kekuningan
435-480	Biru	Kuning
480-490	Biru kehijauan	Jingga
490-500	Hijau kebiruan	Merah
500-560	Hijau	Ungu kemerahan
560-580	Hijau kekuningan	Ungu
580-595	Kuning	Biru
595-610	Jingga	Biru kehijauan

610-800	Merah	Hijau kebiruan
---------	-------	----------------

Suatu grafik yang menghubungkan antara banyaknya sinar yang diserap dengan frekuensi (panjang gelombang) sinar merupakan spektrum absorpsi. Transisi yang dibolehkan untuk suatu molekul dengan struktur kimia yang berbeda adalah tidak sama sehingga spektra absorpsinya juga berbeda. Dengan demikian, spektra dapat digunakan sebagai bahan informasi yang bermanfaat untuk analisis kualitatif. Banyaknya sinar yang diabsorpsi pada panjang gelombang tertentu sebanding dengan banyaknya molekul yang menyerap radiasi, sehingga spektra absorpsi juga dapat digunakan untuk analisis kuantitatif. Semua molekul dapat mengabsorpsi radiasi daerah UV-Vis karena mereka mengandung elektron, baik sekutu maupun menyendiri, yang dapat dieksitasikan ke tingkat energi yang lebih tinggi (Giancoli, 2001).



Gambar 2.7. Spektrum Gelombang Tampak (Giancoli, 2001)

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah magnetik stirrer, furnace, spektrometer UV-Vis, pH meter digital, potensiostat, hot-plate, neraca digital, ultrasonic-cleaner, mikroskop, mortar, krusible, gelas kimia, gelas ukur, cuvet, pipet, pinset, kabel listrik, dan penggaris.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $\text{TiCl}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , Serbuk dye sintetis N-749, serbuk  $\text{SnO}_2$ , Aquades, PEG 4000 (*Polyethylene Glycol*), KI, Acetonitril, Iodine, HCL, Ethanol, isopropanol, Triton X-100, Asam Asetat, terpineol, dan *black carbon*.

#### **3.2 Langkah kerja**

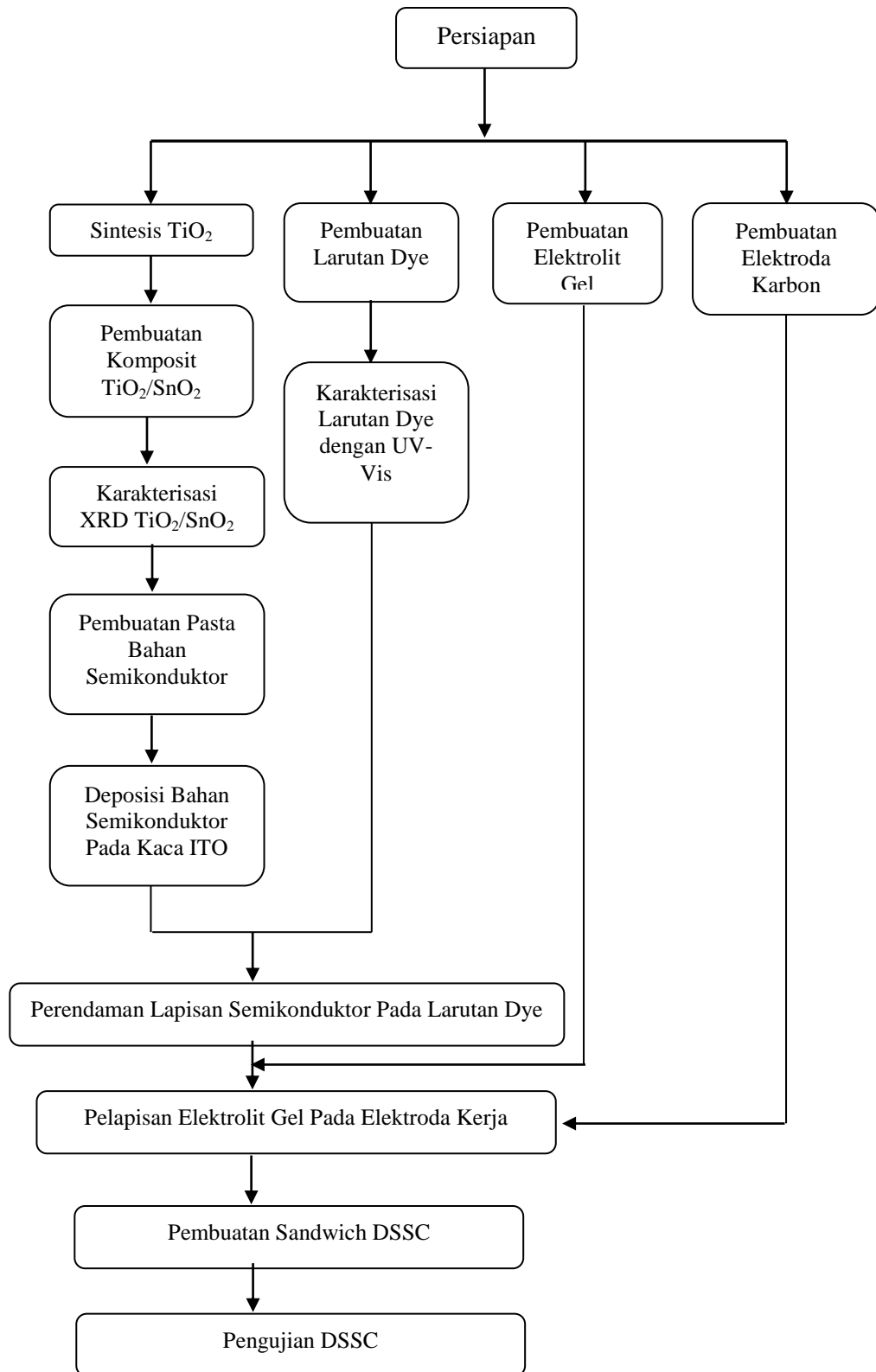
Secara umum, langkah – langkah dalam penelitian ini adalah :

1. Pembuatan serbuk  $\text{TiO}_2$  nanopartikel dengan fase anatase.
2. Pembuatan serbuk  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  nanopartikel
3. Pembuatan Pasta  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  dan  $\text{SnO}_2$ .
4. Pendeposisian pasta  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  dan  $\text{SnO}_2$  pada kaca ITO (*Indium Tin Oxide*).
5. Karakteristik morfologi permukaan pasta  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  dan  $\text{SnO}_2$  terdeposisi.
6. Pembuatan larutan dye berbahan dasar dye sintetis N-749.
7. Perendaman kaca ITO yang telah tedeposisi ke dalam larutan dye selama 24 jam.
8. Pembuatan elektrolit gel, yaitu dengan menambahkan polimer pada elektrolit cair.
9. Pembuatan elektroda pembanding dengan serbuk *black carbon*.
10. Karakteristik arus, tegangan, Fill Factor dan efisiensi yang dihasilkan.



### 3.3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram alir pada Gambar 3.1 ;



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Prosedur Kerja

#### 3.4.1 Persiapan

Tahap persiapan ini meliputi pembersihan kaca ITO beserta alat-alat untuk ekstraksi dan pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  dengan *ultrasonic cleaner*. Dituangkan etanol 100% pada gelas kimia sebanyak 200 ml. Potongan-potongan kaca ITO berukuran  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  dimasukkan pada gelas kimia yang telah berisi etanol 100%. *Ultrasonic cleaner* diisi aquades sampai batas yang ditentukan. Gelas kimia yang berisi alkohol dan kaca ITO dimasukkan ke ultrasonic cleaner kemudian diatur waktu 60 menit. Setelah itu kaca dikeringkan menggunakan *hairdrayer*. Proses pembersihan kaca ITO dilakukan sebanyak dua kali. Pembersihan ini bertujuan agar kaca terbebas dari material-material yang tidak mampu dibersihkan dengan air saja. Bersih tidaknya kaca ITO dan alat-alat yang lain mempengaruhi hasil pengujian dari sampel yang akan dilapiskan pada kaca substrat.

#### 3.4.2 Sintesis Serbuk $\text{TiO}_2$ nanopartikel.

Nanopartikel  $\text{TiO}_2$  disintesis dengan metode kopresipitasi, yaitu  $\text{TiCl}_3$  sebanyak 20 mL diaduk bersama dengan 100 mL aquades dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Kemudian ditetesi  $\text{NH}_4\text{OH}$  25% hingga pH larutan tersebut mencapai 9 dan berwarna hitam dalam posisi terus mengaduk. Setelah itu larutan terus diaduk hingga berwarna putih dan mulai menghasilkan endapan. Selanjutnya proses dihentikan dan larutan dibiarkan mengendap (Wahyuono, 2005).

Endapan yang terjadi merupakan  $\text{TiO}_2$  (*Titanium Dioksida*), sedangkan larutan jernih diatas endapan  $\text{TiO}_2$  adalah  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (*Amonium Klorida*) yang bersifat asam. Larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  tidak diinginkan, sehingga akan dipisahkan  $\text{TiO}_2$ .  $\text{H}_2$  (*Hidrogen*) merupakan gas yang akan lepas ke udara setelah campuran berada pada udara terbuka. Endapan  $\text{TiO}_2$  terkontaminasi dengan sifat asam dari larutan  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , sehingga perlu dilakukan pencucian yang bertujuan untuk mendapatkan endapan  $\text{TiO}_2$  yang bersifat netral. Pencucian dilakukan dengan memasukan 200 mL aquades kedalam gelas kimia yang berisi endapan  $\text{TiO}_2$ . Setelah itu aduk dan kembali di endapkan selama 24 jam. Lakukan proses ini secara berulang hingga didapatkan endapan dengan pH 7.

Setelah mendapatkan pH 7, endapan tersebut dikalsinasi pada suhu 400 °C dengan waktu holding selama 3 jam menggunakan peralatan *oven furnace* (berada di laboratorium Instrumentasi dan elektronika dasar ITS) hingga terbentuk serbuk TiO<sub>2</sub> dengan fase anatase. Untuk mengetahui fase yang diperoleh beserta ukuran partikelnya, maka dilakukan uji XRD hingga diperoleh data difraksi untuk diolah kedalam software *Match* untuk analisis fasa dan software *Maud* untuk menganalisis ukuran partikel (O'regan, Gratzel, M., 1991)

#### 3.4.3 Pencampuran TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>

Pada penelitian ini dilakukan pencampuran atau *mixing* semikonduktor. Pencampuran semikonduktor tersebut menggunakan perbandingan komposisi 1:1. 0,35 g serbuk TiO<sub>2</sub> dicampur dengan 0,35 g SnO<sub>2</sub>, kemudian dihaluskan dengan *grinding bowl* selama 30 menit dan dianil pada temperatur 450 °C selama 30 menit (Liu et al, 2009).

#### 3.4.4 Pembuatan Pasta Bahan Semikonduktor

Pada penelitian ini digunakan tiga jenis pasta, yaitu: TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> komposit, dan SnO<sub>2</sub>. Proses pembuatan pasta jenis pertama TiO<sub>2</sub> adalah sebagai berikut: 0,7 g serbuk TiO<sub>2</sub> digerus halus dalam mortar, kemudian ditambahkan 1,4 mL aquades yang tetap digerus dalam mortar selama 10 menit. Selanjutnya ditambahkan 0,3 g PEG 4000, 0,7 mL asam asetat, 1 mL *acetylacetone* dan 0,7 mL triton X-100 (Kook, Lee Jin. 2009).

Proses pembuatan pasta jenis ke dua TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> adalah sebagai berikut: 0,7 g serbuk TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> digerus halus dalam mortar, kemudian ditambahkan 0,3 g *ethyl cellulose*, 0,7 mL etanol dan 0,7 mL terpineol (Liu, 2009).

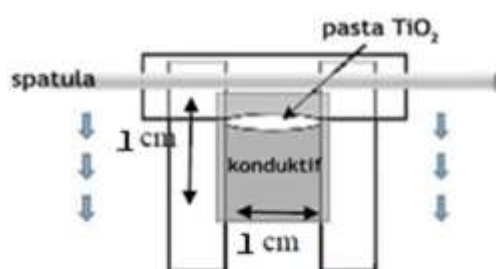
Proses pembuatan pasta jenis ke tiga SnO<sub>2</sub> adalah sebagai berikut: pembuatan larutan SnO<sub>2</sub> mula-mula dibuat larutan dari pencampuran antara pelarut dan binder SnO<sub>2</sub>, dimana *ethyl cellulose* ([C<sub>6</sub>H<sub>7</sub>O<sub>2</sub>(OH)<sub>3-x</sub>(OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>x</sub>)<sub>n</sub>) berperan sebagai binder dan isopropanol (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CH(OH) sebagai pelarut dari SnO<sub>2</sub> (Uysal dan Arier, 2015). Sebanyak 0,125 g *ethyl cellulose* dan 5 mL isopropanol diaduk menggunakan magnetic stirrer hotplat selama 1 jam dengan

suhu pemanasan 50 °C. Lamanya waktu pengadukan diindikasikan dengan larutan tercampur sempurna tanpa ada gumpalan-gumpalan kecil pada larutan yang dibuat. Pemberian suhu pemanasan dilakukan agar larutan lebih mudah tercampur, dengan catatan suhu yang digunakan dibawah titik lebur *ethyl cellulose* (160 – 210 °C) dan isopropanol (82,2 °C). Setelah pelarut dan binder SnO<sub>2</sub> tercampur sempurna, untuk selanjutnya ditambahkan serbuk SnO<sub>2</sub> nano 0,25 g. Kemudian dilakukan pengadukan selama 1 jam menggunakan *magnetic stirrer*. Lamanya waktu pengadukan diindikasikan dengan larutan yang mulai terlarut dan tidak bisa dibedakan antara zat terlarut dan pelarut (Uysal dan Arier, 2015).

Pasta yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam botol kemudian ditutup rapat.

#### 3.4.5 Pendeposisian Pasta Semikonduktor Pada Kaca ITO

Pada penelitian ini semikonduktor dideposisi pada Kaca ITO dengan menggunakan metode *Doktor Blade*. Pada sisi kaca ITO berukuran 2 × 2 cm<sup>2</sup> dibentuk area pembatas dari plastik *wrap* untuk mendapatkan area pendeposisian pasta TiO<sub>2</sub> dengan ukuran luasan 1 × 1 cm<sup>2</sup> juga sebagai kontrol ketebalan lapisan TiO<sub>2</sub>.



Gambar 3.2 Teknik pendeposisian pasta semikonduktor dengan Doktor Blade

Setelah pasta TiO<sub>2</sub> terdeposisi kemudian dipanaskan pada suhu 100 °C dan setiap selang waktu 5 menit suhu dinaikan 50 °C hingga suhu mencapai 450 °C. Setelah mencapai suhu 450 °C maka suhu diturun hingga mencapai suhu ruangan. Proses pemanasan dalam langkah kerja ini bertujuan ingin menghilangkan bahan-bahan campuran yang digunakan dalam pelarut, sehingga setelah pemanasan

hanya tersisa semikonduktor yang melekat pada kaca sebelum dilakukan perendaman pada larutan dye. Untuk pemanasan dengan kenaikan yang berkala bertujuan untuk mengurangi efek pasta  $\text{TiO}_2$  yang mengelupas disaat kaca mengalami pemuaihan.

#### 3.4.6 Karakterisasi Morfologi Permukaan Elektroda kerja

Sebelum dan sesudah direndamkan ke dalam Dye, lapisan  $\text{TiO}_2$  terdepositasi (elektrodakerja) di karakterisasi dengan menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) Zeiss (EVO MA 10) di Laboratorium Energi ITS dengan perbesaran hingga 1000 kali untuk melihat morfologi permukaan yang terbentuk dari lapisan  $\text{TiO}_2$ .

#### 3.4.7 Pembuatan Larutan Dye N-749 dan Perendaman Lapisan Semikonduktor Pada Dye

Larutan dye yang digunakan dalam penelitian ini adalah dye berbasis bahan sintetis yakni dye N-749 (*Sigma-Aldrich*) yang biasa disebut dengan black dye, dimana 1,1 mg serbuk dye dilarutkan kedalam 20 mL ethanol dan di aduk menggunakan stirrer selama 10 menit. Larutan dye yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam botol kemudian ditutup rapat.

Selanjutnya elektroda kerja direndam pada 10 mL larutan dye selama 24 jam.



Gambar 3.3 Larutan black dye N-749

#### 3.4.8 Karakterisasi Absorbansi Larutan Dye

Untuk mengetahui daya absorbansi larutan dye yang digunakan maka dilakukan karakterisasi absorbansi dengan menggunakan spektrometer UV Genesys 10 s UV-Vis di Laboratorium Fisika ITS. Disiapkan dua buah cuvet, sebuah cuvet diisi larutan dye dan cuvet lainnya diisi ethanol untuk mengkalibrasi spektrometer UV-Vis. Kemudian keduanya di letakan ke dalam alat spektrometer UV dan diprogram untuk mengetahui grafik absorbansi terhadap panjang gelombang.

#### 3.4.9 Pembuatan Elektrolit Gel

Elektrolit yang digunakan pada DSSC ini berupa elektrolit gel berbasis polimer PEG (*polyethylene glycole*) dengan berat molekul (BM) 4000. Pada penelitian ini dibuat elektrolit gel yaitu 7 g PEG (Merck) + 25 mL klorofom + elektrolit cair berupa (3 g KI yang dilarutkan pada 10 mL *acetonotrile* (VWR) dan 3mL larutan iodine (Merck)). Campuran tersebut diaduk secara homogen dengan magnetik stirrer sambil dipanasi 80 °C selama 1 jam hingga diperoleh elektrolit bersifat gel (Hadi, 2015). Pada elektrolit cair penambahan KI pada larutan iodine bertujuan untuk meningkatkan kelarutan dan untuk menurunkan keatsirian iodin, sedangkan pada pembuatan elektrolit gel penambahan PEG bertujuan memperbaiki stabilitas sel dan sebagai perekat kedua elektroda, yaitu fotoanoda  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  dan klorofom di sini sebagai pelarut pada iodine dan KI (Aulia et al., 2014).

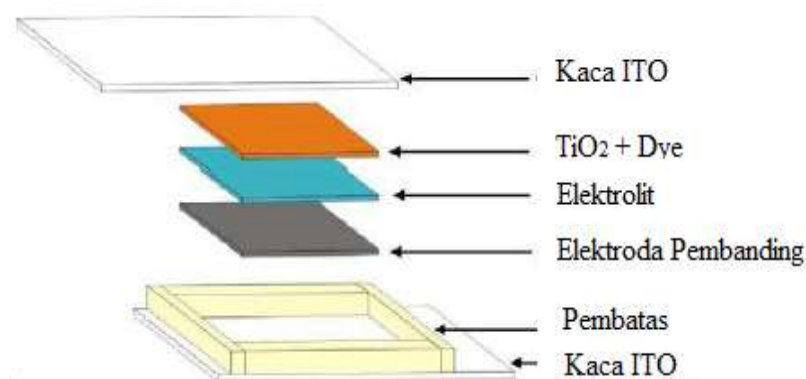
#### 3.4.10 Pembuatan Elektroda Pembanding

Elektroda pembanding pada DSSC berupa kaca dengan permukaan konduktif yang dilapisi oleh grafit maupun karbon. Fungsi grafit maupun karbon adalah sebagai katalis yang mempercepat aliran elektron pada DSSC. Dalam penelitian ini akan digunakan *black carbon*, yakni sebanyak 3.5 g serbuk *black carbon* dilarutkan kedalam 15 mL ethanol. Larutan tersebut kemudian di deposisi

ke bagian konduktif kaca ITO. Setelah itu dipanaskan di atas hotplate pada suhu 250 °C selama 30 menit (Hadi, 2015).

#### 3.4.11 Pembuatan Sandwich DSSC

Setelah substrat yang dilapisi TiO<sub>2</sub> telah menyatu dengan dye, larutan elektrolit yang diteteskan secara merata pada area 1 × 1 cm<sup>2</sup> tersebut. DSSC dirakit menggunakan struktur *sandwich* yang mana kedua substrat (elektroda) yang telah siap disatukan. Substrat fotoelektroda dilekatkan bersama-sama dengan substrat yang telah menjadi *counter electrode* dengan masing-masing ujung diberi offset sebesar 0,5 cm sebagai kontak listrik. Substrat digabungkan bersama-sama menggunakan binder klip, klip diposisikan dekat dengan tepi untuk membiarkan jumlah maksimum cahaya yang dapat diterima sel. Pada penelitian ini terdapat tiga jenis DSSC untuk variasi semikonduktor. DSSC jenis pertama merupakan DSSC yang tersusun dari TiO<sub>2</sub>, yang kemudian disebut DSSC jenis pertama (TO). DSSC jenis ke dua merupakan DSSC yang tersusun dari TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>, yang kemudian disebut DSSC jenis ke dua (TS). DSSC jenis ke tiga merupakan DSSC yang tersusun dari SnO<sub>2</sub>, yang kemudian disebut DSSC jenis ke tiga (SO).



Gambar 3.4 Teknik *Packaging* Sandwich DSSC



Gambar 3.5 Hasil fabrikasi DSSC

#### 3.4.12 Karakterisasi Arus dan Tegangan (I-V) pada DSSC

Karakterisasi arus dan tegangan (I-V) telah dilakukan ITB Bandung menggunakan alat Solar Simulator. Data keluaran dari alat Solar Simulator merupakan nilai arus dan tegangan. Perlakuan yang diberikan adalah memberikan tegangan input hingga 0.7 V dengan skala 0,1 V pada kondisi disinari lampu Xenon dengan intensitas sebesar 1 Lux atau setara dengan 100  $\text{mW}/\text{cm}^2$ . Data output dari alat tersebut adalah nilai arus dan tegangan output. Kemudian dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan dan arus menggunakan *Microsoft Excel*. Dari grafik hubungan tersebut dapat diketahui karakteristik Sel DSSC yang dibuat dengan menganalisa parameter sel-surya seperti; Tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ), Arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ), *Maximum Power Point* (MPP), tegangan dan arus pada MPP ( $V_{MPP}$  dan  $I_{MPP}$ ), *Fill factor* (FF) dan Efisiensi.

Teknik pengukuran pada DSSC ini adalah meletakkan *probe* kutub positif pada bagian elektroda pembanding yang merupakan katoda dari DSSC, sedangkan *probe* kutub negatifnya pada bagian elektroda kerja yang merupakan anoda dari DSSC. Hal ini terjadi karena elektron mengalir dari elektroda kerja menuju rangkaian luar selanjutnya elektron masuk melalui elektroda pembanding. Arus listrik yang timbul berlawanan arah dengan aliran elektron, yakni mengalir dari elektroda pembanding ke rangkaian luar selanjutnya menuju elektroda kerja.



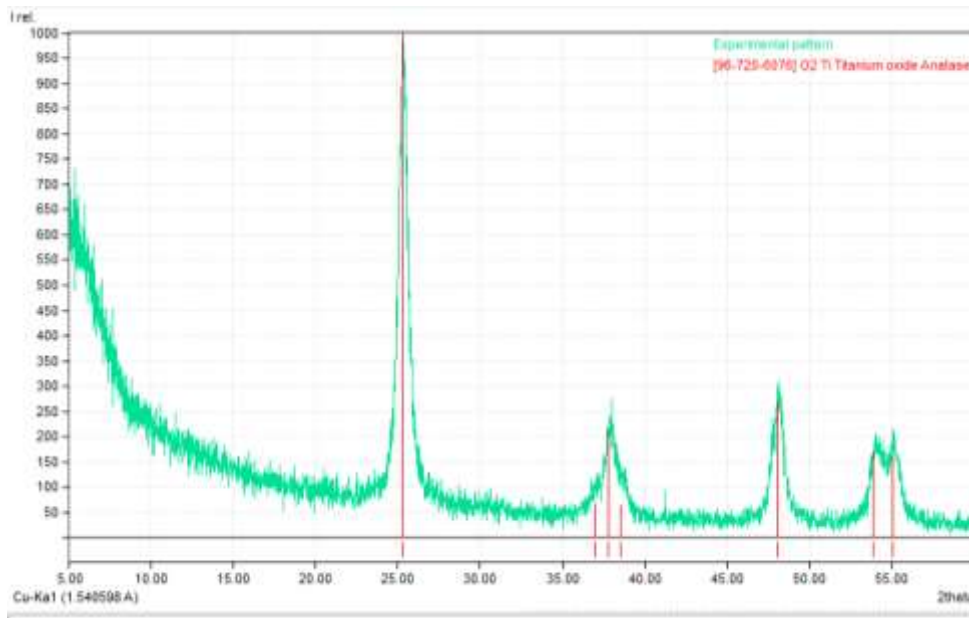
**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakteristik Serbuk TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>

Sebelum difabrikasi menjadi sel surya, elektroda TiO<sub>2</sub> murni dan komposit TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> dikarakterisasi dengan difraksi sinar X (XRD).

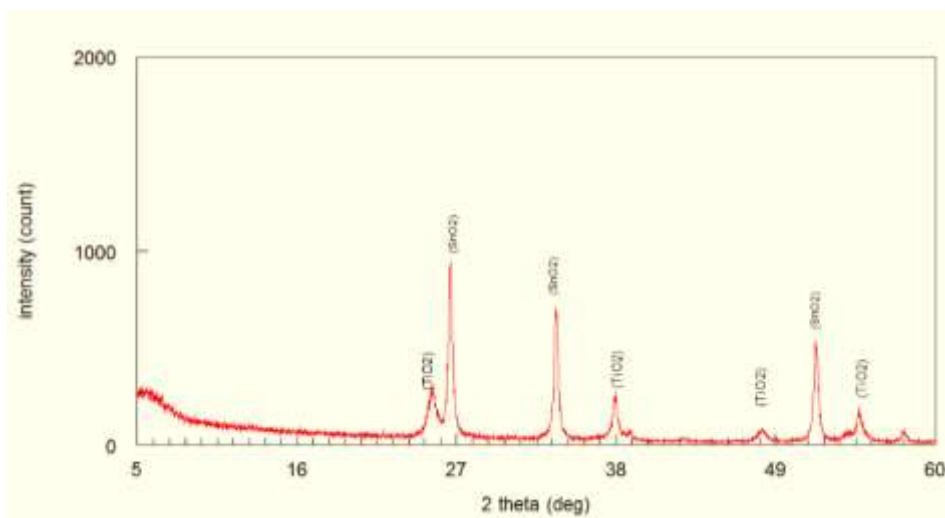


Gambar 4.1 Hasil karakterisasi XRD elektroda TiO<sub>2</sub> hasil sintesis

Sintesis TiO<sub>2</sub> dilakukan dengan metode kopresipitasi, endapan yang terbentuk dikalsinasi pada temperatur 400 °C untuk meningkatkan pertumbuhan butir atau *grain grow*. Pada Gambar 4.1 karakteristik dilakukan dengan menggunakan software *Match*. Hasil pengolahan data dari software ini menunjukkan bahwa serbuk TiO<sub>2</sub> yang terbentuk adalah TiO<sub>2</sub> dengan fase anatase. Fase Anatase dibutuhkan dalam pembuatan DSSC karena TiO<sub>2</sub> dalam fase ini memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi. Fotoaktif merupakan kemampuan TiO<sub>2</sub> dalam menyerap cahaya. Hal ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Halme pada tahun 2002, bahwa TiO<sub>2</sub> dengan fase anatase dipilih karena memberikan arus foton yang besar dibandingkan dengan fase Rutile (Halme, 2002). Fase anatase

juga memiliki kemampuan mengadsorpsi pewarna yang lebih banyak dan koefisien difusi elektronnya tinggi. (Zhang, H dan Banfield, J. F, 2000).

Karakteristik ukuran partikel serbuk  $\text{TiO}_2$  diperoleh dengan pengolahan data XRD pada software *Maud*. Hasil pengolahan data dengan *Maud* diperoleh ukuran partikel yang digunakan pada  $\text{TiO}_2$  hasil sintesis ini sebesar 10 nm. Dari penelitian yang dilakukan oleh Kethinni (2014) diketahui bahwa ukuran  $\text{TiO}_2$  yang baik digunakan pada pengaplikasian DSSC adalah kurang dari 30 nm, maka ukuran Kristal  $\text{TiO}_2$  dari hasil sintesis pada penelitian ini sudah memenuhi kriteria untuk diaplikasikan pada DSSC. Ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  juga berpengaruh pada kinerja DSSC. Semakin kecil ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  yang digunakan maka semakin luas area permukaannya sehingga dapat menampung dye lebih banyak. Semakin banyak dye yang terserap pada  $\text{TiO}_2$  akan meningkatkan jumlah arus yang mengalir dalam rangkaian DSSC. Selain itu, penggunaan  $\text{TiO}_2$  dalam orde nano akan membentuk struktur nanopori disepanjang luasan yang terdeposisi pada substrat sehingga akan menambah luasan semikonduktor tersebut dan memberikan dampak positif pada peningkatan jumlah cahaya yang terabsorpsi sehingga mampu menampung banyak dye (Zang H, 2000).



Gambar 4.2 Hasil karakterisasi XRD elektroda  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$

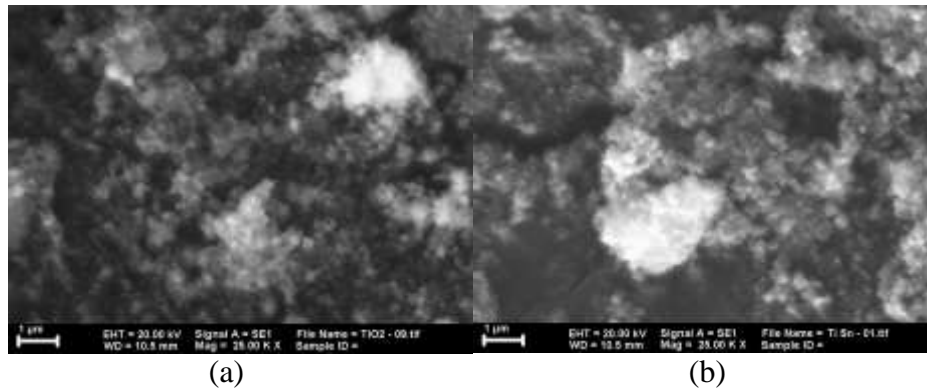
SnO<sub>2</sub> yang digunakan pada penelitian ini adalah SnO<sub>2</sub> (*Sigma Aldrich*). Difaktogram yang diperoleh diidentifikasi puncak-puncak karakteristik TiO<sub>2</sub> dan SnO<sub>2</sub>. Karakterisasi XRD dilakukan di Teknik Material ITS. Hasil karakterisasi XRD elektroda TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> diperlihatkan dalam bentuk difaktogram (Gambar 4.1), yang menunjukkan puncak-puncak karakteristik TiO<sub>2</sub> dan SnO<sub>2</sub>. Tampak pada difaktogram puncak-puncak karakteristik TiO<sub>2</sub> pada sudut  $2\theta = 25,19$ ;  $38,42$ ;  $47,91$ , dan  $53,71$ . Puncak-puncak karakteristik SnO<sub>2</sub> muncul pada  $2\theta = 26,55$ ;  $33,88$ , dan  $51,75$ . Dari puncak-puncak yang muncul pada difaktogram tampak bahwa komposit TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> telah terbentuk.

Ukuran kristal dapat diamati secara kasar dari bentuk profil puncak pada kurva XRD. Jika bentuk puncak semakin lebar, menandakan ukuran kristal semakin kecil hal ini dapat disimpulkan bahwa ukuran kristal dari partikel TiO<sub>2</sub> dan SnO<sub>2</sub> serbuk ini relatif kecil.

Karakterisasi ukuran partikel serbuk TiO<sub>2</sub> dan SnO<sub>2</sub> juga dapat diperoleh dengan pengolahan data XRD pada software *Maud* atau menggunakan persamaan *Scherrer's*. Pada beberapa penelitian menunjukkan bahwa ukuran nanopartikel semikonduktor yang dipakai dalam fabrikasi DSSC mempengaruhi kinerja DSSC. Hasil dari sintesis serbuk TiO<sub>2</sub> dan SnO<sub>2</sub> diperoleh bahwa ukuran partikel serbuk TiO<sub>2</sub> ini adalah 10 nm dan untuk SnO<sub>2</sub> adalah 50 nm. Ini menunjukkan bahwa kriteria serbuk TiO<sub>2</sub> hasil sintesis dan SnO<sub>2</sub> dapat dijadikan lapisan semikonduktor DSSC.

#### **4.2 Karakteristik Morfologi elektroda TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>**

Morfologi permukaan elektroda komposit TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> SEM dapat dilihat pada Gambar 4.3.

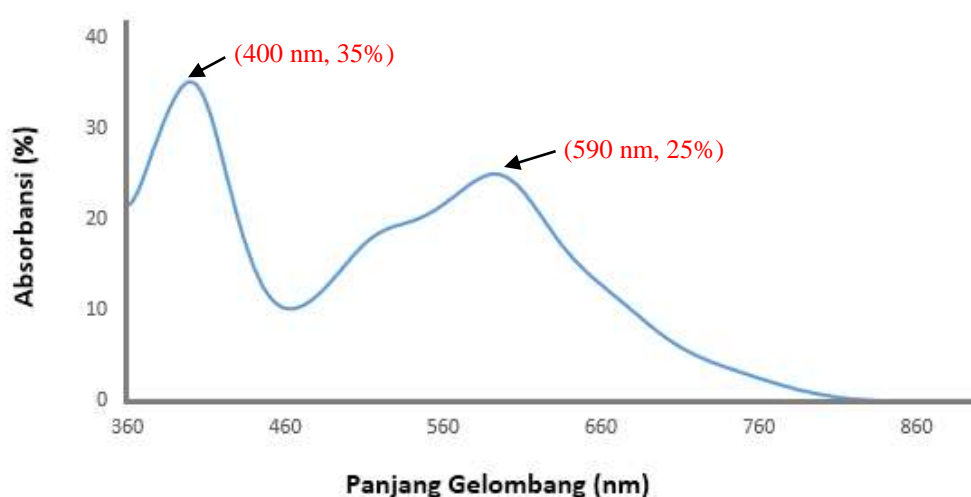


Gambar 4.3 (a) Morfologi permukaan elektroda  $\text{TiO}_2$  dan (b) Morfologi permukaan elektroda  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  dengan SEM

Pada foto SEM tersebut tampak Gambar 4.3 (a) merupakan morfologi elektroda kerja yang terbuat dari  $\text{TiO}_2$  murni, terlihat bahwa adanya nanopori yang terbentuk dari kumpulan partikel  $\text{TiO}_2$  di permukaan kaca substrat semakin mendukung adanya dye yang nantinya akan terserap pada lapisan tersebut. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Huang et al (2006) bahwa jika porus semakin besar maka dye yang terserap semakin banyak dan elektron semakin banyak pula. Dengan struktur lapisan  $\text{TiO}_2$  yang padat maka dye akan terserap di permukaan terlebih dahulu dan akan menghalangi masuknya dye jauh ke dalam porus  $\text{TiO}_2$  (Huang et al, 2006). Sehingga  $\text{TiO}_2$  nanoporus film cocok digunakan untuk DSSC karena ukurannya yang kecil yaitu 10 nm. Sedangkan Gambar 4.3 (b) merupakan morfologi elektroda kerja yang terbuat dari komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ , pada gambar terlihat bahwa permukaan tersebut sangat berpori seperti yang diharapkan. Berdasarkan hasil foto SEM, butiran-butiran halus adalah partikel-partikel  $\text{TiO}_2$  sebagai *matriks* dan butiran-butiran yang lebih besar merupakan partikel-partikel  $\text{SnO}_2$  sebagai *filler* yang membentuk sistem komposit. Struktur yang sangat berpori ini akan mengakibatkan semakin banyak molekul *dye* yang menempel pada permukaan partikel  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SnO}_2$ . Hal ini menyebabkan semakin banyak elektron yang dapat tereksitasi ketika *dye* pada permukaan partikel  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  menyerap cahaya (foton). Sistem komposit ini diharapkan untuk mengurangi rekombinasi prematur elektron di dalam sel surya.

### 4.3 Karakteristik Absorbansi Dye N-749

Absorbansi merupakan kuantitas yang menyatakan kemampuan bahan dalam menyerap cahaya. Dye Ruthenium mampu menyerap cahaya karena mengandung elektron valensi yang dapat dieksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Salah satu dye Ruthenium tersebut adalah N-749. Hasil plot data pada pengujian absorbansi *Black Dye N-749* menggunakan spektrometer UV Genesys 10s UV-Vis terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik absorbansi *Black Dye N-749* yang diukur dengan spektrometer UV-Vis.

Gambar 4.5 memperlihatkan absorbansi sampel larutan *Black Dye N-749* pada semua sampel sebagai fungsi dari panjang gelombang yang diukur dari panjang gelombang 350 nm hingga 800 nm. Teramati bahwa spektrum absorbansi larutan *dye* dengan konsentrasi 0.3 M di dalam etanol menunjukkan dua puncak, yaitu dengan puncak maksimum 400 nm mempunyai nilai absorbansi sebesar 35% dan puncak maksimum yang ke dua sekitar 590 nm dengan nilai absorbansi sebesar 25%. *Black dye N-749* memiliki daerah absorbansi pada rentang panjang gelombang yang cukup panjang, yakni pada daerah UV, cahaya tampak dan Infra merah. Akan tetapi, *black dye N-749* berkontribusi baik dalam penyerapan cahaya pada dua daerah optimum yakni di panjang gelombang 400 nm dan 590 nm yang termasuk dalam cahaya tampak.

Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa terdapat pita yang lebar, hal ini diharapkan dapat dihasilkan penyerapan foton yang lebih banyak sehingga efisiensi konversi sel surya semakin meningkat. Semakin lebar spektra absorpsi *dye*, maka semakin banyak frekuensi cahaya yang dapat diserap oleh sel surya. Kedua puncak tersebut berada dalam rentang cahaya tampak sebagai daerah kerja sel surya.

#### 4.4 Karakteristik $V_{oc}$ , $J_{sc}$ , $V_{MPP}$ , $J_{MPP}$ , *Fill Factor* ( $FF$ ) dan Efisiensi ( $\eta$ )

Untuk mengetahui kinerja sel surya dilakukan pengukuran karakteristik arus-tegangan ( $I$ - $V$ ) pada kondisi tersinari dengan menggunakan sumber cahaya lampu xenon dengan intensitas  $100 \text{ mW/cm}^2$  dan jarak antara sel surya dengan lampu adalah  $20 \text{ cm}$ . Luas penampang sel surya adalah  $1 \text{ cm}^2$ . Hasil karakteristik dari DSSC ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil karakterisasi DSSC

Jenis elektroda	$V_{oc}$ (mV)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{MPP}$ (mV)	$J_{MPP}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$FF$ (%)	$\eta$ (%)
TiO <sub>2</sub> murni	290,41	0,138	200,67	0,097	48,5	0,019
Komposit TiO <sub>2</sub> /SnO <sub>2</sub>	360,69	0,3	200,67	0,21	38,94	0,042
SnO <sub>2</sub> murni	360,44	0,097	230,33	0,059	38,87	0,014

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa tegangan rangkaian buka ( $V_{oc}$ ) sel surya pada masing-masing elektroda kerja adalah  $290,41 \text{ mV}$ ,  $360,69 \text{ mV}$  dan  $360,44 \text{ mV}$  untuk TiO<sub>2</sub> murni, Komposit TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> dan SnO<sub>2</sub> murni. Tegangan ini berasal dari perbedaan potensial antara level konduksi elektroda semikonduktor sistem TiO<sub>2</sub> murni, komposit TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub> dan SnO<sub>2</sub> murni dengan potensial elektrokimia kopel redoks  $I/I_3^-$  (Smestad & Grätzel, 1998). Sedangkan tegangan maksimum yang diperoleh masing-masing elektroda kerja adalah  $200,67 \text{ mV}$ ,  $200,67 \text{ mV}$  dan  $230,33 \text{ mV}$ .

Arus keluaran sel surya masih sangat rendah yaitu dalam orde milimeter (mA). DSSC dengan elektroda SnO<sub>2</sub> murni memiliki nilai  $J_{sc}$  dan efisiensi yang

sangat rendah. Cukup kecil jika dibandingkan dengan hasil  $J_{sc}$  dan efisiensi pada DSSC dengan elektroda  $\text{TiO}_2$  murni dan dengan elektroda komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ , yaitu  $0,059 \text{ mA/cm}^2$  dan  $0,014\%$ ;  $0,097 \text{ mA/cm}^2$  dan  $0,019\%$ ;  $0,21 \text{ mA/cm}^2$  dan  $0,042\%$ .

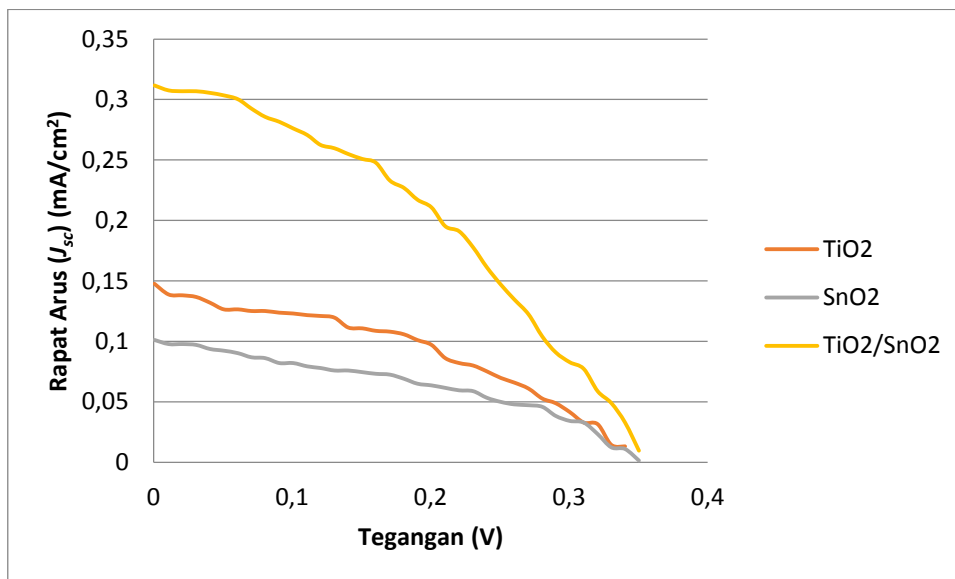
Hasil penelitian menunjukkan bahwa DSSC dengan elektroda komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  mempunyai kinerja yang lebih baik dari pada DSSC dengan elektroda  $\text{TiO}_2$  murni dan DSSC dengan elektroda  $\text{SnO}_2$  murni. Nilai  $J_{sc}$  dari DSSC dengan elektroda komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  adalah sekitar 2 kali lipat (117%) lebih tinggi dari DSSC dengan elektroda  $\text{TiO}_2$  murni. Hal ini disebabkan jumlah penyerapan *dye* oleh elektroda komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  lebih banyak dan  $\text{SnO}_2$  dapat mengurangi rekombinasi yang ada.  $\text{SnO}_2$  membantu untuk mengoptimalkan proses transfer dan pemisahan muatan sehingga arus yang dihasilkan semakin besar. Selain itu permukaannya yang sangat berpori juga mempengaruhi banyaknya *dye* yang terserap. Penambahan nanopowder  $\text{SnO}_2$  pada  $\text{TiO}_2$  dapat meningkatkan struktur film nanoporus dan memberikan pengaruh yang signifikan dalam menangkap foton sehingga dapat meningkatkan stabilitas kerja. Meskipun ukuran partikel rata-rata dari film komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  lebih besar dibandingkan film  $\text{TiO}_2$  murni, luas permukaan efektif untuk penyerapan *dye* dari elektroda komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  jauh lebih banyak dibandingkan dengan elektroda  $\text{TiO}_2$  murni.

Kecilnya arus keluaran yang dihasilkan salah satunya disebabkan oleh resistansi film elektroda komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  yang besar. Dari hasil pengukuran diketahui nilai resistansi film  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  adalah dalam orde mega ohm ( $\text{M}\Omega$ ). Dengan nilai resistansi yang sangat besar ini mengakibatkan elektron yang diinjeksi dari *dye* mengalami hambatan yang sangat besar di dalam film  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  sehingga jumlah elektron yang mengalir ke rangkaian luar menjadi kecil, akibatnya arus yang dihasilkan juga kecil. Penyebab lainnya adalah belum optimalnya fungsi *dye* dalam pembangkitan dan injeksi elektron ke lapisan elektroda  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ , karena jumlah (konsentrasi) *dye* yang menempel (*attach*) pada permukaan partikel semikonduktor  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  sangat kecil sehingga jumlah elektron yang dibangkitkan juga sedikit. Serapan (adsorpsi) *dye* pada permukaan partikel  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  tidak maksimal menyebabkan proses transfer elektron dari *dye*



teroksidasi tidak optimal. Arus yang dihasilkan dari oleh DSSC terkait langsung dengan jumlah elektron yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja dye yang digunakan (Li B et al., 2006). *Black dye N-749* mempunyai *band gap* sebesar 1,35 eV (Stefan Guldin, 2013), berkontribusi baik dalam penyerapan cahaya pada dua daerah optimum yakni di panjang gelombang 400 nm dan 590 nm yang termasuk dalam cahaya tampak, sedangkan untuk lampu xenon mempunyai panjang gelombang pada rentang 250 – 1800 nm untuk iluminasi kurang dari 1,5 AM (Wenzhi Chen et al, 2014). Cahaya yang diberikan lampu xenon dimungkinkan tidak sama dengan yang diterima oleh *black dye* sehingga jumlah elektron yang dibangkitkan sedikit. Oleh sebab itu arus yang dihasilkan juga sangat kecil.

Kecilnya arus keluaran yang dihasilkan mengakibatkan kinerja DSSC kurang optimal, khususnya konversi energinya masih sangat kecil. Hasil karakterisasi arus-tegangan sel surya ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Karakteristik J-V DSSC berbasis TiO<sub>2</sub> murni, SnO<sub>2</sub> murni dan komposit TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>

## LAMPIRAN A

### Hasil Olah Software Match

#### 1. TiO<sub>2</sub> Nanopartikel Hasil Sintesis

##### Sample Data

File name	TiO2 A.rd
File path	D:/dokumen new laptop/new/SnO2
Data collected	Apr 18, 2016 18:23:26
Data range	5.100° - 60.097°
Number of points	3292
Step size	0.017
Alpha2 subtracted	Yes
Background subtr.	No
Data smoothed	No
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540598 Å

##### Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	100.0	Titanium oxide Anatase	O2 Ti

##### A: Titanium oxide Anatase (100.0 %)

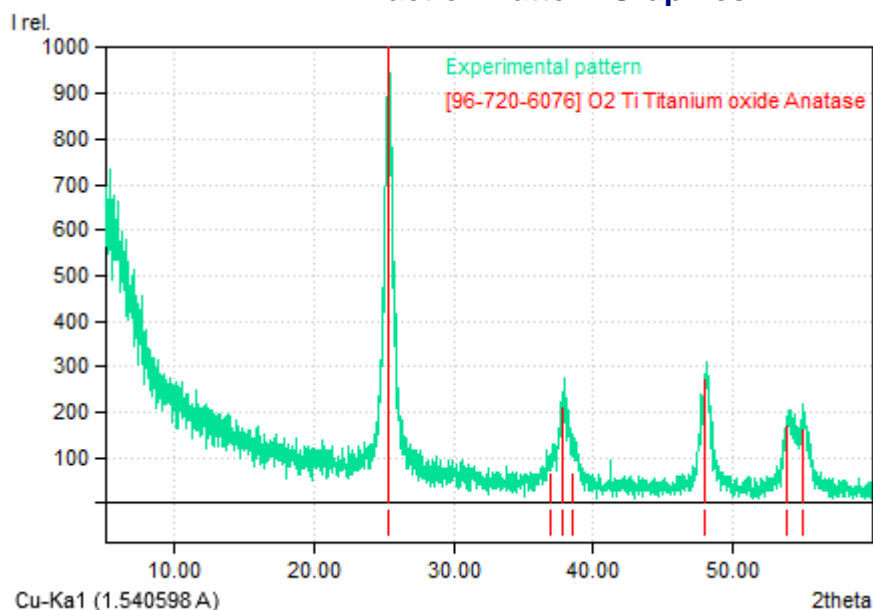
Formula sum	O2 Ti
Entry number	96-720-6076
Figure-of-Merit (FoM)	0.818163
Total number of peaks	23
Space group	I 41/a m d
Crystal system	tetragonal
Unit cell	a= 3.7850 Å c= 9.5196 Å
I/Icor	5.24
Calc. density	3.890 g/cm <sup>3</sup>
Reference	Rezaee Masih, Mousavi Khoie Seyyed Mohammad, Liu Kun Hua, "The role of brookite in mechanical activation of anatase-to-rutile transformation of nanocrystalline TiO <sub>2</sub> : An XRD and Raman spectroscopy investigation", CrystEngComm <b>13(16)</b> , 5055 (2011)

##### Search-Match

##### Settings

Automatic zeropoint adaptation	Yes
Minimum figure-of-merit (FoM)	0.60
Parameter/influence 2theta	0.50
Parameter/influence intensities	0.50
Parameter multiple/single phase(s)	0.50

## Diffraction Pattern Graphics



## 2. Komposit TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>

### Sample Data

File name	SnO2-TiO2.rd
File path	D:/dokumen new laptop/new/SnO2
Data collected	Apr 18, 2016 14:10:10
Data range	4.980° - 59.977°
Number of points	3292
Step size	0.017
Alpha2 subtracted	Yes
Background subtr.	No
Data smoothed	Yes
2theta correction	-0.02°
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540598 Å

### Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	37.4	Titanium oxide Anatase	O2 Ti
B	62.6	Tin(IV) oxide Cassiterite	O2 Sn

#### A: Titanium oxide Anatase (37.4 %)

Formula sum	O2 Ti
Entry number	96-500-0224
Figure-of-Merit (FoM)	0.900286
Total number of peaks	23
Peaks in range	7
Peaks matched	6
Intensity scale factor	0.28
Space group	I 41/a m d
Crystal system	tetragonal
Unit cell	a= 3.7892 Å c= 9.5370 Å
I/Icor	5.33
Calc. density	3.874 g/cm <sup>3</sup>
Reference	Horn M, Schwerdtfeger C F, Meagher E P, "", Zeitschrift fuer

Kristallographie, Kristallgeometrie, Kristallphysik,  
 Kristallchemie (-144,1977) **136**, 273-281 (1972)

**B: Tin(IV) oxide Cassiterite (62.6  
 %)**

Formula sum	O2 Sn
Entry number	96-100-0063
Figure-of-Merit (FoM)	0.811601
Total number of peaks	28
Peaks in range	7
Peaks matched	5
Intensity scale factor	0.95
Space group	P 42/m n m
Crystal system	tetragonal
Unit cell	a= 4.7380 Å c= 3.1865 Å
I/ cor	10.71
Calc. density	6.996 g/cm <sup>3</sup>
Reference	Baur W H, Khan A A, "Rutile-Type Compounds. VI. Si O2, Ge O2 and a Comparison with other Rutile-Type Structures", Acta Crystallographica B (24,1968-38,1982) <b>27</b> , 2133-2139 (1971)

**Candidates**

Name	Formula	Entry No.	FoM
	Nb	96-400-1054	0.6332
	Nb	96-400-0951	0.6319

**Search-Match**

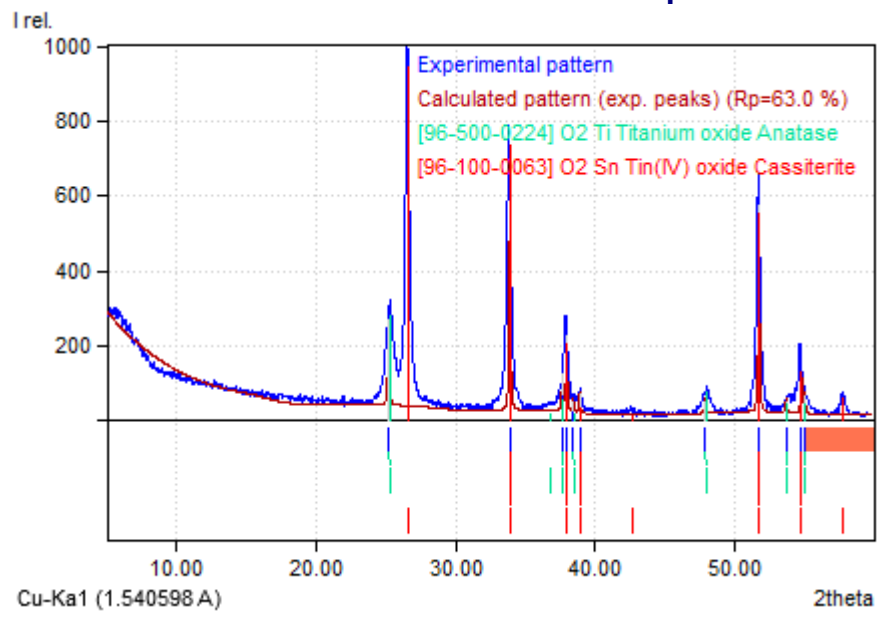
**Settings**

Automatic zeropoint adaptation	Yes
Minimum figure-of-merit (FoM)	0.60
Parameter/influence 2theta	0.50
Parameter/influence intensities	0.50
Parameter multiple/single phase(s)	0.50

**Peak List**

No.	2theta [°]	d [Å]	I/I0	FWHM	Matched
1	25.19	3.5321	268.06	0.1337	A
2	33.88	2.6435	640.48	0.1337	B
3	37.65	2.3872	125.39	0.1337	A
4	37.95	2.3688	229.24	0.1337	B
5	38.42	2.3414	49.87	0.1337	A
6	38.91	2.3129	70.61	0.1337	B
7	47.91	1.8970	52.02	0.1337	A
8	51.75	1.7650	576.30	0.1337	B
9	53.71	1.7051	49.18	0.1337	A
10	54.81	1.6736	129.98	0.1337	B
11	55.04	1.6670	67.08	0.1337	A

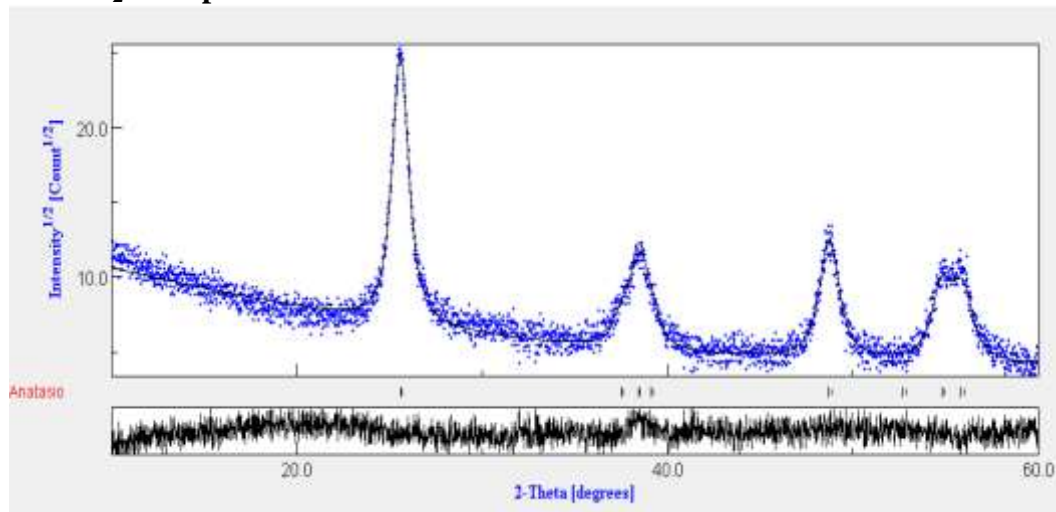
## Diffraction Pattern Graphics



## LAMPIRAN B

### Hasil Olah Software Maud

#### 1. TiO<sub>2</sub> Nanopartikel Hasil Sintesis



Refined parameters:

```
0 TiO2 A.par:Sample_x:TiO2 A:_riet_par_background_pol0 value:183.03525 error:2.8203712
1 TiO2 A.par:Sample_x:TiO2 A:_riet_par_background_pol1 value:-8.819876 error:0.2754053
2 TiO2 A.par:Sample_x:TiO2 A:_riet_par_background_pol2 value:0.16159435 error:0.008070955
3 TiO2 A.par:Sample_x:TiO2 A:_riet_par_background_pol3 value:-0.0010190874 error:7.142825E-5
4 TiO2 A.par:Sample_x:TiO2 A:A - XRD ITS:_pd_proc_intensity_incident value:94.29072 error:1.2159346
5 TiO2 A.par:Sample_x:TiO2 A:A - XRD ITS:Caglioti PV:_riet_par_asymmetry_value0 value:44.333057 error:11.370874
6 TiO2 A.par:Sample_x:TiO2 A:A - XRD ITS:Caglioti PV:_riet_par_asymmetry_value1 value:0.4727175 error:0.452037
7 TiO2 A.par:Sample_x:Anatasio:_cell_length_a value:3.734766 error:4.8841647E-4
8 TiO2 A.par:Sample_x:Anatasio:_cell_length_c value:9.353915 error:0.002012495
9 TiO2 A.par:Sample_x:Anatasio:Distributions:unknown:_riet_par_distribution_size_variance value:0.23735131
error:0.04501229
10 TiO2 A.par:Sample_x:Anatasio:Distributions:unknown:_riet_par_distribution_strain_decay value:0.4202801
error:0.091097936
11 TiO2 A.par:Sample_x:Anatasio:Isotropic:_riet_par_cryst_size value:98.333084 error:2.7303028
12 TiO2 A.par:Sample_x:Anatasio:Isotropic:_riet_par_rs_microstrain value:0.005524394 error:3.0932206E-4
13 TiO2 A.par:Sample_x:Anatasio:Atomic Structure:Ti:_atom_site_B_iso_or_equiv value:6.1806955 error:0.2510743
14 TiO2 A.par:Sample_x:Anatasio:Atomic Structure:O:_atom_site_B_iso_or_equiv value:7.004359 error:0.28750402
```

Refinement final output indices:

```
Global Rwp: 0.15014927
Global Rp: 0.114547186
Global Rwpb (no background): 0.122171335
Global Rpb (no background): 0.10221877
Total Energy: 0.0
```

Refinement final output indices for single samples:

```
Sample Sample_x :
Sample Rwp: 0.15014927
Sample Rp: 0.114547186
Sample Rwpb (no background): 0.122171335
Sample Rpb (no background): 0.10221877
```

Refinement final output indices for single datasets:

```
DataSet TiO2 A :
DataSet Rwp: 0.15014927
DataSet Rp: 0.114547186
DataSet Rwpb (no background): 0.122171335
DataSet Rpb (no background): 0.10221877
```

Refinement final output indices for single spectra:

Datafile 1gr.cpi : Rwp: 0.15014927, Rp: 0.114547186, Rwpb: 0.122171335, Rpb: 0.10221877

Sample:Sample\_x

Phases:

Anatasio

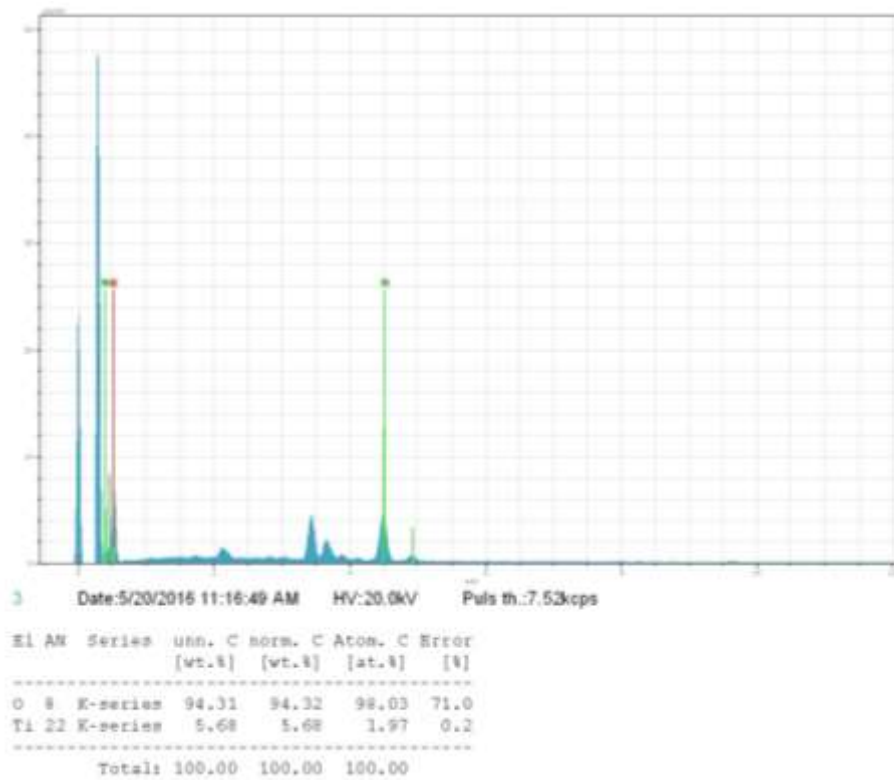
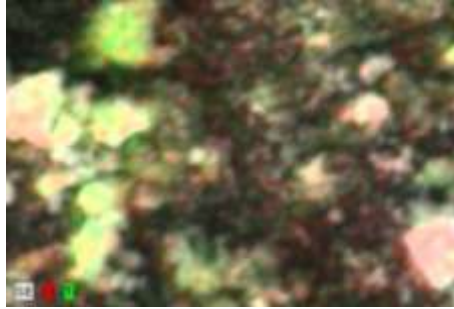
Density: 4.066611295751253

Qc: 0.040486361826513106

## LAMPIRAN C

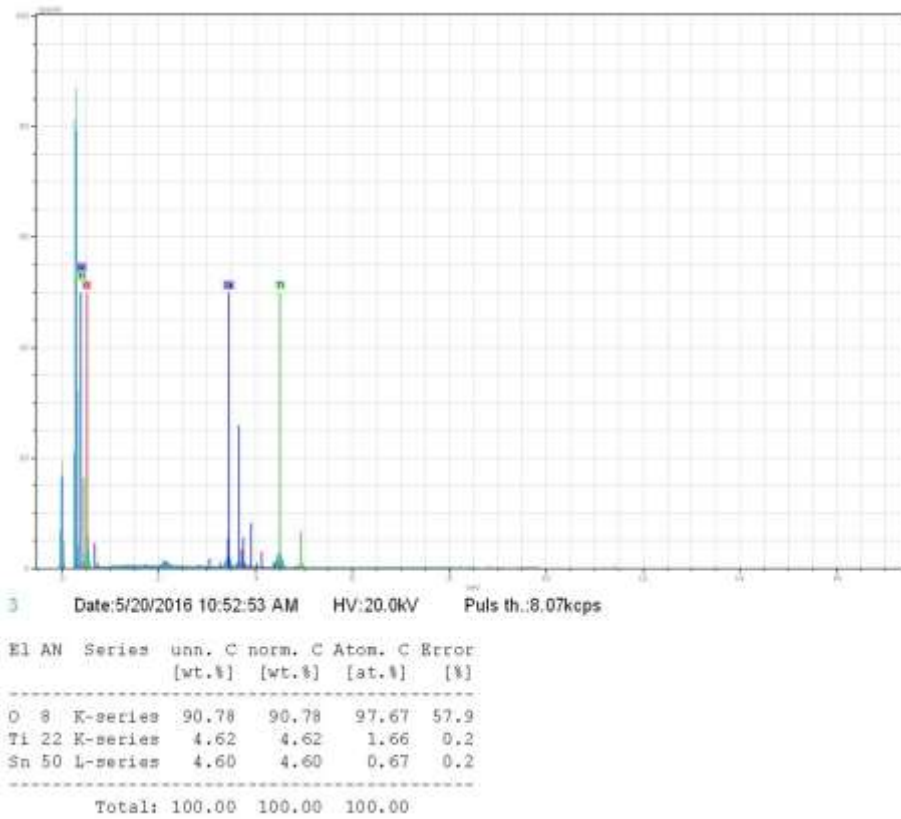
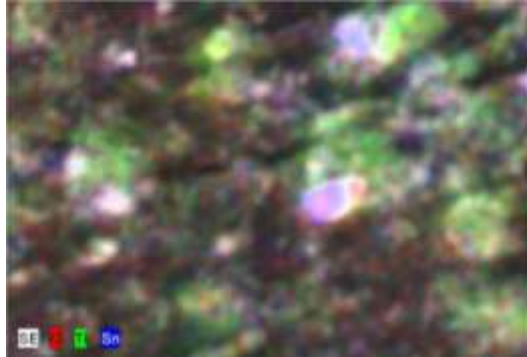
### Karakteristik dengan SEM-EDAX

#### 1. TiO<sub>2</sub> Nanopartikel Hasil Sintesis





## 2. Komposit TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>



## LAMPIRAN D

### Data Karakteristik Arus dan Tegaangan DSSC

#### 1. Elektroda Kerja dengan TiO<sub>2</sub> Murni

Keterangan : luas aktif 1 x 1 cm<sup>2</sup>,

V (Volt)	I (Amper)	J (mA/cm <sup>2</sup> )	P (mW/cm <sup>2</sup> )
-0,009162	0,00003690	0,151237	-0,001385612
0,000647819	0,00003468	0,138043588	9,56255E-05
0,010873867	0,00003451	0,138727008	0,001508499
0,020883403	0,00003417	0,136676752	0,00288282
0,030743046	0,00003297	0,125742064	0,00420186
0,040835855	0,00003161	0,125058648	0,005385956
0,050695497	0,00003161	0,126425484	0,006409203
0,060921545	0,00003144	0,126425484	0,007702036
0,070664603	0,00003126	0,125058648	0,00883722
0,080557554	0,00003126	0,121641556	0,010074419
0,090800256	0,00003092	0,12095814	0,011231248
0,100793135	0,00003075	0,123691812	0,012398402
0,110985872	0,00003041	0,131892828	0,013500494
0,120612346	0,00003024	0,123008392	0,014589045
0,130605225	0,00002990	0,119591304	0,015619249
0,140564794	0,00002785	0,110706872	0,015657553
0,150740875	0,00002768	0,111390288	0,016688051
0,160517241	0,00002716	0,1079732	0,01744126
0,170660012	0,00002699	0,097038512	0,018426708
0,180769473	0,00002426	0,105765	0,019119083
0,190612458	0,00002153	0,100987	0,01924938
0,200671955	0,00002050	0,108656616	0,019472908
0,210598213	0,00001999	0,086103824	0,018133311
0,220674364	0,00001879	0,082003316	0,01809603
0,23073386	0,00001743	0,07516914	<b>0,018447879</b>
0,240593498	0,00001315	0,079953064	0,018085206
0,250702958	0,00000854	0,069701796	0,017474446
0,260462667	0,00000837	0,06587	0,017156676
0,270738674	0,00000820	0,060897	0,016487173
0,280714895	0,00000786	0,052616348	0,014770193
0,290407985	0,00000658	0,048765	0,014161745
0,300500789	0,00000581	0,033480644	0,012464966

0,310593593	0,00000471	0,032797228	0,010186609
0,320686397	0,00000373	0,031430392	0,010079299
0,330512723	0,00000340	0,010344944	0,004741187
0,340438979	0,00000259	0,013125	0,004468262
0,350431853	0,00000034	0,009865	0,00345701
0,360691	-0,00000103	-0,009543	-0,003442076

## 2. Elektroda Kerja dengan SnO<sub>2</sub> Murni

Keterangan : luas aktif 1 x 1 cm<sup>2</sup>

V (Volt)	I (Amper)	J (mA/cm <sup>2</sup> )	P (mW/cm <sup>2</sup> )
-0,009162	0,000025285	0,112315	-0,001029014
0,000648	0,000024430	0,10113902	6,55198E-05
0,010874	0,000024430	0,097721932	0,001062615
0,020883	0,000024260	0,097721932	0,002040767
0,030743	0,000024260	0,097038512	0,002983259
0,040836	0,000023405	0,093621424	0,003823111
0,050695	0,000023064	0,092254588	0,004676892
0,060922	0,000022551	0,090204332	0,005495387
0,070665	0,000021697	0,086787244	0,006132786
0,080558	0,000021526	0,086103824	0,006936313
0,0908	0,000020501	0,082003316	0,007445922
0,100793	0,000020501	0,082003316	0,008265371
0,110986	0,000019817	0,079269644	0,008797811
0,120612	0,000019476	0,077902812	0,009396041
0,130605	0,000018963	0,075852556	0,00990674
0,140565	0,000018963	0,075852556	0,010662199
0,150741	0,000018621	0,07448572	0,011228043
0,160517	0,000018280	0,073118884	0,011736842
0,17066	0,000018109	0,072435468	0,012361838
0,180769	0,000017255	0,069018376	0,012476415
0,190612	0,000016229	0,064917868	0,012374154
0,200672	0,000015888	0,063551032	0,01275291
0,210598	0,000015375	0,06150078	0,012951954
0,220674	0,000014863	0,059450524	0,013119207
0,230734	0,000014692	0,058767108	<b>0,013559562</b>
0,240593	0,000013325	0,053299764	0,012823577
0,250703	0,000012471	0,049882676	0,012505734
0,260463	0,000011958	0,04783242	0,01245856
0,270739	0,000011787	0,047149004	0,012765059

0,280715	0,000011446	0,045782168	0,012851737
0,290408	0,000009566	0,038264572	0,011112337
0,300501	0,000008541	0,034164064	0,010266328
0,310594	0,000008199	0,032797228	0,010186609
0,320686	0,000005807	0,023229376	0,007449345
0,330513	0,000003074	0,012294688	0,004063551
0,340439	0,000002732	0,010927852	0,003720267
0,350432	0,000000340	0,00136	0,000476587
0,360691	-0,000001710	-0,00876	-0,003159655

### 3. Elektroda Kerja dengan Komposit TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>

Keterangan : luas aktif 1 x 1 cm<sup>2</sup>

V (Volt)	I (Amper)	J (mA/cm <sup>2</sup> )	P (mW/cm <sup>2</sup> )
-0,009162	0,000080	0,320516176	-0,002936524
0,000647819	0,000078	0,311631744	0,000201881
0,010873867	0,000077	0,307531236	0,003344054
0,020883403	0,000077	0,306847816	0,006408027
0,030743046	0,000077	0,306847816	0,009433436
0,040835855	0,000076	0,30548098	0,012474577
0,050695497	0,000076	0,303430728	0,015382572
0,060921545	0,000074	0,300231	0,018290536
0,070664603	0,000073	0,29249604	0,020669117
0,080557554	0,000073	0,28566186	0,023012221
0,090800256	0,000071	0,281561352	0,025565843
0,100793135	0,000070	0,276094012	0,027828381
0,110985872	0,000069	0,270626668	0,030035737
0,120612346	0,000068	0,262425652	0,031651773
0,130605225	0,000066	0,25969198	0,033917129
0,140564794	0,000065	0,254908056	0,035831098
0,150740875	0,000064	0,250807548	0,037806949
0,160517241	0,000063	0,2477221	0,039763668
0,170660012	0,000058	0,232938172	0,039753231
0,180769473	0,000057	0,22688792	0,04101441
0,190612458	0,000057	0,2170688	0,041376018
0,200671955	0,000052	0,210767276	<b>0,042295081</b>
0,210598213	0,000049	0,195199424	0,04110865
0,220674364	0,000046	0,19098	0,04214439
0,23073386	0,000044	0,177681828	0,040997214
0,240593498	0,000040	0,161279796	0,03880287

0,250702958	0,000037	0,14692802	0,036835289
0,260462667	0,000034	0,1346265	0,035065177
0,270738674	0,000031	0,122324976	0,033118102
0,280714895	0,000026	0,103872692	0,029158612
0,290407985	0,000022	0,090787244	0,026365341
0,300500789	0,000021	0,082686736	0,024847429
0,310593593	0,000019	0,077219392	0,023983848
0,320686397	0,000010	0,05868166	0,01881841
0,330512723	0,000008	0,048921	0,016169013
0,340438979	0,000002	0,032797228	0,011165455
0,350431853	0,000002	0,009561016	0,003350485
0,360691	-0,000002	-0,00987	-0,003560022

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut;

1. Telah dihasilkan prototipe DSSC yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik dengan variasi elektroda kerja berbasis  $\text{TiO}_2$  murni, komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  dan  $\text{SnO}_2$  murni dan menggunakan bahan sintesis N-749 sebagai *dye sensitizer*.
2. Adanya penambahan  $\text{SnO}_2$  pada  $\text{TiO}_2$  menunjukkan adanya peningkatan efisiensi yaitu dari 0,019% menjadi 0,042%.
3. Pada hasil penelitian yang diperoleh DSSC berbasis komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  memiliki efisiensi yang lebih baik dari pada DSSC berbasis  $\text{TiO}_2$  murni dan  $\text{SnO}_2$  murni. Hal ini dikarenakan  $\text{SnO}_2$  dapat mengurangi rekombinasi yang ada.  $\text{SnO}_2$  membantu untuk mengoptimalkan proses transfer dan pemisahan muatan sehingga arus yang dihasilkan semakin besar. Hasil SEM menunjukkan bahwa morfologi komposit  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  yang sangat berpori mengakibatkan semakin banyak molekul *dye* yang menempel pada permukaan partikel  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{SnO}_2$ .

#### **5.2 Saran**

Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan semikonduktor  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$  menggunakan serbuk dengan ukuran partikel lebih kecil dan penggunaan semikonduktor jenis yang lain agar rekombinasi prematur elektron di dalam sel surya berkurang serta meningkatkan luas permukaan aktif elektroda sehingga lebih banyak molekul *dye* yang teradsorpsi di dalam elektroda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abrhamsson, Malin (2001), "Electron Transfer in Ruthenium-Manganese Complexes for Artificial Photosynthesis. Studies in Solution and on Electrode Surfaces" Acta Universitatis Upsaliensis
- Almanda, Deni (1997), "Prospek PLTS di Indonesia", majalah elektro Indonesia, edisi ke-10
- Aulia, Hanna et al. (2014). "Titration Iodometry from Ascorbic Acid in Tablet Vitamin C". *Jurnal Praktikum Kimia analitik 2*.
- Bang S.Y et al. (2012). "Evaluation Of Dye Aggregation And Effect Of Deoxycholic Acid Concentration On Photovoltaic Performance Of N749-Sensitized Solar Cell". Solar Cell Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul, South Korea
- Eun Hee Jo et al. (2014). "Pore-size Controlled Synthesis of PEG Derived porous TiO<sub>2</sub> Particles and Photovoltaic Performance of Dye Sensitized Solar Cells". *Materials Letters*. 131: 244–247.
- Giancoli, C.Douglas. (2001), "Fisika Edisi Kelima", Jakarta, Erlangga.hal 227.
- Grätzel M. (2003), "Review dye-sensitized solar cells. Journal of Photochemistry and Photobiology", *Photochemistry Reviews* 4, hal 145–153.
- Green, Martin.A. (1982), "Solar Cells Operating Principles Technology and System Application", Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs.
- Halme, Janne. (2002), "Dye-Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells : Technical review and Preliminary Test", Master's thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Technology, Helsinki University Of Technology.
- Hardjono Sastroamidjojo. (1991). "Spektroskopi", *Liberty*: Yogyakarta.
- Jeong Bo-Hwa, Kook, Lee Jin, Jang Sung-il, Kim Young-Guen, Jang Yong-Wook, Lee Su-Bin, Kim Mi-Ra. (2009), "Preparations of TiO<sub>2</sub> pastes and its application to light-scattering layer for dye-sensitized solar cells". *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 15 724-729.
- Kang SH, Kim J-Y, Kim Y-K & Sung Y-E. 2007. Effect of the Incorporation of Carbon Powder into Nanostructured TiO<sub>2</sub> Film for Dye-Sensitized Solar Cell. *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* 186:234-241

- Maddu, A., Zyhri, M., Irmasyah. (2010), "Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO<sub>2</sub> Nanokristal Tersensitisasi Dye", MST 11.
- Maddu, A., Zyhri, M., Irmasyah. (2012), "the Use Of Polymer Gel Electrolyte Containing I/I<sub>3</sub><sup>-</sup> Redox Couple To Assembly A Solid State Dye Sensitized TiO<sub>2</sub> Solar Cell", LIPI Nomor 536/D.
- Ming, J.J., Yi, L.W., Liann, B.C., Lee, C. (2013), "Particle Size Effects Of Tio2 Layers On The Solar Efficiency Of Dye-Sensitized Solar Cells", Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy, Volume 2013, Article ID 563897.
- O'regan, B dan Gratzel, M. (1991), "A Low-Cost, High Efficiency Solar Cell Based On Dye-Sensitized Colloidal TiO<sub>2</sub> films", Nature Vol. 353. Issue 6346, 737.
- Puspitasari, Nurrisma. (2012). "Studi Awal Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Rosela (Hibiscus Sabdariffa) sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Luas Permukaan Lapisan TiO<sub>2</sub>". ITS. Surabaya.
- R. A. Wahyuono, "Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) Fabrication with TiO<sub>2</sub> and ZnO Nanoparticle for High Conversion Efficiency". *Master Thesis, ITS*.
- Sasikala R, Shirole A, Sudarsan V, Sakuntala T, Sudakar C, Naik R, et al. (2009). "Highly Dispersed Phase of SnO<sub>2</sub> on TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Synthesized by Polyolmediated Route Photocatalytic Activity for Hydrogen Generation". *Int J Hydrogen. Energy*.34:3621e30.
- Schmidt-Mende L & Grätzel M. 2006. Pore-Filling and Its Effect on The Efficiency of Solid-State Dye-Sensitized Solar Cell. *Thin Solid Films* 500:296-301.
- Seo, Y dan Kim, J.H, (2012). "Rapid Dye Adsorption For Dye-Sensitized Solar Cells Using A Simple Ultrasonication Method". Department of Chemical Engineering, University of Seoul, Republic of Korea. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 19, 488–492.
- Seok Jun Seo et al. 2014. "Printable Ternary Component Polymer Gel Electrolytes for Long Term Stable Dye Sensitized Solar Cells". *Electrochimica Acta*. 145: 217–223.
- Silviyanti, N.A. (2013). "Analisis Perbandingan Efisiensi Pada Pembuatan Prototype Dye Sensitized Solar Cell Berbasis TiO<sub>2</sub>, ZnO dan MgO Single Layer dan Double Layer. ITS. Surabaya.



- Smestad, G.P dan Gratzel, M. (1998), “Demonstrating Electron and Nanotechnology”, *J. Chem.Educ*, 75 (6), hal 1-6.
- Sridhar, D. dan Sriharan, N. (2014). “Structural, Morphological and Optical Features Of SnO<sub>2</sub> and Cu<sub>2</sub>O Doped TiO<sub>2</sub> Nanocomposites Prepared by Sol-Gel Method”, *Journal of NanoScience and NanoTechnology*, vol. 2, pp. 94-98, 2279-0381.
- Stefan, Guldin. (2013). “ Inorganic Nanoarchitectures by Organic Self Assembly”, Springer Cham Heidelberg, New York, Dordrecht London, 2190-5061.
- Wenzhi C, Qijin C, and Fengyan Z. (2014). “The Applied Research and Solar Simulator Spectral Design Based On Pulse Xenon Lamp with Coating Film”. 7th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Optical Test and Measurement Technology and Equipment, 928207.
- Widaryanti, H. (2010). “Pembentukan Nanopartikel TiO<sub>2</sub> Fasa Anatase dan Rutile Dengan Metode Bervariasi” Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- William,, J.C. et al. (2003). “*Progress in Structural Materials for Aerospace Systems* (51st ed.)”. Acta Materialia. pp. 5775–5799.
- Won, J.L, et al. (2008). “Electrochemical approach to enhance the open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) of dye-sensitized solar cells (DSSCs)”. Konkuk University, Seoul, Republic of Korea.
- Yadong Qi, Kit L. Chin, Fatimah, Mila Berhane, Janet Gager. (2005). “Biological Characteristics, Nutritional and Medicinal Value of Roselle, (Hibiscus Sabdariffa)”. Circular UFN, No.604 March.
- Yam, V. W. W. (2010). “*Woleds and Organic Photovoltaics*”. New York : Springer-Verlag.
- Zhang, H dan Banfield, J.F.(2000). “Understanding Polymorphic Phase Transformation Behavior during Growth of Nanocrystalline Aggregates: Insights from TiO<sub>2</sub>”. *J Phys Chem B*, vol. 104, pp. 3481.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dengan nama lengkap MUSYARO'AH lahir di Lamongan, pada tanggal 10 Juni 1990, putri ke dua dari pasangan Nur Achsin dan Zahrotul Musyarofah. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Al-Islamiah Parengan, MI Al-Islamiah Parengan (1996-2002), SMPN 1 Maduran (2002-2005), SMA WACHID HASJIM Maduran (2005-2008). Pada tahun 2008 penulis diterima di Jurusan Fisika ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN. Di Jurusan Fisika ITS ini penulis mengambil Bidang Studi Instrumentasi. Kemudian penulis melanjutkan ke jenjang strata 2 pada tahun 2014 bulan Agustus dengan NRP 1114 201 004. Penulis menyelesaikan studinya dengan judul tesis **“FABRIKASI DAN KARAKTERISASI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) BERBASIS  $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ ”** di bawah bimbingan Bapak Endarko.

Untuk keterangan lebih jelas mengenai tesis ini dapat menghubungi penulis melalui email; [musya.saroh@gmail.com](mailto:musya.saroh@gmail.com)