

**FABRIKASI NANOFIBER TiO<sub>2</sub> MENGGUNAKAN  
METODE *ELECTROSPINNING* PADA SEL SURYA BERBASIS  
*DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS* DAN *ORGANIC SOLAR CELLS***

**TESIS**

Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Magister  
Program Studi Ilmu Fisika



**Oleh:**

**NOVITA ASMA ILAHI**

**NIM S911502005**

**PROGRAM STUDI ILMU FISIKA  
PASCASARJANA  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA**

**2017**

LEMBAR PERSETUJUAN

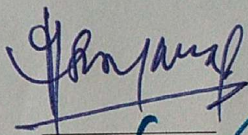
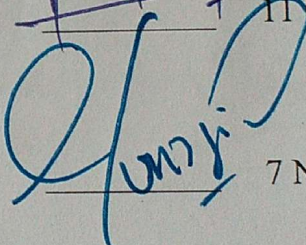
FABRIKASI NANOFIBER  $TiO_2$  MENGGUNAKAN  
METODE *ELECTROSPINNING* PADA SEL SURYA BERBASIS  
*DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS* DAN *ORGANIC SOLAR CELLS*

TESIS

Oleh

Novita Asma Ilahi

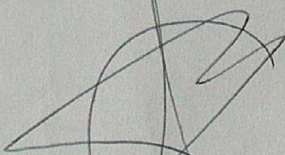
S911502005

Komisi	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Pembimbing			
Pembimbing I	Dr. Eng. Risa Suryana, M.Si. NIP. 19710831200003 1 005		11 Oktober 2017
Pembimbing II	Dr. Fahru Nurosyid, M.Si. NIP. 19721013200003 1 002		7 November 2017

Telah dinyatakan memenuhi syarat

Pada tanggal 15 November 2017

Ketua Program Studi Ilmu Fisika  
Pascasarjana UNS



Prof. Drs. Cari, M.A., M.Sc., Ph.D.

NIP. 19610306198503 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

FABRIKASI NANOFIBER TiO<sub>2</sub> MENGGUNAKAN  
METODE *ELECTROSPINNING* PADA SEL SURYA BERBASIS  
*DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS* DAN *ORGANIC SOLAR CELLS*

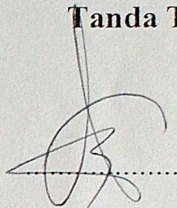
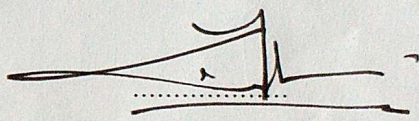
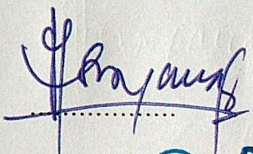
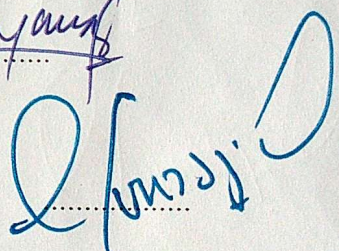
TESIS

Oleh:

Novita Asma Ilahi

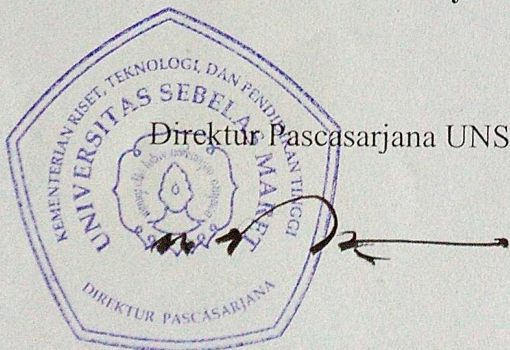
S911502005

Tim Penguji

Komisi Pembimbing	Nama	Tanda Tangan
Ketua	Prof. Drs. Cari, M.A.,M.Sc.,Ph.D NIP. 19610306 198503 1 002	
Sekretaris	Dr. Agus Supriyanto, M.Si NIP. 19690826 199903 1 001	
Anggota Penguji	Dr. Eng. Risa Suryana, M.Si NIP. 19710831 200003 1 005	
	Dr. Fahru Nurosyid, M.Si NIP. 19721013 200003 1 002	

Telah dinyatakan lulus pada 22 Desember 2017

Mengetahui,

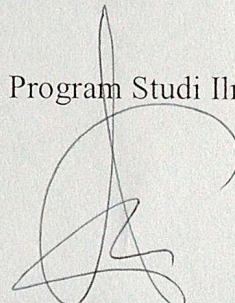


Direktur Pascasarjana UNS

Prof.Dr. M. Furqon Hidayatullah, M.Pd

NIP. 19600727 198702 1 001

Kepala Program Studi Ilmu Fisika



Prof. Drs. Cari, M.A.,M.Sc.,Ph.D

NIP. 19610306 198503 1 002

## PERNYATAAN ORISINALITAS DAN PUBLIKASI

Saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tesis yang berjudul: **“FABRIKASI NANOFIBER  $TiO_2$  MENGGUNAKAN METODE ELECTROSPINNING PADA SEL SURYA BERBASIS *DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS* DAN *ORGANIC SOLAR CELLS*”** ini adalah karya penelitian saya sendiri dan bebas plagiat, serta tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik, serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali secara tertulis digunakan sebagai acuan dalam naskah dan disebutkan dalam sumber acuan serta daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan (Permendiknas No. 17, tahun 2010).
2. Publikasi sebagian atau keseluruhan isi dari tesis ini pada jurnal atau forum ilmiah lain harus seijin dan menyertakan tim pembimbing sebagai penulis dan PPs-UNS sebagai institusinya. Apabila dalam waktu sekurang-kurangnya satu semester (enam bulan sejak pengesahan tesis) saya tidak melakukan publikasi dari sebagian atau keseluruhan tesis ini, maka PPs-UNS berhak mempublikasikannya pada jurnal ilmiah yang diterbitkan oleh Prodi Ilmu Fisika PPs-UNS. Apabila saya melakukan pelanggaran dari ketentuan publikasi ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik yang berlaku.

Surakarta, 28 November 2017

Mahasiswa



Novita Asma Ilahi

NIM S911052005

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul, “Fabrikasi Nanofiber  $\text{TiO}_2$  Menggunakan Metode *Electrospinning* Pada Sel Surya Berbasis *Dye-Sensitized Solar Cells* dan *Organic Solar Cells*”. Penulisan tesis ini bertujuan untuk memenuhi sebagian persyaratan guna memperoleh gelar magister pada Program Studi Ilmu Fisika Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang banyak membantu dalam penulisan tesis ini, terutama kepada:

1. Bapak Prof. Dr. M. Furqon Hidayatullah, M.Pd., selaku Direktur Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Bapak Prof. Dr. Cari, M.A., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Ilmu Fisika Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta, sekaligus sebagai penguji I tesis yang telah banyak memberikan masukan dan saran kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tesis ini.
3. Bapak Dr. Eng. Risa Suryana, M.Si., selaku pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tesis.
4. Bapak Dr. Fahru Nurosyid, M.Si., selaku pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tesis ini.
5. Bapak Dr. Agus Supriyanto, M.Si., selaku penguji II yang telah memberikan masukan dan saran kepada penulis.
6. Bapak dan Ibu dosen Program Studi Ilmu Fisika Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta yang telah banyak memberikan pendidikan dan pengajaran dalam bidang fisika.
7. Akademik Pascasarjana UNS yang telah membantu dalam urusan administrasi.
8. Kedua orang tua dan saudara penulis yang selalu mendoakan dan memberikan semangat.
9. Teman-teman Program Studi Ilmu Fisika Pascasarjana UNS yang telah memberikan dukungan dan semangat.

Penulis menyadari bahwa dalam tesis ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan, hal ini dikarenakan kemampuan penulis yang masih sangat terbatas. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surakarta, 28 November 2017

Penulis

**FABRIKASI NANOFIBER TiO<sub>2</sub> MENGGUNAKAN  
METODE *ELECTROSPINNING* PADA SEL SURYA BERBASIS  
*DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS* DAN *ORGANIC SOLAR CELLS***

Novita Asma Ilahi  
Program Studi Ilmu Fisika Pascasarjana  
Universitas Sebelas Maret

**ABSTRAK**

*Nanofiber* (NF) TiO<sub>2</sub> telah berhasil dibuat dengan menggunakan metode *electrospinning*. NF TiO<sub>2</sub> diaplikasikan dalam *dye-sensitized solar cells* (DSSC) dan *organic solar cells* (OSC). Larutan TiO<sub>2</sub> disintesis dari campuran bahan PVP, *acetic acid*, etanol, dan TTIP. Kemudian larutan dimasukkan ke dalam *syringe*. Tegangan *electrospinning* adalah 25 kV, sedangkan jarak ujung *needle syringe* ke kolektor adalah 15 cm. Substrat FTO ditempelkan di atas permukaan kolektor. Waktu pelapisan adalah 10, 15, 30, dan 45 menit. Struktur *sandwich* DSSC terdiri dari FTO, NF TiO<sub>2</sub>, *dye* lumut, elektrolit I/I<sup>3-</sup>, dan karbon sebagai katalis. Rata-rata diameter NF TiO<sub>2</sub> adalah sekitar 900 nm diperoleh dari gambar AFM. Dari kurva *I-V* dihitung bahwa efisiensi DSSC terbesar adalah ketika waktu pelapisan 15 menit. NF TiO<sub>2</sub> memiliki fungsi selain sebagai penyerap *dye* juga sebagai perangkap foton. Berdasarkan hal tersebut maka waktu pelapisan 15 menit digunakan dalam OSC. Struktur OSC terdiri dari FTO, NF TiO<sub>2</sub>, MEH-PPV, dan Al sebagai kontak. Pelapisan MEH-PPV di atas FTO menggunakan *spin coater*. Variasi MEH-PPV adalah 1 lapis, 2 lapis, 3 lapis, dan 4 lapis. Berdasarkan gambar penampang lintang SEM maka diperoleh bahwa ketebalan untuk masing-masing lapis adalah 0,88 μm (1 lapis), 1,20 μm (2 lapis), 2,35 μm (3 lapis), 5,82 μm (4 lapis). *Spektrofotometer UV-Vis* memperlihatkan bahwa daerah serapan muncul pada rentang 300-350 nm dan 400-500 nm yang berkaitan dengan NF TiO<sub>2</sub> dan MEH-PPV. Sehingga disimpulkan bahwa keberadaan dua bahan tersebut dapat memperlebar daerah serapan foton. Berdasarkan perhitungan kurva *I-V* maka diperoleh bahwa efisiensi terbesar OSC adalah ketebalan 0,88 μm (1 lapis). Hal ini berkaitan dengan panjang difusi elektron dari tempat berpisahannya eksiton menuju elektroda. Oleh karena itu, ketebalan MEH-PPV lebih dari 1 lapis diduga terlalu jauh bagi elektron sehingga dimungkinkan terjadinya rekombinasi elektron-*hole* sebelum mencapai elektroda.

**Kata kunci:** TiO<sub>2</sub> nanofiber, *Dye bryophyta*, MEH-PPV, *Electrospinning*, *Spin Coater*.

**FABRICATION OF NANOFIBER TiO<sub>2</sub> USING ELECTROSPINNING  
METHOD BASED ON DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS  
AND ORGANIC SOLAR CELLS**

Novita Asma Ilahi  
Graduate of Physics Program  
Universitas Sebelas Maret

**ABSTRACT**

Nanofiber (NF) TiO<sub>2</sub> has been successfully fabricated using electrospinning method. NF TiO<sub>2</sub> was applied in dye-sensitized solar cells (DSSC) and organic solar cells (OSC). TiO<sub>2</sub> solution was synthesized from a mixture of PVP, acetic acid, ethanol, and TTIP. Then the solution was put into the syringe. Electrospinning voltage was 25 kV, while the distance of needle syringe tip to collector was 15 cm. The FTO substrate was mounted onto collector. Coating time was 10, 15, 30, and 45 minutes. The sandwich structure of DSSC consists of FTO, NF TiO<sub>2</sub>, dye bryophyta, electrolyte I/I<sup>3-</sup>, and carbon as a catalyst. The average diameter of NF TiO<sub>2</sub> was about 900 nm obtained from the AFM image. From calculation on the I-V curve, the maximum of DSSC efficiency was obtained when coating time at 15 minutes. NF TiO<sub>2</sub> had function other than as a dye absorber as well as a photon trap. According to highest efficiency, the coating time at 15 min was chosen in application of OSC. The OSC structure consists of FTO, NF TiO<sub>2</sub>, MEH-PPV, and Al as a metal contacts. The MEH-PPV was deposited onto the FTO surface using a spin coating method. Variation of MEH-PPV was 1 layer, 2 layers, 3 layers, and 4 layers. Based on SEM cross-sectional image, it was found that the thickness for each layer of MEH-PPV was 0.88 μm (1 layer), 1.20 μm (2 layers), 2.35 μm (3 layers), 5.82 μm (4 layers). UV-Vis spectrophotometer showed that the absorption area appeared in the range 300-350 nm and 400-500 nm associated with NF TiO<sub>2</sub> and MEH-PPV. Therefore, it is concluded that the existence of these two materials can broaden the absorption area of photons. Based on the calculation of I-V curve, it is obtained that the highest efficiency when MEH-PPV thickness at 0.88 μm (1 layer). It is supposed that this correlated to the diffusion length of electron from a place where exciton separated and move toward each electrode. Therefore, thickness of MEH-PPV over 1 layer is assume too far for the electrons to move toward electrode so that it is possible the electron-hole recombination occurs before it reaches the electrode.

**Keyword:** TiO<sub>2</sub> nanofiber, Dye bryophyta, MEH-PPV, Electrospinning, Spin Coater.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS DAN PUBLIKASI .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR SIMBOL .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Batasan Masalah .....	4
D. Tujuan Penelitian .....	4
E. Manfaat Penelitian .....	4
BAB II LANDASAN TEORI .....	5
A. Tinjauan Pustaka .....	5
1. Sel Surya Organik .....	5
2. Prinsip Sel Surya Organik <i>Heterojunction</i> .....	8
3. <i>Dye-sensitized Solar Cells</i> .....	9
4. Karakteristik Material Sel Surya .....	12
a) <i>Titanium Dioxide</i> .....	12
b) MEH-PPV .....	13
c) <i>Dye Organik Alam</i> .....	13
5. Foton <i>Trapping</i> Nanofiber .....	15

6. Karakteristik Arus-Tegangan ( <i>I-V</i> ) Sel Surya.....	17
7. Karakteristik Optik Material.....	18
8. Karakteristik Scanning Electron Microscopy (SEM) .....	19
B. Penelitian yang Relevan .....	20
C. Kerangka Berpikir .....	23
D. Hipotesis .....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
A. Waktu dan Tempat Penelitian .....	24
B. Tatalaksana Penelitian .....	24
1. Bahan dan Alat Penelitian .....	25
2. Metode Penelitian .....	26
3. Prosedur Penelitian .....	27
a. Persiapan .....	27
b. Prosedur Pembuatan Sel Surya Berbasis DSSC .....	28
c. Prosedur Pembuatan Sel Surya Berbasis OSC .....	30
d. Karakterisasi Sel Surya .....	32
1) Karakterisasi Optik (Absorbansi) .....	32
2) Karakterisasi SEM .....	32
3) Karakterisasi Listrik .....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
A. Karakterisasi dan Analisa Fotovoltaik DSSC .....	33
1. Karakterisasi Optik Larutan <i>Dye</i> dan TiO <sub>2</sub> .....	33
2. Karakterisasi Morfologi Lapisan TiO <sub>2</sub> Nanofiber .....	39
3. Karakterisasi <i>I-V</i> Sel Surya .....	42
B. Karakterisasi dan Analisa Fotovoltaik OSC .....	46
1. Karakterisasi Optik Lapisan MEH-PPV .....	46
2. Karakterisasi Ketebalan Lapisan MEH-PPV .....	49
3. Karakterisasi Arus dan Tegangan ( <i>I-V</i> ) Sel Surya Organik .....	51
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>55</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tahapan proses pembangkit <i>photocurrent</i> sel surya organik .....	7
Gambar 2.2	a) Diagram pita energi materil organik .....	9
	b) Skema <i>device heterojunction bilayer</i> .....	9
Gambar 2.3	Struktur DSSC .....	10
Gambar 2.4	Prinsip Kerja DSSC .....	11
Gambar 2.5	Struktur molekuler klorofil .....	15
Gambar 2.6	Bentuk kurva <i>I-V</i> sel surya organik .....	17
Gambar 2.7	Ilustrasi penurunan intensitas radiasi pada material .....	19
Gambar 3.1	Diagram alir penumbuhan TiO <sub>2</sub> nanofiber dan karakterisasi sel surya berbasis DSSC .....	26
Gambar 3.2	Diagram alir penumbuhan TiO <sub>2</sub> /MEH-PPV dan karakterisasi sel surya berbasis OSC .....	27
Gambar 3.3	Karakterisasi arus-tegangan pada DSSC .....	30
Gambar 3.4	Desain <i>organic solar cells</i> .....	31
Gambar 4.1	Kurva absorbansi <i>dye bryophyta</i> .....	34
Gambar 4.2	Kurva absorbansi TiO <sub>2</sub> nanofiber berdasarkan variasi waktu .....	35
Gambar 4.3	Kurva absorbansi pergeseran panjang gelombang puncak TiO <sub>2</sub> nanofiber setelah penanaman molekul <i>dye</i> .....	37
Gambar 4.4	Kurva perbandingan absorbansi lapisan TiO <sub>2</sub> nanofiber dan <i>dye bryophyta</i> .....	39
Gambar 4.5	Hasil pengamatan foto SEM morfologi dan diameter serat semikonduktor TiO <sub>2</sub> nanofiber .....	40
Gambar 4.6	Hasil karakterisasi AFM nanofiber TiO <sub>2</sub> setelah annealing .....	42

Gambar 4.7	Grafik karakterisasi sifat listrik arus dan tegangan ( <i>I-V</i> ) DSSC .....	43
Gambar 4.8	Kurva absorbansi lapisan MEH-PPV dan lapisan TiO <sub>2</sub> nanofiber .....	46
Gambar 4.9	Absorbansi lapisan MEH-PPV, lapisan TiO <sub>2</sub> , dan lapisan campuran MEH-PPV dengan TiO <sub>2</sub> .....	48
Gambar 4.10	Foto SEM ketebalan lapisan polimer MEH-PPV .....	49
Gambar 4.11	Grafik karakterisasi <i>I-V</i> sel surya organik .....	51

## DAFTAR SIMBOL

$\eta$	= Efisiensi
$P_{max}$	= Daya maksimum yang dihasilkan sel surya
$P_{in}$	= Daya <i>input</i> yang berasal dari cahaya
$V_{oc}$	= Tegangan <i>open circuit</i>
$I_{sc}$	= Arus <i>short circuit</i>
$V_{max}$	= Tegangan maksimum yang dihasilkan sel surya
$I_{max}$	= Arus maksimum yang dihasilkan sel surya
$FF$	= <i>Fill factor</i>
$I$	= Intensitas
$T$	= Transmittansi
$A$	= Absorbansi