

**SIMULASI PROPAGASI CAHAYA PADA *TRANSPARENT  
CONDUCTIVE OXIDE* (TCO) UNTUK APLIKASI  
*DYE SENSITIZED SOLAR CELLS* (DSSC)**



**Disusun oleh:  
ISNAINI LILIS ELVIYANTI  
M0211037**

**SKRIPSI**

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

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
Desember, 2015**

*commit to user*

**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi dengan judul : Simulasi Propagasi Cahaya Pada *Transparent Conductive Oxide* (TCO) Untuk Aplikasi *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC)

Yang ditulis oleh:

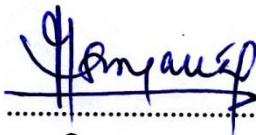
Nama : Isnaini Lilis Elviyanti  
NIM : M0211037

Telah diuji dewan penguji pada

Hari : Rabu  
Tanggal : 28 Oktober 2015

Anggota Tim Penguji:

1. Ketua Penguji  
Dr. Eng. Risa Suryana, S.Si., M.Si.  
NIP 1971 0831 2000 03 1 005
2. Sekretaris Penguji  
Dr. Fuad Anwar, S.Si., M.Si.  
NIP. 1970 0610 2000 03 1 001
3. Anggota Penguji I  
Dr. Eng. Kusumandari, S.Si., M.Si.  
NIP. 1981 0518 2005 01 2 002
4. Anggota Penguji II  
Drs. Hery Purwanto, M.Sc.  
NIP 1959 0518 1987 03 1 002



.....



.....



.....



.....

Disahkan pada tanggal 2 Desember 2015

Oleh

Kepala Prodi Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sebelas Maret Surakarta



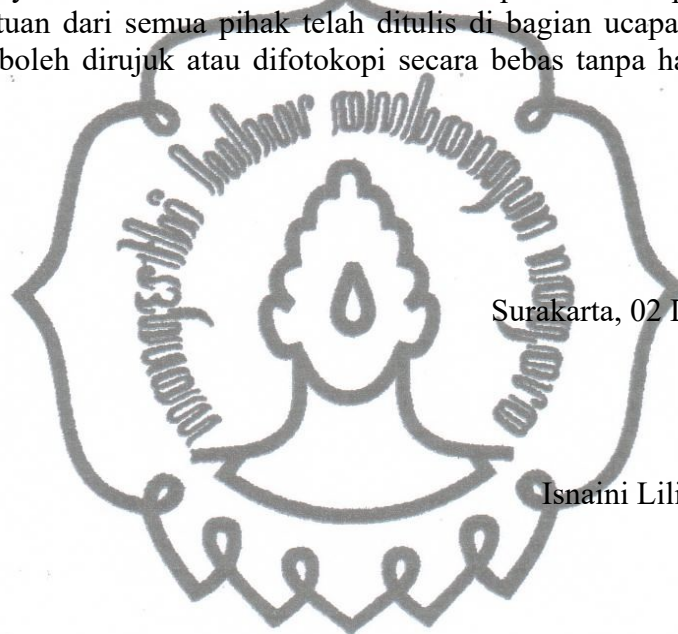
**Dr. Fahru Nurosyid, S.Si., M.Si.**

NIP 1972 1013 2000 03 1 002

*commit to user*

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual Skripsi saya yang berjudul “Simulasi Propagasi Cahaya Pada *Transparent Conductive Oxide* (TCO) Untuk Aplikasi *Dye Sensitized Solar Cells* (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, 02 Desember 2015

Isnaini Lilis Elviyanti

## MOTTO

Luruskan Niat, Bersihkan Hati, Sempurnakan Ikhiyar

Q.S. Al-Fatihah Ayat 1-7:

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang(1) Segala puji bagi Allah, Tuhan semesta alam (2) Maha Pemurah lagi Maha Penyayang (3) Yang menguasai hari pembalasan (4) Hanya kepada Engkaulah kami menyembah dan hanya kepada Engkaulah kami mohon pertolongan (5) Tunjukilah kami jalan yang lurus (6) (yaitu) jalan orang-orang yang telah Engkau anugerahkan nikmat kepada mereka, bukan (jalan) mereka yang dimurkai dan bukan (pula jalan) mereka yang sesat (7).

Q.S. Toha Ayat 25-28:

“Dia Musa berkata Wahai pemeliharaKu, lapangkanlah dadaku (25) Dan mudahkanlah untukku urusanku (26) dan lepaskanlah kekakuan dari lidahku (27) agar mereka mengerti perkataanku (28)”

Q.S. Al-Baqarah Ayat 255

Allah, tidak ada tuhan selain Dia. Yang Maha Hidup, Yang terus-menerus mengurus makhlukNya, tidak mengantuk dan tidak tidur. MilikNya apa yang ada di langit dan di bumi. Tidak ada yang memberi syafaat di sisiNya tanpa izinNya. Dia mengetahui apa yang di hadapan mereka dan apa yang di belakang mereka, dan mereka tidak mengetahui sesuatu apa pun tentang ilmuNya melainkan apa yang Dia kehendaki. KursiNya meliputi langit dan bumi. Dia tidak merasa berat memelihara keduanya, dan Dia Maha Tinggi, Maha Besar.

Q.S. Al-Baqarah Ayat 286:

“Ya Tuhan kami, janganlah Engkau hukum kami jika kami lupa atau kami salah.

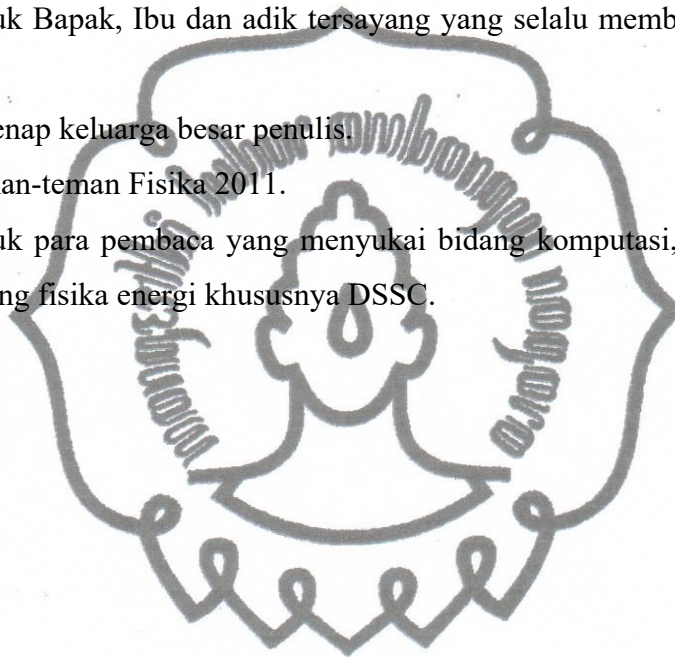
Ya Tuhan kami, janganlah Engkau bebankan kepada kami beban yang berat sebagaimana Engkau bebankan kepada orang-orang yang sebelum kami. Ya Tuhan kami, janganlah Engkau pikulkan kepada kami apa yang tidak sanggup kami memikulnya. Berilah maaf kami, ampunilah kami, dan rahmatilah kami.

Engkaulah penolong kami, maka tolonglah kami terhadap kaum yang kafir.

## PERSEMBAHAN

Karya ini penulis persembahkan untuk :

1. Allah SWT, Tuhan seluruh alam yang telah memberi rahmat, nikmat, hidayah dan inayahNya kepada penulis.
2. Nabi Muhammad SAW yang selalu menjadi suri tauladan penulis.
3. Untuk Bapak, Ibu dan adik tersayang yang selalu memberi dukungan dan doa.
4. Segenap keluarga besar penulis.
5. Teman-teman Fisika 2011.
6. Untuk para pembaca yang menyukai bidang komputasi, elektromagnetik, bidang fisika energi khususnya DSSC.



**Simulasi Propagasi Cahaya Pada *Transparent Conductive Oxide* (TCO)  
Untuk Aplikasi *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC)**

**Isnaini Lilis Elviyanti**

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Sebelas Maret

**ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian tentang simulasi pemodelan pada *Transparent Conductive Oxide* (TCO) menggunakan metode *Finite Difference Time Domain* (FDTD) 2 Dimensi (2D). Metode ini dilakukan dengan *software* MatLab 7.11. TCO yang digunakan pada simulasi ini yaitu *Flourine Tin Oxide* (FTO) dan *Indium Tin Oxide* (ITO). Pada simulasi ini dilakukan variasi permukaan TCO yaitu permukaan datar dan pola piramida. Piramida divariasikan sudut puncaknya yaitu  $70,58^\circ$ ,  $38,01^\circ$  dan  $28,32^\circ$ . Hasil simulasi TCO pola piramida memiliki transmitansi yang lebih tinggi dibandingkan TCO permukaan datar. Simulasi TCO pola piramida pada sudut puncak  $28,32^\circ$  memiliki nilai transmitansi yang paling tinggi dibandingkan sudut puncak  $70,58^\circ$  dan  $38,01^\circ$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa perlakuan *surface texturing* pada TCO dapat memperbesar transmitansi cahaya yang melewati TCO.

Kata Kunci : FDTD 2D, TCO, DSSC, transmitansi, *surface texturing*.

## **Simulation Propagation Of Light On Transparent Conductive Oxide (TCO) To The Application Of Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)**

**Isnaini Lilis Elviyanti**

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

### **ABSTRACT**

The purpose of this research is simulate the propagation of light on transparent conductive oxide (TCO) for dye sensitized solar cells (DSSC) application. This simulation use finite difference time domain (FDTD) 2 dimensions (2D) method is performed using MatLab software. Flourine tin oxide (FTO) and indium tin oxide (ITO) were used as TCO materials in this simulation. This simulation use flat and pyramid surface texturing with open angle of  $70,58^\circ$ ,  $38,01^\circ$  and  $28,32^\circ$ . as a result, the transmittance of pyramid TCO is higher that the flat one. Futhermore, the pyramid TCO with  $28,32^\circ$  of open angle has the highest transmittance. It can be conclude that surface textured treatment on surface of TCO is being an alternatif method to increase the efficiency of DSSC through light harvesting.

Keyword: FDTD 2D, TCO, DSSC, transmittance, surface texturing.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas penyusunan skripsi sebagai bagian dari syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains ini yang berjudul “Simulasi Propagasi Cahaya Pada *Transparent Conductive Oxide* (TCO) untuk Aplikasi *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC)” dapat diselesaikan dengan baik.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang selalu memberikan berkat, rahmat, taufik dan hidayah-Nya kepada penulis.
2. Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan penulis dalam setiap langkah kehidupan.
3. Ibu Dr.Eng. Kusumandari, S.Si., M.Si selaku pembimbing I yang selalu membimbing dengan sabar, memberi pengarahan dan memberi nasehat selama penulisan skripsi.
4. Bapak Drs. Hery Purwanto, M.Sc selaku pembimbing II yang selalu membimbing dengan sabar, memberi pengarahan dan memberi nasehat selama penulisan skripsi.
5. Bapak Dr. Fahru Nurosyid, S.Si, M.Si selaku Kepala Program Studi Fisika FMIPA UNS.
6. Staff Fisika FMIPA UNS yang telah membantu dalam kelancaran penyelesaian skripsi.
7. Kedua orang tua, adik dan segenap keluarga besar yang selalu memberi dukungan serta doa agar penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi.
8. Teman-teman Fisika 2011 yang memberi dukungan dan doa.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu persatu yang telah membantu dalam penyelesaian penulisan skripsi.



Akhirnya, dengan segala kerendahan hati penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan-kekurangan. Penulis berharap dari skripsi ini semoga dapat bermanfaat.

Surakarta, 02 Desember 2015

Isnaini Lilis Elviyanti



## HALAMAN PUBLIKASI

No	Judul	Penulis	Jenis Publikasi
1	Simulasi Transmisi Cahaya Pada <i>Fluorine Doped Tin Oxide</i> (FTO) untuk Aplikasi <i>Dye Sensitized Solar Cells</i> (DSSC) menggunakan metode <i>Finite Difference Time Domain</i> (FDTD) 2 Dimensi (2D)	Isnaini Lilis Elviyanti, Kusumandari, Hery Purwanto	Repository di: <a href="http://digilib.mipa.uns.co.id/detailartikel-2059">http://digilib.mipa.uns.co.id/detailartikel-2059</a> , 1 April 2015
2	Optical Simulation Of Surface Textured TCO Using FDTD Method	Isnaini Lilis Elviyanti, Kusumandari, Hery Purwanto	Seminar Internasional : 10 <sup>th</sup> International Joint Conference on Chemistry (JCC 2015), 8 September 2015 (Poster Presentation)
3	Optical Simulation Of Surface Textured TCO Using FDTD Method	Isnaini Lilis Elviyanti, Kusumandari, Hery Purwanto	Submit ke prosiding IOP Conference Series: Material Sciences and Engineering (MSE), dengan status <i>under review</i>

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>HALAMAN ABSTRAK</b> .....	vi
<b>HALAMAN ABSTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>HALAMAN PUBLIKASI</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Batasan Masalah.....	3
1.3. Perumusan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1. Sel Surya .....	5
2.1.1. Sel Surya Silikon.....	5
2.1.2. Sel Surya Non-Silikon.....	6
2.1.2.1. <i>Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)</i> .....	6
2.2. Gelombang Elektromagnetik .....	8
2.3. <i>Light Trapping</i> .....	11
2.3. <i>Finite Different Time Domain (FDTD)</i> .....	12
2.4. Analisis <i>Fourier</i> .....	20
2.5. <i>Matrix Laboratory</i> .....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	22
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	22
3.2. Alat dan Bahan .....	22
3.3. Prosedur Penelitian.....	23
3.4. Metodologi Penelitian .....	24
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	31
4.1. Pendahuluan .....	31
4.2. Pengujian Spektrometer UV-Vis.....	31
4.3. Pulsa Gaussian .....	32
4.4. Simulasi TCO Permukaan Datar.....	33
4.5. Analisa Grafik Simulasi FDTD 2D dan Pengujian	

*commit to user*

Spektrometer UV-Vis .....	39
4.6. Simulasi TCO Pola Piramida .....	40
4.7. Analisa Grafik Simulasi TCO .....	51
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	55
5.1. Kesimpulan .....	55
5.2. Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	57
<b>LAMPIRAN</b> .....	61



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Karakteristik material untuk simulasi TCO .....	22



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Struktur Sel Surya Silikon.....	5
Gambar 2.2. Mekanisme <i>transport</i> elektron pada DSSC .....	7
Gambar 2.3. Spektrum gelombang elektromagnetik .....	8
Gambar 2.4. Pembiasan cahaya .....	10
Gambar 2.5. Mekanisme <i>light trapping</i> .....	11
Gambar 2.6. Perbedaan hamburan gelombang cahaya pada (a) permukaan datar dan (b) <i>surface texturing</i> .....	12
Gambar 2.7. Jarak medan <i>E</i> dan <i>H</i> untuk simulasi FDTD 2D yang terpolarisasi secara <i>TM</i> .....	14
Gambar 2.8. Kombinasi PML dan <i>Total field/scattered field</i> pada FDTD 2D .....	16
Gambar 3.1. Diagram alur prosedur penelitian.....	23
Gambar 3.2. Algoritma FDTD 2D pada simulasi TCO .....	25
Gambar 3.3. Bagan simulasi TCO permukaan datar .....	28
Gambar 3.4. Bagan simulasi TCO pola piramida .....	29
Gambar 4.1. Hasil transmisi pengujian <i>UV-Vis Spectrometer</i> ada (a) ITO Dan (b) FTO permukaan datar .....	32
Gambar 4.2. Perambatan pulsa Gaussian terhadap waktu perambatan .....	32
Gambar 4.3. Spektrum pulsa Gaussian .....	33
Gambar 4.4. Bagan simulasi TCO dengan permukaan datar.....	34
Gambar 4.5. Propagasi cahaya pada TCO saat $t=4,47$ fs dan $T=350$ . .....	34
Gambar 4.6. Propagasi cahaya pada (a) ITO dan (b) FTO pada permukaan datar saat $t=155,48$ fs dan $T=12175$ .....	35
Gambar 4.7. Hasil simulasi FDTD 2D pada (a) ITO dan (b) FTO permukaan datar saat $t=155,48$ fs dan $T=12175$ .....	36
Gambar 4.8. Propagasi cahaya pada (a) ITO dan (b) FTO pada permukaan datar saat $t=310,97$ fs dan $T=24350$ .....	37
Gambar 4.9. Hasil simulasi FDTD 2D pada (a) ITO dan (b) FTO permukaan datar saat $t=310,97$ fs dan $T=24350$ .....	38
Gambar 4.10. Perbandingan hasil simulasi dan pengujian pada (a) ITO dan (b) FTO .....	39
Gambar 4.11. Permukaan TCO menggunakan <i>Atomic Force Microscopy</i> (AFM).....	40
Gambar 4.12. Bagan simulasi TCO pola piramida dengan variasi sudut puncak (a) $70,58^\circ$ , (b) $38,01^\circ$ dan (c) $28,32^\circ$ .....	41
Gambar 4.13. Propagasi cahaya pada ITO dengan variasi sudut puncak (a) $70,58^\circ$ , (b) $38,01^\circ$ dan (c) $28,32^\circ$ saat $t=155,48$ fs dan $T=12175$ .....	43

*commit to user*

Gambar 4.14. Propagasi cahaya pada FTO dengan variasi sudut puncak (a) $70,58^\circ$ , (b) $38,01^\circ$ dan (c) $28,32^\circ$ saat $t=155,48$ fs dan $T=12175$ .....	44
Gambar 4.15. Hasil simulasi FDTD 2D Pada (a) ITO Dan (b) FTO variasi sudut puncak piramida saat $t=155,48$ fs dan $T=12175$ .....	45
Gambar 4.16. Propagasi cahaya pada FTO dengan variasi sudut puncak (a) $70,58^\circ$ , (b) $38,01^\circ$ dan (c) $28,32^\circ$ saat $t=310,97$ fs dan $T=24350$ .....	47
Gambar 4.17. Propagasi cahaya pada FTO dengan variasi sudut puncak (a) $70,58^\circ$ , (b) $38,01^\circ$ dan (c) $28,32^\circ$ saat $t=310,97$ fs dan $T=24350$ .....	48
Gambar 4.18. Hasil simulasi FDTD 2D Pada (a) ITO Dan (b) FTO variasi sudut puncak piramida saat $t=310,97$ fs dan $T=24350$ .....	49
Gambar 4.19. Perbandingan hasil simulasi FDTD 2D pada (a) ITO dan (b) FTO permukaan datar dan sudut puncak piramida $28,32^\circ$ .....	51
Gambar 4.20. Mekanisme <i>light trapping</i> pada simulasi TCO (a) permukaan datar dan (b) pola piramida .....	52
Gambar 4.21. Perbedaan propagasi cahaya pada piramida dengan sudut (a) besar dan (a) kecil .....	53

## DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Nilai/Satuan
$A$	Serapan	-
$B$	Rapat fluks magnetik	weber (Wb)
$D$	Pergeseran listrik	$C/m^2$
$E$	Medan listrik	$Volt/m$
$H$	Medan magnet	$Tesla$
$Tr$	Transmitansi	-
$f$	Frekuensi	$Hz$
$t$	Waktu	$Sekon$
$c$	Kecepatan cahaya	$m/sekon^2$
$\epsilon_0$	Permitivitas	$8,85 \times 10^{-12} C^2/Nm^2$
$\mu_0$	Permeabilitas	$4\pi \times 10^{-7} N/A^2$
$I_0$	Intensitas cahaya tanpa serapan	$W/m^2$
$I$	Intensitas cahaya keluar	$W/m^2$



## DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1. Algoritma simulasi TCO menggunakan FDTD 2D.....	61
Lampiran 2. Listing program simulasi TCO permukaan datar.....	71
Lampiran 3. Listing program simulasi TCO pola piramida.....	76

