

**FABRIKASI SEMIKONDUKTOR *ZINC OXIDE* (ZnO)  
NANOFIBER DENGAN *DOPING* ALUMINIUM SEBAGAI  
PHOTOANODA *SINGLE LAYER* DAN *DOUBLE LAYER* PADA  
*DYE-SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**



Oleh:

**BAYU SUTANTO**  
NIM. 10412012

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2016**



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET - FAKULTAS TEKNIK  
**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

Jl Ir Sutami No. 36A Ketingan Surakarta Telp. 0271 632163 web: mesin.ft.uns.ac.id

**SURAT TUGAS PEMBIMBING DAN PENGUJI TUGAS AKHIR  
PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN UNS**

Program Studi : **S1 Teknik Mesin**

Nomor : **0680/TA/S1/12/2015**

Nama : **BAYU SUTANTO**  
NIM : **I0412012**  
Bidang : **Konversi Energi**  
Pembimbing 1 : **DR. TECHN SUYITNO., MT./197409022001121002**  
Pembimbing 2 : **ZAINAL ARIFIN, ST,MT/197303082000031001**  
Penguji : **1. DR ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT/ 197106151998021002**  
**2. AGUNG TRI WIJAYANTA, M.Eng., Ph.D./**  
**197108311997021001**  
**3. Dr. BUDI KRISTIAWAN, ST., MT./ 197104251999031001**

Mata Kuliah Pendukung

- 1. ENERGI SURYA(MS06093-10)**
- 2. KOMPUTASI PERPINDAHAN PANAS(MS06053-10)**
- 3. TURBIN(MS04043-15)**

Judul Tugas Akhir

**"FABRIKASI SEMIKONDUKTOR ZINC OXIDE (ZnO)  
NANOFIBER DENGAN DOPING ALUMINIUM, SEBAGAI  
PHOTOANODA SINGLE LAYER DAN DOUBLE LAYER  
PADA DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)"**



Surakarta, 2016-04-11 09:58:01  
Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin,

**DR ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT**  
**NIP. 197106151998021002**

Tembusan :

1. Mahasiswa ybs.
2. Dosen Pembimbing TA ybs.
3. Koordinator TA.
4. Arsip.

**FABRIKASI SEMIKONDUKTOR ZINC OXIDE (ZnO) NANOFIBER DENGAN DOPING ALUMINIUM SEBAGAI PHOTOANODA SINGLE LAYER DAN DOUBLE LAYER PADA DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)**

Disusun Oleh

**BAYU SUTANTO**  
NIM : **10412012**

Dosen Pembimbing 1



**DR. TECHN SUYITNO., MT.**  
NIP. **197409022001121002**

Dosen Pembimbing 2



**ZAINAL ARIFIN, ST,MT**  
NIP. **197303082000031001**

Telah dipertahankan di depan Tim Dosen Penguji pada tanggal **22-04-2016**, pukul **13:00:00**, bertempat di **M.101, Gd. 1 FT-UNS.**

1. DR ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT  
197106151998021002
2. AGUNG TRI WIJAYANTA, M.Eng., Ph.D.  
197108311997021001
3. Dr. BUDI KRISTIAWAN, ST., MT.  
197104251999031001



Kepala Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret  
Surakarta



**DR ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT**  
NIP. **197106151998021002**

Koordinator Tugas Akhir



**DR. NURUL MUHAYAT, ST,MT**  
NIP. **197003231998021001**

## **HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN**

Dengan ini saya menyatakan sesungguhnya bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Jika terdapat hal-hal yang tidak sesuai dengan ini, maka saya bersedia derajat kesarjanaan saya dicabut.

Surakarta, April 2016

Bayu Sutanto

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Alhamdulillahirobilalamin, dengan penuh mengucapkan rasa syukur  
kepada Allah SWT, karya ini ingin saya persembahkan  
kepada.....*

*Ibuku tercinta Sularmi yang selalu menyisipkan doa mustajab untuk  
kesuksesan anak-anaknya,  
Bapakku tercinta Warno Handoyo yang telah bekerja keras  
menghidupi keluarga,  
Kakakku Arif Antono yang selalu memberikan semangat serta  
dukungan  
Serta seluruh keluarga yang berada di Wonogiri*

*Bapak Dr. tech. Suyitno, S.T., M.T., dan Bapak Zainal Arifin,  
S.T., M.T., yang memberikan bimbingan, kedisiplinan dan naluri  
keilmiahan*

*Para Dosen yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat untuk dunia  
dan akhirat*

*Sahabat-sahabatku Camro 2012 yang selalu berbagi keceriaan serta  
pergaulan yang positif*

*Bengawan Team UNS yang menjadi tempat berkeaktifitas,  
berkompetisi secara ilmiah dan keteknikan*

## HALAMAN MOTTO

*Maka nikmat Tuhan kamu yang manakah yang kamu dustakan?*

*(Ar-Rahman diulangi hingga 31 ayat)*

*Percaya itu baik, tetapi mengecek lebih baik lagi*

*(BJ Habibie)*

*Segala sesuatu terjadi karena ada alasannya, dan setiap permasalahan di dunia*

*ini Insya Allah akan selalu ada penyelesaiannya. Teruslah berikhtiar dan*

*berdoa karena kesuksesan dan keberuntungan tidak akan mendatangi orang*

*yang bermalas-malasan*

*(Bayu Sutanto)*

**FABRIKASI SEMIKONDUKTOR ZINC OXIDE (ZnO) NANOFIBERS  
DENGAN DOPING ALUMINIUM SEBAGAI PHOTOANODA SINGLE  
LAYER DAN DOUBLE LAYER PADA DYE-SENSITIZED SOLAR CELL  
(DSSC)**

**Bayu Sutanto**

Program Studi Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret  
Surakarta, Indonesia  
E-mail: bayu.sutanto@student.uns.ac.id

**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan photoanoda *single layer* dan *double layer* dengan ZnO *didoping* aluminium (AZO) untuk memperbaiki unjuk kerja *dye-sensitized solar cells* (DSSC). Photoanoda tersusun dari *fluorine-doped tin oxide* (FTO), semikonduktor dan pewarna. Photoanoda *single layer* dibuat dengan mendeposisikan secara langsung AZO nanofiber pada FTO melalui metode elektrospinning. Photoanoda *double layer* dibuat dengan menyemprotkan larutan  $TiCl_4$  ke permukaan FTO pada temperatur  $70^\circ C$  kemudian dilapisi dengan AZO nanofiber melalui metode *doctor blade*. Kedua photoanoda direndam dalam pewarna N719 selama 24 jam dan selanjutnya dirakit menjadi DSSCs. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai  $V_{OC}$ ,  $J_{SC}$ ,  $FF$ , dan efisiensi dari DSSCs dengan photoanoda *single layer* masing-masing adalah 584,69 mV, 1,811 mA/cm<sup>2</sup>, 38,76%, dan 0,4110%. Sedangkan untuk DSSC dengan photoanoda *double layer* memiliki nilai  $V_{OC}$ ,  $J_{SC}$ ,  $FF$ , dan efisiensi sebesar 706.86 mV, 2.607 mA/cm<sup>2</sup>, 51.03%, dan 0.9403%. Fabrikasi photoanoda *double layer* mampu meningkatkan efisiensi DSSCs hingga 2,3 kali dibandingkan DSSC dengan photoanoda *single layer*.

**Kata kunci:** ZnO *didoping* aluminium (AZO), unjuk kerja DSSC, nanofiber, photoanoda *single layer* dan *double layer*

**FABRICATION OF ALUMINIUM-DOPED ZINC OXIDE (AZO)  
NANOFIBER SEMICONDUCTORS AS SINGLE LAYER AND DOUBLE  
LAYER PHOTOANODE FOR DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSCs)**

**Bayu Sutanto**

Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Engineering, Sebelas Maret University  
Surakarta, Indonesia  
E-mail: bayu.sutanto@student.uns.ac.id

**Abstract**

*The research aims to produce single layer and double layer photoanode with Al-doped ZnO (AZO) for improving the performance of dye-sensitized solar cells (DSSCs). The photoanode consists of fluorine-doped tin oxides (FTOs), semiconductors, and dyes. The single layer photoanode was carried out by the direct deposition of AZO nanofibers on the FTOs using an electrospinning method. The double layer photoanode was made by the spray of  $\text{TiCl}_4$  solution on the layer of FTOs at a temperature of  $70^\circ\text{C}$  followed by coating of AZO nanofibers using a doctor blade method. Both of photoanodes were immersed in N719 dyes for 24 hours then fabricated into DSSCs. The characteristic of DSSCs was evaluated under the irradiation of  $100 \text{ mW/cm}^2$ . The results show that  $V_{OC}$ ,  $J_{SC}$ , FF, and efficiency of DSSCs based on singlelayer photoanode were 584.69 mV,  $1.811 \text{ mA/cm}^2$ , 38.76%, and 0.4110%, respectively. Meanwhile, the respective  $V_{OC}$ ,  $J_{SC}$ , FF, and efficiency of DSSCs based on double layer photoanode were 706.86 mV,  $2.607 \text{ mA/cm}^2$ , 51.03%, and 0.9403%. Therefore, the fabrication of double layer photoanode can increase the efficiency of DSSCs up to 2.3 time compared by DSSCs with single layer photoanode.*

**Keywords:** *Al-doped ZnO (AZO), performance of dye-sensitized solar cells, nanofibers, single layer and double layer photoanode*



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirrabbi lalamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Fabrikasi Semikonduktor *Zinc Oxide* (ZnO) Nanofiber dengan *Doping* Aluminium sebagai Photoanoda *Single Layer* dan *Double Layer* pada *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC)”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Atas terselesainya skripsi ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih untuk segala bantuan selama penelitian dan penyusunan skripsi. Sehingga penulis akan mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tuaku Warno Handoyo dan Sularmi, serta kakakku Arif Antono dan seluruh saudara dirumah yang selalu mendoakan dan memberi nasehat.
2. Bapak Dr. techn. Suyitno, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama riset dan penyusunan skripsi.
3. Bapak Zainal Arifin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama riset dan penyusunan skripsi.
4. Bapak Dr. Eng. Syamsul Hadi, S.T., M.T., Bapak Agung Tri Wijayanta, S.T., M.Eng., Ph.D dan Bapak Dr. Budi Kristiawan, S.T., M.T. selaku dosen penguji skripsi.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu, motivasi dan inspirasi selama menjalani masa perkuliahan.
6. Rekan-rekan di Laboratorium Nano Bioenergi: Husein Jaya Andhika, Zadid Insani, Dewi Utami, Yudha Virgantara Agustia, Dedi Subagyo, Catur Harsito, Bambang Sudomo, Mas Suratno dan Pak Basuki yang saling membantu dan kompak untuk berjuang bersama selama riset.

7. Seluruh mahasiswa Teknik Mesin yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan semangat untuk segera menyelesaikan masa studi.
8. Keluarga besar Bengawan Team yang telah memberikan banyak pengalaman dan kegiatan positif selama masa perkuliahan.

Penulis berharap semoga skripsi ini mampu memberi manfaat, wawasan dan inspirasi bagi siapa saja yang membacanya. Namun penulis juga menyadari bahwa masih terdapat kekurangan di dalam skripsi ini, sehingga penulis juga mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar karya tulis berikutnya dapat lebih baik lagi.

Surakarta, April 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah dan Batasan Masalah .....	4
1.3 Tujuan dan Manfaat Penulisan .....	5
1.4 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA .....	6
2.1 Tinjauan Pustaka .....	6
2.1.1 Peranan Semikonduktor pada DSSC .....	6
2.1.2 Proses <i>Doping</i> pada Semikonduktor .....	8
2.1.3 Photoanoda <i>Double Layer</i> .....	11
2.2 Dasar Teori .....	13
2.2.1 <i>Dye-Sensitized Solar Cell</i> (DSSCs) .....	13
2.2.2 Karakteristik DSSC .....	15
2.2.3 Proses Elektrospinning .....	17
BAB III METODE PENELITIAN .....	20
3.1 Tempat Penelitian .....	20
3.2 Alat dan Bahan .....	20
3.3 Alur Penelitian .....	22
3.4 Analisa Data .....	27
3.5 Jadwal Penelitian .....	28
BAB IV HASIL DAN ANALISIS DATA .....	29
4.1 Hasil Uji XRD Semikonduktor AZO .....	29
4.2 Hasil Uji SEM Semikonduktor AZO .....	30
4.3 Pengujian <i>Band gap</i> Semikonduktor AZO .....	33
4.4 Pengukuran <i>Dye Loading</i> dari Semikonduktor AZO .....	35
4.5 Unjuk Kerja DSSC dengan Semikonduktor AZO <i>Single Layer</i> .....	39
4.6 Unjuk Kerja DSSC dengan Semikonduktor AZO <i>Double Layer</i> .....	41

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	47
5.1 Kesimpulan .....	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA .....	48
LAMPIRAN.....	54

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kelebihan dan kekurangan material semikonduktor untuk DSSC (Ooyama, Y. and Harima, Y., 2012).....	6
Tabel 2.2. Hasil penelitian terdahulu tentang pengaruh proses <i>doping</i> pada semikonduktor.....	9
Tabel 3.1. Skema pengujian sel surya DSSC.....	28
Tabel 3.2. Jadwal Penelitian.....	28
Tabel 4.1. Ukuran kristal dari setiap <i>doping</i> aluminium pada ZnO.....	30
Tabel 4.2. Ukuran diameter nanofiber semikonduktor ZnO pada setiap variasi <i>doping</i> aluminium .....	32
Tabel 4.3. Karakteristik DSSC dengan photoanoda <i>single layer</i> .....	40
Tabel 4.4. Karakteristik DSSC dengan photoanoda <i>double layer</i> .....	42

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Skema struktur nanofiber semikonduktor pada DSSC (Lupan, O., et al., 2012).....	2
Gambar 1.2. Diagram level energi $E_f$ dari $\text{TiO}_2$ terhadap elektrolit $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ (Ooyama, Y. and Harima, Y., 2012).....	3
Gambar 2.1. Ilustrasi pergerakan elektron pada nanopartikel (Mohammed, A.L.R. and Rohani, S., 2011).....	8
Gambar 2.2. Skema photoanoda <i>double layer</i> dengan menggunakan $\text{TiO}_2$ <i>hollow sphere</i> (HS) dan <i>nano sphere</i> (NS) (Zhao, L., et al., 2013) .....	12
Gambar 2.3. Skema prinsip kerja dan level energi pada DSSC (Gratzel, M., 2003) .....	13
Gambar 2.4. Skema <i>losses</i> aliran elektron di dalam DSSC (Ooyama, Y. and Harima, Y., 2012) .....	14
Gambar 2.5. Skema sirkuit pengukuran DSSC (Tobin, L.L., et al., 2011) .....	15
Gambar 2.6. Kurva arus-tegangan ( $I$ - $V$ curve) pada DSSC (Tobin, L.L., et al., 2011) .....	16
Gambar 2.7. Skema ilustrasi konsep elektrospinning (Li, D. and Xia, Y., 2004) .....	17
Gambar 2.8. Gaya yang bekerja pada proses elektrospinning (Harsojo, et al., 2013) .....	18
Gambar 3.1. Mesin elektrospinning untuk memproduksi nanofiber.....	20
Gambar 3.2. Skema proses elektrospinning.....	23
Gambar 3.3. Skema proses <i>sputtering</i> .....	25
Gambar 3.4. Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 4.1. Hasil uji XRD semikonduktor Al-ZnO .....	29
Gambar 4.2. Hasil foto SEM semikonduktor AZO nanofiber untuk setiap variasi <i>doping</i> Aluminium .....	31
Gambar 4.3. Metode <i>Tauc's plot</i> dalam menentukan <i>band gap</i> semikonduktor ZnO disetiap variasi <i>doping</i> Al .....	34
Gambar 4.4. Nilai energi <i>band gap</i> semikonduktor ZnO untuk setiap variasi <i>doping</i> Al .....	34
Gambar 4.5. Spektrum absorbansi <i>dye</i> yang telah diserap semikonduktor <i>single layer</i> .....	36
Gambar 4.6. Besarnya <i>dye loading</i> oleh semikonduktor ZnO disetiap variasi <i>doping</i> Al .....	37
Gambar 4.7. Spektrum absorbansi <i>dye</i> yang telah diserap oleh semikonduktor <i>double layer</i> .....	38
Gambar 4.8. Besarnya <i>dye loading</i> dari photoanoda <i>double layer</i> disetiap variasi <i>doping</i> Al.....	38

Gambar 4.9. Kurva I-V dari setiap sampel photoanoda <i>single layer</i> semikonduktor AZO DSSC .....	39
Gambar 4.10. Kurva I-V dari setiap sampel photoanoda <i>double layer</i> semikonduktor AZO DSSC .....	41
Gambar 4.11. Perbandingan nilai <i>dye loading</i> dari photoanoda <i>single layer</i> dan <i>double layer</i> disetiap variasi <i>doping</i> Al.....	42
Gambar 4.12. Ukuran diameter nanofiber semikonduktor ZnO disetiap variasi <i>doping</i> aluminium .....	43
Gambar 4.13. Perbandingan efisiensi DSSC photoanoda <i>single layer</i> dengan <i>double layer</i> .....	44
Gambar 4.14. Unjuk kerja DSSC dengan photoanoda AZO <i>nanograss film</i> (Zhu, S., et al., 2013) .....	46

## DAFTAR NOTASI

$c$	= Kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$ m/s)
$D$	= Ukuran kristal (nm)
$F_C$	= Gaya Coulomb (Newton)
$F_H$	= Gaya hidrodinamika (Newton)
$F_\gamma$	= Gaya muatan (Newton)
$FF$	= <i>Fill factor</i>
$h$	= Konstanta Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$ J.s)
$h\nu$	= Energi foton (Joule atau eV)
$I$	= Intensitas cahaya matahari ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )
$J_{SC}$	= <i>Short-circuit photocurrent density</i> ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )
$k$	= Konstanta
$P_{MPP}$	= <i>Power at maximum power point</i> (mW)
$\nu$	= Frekuensi cahaya (Hz)
$V_{OC}$	= <i>Open-circuit voltage</i> (Volt)
$\alpha$	= Koefisien absorbansi
$\lambda$	= Panjang gelombang (nm)
$\beta$	= Lebar penuh pada setengah intensitas maksimum atau FWHM (rad)
$\varepsilon$	= Koefisien ekstrinsik molar larutan ( $\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ )
$\eta$	= Efisiensi (%)
$\theta$	= Sudut difraksi ( $^\circ$ )