

**PELAPISAN NANOPARTIKEL DAN NANOFIBER TITANIUM DIOXIDE
(TiO₂) DI ATAS FLUORINE-DOPED TIN OXIDE (FTO) UNTUK
APLIKASI DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)**



Disusun oleh:

**DIAH AYU ERYMAWATI
M0211017**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
Januari, 2016**

**HALAMAN PERSETUJUAN
SKRIPSI**

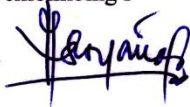
Pelapisan Nanopartikel dan *Nanofiber Titanium Dioxide* (TiO₂) di Atas *Fluorine-Doped Tin Oxide* (FTO) untuk Aplikasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Oleh :

**DIAH AYU ERYMAWATI
M0211017**

Telah Disetujui Oleh

Pembimbing I



Dr. Eng. Risa Suryana, S.Si., M.Si.

NIP. 19710831 200003 1 005

Tanggal 04/01/2016

Pembimbing II



Dr. Eng. Kusumandari, S.Si., M.Si.

NIP. 19810518 200501 2 002

Tanggal 05-01-2016

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul : Pelapisan Nanopartikel dan *Nanofiber Titanium Dioxide* (TiO₂) di atas *Fluorine-Doped Tin Oxide* (FTO) untuk Aplikasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Yang ditulis oleh :

Nama : Diah Ayu Erymawati

NIM : M0211017

Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada

Hari : Rabu

Tanggal : 13 Januari 2016

Ketua Penguji:

1. Dr. Fahu Nurosyid, S.Si., M.Si.

NIP. 19721013 200003 1 002

Sekretaris Penguji

2. Dr. Yofentina Iriani, S.Si., M.Si

NIP. 19711227 199702 2 001

Anggota Penguji I

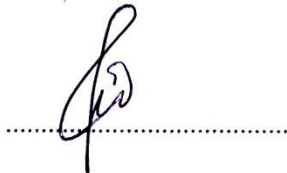
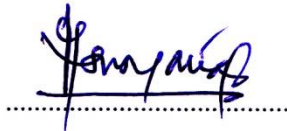

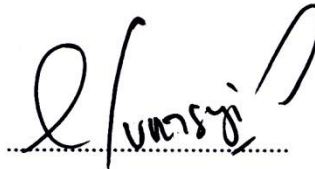
3. Dr. Eng. Risa Suryana, S.Si., M.Si.

NIP. 19710831 200003 1 005

Anggota Penguji II

4. Dr. Eng. Kusumandari, S.Si., M.Si.

NIP. 19810518 200501 2 002



Disahkan pada tanggal 21-01-2016

Oleh

Kepala Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret Surakarta



Dr. Fahu Nurosyid, S.Si, M.Si.

NIP. 19721013 200003 1 002

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual Skripsi saya yang berjudul “Pelapisan Nanopartikel dan *Nanofiber Titanium Dioxide* (TiO₂) di atas *Fluorine-Doped Tin Oxide* (FTO) untuk Aplikasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)” adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini. Skripsi tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Universitas Sebelas Maret atau di Perguruan Tinggi lainnya kecuali telah dituliskan di daftar pustaka. Skripsi ini dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis di bagian ucapan terimakasih. Isi Skripsi ini boleh dirujuk atau difotokopi secara bebas tanpa harus memberitahu penulis.

Surakarta, 5 Januari 2016

Diah Ayu Erymawati

MOTTO



“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan”

(Al Insyirah : 5-6)

“The mind is not a book to be opened at will and examined at leisure”

(Severus Snape – Harry Potter Cast)

“There will be time when you’re tired of pleasing other people and focus on pleasing Allah. That time is called growing up”

(Maestrouzy)

”Logic will get you from A to B. Imagination will take you everywhere”

(Albert Einstein)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, karya ini khusus saya persembahkan kepada :

Bapak dan Ibu yang sangat saya cintai

Adik saya yang sangat saya sayangi

Sahabat-sahabat saya yang selalu ada untuk saya

Keluarga besar Fisika FMIPA UNS Angkatan 2011

Seseorang yang selalu ada dan selalu memberi semangat pada saya

Pembaca

**Pelapisan Nanopartikel dan *Nanofiber Titanium Dioxide (TiO₂)* di Atas
Fluorine-Doped Tin Oxide (FTO) untuk Aplikasi *Dye-Sensitized Solar Cell*
(DSSC)**

DIAH AYU ERYMAWATI

Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sebelas Maret

ABSTRAK

Nanofiber TiO₂ telah berhasil dibuat dari material *Titanium (IV) Isopropoxide (TTIP)*, *Acetic Acid*, *Ethanol*, dan *Polivynil Pyrolidone (PVP)* menggunakan *electrospinning*. Lapisan *nanofiber* dibuat di atas lapisan nanopartikel yang dideposisi dengan menggunakan *spin coating*. Lapisan *nanofiber* dibuat dengan variasi waktu pelapisan yaitu 10 menit, 15 menit dan 20 menit dengan suhu *annealing* yang sama yaitu 450°C selama 3 jam. Fase *nanofiber TiO₂* dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dan morfologi *nanofiber TiO₂* diamati menggunakan *Atomic Force Microscopy (AFM)*. Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* dapat diperoleh dari kurva arus-tegangan I-V meter. Pola difraksi XRD *nanofiber TiO₂* menunjukkan semua puncak adalah fase *anatase*. *Nanofiber TiO₂* mempunyai diameter rata-rata 781 nm. *Nanofiber TiO₂* pada waktu pelapisan 15 menit tersebar merata di atas FTO dibanding dengan waktu pelapisan 10 menit dan 20 menit. Sehingga waktu pelapisan 15 menit dipilih untuk aplikasi DSSC dengan *β-carotene* wortel sebagai *dye*, larutan I³/I sebagai elektrolit dan lapisan karbon sebagai katalis. Pelapisan *nanofiber* di atas lapisan nanopartikel dapat meningkatkan efisiensi DSSC sekitar 20% dibandingkan dengan hanya lapisan nanopartikel saja. Hal ini diperkirakan bahwa *nanofiber* berfungsi dominan sebagai penjebak foton sedang nanopartikel berfungsi dominan sebagai penyerap *dye* sehingga interaksi antara foton dan *dye* semakin banyak. Interaksi foton dan *dye* menghasilkan elektron. Banyaknya elektron yang dihasilkan dapat meningkatkan efisiensi.

Kata Kunci : *Electrospinning*, *TiO₂*, *nanofiber*, *β-carotene*, DSSC

Nanofibers and Nanoparticles TiO₂ Layer on FTO Substrates in DSSC Applications

DIAH AYU ERYMAWATI

Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Sebelas Maret University

ABSTRACT

TiO₂ nanofiber has successfully fabricated from material Titanium (IV) Isopropoxide (TTIP), Acetic Acid, Ethanol, and Polivynil Pyrolidone (PVP) using electrospinning. Nanofiber layer deposited onto nanoparticles layer that deposited using spin coating. Fabrication of time is 10 min, 15 min and 20 min with the same annealing temperature i.e. 450°C for 3 h. Nanofiber phase TiO₂ are characterized by X-Ray Diffraction (XRD) and nanofiber morphology TiO₂ observed by Atomic Force Microscopy (AFM). Efficiency of Dye-sensitized Solar Cell (DSSC) can be obtained from the current-voltage curve from I-V Meters. Diffraction XRD patterns shows TiO₂ nanofiber have dominantly anatase phase. TiO₂ nanofiber have diameter in range 781 nm. TiO₂ nanofiber which made in 15 min produces many distribution layer compared TiO₂ nanofiber which made in 10 min and 20 min. So, fabrication time in 15 min was chosen for application of DSSC with β -carotene of carrots as a dye, a solution I³⁻ / I⁻ as electrolyte and carbon as the catalyst. Nanofiber and nanoparticles TiO₂ layer can improve the efficiency of DSSC approximately 20% compared with DSSC using nanoparticles layer only. It is estimated that the nanofiber have dominant function as photons trap and nanoparticles have dominant function as dye absorber which cause more interaction between photons and dye. Interactions of photons and dye produces electrons. The number of electrons produces can improve efficiency.

Keyword : Electrospinning, TiO₂, nanofiber, β -carotene, DSSC

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah S.W.T atas segala-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Teguran, hidayah, anugerah dan beragam kenikmatan mewarnai penyelesaian skripsi ini.

Skripsi yang penulis susun sebagai bagian dari syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains ini berjudul “Pelapisan Nanopartikel dan *Nanofiber Titanium Dioxide* (TiO₂)) di atas *Fluorine-Doped Tin Oxide* (FTO) untuk Aplikasi *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)”. Penyelesaian skripsi ini tidak serta merta namun turut tersumbang keringat, buah fikir dan kesabaran yang dipersembahkan oleh beberapa pihak. Oleh karena itu dengan merendahkan diri serendah-rendahnya, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ngatiyo, S.Sos. dan Ibu Warsiti Siti Purwandari, S.Pd atas kasih sayang, doa, motivasi dan segala dukungannya baik moril dan materiil sehingga studi dan skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Dr. Eng. Risa Suryana, S.Si., M.Si. selaku pembimbing I dan pembimbing akademik. Terimakasih atas kebaikan dan senantiasa dengan kesabaran membimbing sejak awal persiapan hingga skripsi ini dapat selesai. Serta dengan sepenuh hati mendidik dan memberikan motivasi selama studi di tiap semester.
3. Dr. Eng. Kusumandari, S.Si., M.Si. selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing hingga penyelesaian skripsi ini.
4. Bapak Junaidi dan pihak-pihak LPP UGM yang telah membantu dalam proses pengambilan data penelitian sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
5. Adik saya yang tersayang Febri Dwiki Wijaya yang telah mewarnai hari-hari dengan kebersamaan dan ikatan persaudaraan yang hangat.
6. Mas Ilham Glempung yang selalu ada, memberikan dukungan, memberi semangat, memberi motivasi yang tiada henti dicurahkan hingga terselesainya tugas akhir ini.
7. Harlina, Bella, Rosalia, Femy, Lidya, Dini, Dinasti, Ratna, Ari Maya dan Endang Sahabat sekaligus saudara yang selalu ada menemani dan mendukung

dalam segala keadaan yang selalu menemani, saling mendukung, saling membantu dan mewarnai hari hari penulis.

8. Keluarga “Kos Dua Sedjoli” Ratna dan Arini atas kebersamaan di setiap hari-hari dan selalu mendukung satu sama lain.
9. Keluarga *Material Research Group* (Leila, Sehati, Fitria, Maya, Lutfi, Fildzah dll) yang selalu memberikan motivasi dan selalu sedia untuk saling bertukar ilmu untuk membantu penyelesaian penelitian ini.
10. Keluarga besar Fisika 2011 yang memberikan kenangan tersendiri.
11. Semua pihak yang terkait yang tidak dapat di sebutkan satu persatu.

Semoga Allah S.W.T membalas jerih payah dan pengorbanan yang telah diberikan dengan balasan yang lebih baik. Penulis berharap semoga karya kecil ini bermanfaat.

Surakarta, 5 Januari 2016

Diah Ayu Erymawati

HALAMAN PUBLIKASI

Sebagian skripsi saya yang berjudul “*Pelapisan Nanopartikel dan Nanofiber Titanium Dioxide (TiO₂) di atas Fluorine-Doped Tin Oxide (FTO) untuk Aplikasi Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)*” dipublikasikan di Repositori Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN ABSTRAK	vii
HALAMAN ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
HALAMAN PUBLIKASI	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR SIMBOL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Batasan Masalah	3
1.3. Perumusan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. <i>Dye Sensitizer Solar Cell (DSSC)</i>	5
2.2. Prinsip Kerja <i>Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)</i>	6
2.3. Material DSSC	7
2.3.1. Substrat	7
2.3.2. <i>Titanium Dioxide (TiO₂)</i>	7
2.3.3. <i>Dye Sensitizer</i>	8
2.3. 4. Elektrolit	10
2.3.5. Elektroda Lawan	10
2.4. Nanopartikel	11
2.5. <i>Nanofiber</i>	11
2.6. Metode Pelapisan TiO ₂	12
2.6.1. Metode <i>Spin Coating</i>	12
2.6.2. Metode <i>Electrospinning</i>	13
2.7. <i>Spectrophotometer UV-Vis</i>	14
2.8. <i>Atomic Force Microscopy (AFM)</i>	14
2.9. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	14
2.10. Kurva Karakteristik I-V	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	17

3.2.1. Alat Penelitian.....	17
3.2.2. Bahan Penelitian.....	19
3.3. Metode Penelitian.....	19
3.3.1. Persiapan	20
3.3.2. Karakterisasi Morfologi Serbuk TiO ₂	21
3.3.3. Karakterisasi Absorbansi <i>UV-VIS</i> TiO ₂	21
3.3.4. Pembuatan <i>Nanofiber</i> TiO ₂	21
3.3.4.1. Sintesis TiO ₂	21
3.3.4.2. Pembuatan <i>nanofiber</i> TiO ₂ dengan <i>Electrospinning</i>	22
3.3.5. Karakterisasi <i>Nanofiber</i> TiO ₂	22
3.3.5.1. Karakterisasi Absorbansi <i>Nanofiber</i> TiO ₂	22
3.3.5.2. Karakterisasi Morfologi serta Ukuran <i>Nanofiber</i> TiO ₂	22
3.3.5.3. Karakterisasi Struktur Kristal <i>Nanofiber</i> TiO ₂	23
3.3.6. Ekstraksi <i>β-carotene</i> Wortel.....	23
3.3.7. Karakterisasi <i>Dye β-carotene</i>	23
3.3.8. Pembuatan Lapisan TiO ₂	23
3.3.8.1. Deposisi TiO ₂ Nanopartikel	23
3.3.8.2. Deposisi <i>Nanofiber</i> TiO ₂	24
3.3.9. Karakterisasi Absorbansi Lapisan TiO ₂	24
3.3.10. Pembuatan Larutan Elektrolit.....	25
3.3.11. Pembuatan Elektroda Lawan.....	25
3.3.12. Fabrikasi DSSC	25
3.3.13. Karakterisasi <i>I-V Meter</i> DSSC	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1. Karakterisasi Fase Kristal TiO ₂ Nanopartikel dan <i>Nanofiber</i>	28
4.2. Karakterisasi Morfologi serta Ukuran <i>Nanofiber</i> TiO ₂ dan TiO ₂ Nanopartikel dengan <i>Nanofiber</i> TiO ₂	29
4.3. Karakterisasi Absorbansi <i>Dye β-carotene</i>	31
4.4. Karakterisasi Absorbansi Lapisan TiO ₂ dengan Tehnik <i>Spin Coating</i> Sebelum dan Sesudah Direndam <i>Dye β-carotene</i>	33
4.5. Karakteristik Sifat Listrik DSSC	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1. Kesimpulan.....	40
5.2. Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	46

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Hasil Karakteristik I-V DSSC.....	38
Tabel L2.1. Data Sudut 2θ , d <i>Database</i> , d Hitungan, dan Fase Kristal yang terbentuk pada Serbuk TiO ₂ Nanopartikel berukuran 21 nm (Aldrich).....	47

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Struktur DSSC	5
Gambar 2.2. Skema Kerja dari DSSC	6
Gambar 2.3. Struktur dari β -carotene	9
Gambar 2.4. Spektrum UV dari β -carotene standar dan β -carotene dari Ekstrak Wortel.....	9
Gambar 2.5. Skema Pembuatan Bahan <i>Fiber</i> dengan Alat <i>Electrospinning</i>	13
Gambar 2.6. Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya.....	15
Gambar 3.1. Alur Proses Penelitian	20
Gambar 3.2. Gambar Area Deposisi Lapisan TiO ₂	24
Gambar 3.3. Struktur DSSC pada Penelitian	26
Gambar 3.4. Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya.....	27
Gambar 4.1. Pola Difraksi Hasil Karakterisasi XRD Serbuk TiO ₂ Nanopartikel dan <i>Nanofiber</i>	29
Gambar 4.2. Morfologi Lapisan <i>Nanofiber</i> TiO ₂ dengan Variasi Waktu Pelapisan (a) 10 Menit (b) 15 Menit (c) 20 Menit dengan Temperature <i>Annealing</i> 450°C.....	30
Gambar 4.3. Morfologi dan Ukuran (a) <i>Nanofiber</i> TiO ₂ (b) <i>Nanofiber</i> TiO ₂ di Atas TiO ₂ nanopartikel	31
Gambar 4.4. Hasil Ekstraksi β -Carotene.....	32
Gambar 4.5. Spektrum Absorbansi β -carotene Hasil Ekstraksi.....	32
Gambar 4.6. Spektrum Absorbansi Lapisan TiO ₂ Nanopartikel Teknik <i>Spin Coating</i>	33
Gambar 4.7. Spektrum Absorbansi Lapisan TiO ₂ Nanopartikel dan <i>Nanofiber</i> TiO ₂ Pelapisan 10 Menit.....	34
Gambar 4.8. Spektrum Absorbansi Lapisan TiO ₂ Nanopartikel dan <i>Nanofiber</i> TiO ₂ Pelapisan 15 Menit.....	34
Gambar 4.9. Spektrum Absorbansi Lapisan TiO ₂ Nanopartikel dan <i>Nanofiber</i> TiO ₂ Pelapisan 20 menit.....	35
Gambar 4.10. Grafik Kurva Karakterisasi I-V DSSC pada Elektroda Kerja (a) Lapisan TiO ₂ Nanopartikel (b) Lapisan TiO ₂ Nanopartikel dan <i>Nanofiber</i> TiO ₂ Pelapisan 10 Menit (c) Lapisan TiO ₂ Nanopartikel dan <i>Nanofiber</i> TiO ₂ Pelapisan 15 Menit (d) Lapisan TiO ₂ Nanopartikel dan <i>Nanofiber</i> TiO ₂ Pelapisan 20 Menit..	36
Gambar 4.11. Skema Penentuan I_{max} , V_{max} , I_{sc} , dan V_{oc} dari Kurva I-V	37

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
P_{in}	Daya Keluaran	Watt (W)
P_{out}	Daya Masukan	Watt (W)
V_{oc}	Tegangan <i>Open Circuit</i>	Volt (V)
I_{sc}	Arus <i>Short Circuit</i>	Ampere (A)
FF	<i>Fill Factor</i>	-
V_{max}	Tegangan Maksimum	Volt (V)
I_{max}	Arus Maksimum	Ampere (A)
η	Efisiensi	Persen (%)
I	Intensitas Cahaya	Watt/m ² (W/m ²)
A	Luas	Meter ² (m ²)
p	Panjang	Meter (m)
l	Lebar	Meter (m)
n	Orde Pemantulan	-
λ	Panjang Gelombang	Nanometer (nm)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. <i>Database</i> JCPDS Kristal TiO ₂	46
Lampiran 2. Data Hasil Perhitungan untuk Analisa Hasil XRD.....	47
Lampiran 3. Perhitungan Efisiensi DSSC.....	48