



**PENGARUH VARIASI PROSES DEPOSISI *FTO* PADA KACA
TRANSPARAN TERHADAP UNJUK KERJA *DSSC***

SKRIPSI

Oleh

**Irfan Maulana Putra
131910101064**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**PENGARUH VARIASI PROSES DEPOSISI *FTO* PADA KACA
TRANSPARAN TERHADAP UNJUK KERJA *DSSC***

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Irfan Maulana Putra
131910101064

**PROGRAM STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa dengan kerendahan hati, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya Suatmaji dan Sri Rahayu yang tidak pernah lelah memberikan do'a, motivasi, didikan dan pengorbanan tiada tara, juga kasih sayang yang tulus dan tidak pernah putus.
2. Adik-adikku yang selalu memberikan motivasi, doa dan dukungan, baik moril maupun materiil serta dorongan semangat dalam pendidikan.
3. Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T. selaku pembimbing grup riset MRG 3 yang selalu membimbing saya, baik motivasi, arahan maupun saran yang tiada henti-hentinya selama riset dan dukungan baik berupa moril maupun materiil selama riset ini. Serta keluarga besar grup riset MRG yang selalu memberikan saran dan motivasi selama riset.
4. Seluruh guru dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidik dan mengarahkan pada kebaikan.
5. Saudara seperjuanganku Teknik Mesin angkatan 2013.
6. Keluarga besar PPM Syafi'ur Rohman yang selalu menemani dan memotivasi kearah yang lebih baik.
7. Almamater Universitas Jember tercinta.

MOTTO

“Adakah sama orang-orang yang mengetahui dengan orang-orang yang tidak mengetahui? Sesungguhnya orang yang berakallah yang dapat meneriam pelajaran”

(Q.S. Az-Zumar : 9)

Barang siapa menghendaki (kebaikan) dunia, maka hendaknya ia menggunakan ilmu, dan barang siapa menghendaki kebaikan akhirat, maka hendaknya menggunakan ilmu.

(Imam As- Syafi'i)

If you want to feel the really joy in life, you must suffer through the pain

(Dream Theater-Illumination Theory)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irfan Maulana Putra

NIM : 131910101064

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Pengaruh Variasi Proses Deposisi FTO pada Kaca Transparan terhadap Unjuk Kerja DSSC” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 26 Juli 2017
yang menyatakan,

Irfan Maulana Putra
NIM 131910101064

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI PROSES DEPOSISI FTO PADA KACA
TRANSPARAN TERHADAP UNJUK KERJA DSSC**

Oleh

**Irfan Maulana Putra
NIM 131910101064**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Imam Sholahuddin, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Hary Sutjahjono, S.T.,M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Proses Deposisi FTO pada Kaca Transparan terhadap Unjuk Kerja DSSC” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : 26 Juli 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Imam Sholahuddin, S.T., M.T.
NIP 19811029 2008 12 1 003

Hary Sutjahjono, S.T., M.T.
NIP 19681205 199702 1 002

Anggota I,

Anggota II,

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T.
NIP 19850117 201212 1 001

Dr. R. Koekoeh K.W, S.T., M.Eng
NIP 19670708 199412 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.
NIP 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Pengaruh Variasi Proses Deposisi FTO pada Kaca Transparan terhadap Unjuk Kerja DSSC; Irfan Maulana Putra, 131910101064; 2017; 85 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Univeritas Jember.

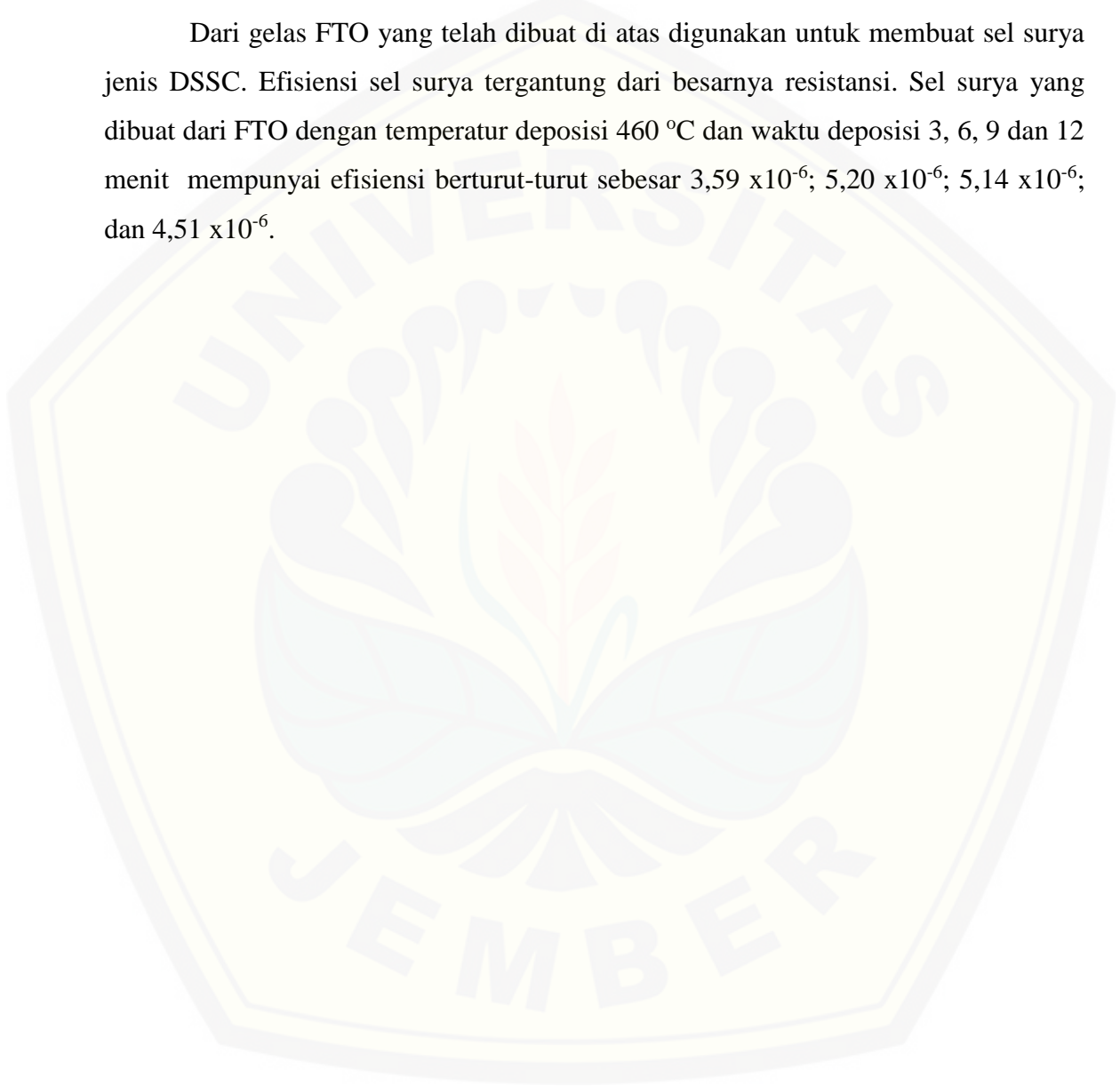
Dalam dunia material, kaca konduktif FTO (*Fluorine Tin Oxide*) memiliki banyak kegunaan dalam dunia keteknikan salah satunya digunakan sebagai material utama dalam DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) karena sifat konduktif terhadap listrik dan transparansinya. FTO bisa dibuat dengan beberapa metode, salah satu diantaranya adalah metode *spray pyrolysis deposition*. Metode ini digunakan karena pengaturan eksperimental yang sederhana dan murah, *reproducibility* dan kemampuan produksi massal yang tinggi. Berbagai variasi temperatur deposisi dan waktu deposisi dicoba untuk menemukan FTO dengan hasil resistansi yang terkecil dan transmitansi yang terbaik.

Hasil pengujian transmitansi menunjukkan hasil kaca FTO pada variasi waktu deposisi 3 menit dengan suhu 340°C memiliki tingkat transparansi yang terbaik yaitu dengan rata-rata 86,9% pada panjang gelombang 410 nm – 800 nm. Namun tingginya tingkat transparansi tidak didukung dengan rendahnya nilai resistansi pada kaca FTO. Pada temperatur 340°C memiliki nilai resistansi yang paling besar dibandingkan variasi temperatur yang lainnya. Hasil pengujian resistansi dengan nilai terendah yaitu 66,1 Ohm yang terdapat pada kaca FTO dengan temperatur deposisi 460°C dengan waktu deposisi 9 menit dan pada kaca FTO ini memiliki nilai transmitansi yang cukup bagus yaitu dengan rata-rata 76,6%. Temperatur deposisi dan waktu deposisi terbaik untuk menghasilkan kaca FTO dengan nilai transmitansi yang tinggi dan resistansi yang rendah adalah 460°C dan 9 menit.

Hasil dari pengujian XRD tingkat kristalinitas kaca FTO hingga terbaik mulai pada temperatur 380 °C, 420 °C, 460 °C dan 500 °C. Kristal yang dihasilkan adalah SnO₂ dengan struktur kristal tetragonal spektrum ini sesuai dengan JCPDS no 770541.

Ukuran kristal dan tebal lapisan dapat diketahui dengan hasil pengujian SEM. Ukuran rata – rata diameter kristal pada temperatur deposisi 380°C, 420°C, 460°C dan 500°C adalah 68 nm, 104 nm, 172 nm, dan 128 nm dengan ketebalan 466,2 nm.

Dari gelas FTO yang telah dibuat di atas digunakan untuk membuat sel surya jenis DSSC. Efisiensi sel surya tergantung dari besarnya resistansi. Sel surya yang dibuat dari FTO dengan temperatur deposisi 460 °C dan waktu deposisi 3, 6, 9 dan 12 menit mempunyai efisiensi berturut-turut sebesar $3,59 \times 10^{-6}$; $5,20 \times 10^{-6}$; $5,14 \times 10^{-6}$; dan $4,51 \times 10^{-6}$.



SUMMARY

The Effect of FTO Deposition Process on Transparent Glass to The DSSC Performance; Irfan Maulana Putra, 131910101064; 2017; 85 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Jember University.

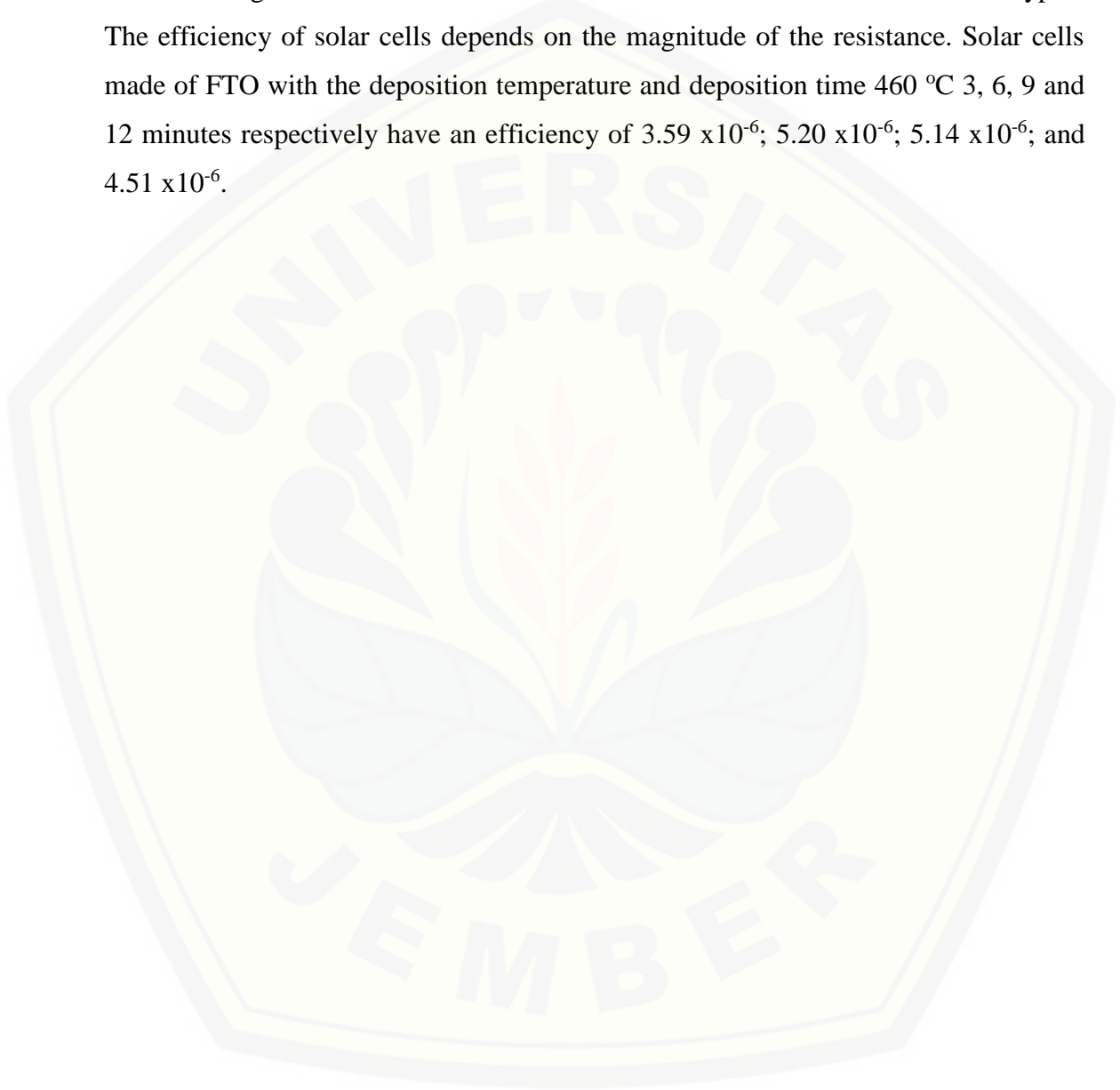
In the material world, conductive glass FTO (Fluorine Tin Oxide) has many uses in the world of engineering one of which is used as the main material in the DSSC (Dye-sensitized Solar Cell) due to electrical conductive properties and transparency. FTO can be made by several methods, one of which is pyrolysis spray deposition method. This method is used for the experimental setup is simple and inexpensive, reproducibility and high mass production capability, The wide variety of deposition temperature and deposition time trying to find the FTO with the result that the smallest resistance and the best transmittance.

The test results showed transmittance results on the FTO glass variation of deposition time 3 minutes at a temperature of 340 °C has the best level of transparency that is an average of 86.9% at a wavelength of 410 nm - 800 nm. However, the high level of transparency is not supported by the low value of resistance on FTO glass. At temperatures of 340 °C has the greatest resistance value compared to other temperature variation. Results of testing the resistance to the lowest value that is 66.1 Ohm contained on the FTO glass deposition temperature 460 °C with deposition time 9 minutes and in this FTO glass has particularly pretty good transmittance value is an average of 76.6%. Deposition temperature and deposition time FTO best to produce glass with high transmittance values and low resistance is 460°C and 9 minutes.

The results of testing the FTO glass XRD crystallinity level best to start at a temperature of 380 °C, 420 °C, 460 °C and 500 °C. The resulting crystals are SnO₂ with tetragonal crystal structure of this spectrum in accordance with JCPDS No. 770541. The size of the crystal and layer thickness can be determined by SEM test results. The average diameter size of crystal on the deposition temperature 380 °C, 420

°C, 460 °C and 500 °C is 68 nm, 104 nm, 172 nm, and 128 nm with a thickness of 466.2 nm.

FTO glass that has been made above are used to make solar cells DSSC types. The efficiency of solar cells depends on the magnitude of the resistance. Solar cells made of FTO with the deposition temperature and deposition time 460 °C 3, 6, 9 and 12 minutes respectively have an efficiency of 3.59×10^{-6} ; 5.20×10^{-6} ; 5.14×10^{-6} ; and 4.51×10^{-6} .



PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Variasi Proses Deposisi FTO pada Kaca Transparan terhadap Unjuk Kerja DSSC”. Shalawat dan salam penulis curahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menunjukkan inspirasi, suri tauladan, dan jalan yang terang bagi umat manusia dalam menjalani kehidupan di dunia. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis tidak lupa berterima kasih serta mengapresiasi semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama penyusunan skripsi ini, khususnya kepada :

1. Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Bapak Hary Sutjahjono, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan masukan dan arahan dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini. serta Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Dr. R. Koekoeh K.W, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran untuk perbaikan skripsi.
2. Rekan kerjaku dan keluarga besar MRG yang selalu memberikan dukungan, ide dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi dan pembaca.

Jember, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMBUNG.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Hipotesis.....	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sel Surya Fotovoltaik.....	5
2.1.1 Prinsip Kerja Sel Surya Konvensional Silikon	5
2.1.2 Performansi Sel Surya.....	7
2.1.2.1 Karakteristik I-V Fotofoltaik.....	7

2.1.2.2 Fill Factor dan Efisiensi Kuantum.....	8
2.2 Dye Sensitized Solar Cell.....	9
2.2.1 Pengertian DSSC.....	9
2.2.2 Struktur DSSC.....	10
2.2.3 Prinsip Kerja DSSC.....	12
2.2.4 Material DSSC.....	15
2.2.4.1 Substrat DSSC.....	15
2.2.4.2 Elektrolit.....	15
2.2.4.3 Zat Pewarna (Dye).....	16
2.3 Fluorine Tin Oxide.....	16
2.4 Metode FTO.....	18
2.5 Larutan Prekursor.....	19
2.6 Pengujian.....	19
2.6.1 X-Ray Diffraction.....	19
2.6.2 Scanning Electron Microscope (SEM).....	20
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	22
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan.....	22
3.2.1 Alat.....	22
3.2.2 Bahan	22
3.3 Prosedur Penelitian.....	23
3.4 Langkah - Langkah Pengujian Sampel.....	25
3.4.1 Uji Resistansi Kaca FTO.....	25
3.4.2 Uji Daya Maksimum Sel Surya.....	26
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	27
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Hasil Pengujian Kaca FTO	29
4.1.1 Pengujian Transmittansi.....	29
4.1.2 Pengujian Resistansi.....	32

4.1.3 Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)	35
4.1.4 Pengujian SEM.....	36
4.2 Hasil Pengujian DSSC	38
4.2.1 Perakitan DSSC.....	38
4.2.2 Pengujian Efisiensi DSSC.....	39
BAB 5. PENUTUP.....	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Struktur Sel Surya Silikon P-N Junction	6
2.2 Skema Kerja Sel Surya Silikon.....	7
2.3 Karakteristik Kurva I-V Pada Sel Surya.....	7
2.4 Struktur Dye Sensitized Solar Cell	11
2.5 Susunan Sandwich Layer dari DSSC.....	11
2.6 Ilustrasi Proses Fotokatalis	12
2.7 Skema Kerja DSSC.....	13
2.8 Gambar Kaca FTO.....	17
2.9 Bentuk Kristal SnO ₂	17
2.10 Diagram SEM	21
3.1 Diagram Alir Penelitian.	28
4.1 Gambar Permukaan FTO.	37
4.2 Gambar Cross Section.....	37
4.3 (a) Nanofiber Sebelum Proses Sintering; (b) Nanofiber Setelah Proses Sintering; (c) Perendaman Nanofiber pada Dye.	39
4.4 (a) Pemberian Lapisan Karbon; (b) Pemberian Iodine;	39
4.5 Pengujian DSSC.....	40

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Data Hasil Pengujian Resistansi.	25
3.2 Data Hasil Pengujian Daya Maksimum Sel Surya.....	26
4.1 Pengaruh Temperatur Deposisi dan Waktu Deposisi terhadap Daya Output Maksimum DSSC.....	41
4.2 Pengaruh Temperatur Deposisi dan Waktu Deposisi terhadap Efisiensi DSSC.....	41

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi sangat diperlukan dalam menjalankan aktivitas kehidupan manusia. Energi bersifat *renewable* dan *unrenewable*, namun eksplorasi sumber daya energi fosil yang bersifat *unrenewable* lebih banyak daripada eksplorasi energi yang bersifat *renewable* seperti energi matahari yang merupakan energi alternatif masa depan. DSSC (*Dye Sensitized Solar Cells*) merupakan perkembangan teknologi sel surya yang dikembangkan oleh Gretzel yang dalam konstruksinya tidak memerlukan material dengan kemurnian tinggi sehingga biaya proses produksinya relatif rendah (Rahmawati, 2016 dan Fauziah, 2013).

DSSC terdiri dari 4 komponen utama, yaitu sebuah semikonduktor tipe-n seperti partikel nano ZnO, sebuah *dye* yang sensitif (*dye sensitizer*) terhadap penyerapan cahaya tampak, elektrolit dan lapisan konduktif TCO (*Transparent Conductive Oxide*) (Fadli, 2015). Semikonduktor ZnO dengan struktur hirarkis telah memperlihatkan banyak capaian yang lebih baik pada DSSC dalam kaitan dengan area permukaan spesifik yang lebih besar untuk penyerapan *dye*. Film ZnO telah dibuat dengan morfologi rose-like dan digunakan sebagai fotoanoda pada DSSC dengan efisiensi konversi yang diperoleh 4,1% (Fujihara, 2004)

Sejauh ini *dye* yang digunakan sebagai sensitizer dapat berupa *dye* sintesis maupun *dye* alami. *Dye* sintesis umumnya menggunakan organik logam berbasis ruthenium kompleks, *dye* sintesis ini cukup mahal. Sedangkan *dye* alami dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga atau buah. Berbagai jenis ekstrak tumbuhan telah digunakan sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya tersensitisasi *dye* berupa ekstrak klorofil, karoten atau antosianin. Ekstrak *dye* atau pigmen tumbuhan yang digunakan sebagai fotosensitizer berupa ekstrak klorofil (Wang *et al.* 2006) dan karoten (Koyama *et al.* 2006) .

Sampai dengan saat ini material yang digunakan sebagai gelas transparan konduktif di antaranya adalah ITO (*Indium Tin Oxide*) dan FTO (*Flourinated Tin*

Oxide) (Widiandari, 2012). Teknik pembuatan FTO ini dengan metode *termal evaporation* (W.Y.Chung, 1994), *sputtering* (M. Ruske, 1999), *chemical vapour deposition* (D.Belanger, 1985), *sol-gel dip coating* (Q.Zao, 2011), *hydrothermal method* (Q.Chen, 1995) dan *pyrolysis deposition* (P.S.Shewale, 2010). Di antara berbagai teknik deposisi, *spray pyrolysis* cocok untuk preparasi *tin oxide thin film* karena pengaturan eksperimental yang sederhana dan murah, *reproducibility*, tingkat pertumbuhan yang tinggi, dan kemampuan produksi massal yang tinggi (Tatar, 2011).

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dapat difabrikasi menggunakan semikonduktor ZnO dan *dye* dari ekstrak terung belanda. Hasil konversi energi matahari menjadi energi listrik dengan voltase maksimum mencapai 1140 mV (Prasatya, 2013). Pembuatan gelas transparan konduktif FTO menggunakan metode *spray deposition* memiliki diameter kristal 37,045 nm dan memiliki *sheet resistace* yang rendah yakni 6,7 – 23,5 Ω /sq (Widiyandari, dkk. 2012). *Transparent conducting oxide thin Cd₂SnO₄ film* bisa dibentuk dengan memiliki resistivitas $2,43 \times 10^{-4} \Omega.m$ (Ronconi, 2009). Temperatur dan waktu annealing juga mempengaruhi pada resistivitas kaca FTO. Dalam penelitian (C. Luangchaisri. 2012) FTO memiliki resistansi 7.48×10^{-2} sampai $8.40 \times 10^{-1} \Omega.cm$ pada suhu dan waktu annealing 200 °C dan 45 menit. Temperatur deposisi juga bisa mempengaruhi resistansi, temperatur deposisi 400 °C dapat menghasilkan berkisar $6.2 \times 10^{-4} \Omega.cm$. (Chin-Ching Lin. 2009)

Dalam penelitian ini akan dibuat gelas transparansi konduktif FTO (*Fluorine Tin Oxide*) berbasis DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) menggunakan metode *spray pyrolysis deposition* seperti yang sudah dilakukan oleh peneliti yang sebelumnya. Dalam penelitian ini akan memvariasi waktu dan temperatur deposisi dalam membentuk material *thin film* yang memiliki nilai resistivitas rendah, nilai konduktivitas yang tinggi dan memiliki ukuran kristal nano.

1.2 Rumusan Masalah

Dari penjelasan diatas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur deposisi terhadap resistansi FTO dan unjuk kerja DSSC?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu deposisi terhadap resistansi FTO dan unjuk kerja DSSC?
3. Bagaimana struktur kristal FTO yang dihasilkan?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mengetahui dan memberikan gambaran mengenai masalah-masalah apa saja yang akan dibahas pada penelitian ini. Maka perlu diberikan batas pembahasan yang nantinya akan terfokus pada masalah.

Adapun batasannya adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan FTO (*Fluorinated Tin Oxide*) menggunakan metode *spray pyrolysis deposition*.
2. Pengujian yang dilakukan adalah transmitansi, resistansi, analisa struktur kristal, analisa morfologi dan efisiensi sel surya.
3. Suhu ruangan pada proses pengujian dianggap sama.
4. Pemberian 1 layer *nanofiber* ZnO

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur deposisi terhadap resistansi FTO dan unjuk kerja DSSC
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu deposisi terhadap resistansi FTO dan unjuk kerja DSSC
3. Mengetahui struktur kristal permukaan lapisan FTO

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai fabrikasi gelas transparansi konduktif *Fluorinated Tin Oxide* (FTO).
2. Memberikan keragaman penelitian masalah *Fluorinated Tin Oxide* (FTO) *Nanofilm* .

1.6 Hipotesis

Ukuran partikel lapisan SnO₂ yang dihasilkan menggunakan metode *Spray Pyrolysis Deposition* akan menjadi *thin film* yang memiliki ukuran sangat tipis. Pemberian atom *flour* yang terdapat pada larutan NH₄F saat proses pembuatan dengan dosis yang tepat dapat menurunkan nilai resistivitas dan meningkatkan nilai konduktifitas. Selain itu semakin lama waktu deposisi maka ketebalan lapisan *thin film* akan bertambah dan semakin tinggi temperatur deposisi maka kristal yang terbentuk semakin kristalin. Dengan bertambahnya tebal lapisan dan temperatur deposisi maka resistansi pada kaca FTO akan semakin kecil. Dengan nilai resistansi yang kecil pada kaca FTO, energi listrik yang mengalir dari rangkaian DSSC semakin optimal.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

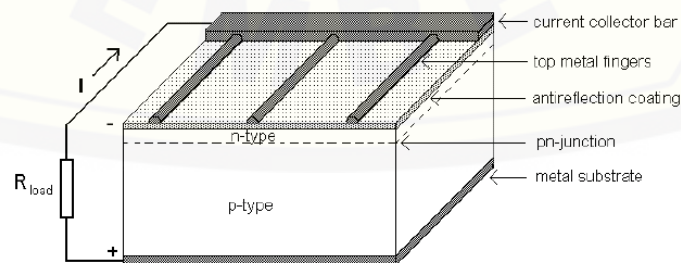
2.1 Sel Surya Fotovoltaik

Sel surya fotovoltaik merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik. Pada dasarnya sel tersebut merupakan suatu dioda semikonduktor yang bekerja menurut suatu proses khusus yang dinamakan proses tidak seimbang (*non-equilibrium process*) dan berlandaskan efek fotovoltaik (*photovoltaic effect*) (Kadir, 1995).

Efek fotovoltaik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foton 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%.

2.1.1 Prinsip Kerja Sel Surya Konvensional Silikon

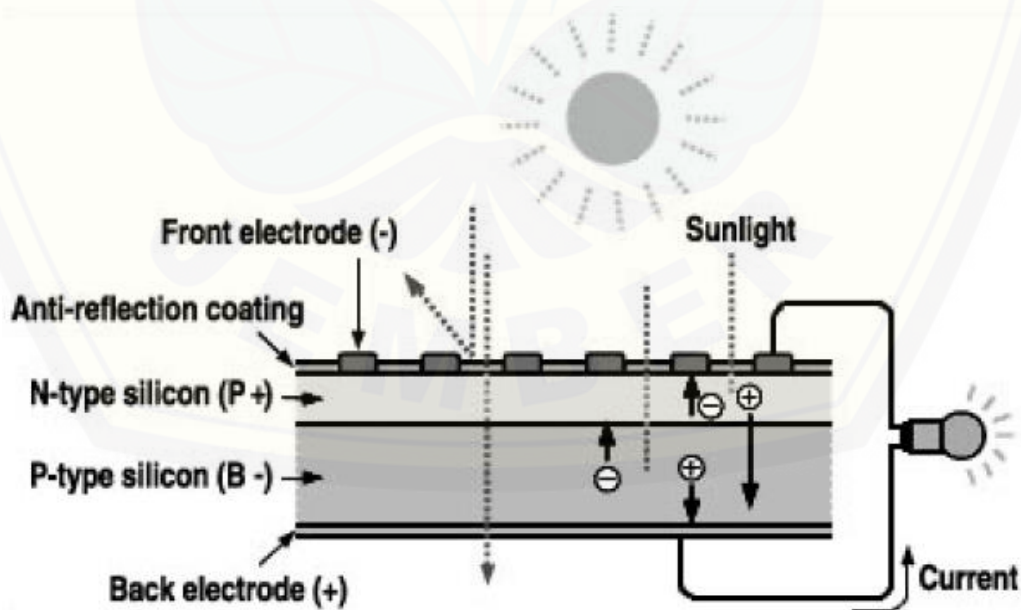
Prinsip kerja sel surya silikon adalah berdasarkan konsep semikonduktor *p-n junction*. Sel terdiri dari lapisan semikonduktor doping-n dan doping-p yang membentuk *p-n junction*, lapisan antirefleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe-n (elektron) dan tipe-p (*hole*). Struktur sel surya konvensional silikon *p-n junction* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.1 Struktur Sel Surya Silikon *p-n Junction* (sumber : Halme, 2002)

Semikonduktor tipe-n didapat dengan mendoping silikon dengan unsur dari golongan V sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Pada sisi lain semikonduktor tipe-p didapat dengan doping oleh golongan III sehingga elektron valensinya defisit satu dibanding atom sekitar. Ketika dua tipe material tersebut mengalami kontak maka kelebihan elektron dari tipe-n berdifusi pada tipe-p. Sehingga area doping-n akan bermuatan positif sedangkan area doping-p akan bermuatan negatif. Medan elektrik yang terjadi antara keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan hole ke daerah-p. Pada proses ini telah terbentuk *p-n junction*. Dengan menambahkan kontak logam pada area p dan n maka telah terbentuk dioda.

Ketika junction disinari, *photon* yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan hole pada pita valensi. Elektron dan hole ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan elektron-hole. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir. Skema cara kerja sel surya silikon ditunjukkan pada Gambar 2.4

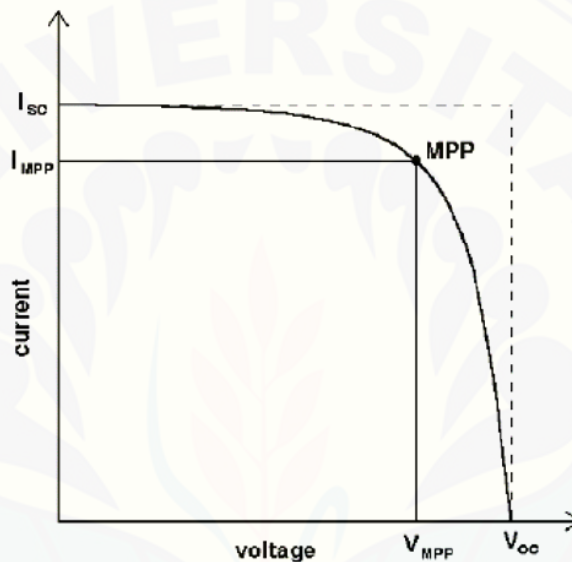


Gambar 2.2 Skema Kerja Sel Surya Silikon (sumber : Halme, 2002)

2.1.2 Performansi Sel Surya

2.1.2.1 Karakteristik I-V Fotovoltaik

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 2.9.).



Gambar 2.3 Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya (sumber Halme, 2002)

Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus *short circuit* (I_{sc}) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open circuit*. (V_{oc}). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP).

2.1.2.2 Fill Factor dan Efisiensi Kuantum

Sebelum mengetahui berapa nilai daya yang dihasilkan harus diketahui daya yang diterima (daya input), di mana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area sel surya dengan persamaan:

$$P_{\text{cahaya}} = I_r \cdot A \quad (2.1)$$

Keterangan: P_{cahaya} = Daya input akibat Radiasi matahari (Watt)

I_r = intensitas radiasi matahari (Watt/m²)

A = Luas area permukaan sel surya (m²).

Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* (FF), dengan persamaan,

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (2.2)$$

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

$$P_{MAX} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF \quad (2.3)$$

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

$$\mu = \frac{P_{MAX}}{P_{\text{cahaya}}} \quad (2.4)$$

Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya. Efisiensi dari sel surya tergantung pada temperatur dari sel dan yang lebih penting lagi adalah kualitas iluminasi. Misalnya total intensitas cahaya dan intensitas spektrum yang terdistribusi. Oleh karena itu, standar kondisi pengukuran harus dikembangkan sejalan dengan pengujian sel surya di laboratorium. Kondisi standar yang telah digunakan untuk menguji solar sel dengan intensitas cahaya 1000 W/m², distribusi spektrum dari pancaran matahari seperti Gambar 2.3, dan temperatur sel 25°C. Daya yang dikeluarkan *solar cell* pada kondisi ini adalah daya normal dari sel, atau modul, dan dicatat sebagai puncak daya (*peak watt*) Wp (Green, 1982).

2.2 Dye Sensitized Solar Cell

2.2.1 Pengertian DSSC

Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik dari DSSC merupakan salah satu daya tarik berkembangnya riset mengenai DSSC di berbagai negara akhir-

akhir ini, selain dari proses produksi yang simpel dan biaya produksi yang murah. Beberapa hasil penelitian dari peneliti-peneliti DSSC.

Di Indonesia sendiri penelitian tentang DSSC telah banyak dilakukan seperti oleh Septina, dkk pada tahun 2007. Penelitian tersebut dilakukan dengan metode nanopori TiO_2 yaitu *sol-gel* dan sebagai bahan *dye* digunakan buah delima. Hasil yang didapatkan adalah tegangan listrik sebesar 162,4 mV dari prototipe DSSC tersebut dengan intensitas penyinaran pada siang hari. Kemudian ada pula Hardeli, dkk pada tahun 2013 yang menggunakan beberapa bahan *dye*, yaitu beras ketan, daun bayam, bunga rosella, buah naga, dan ubi jalar ungu. Dari semua bahan *dye* yang digunakannya didapatlah beras ketan yang menghasilkan tegangan dan efisiensi tertinggi, yaitu 937 mV dan 0,405% secara berturut-turut.

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC), sejak pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991, telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia. DSSC disebut juga terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon dan telah dipatenkan dengan nama *Gratzel cell* (Halme, 2002).

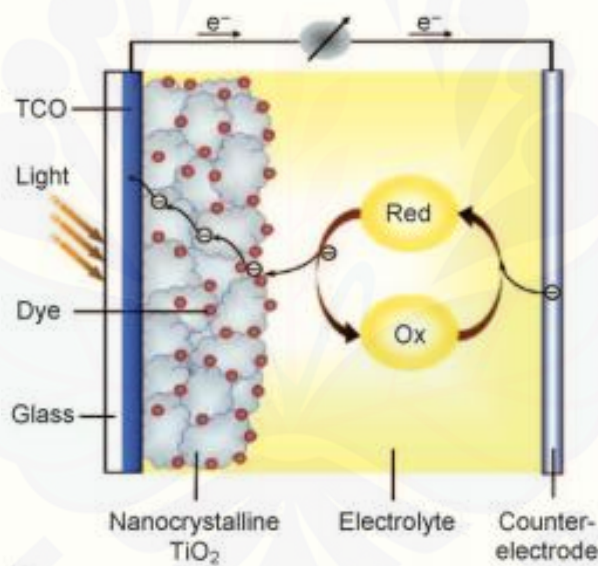
2.2.2 Struktur DSSC

Tipe sel surya pewarna tersensitisasi merupakan jenis sel surya *exciton* yang terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya TiO_2) yang diendapkan dalam sebuah perendam (*dye*). Jenis ini pertama kali diperkenalkan oleh Gratzel pada tahun 1991 yang dilengkapi dengan pasangan redoks yang diletakkan dalam sebuah elektrolit (bisa berupa padatan atau cairan) sistem elektrolit redoks yang biasa digunakan umumnya disusun dari pasangan redoks I_3^-/T dalam pelarut organik seperti *asetonitrile* atau *3-metoksi propinitril*. Sel surya DSSC tersusun atas dua elektroda dan larutan elektrolit (O'Regan, 1991).

DSSC merupakan suatu perangkat sel surya yang tersusun dari sepasang elektroda dan counter elektroda. Elektroda terbuat dari substrat kaca konduktif, yang telah dilapisi *Transparent Conductive Oxide* (TCO), umumnya menggunakan SnO_2 .

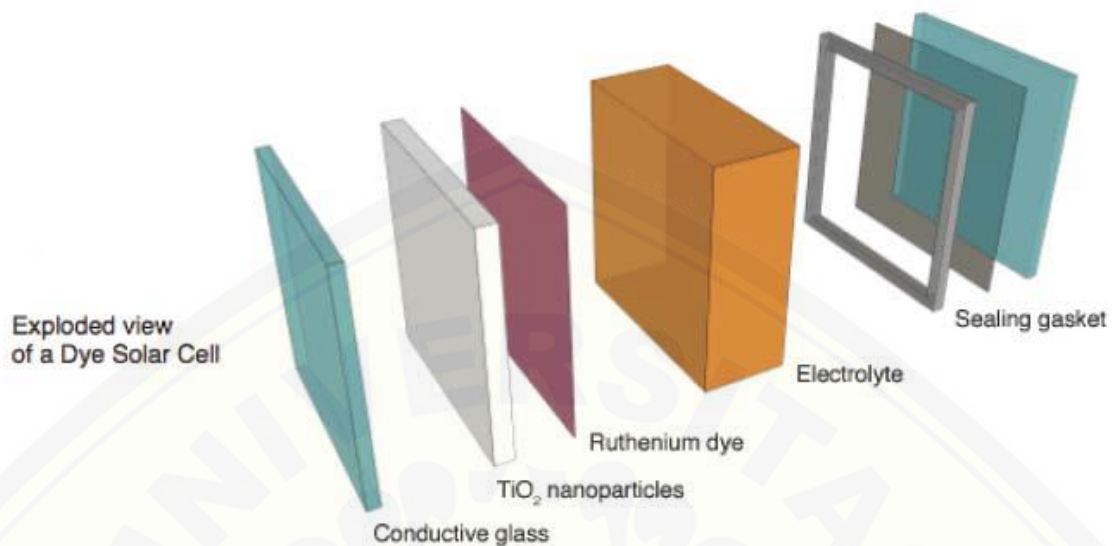
Pada elektroda dilapisi oleh layer oksida nanopartikel yang dilapisi oleh molekul *dye* (zat pewarna) sensitasi. Molekul *dye* berfungsi sebagai penangkap foton cahaya, sedangkan nanopartikel semikonduktor berfungsi menyerap dan meneruskan foton menjadi elektron. Pada *counter* elektroda diberi katalis, umumnya karbon atau platinum, berfungsi untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO.

Selain itu, DSSC juga menggunakan media elektrolit sebagai medium transport muatan. Elektrolit yang umum digunakan pada DSSC terdiri dari *iodine* (I) dan *triiodide* (I₃⁻) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Skematis susunan *sandwich layer* dari DSSC diilustrasikan pada Gambar 2.5 berikut,



Gambar 2.4 Struktur *Dye Sensitized Solar Cell* (sumber : Amaresh, 2009)

Sel surya TiO₂ tersensitisasi *dye* terdiri dari lapisan nanokristal TiO₂ berpori sebagai *fotoanoda*, *dye* sebagai *fotosensitizer*, elektrolit redoks dan elektroda lawan (katoda) yang diberi lapisan katalis (Li, et. al., 2006). Sel surya tersensitisasi *dye* berbentuk struktur *sandwich* (seperti Gambar 2.5), dimana dua elektroda, yaitu elektroda TiO₂ tersensitisasi *dye* dan elektroda lawan terkatalisasi mengapit elektrolit membentuk sistem sel fotoelektrokimia.



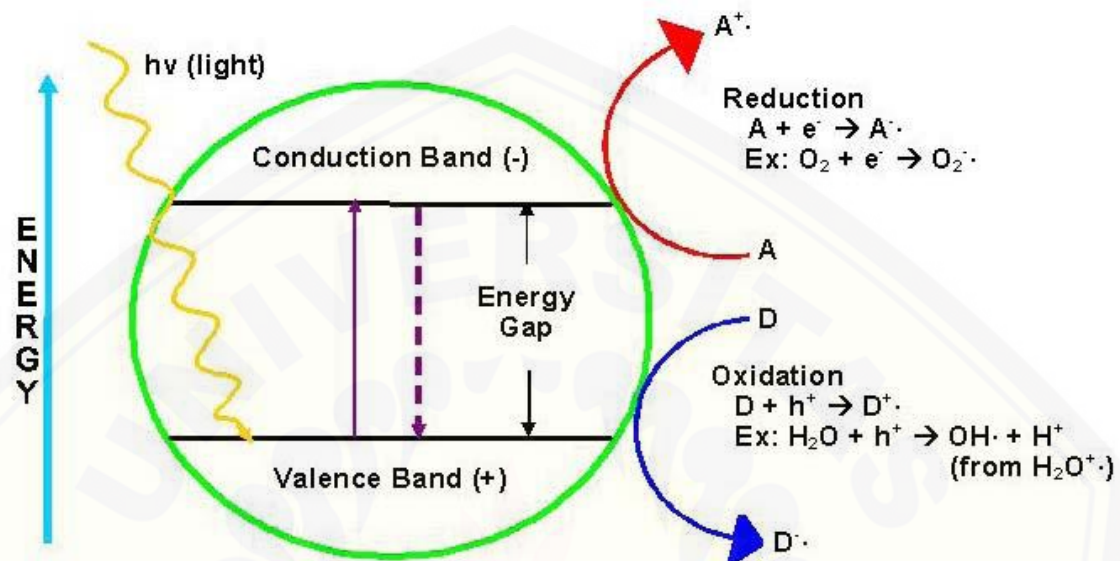
Gambar 2.5 Susunan sandwich layer dari DSSC

Berbeda dengan sel surya *p-n* silikon, pada DSSC cahaya foton diserap oleh *dye* yang melekat (*attached*) pada permukaan partikel TiO₂ yang bertindak sebagai donor elektron dan berperan sebagai pompa fotoelektrokimia. Elektron-elektron dari level HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) dieksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi, LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) ketika molekul *dye* menyerap foton dengan energi yang sesuai, mirip dengan fungsi klorofil pada proses fotosintesis tumbuhan. Sedangkan lapisan TiO₂ bertindak sebagai akseptor atau kolektor elektron yang ditransfer dari *dye* yang teroksidasi. Elektrolit redoks, biasanya berupa pasangan iodide dan triiodide (I⁻/I₃⁻) yang bertindak sebagai mediator redoks sehingga dapat menghasilkan proses siklus di dalam sel (Gretzel, 1998).

2.3.3 Prinsip Kerja DSSC

Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Dimana ini merupakan salah satu peran dari sifat TiO₂ fasa anatase yaitu fotokatalis. TiO₂ fasa anatase memiliki aktivitas *photocatalysis* yang lebih tinggi

dibandingkan fasa rutil. Ilustrasi proses fotokatalis pada TiO_2 dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.6 Ilustrasi Proses Fotokatalis

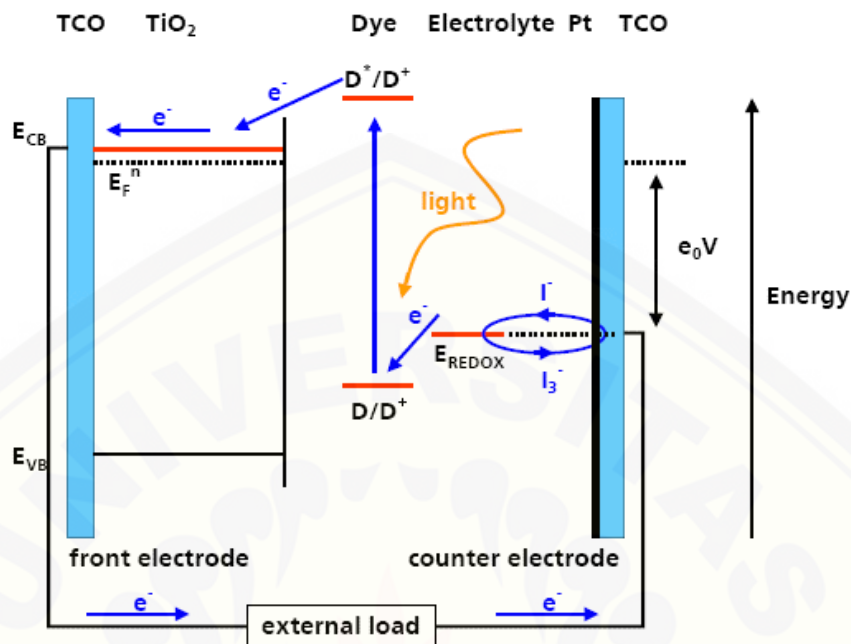
Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D^*).



Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju *conduction band* (E_{CB}) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi (D^+). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.



Skema kerja dari DSSC dijelaskan pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Skema Kerja dari DSSC (sumber : Halme, 2002)

Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju *counter*-elektroda melalui rangkaian eksternal. Dengan adanya katalis pada *counter*-elektroda, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk iodide (I^-).



Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik (Halme,2002).

Atau secara singkatnya, *dye* tereksitasi (D^*) menginjeksi sebuah elektron ke dalam pita konduksi semikonduktor (TiO_2) yang berada sedikit lebih tinggi daripada level konduksi TiO_2 . Elektron tersebut melintasi melewati partikel-partikel TiO_2 menuju kontak belakang berupa lapisan konduktif transparan ITO (*Indium Tin Oxide*), selanjutnya ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda lawan. Elektroda

masuk kembali ke dalam sel dan mereduksi sebuah donor teroksidasi (I^-) yang ada di dalam elektrolit. *Dye* teroksidasi (D^+) akhirnya menerima sebuah elektron dari donor tereduksi (I_3^-) dan tergenerasi kembali menjadi molekul awal (D). Rangkaian reaksi kimia di dalam sel dapat kita lihat sebagai berikut :



Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya nanokristal tersensitisasi *dye* berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor TiO_2 dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks (I^-/I_3^-). Sedangkan arus yang dihasilkan dari sel surya ini terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja *dye* yang digunakan (Li, *et.al*, 2006).

Salah satu kekurangan dari sel surya pewarna tersensitisasi ini adalah stabilitasnya yang rendah, terutama akibat degradasi dan kebocoran pada elektrolit cair yang digunakan. Oleh karena itu, akhir-akhir ini pengembangan penelitian sel surya fotoelektrokimia ini diarahkan pada penggunaan elektrolit padat untuk mengurangi degradasi dan kebocoran elektrolit yang dapat meningkatkan stabilitas sel, misalnya elektrolit berbasis polimer yang mengandung kopel redoks atau berbasis bahan organik atau anorganik sebagai konduktor *hole*.

2.2.4 Material DSSC

2.2.4.1 Substrat DSSC

Substrat yang umum digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*), merupakan kaca transparan konduktif yang dapat mengalirkan muatan. Material tersebut berfungsi sebagai badan dari sel surya dimana layer oksida dan *counter electrode* karbon atau platina akan didekomposisikan.

Umumnya lapisan konduktif TCO terbuat dari lapisan tipis Tin Oksida (SnO_2) yang diberi *dopant flourine* (*flourine tin oxide* atau FTO) atau indium (*indium tin oxide* atau ITO). Hal ini dikarenakan dalam proses *sintering* layer oksida pada substrat di suhu 400-500 °C, material-material tersebut memiliki konduktifitas yang baik dan tidak mengalami *defect* atau cacat pada rentang temperatur tersebut (Handini, 2008).

2.2.4.2 Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari iodine (I^-) dan triiodide (I_3^-) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC yaitu :

1. Potensial redoksnnya secara termodinamika berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari *dye* untuk tegangan sel yang maksimal.
2. Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.
3. Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.
4. Tidak adanya karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit.
5. Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi.
6. Mempunyai reversibilitas tinggi (Handini, 2008).

2.2.4.3 Zat Pewarna (*Dye*)

Zat pewarna pada layer oksida DSSC berfungsi untuk menangkap foton cahaya. Selanjutnya foton tersebut akan diabsorpsi ke dalam nanopartikel TiO_2 . Pada Gratzel cell, zat pewarna yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis *ruthenium complex*.

Namun, *dye* jenis *ruthenium complex* cukup sulit untuk disintesis dan berharga mahal. Dewasa ini telah dikembangkan DSSC dengan zat pewarna organik yang murah dan mudah didapat yaitu, dengan menggunakan unsur pewarna alami (*flavonoids*) dari

buah-buahan, bunga, kayu, dan bahan organik lainnya. *Flavonoids* berfungsi sebagai proteksi terhadap sinar UV (Handini, 2008).

Sinar matahari menghasilkan 5% spektra di daerah ultraviolet dan 45% di daerah cahaya tampak. TiO_2 hanya menyerap sinar ultraviolet (350-380 nm). Untuk meningkatkan serapan spektra TiO_2 di daerah cahaya tampak, dibutuhkan lapisan zat warna yang akan menyerap cahaya tampak. Zat warna (*dye*) berfungsi sebagai sensitizer (Gratzel, 2004) (Halme, 2002).

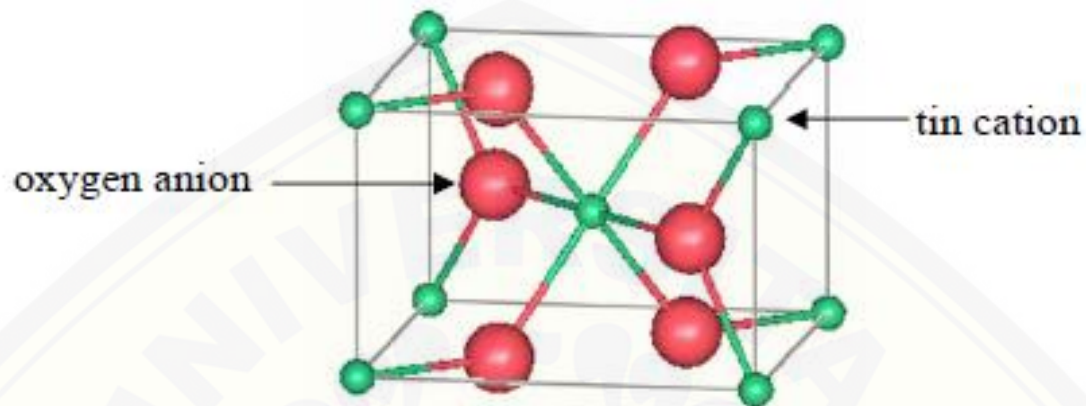
2.3 Fluorine Tin Oxide

FTO (*Fluorine Tin Oxide*) merupakan pelapis substrat kaca konduktif transparan yang umumnya digunakan sebagai substrat semikonduktor pada pembuatan DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) (Muliani, 2012). FTO diperoleh dari kaca yang permukaannya dideposisi menggunakan nebulizer oleh larutan prekursor dengan bahan $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan NH_4F yang dilarutkan dalam etanol 96 % (Widiyandari, 2012). Adapun gambar gelas transparan FTO ditunjukkan pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Gambar Kaca FTO

FTO membentuk ikatan SnO_2 memiliki bentuk kristal tetragonal dengan *space group* $P4_2/mnm$ (no 136). (JCPDS no 770541)



Gambar 2.9 Bentuk Kristal SnO_2

2.4 Metode FTO

Berbagai metode dapat digunakan untuk menumbuhkan film $\text{SnO}_2:\text{F}$, antara lain :

1. Metode *Chemical Bath Deposition* (CBD)

metode yang digunakan untuk menumbuhkan film SnO_2 dengan cara mencelupkan substrat kaca pada larutan deposisi dengan suhu 25-90 °C (Maddu, 2009).

2. Metode *Inkjet Printing*

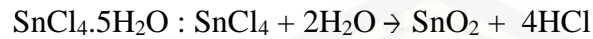
Metode yang menggunakan *commercial inkjet printer* (*Dimatix Inkjet Fujifilm Materials printer model DMP-2800 series*) sebagai alat untuk mendeposisikan film SnO_2 dengan suhu deposisi 40-60 °C (Samad, 2011).

3. *Spray Pyrolysis Deposition* (SPD)

Deposisi yang dilakukan dengan menyemprotkan larutan deposisi dengan menggunakan nozzle (Lumina STA-6R-1mm, Fuso Seiki Co. Ltd., Japan) dengan bantuan kompresor diatas kaca substrat yang dipanaskan pada suhu 300 – 500 °C (Okuya, 2005).

Adapun reaksi pembentukan lapisan tipis SnO₂:F pada pembuatan gelas transparan FTO adalah sebagai berikut :

- Pembentukan film SnO₂ dari pemisahan senyawa



- Dekomposisi *amonium fluoride* yang berlangsung secara simultan :



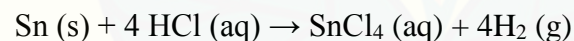
Karena dekomposisi *amonium fluoride* berlangsung pada suhu tinggi sehingga terbentuk HF yang tumbuh di sekitar film SnO₂ dan juga kemungkinan karena reaksi kimia antara film SnO₂ dan asam halo yang ditandai melalui reaksi :



2.5 Larutan Prekursor

2.5.1 SnCl₄·5H₂O

Tin (II) klorida berupa padatan kristal berwarna putih dengan rumus SnCl₂, dapat membentuk dihidrat yang stabil. SnCl₄ secara luas digunakan sebagai reduktor dalam larutan asam, dan juga dalam cairan *electroplating*. SnCl₄ dibuat dengan cara reaksi gas HCl kering dengan logam Sn.



Dihidrat ini dibuat oleh reaksi yang sama, dengan menggunakan asam klorida (Ganguly, 2012).

2.5.2 Senyawa NH₄F

Amonium florida adalah senyawa yang berupa kristal berwarna putih. Amonium florida pada pembuatan gelas transparan FTO berguna untuk menyumbang gugus F pada SnO₂:F (Moholkar, 2009). Konsentrasi ammonium florida yang tinggi akan mengakibatkan tingginya nilai resistivitas (Canestraro, 2008). Kandungan dopant NH₄F dalam pembuatan gelas transparan FTO adalah 8% dalam etanol 96% (Widiyandari, 2012).

2.6 Pengujian

2.6.1 X-Ray Diffraction

Difraksi sinar X (*X-Ray Diffraction/XRD*) merupakan metode untuk mengidentifikasi fasa kristal dalam material dengan cara menentukan parameter dari sebuah struktur kristal. Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik pada sebuah sampel. Pancaran sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi konstruktif. Sedangkan yang lain berinterferensi destruktif. Dasar yang digunakan pada XRD untuk mengidentifikasi struktur kristal adalah persamaan Bragg, yang ditunjukkan sebagai berikut :

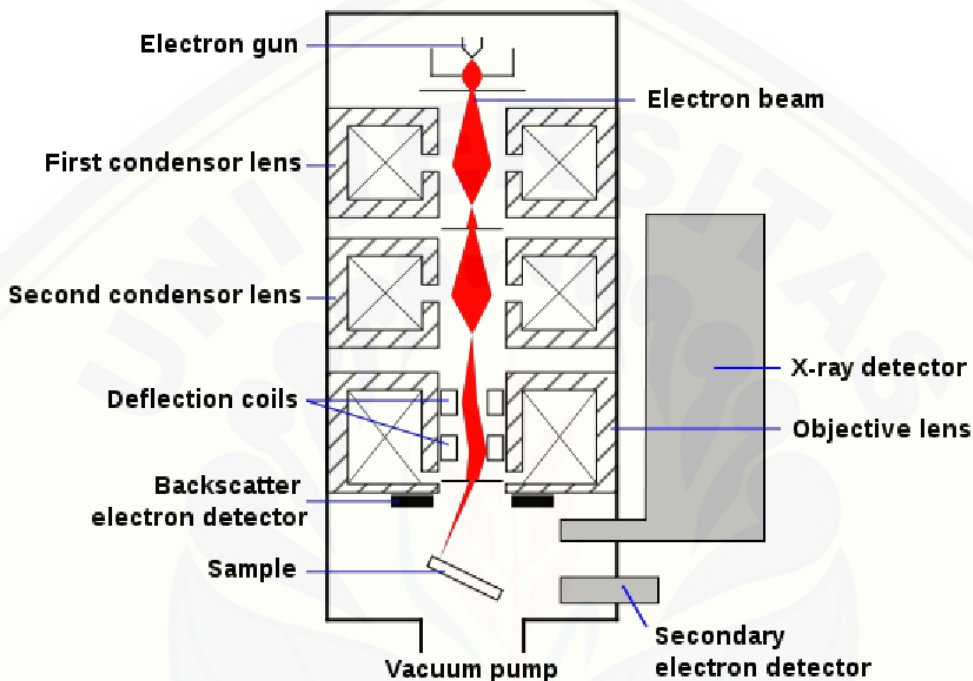
$$n \lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.13)$$

Dimana λ adalah panjang gelombang sinar-X, d merupakan jarak antara dua bidang kisi. θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal. Sedangkan n adalah bilangan untuk orde (urutan) pembiasan. Prinsip dasar dari metode XRD berdasarkan hukum Bragg. Jika seberkas sinar-X dijatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal akan membiaskan sinar-X. Panjang gelombang dari sinar-X yang dibiaskan sama dengan jarak antar kisi dalam sampel kristal. Sinar yang dibiaskan kemudian ditangkap oleh detektor yang kemudian dianalisa sebagai puncak difraksi. Tiap puncak yang muncul pada XRD merupakan satu bidang kristal. Puncak-puncak difraksi yang muncul dapat diketahui dengan mencocokkan besar intensitas pada standar difraksi dengan data dari *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) (Birkholz, 2006).

2.6.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang banyak digunakan dalam ilmu pengetahuan material. SEM banyak digunakan karena memiliki kombinasi yang unik, mulai dari persiapan spesimen yang simpel dan mudah, kapabilitas tampilan yang bagus serta fleksibel. SEM digunakan pada sampel yang tebal dan memungkinkan untuk analisis permukaan. Pancaran berkas yang jatuh pada sampel akan dipantulkan dan di difraksikan. Adanya elektron yang terdifraksi dapat

diamati dalam bentuk pola – pola difraksi. Pola – pola difraksi yang tampak sangat bergantung pada bentuk dan ukuran sel satuan dari sampel. SEM juga dapat digunakan untuk menyimpulkan data – data kristalografi, sehingga hal ini dapat dikembangkan untuk menentukan elemen atau senyawa.



Gambar 2.10 Diagram SEM

Prinsip kerja SEM dapat dilihat pada Gambar 2.11. Dua sinar elektron digunakan secara simultan. Satu strike specimen digunakan untuk menguji dan strike yang lain adalah CRT (*Cathode Ray Tube*) memberi tampilan yang dapat dilihat oleh operator. Akibat tumbukan pada spesimen dihasilkan satu jenis elektron dan emisi foton. Sinyal yang terpilih dikoleksi, dideteksi dan dikuatkan untuk memodulasi tingkat keterangan dari sinar elektron yang kedua, maka sejumlah besar sinar akan menghasilkan bintang gelap. SEM menggunakan prinsip scanning, maksudnya berkas elektron di arahkan dari titik ke titik pada objek. Gerakan berkas elektron dari satu titik ke titik yang lain pada suatu.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi pembuatan gelas transparan FTO dengan menggunakan metode *Spray Pyrolysis Deposition* dan perakitan DSSC dilakukan di Laboratorium Kemasan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember. Pengujian spesimen dilakukan di Laboratorium Instrumen Kimia Dasar, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Jember dan di Laboratorium Karakterisasi Material, Jurusan Material dan Metalurgi, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Waktu penelitian berlangsung selama 4 bulan yaitu Bulan Februari sampai Mei.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. *Mist Maker*
- b. Timbangan
- c. *Heater*
- d. Pengaduk kaca
- e. Gelas ukur
- f. *Reaktor glass*
- g. *Digital Ultrasonic Cleaner*
- h. Termometer
- i. Reaktor glass
- j. Pengaduk Kaca
- k. Multimeter
- l. Pipet
- m. Mesin Electrospinning
- n. Furnace
- o. Blower
- p. *Hot Plate*

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah

- | | |
|---|---------------|
| a. Substrat kaca | h. Pensil 6B |
| b. Etanol 96% | i. Klorofil |
| c. Tin Chlorida ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) | j. Resistor |
| d. Ammonium Floride (NH_4F) | k. Bethadine |
| e. Aquades | l. Tissue |
| f. Polyvynil Alcohol (PVA) | m. Double tip |
| g. Zinc acetate (ZnAc) | |

3.3 Prosedur Penelitian

- a. Persiapan Bahan Dasar Substrat Kaca
 1. Menyiapkan kaca ukuran 6 cm x 2,5 cm dengan ketebalan 2 mm
 2. Membersihkan kaca dengan etanol kemudian dikeringkan

- b. Pembuatan larutan untuk lapisan thinfilm
 1. Menyiapkan ethanol 96% sebanyak 40 ml
 2. Menimbang $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10,02 gram dan NH_4F 0,24 gram
 3. Melarutkan $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan NH_4F masing-masing yang telah ditimbang kedalam 40 ml ethanol 96%
 4. Memasukkan larutan itu ke dalam *mist maker*

- c. Proses Deposisi
 1. Meletakkan kaca substrat yang sudah dibersihkan diatas heater
 2. Menaikkan suhu heater menjadi 360 °C dan di tahan selama 30 menit
 3. Menghidupkan *mist maker* dan proses deposisi dijalankan
 4. Menghidupkan blower untuk membantu menghilangkan kabut dari proses atomisasi selama 30 detik
 5. Mematikan *mist maker* dan blower selama 60 detik.

6. Mengulangi percobaan 4 – 6 dengan variasi waktu 3, 6, 9 dan 12 menit
7. Mematikan heater agar kaca dingin
8. Ulangi percobaan 3 – 7 dengan variasi temperatur 340, 380, 420, 460 dan 500 °C

d. Proses sintesa nanofiber

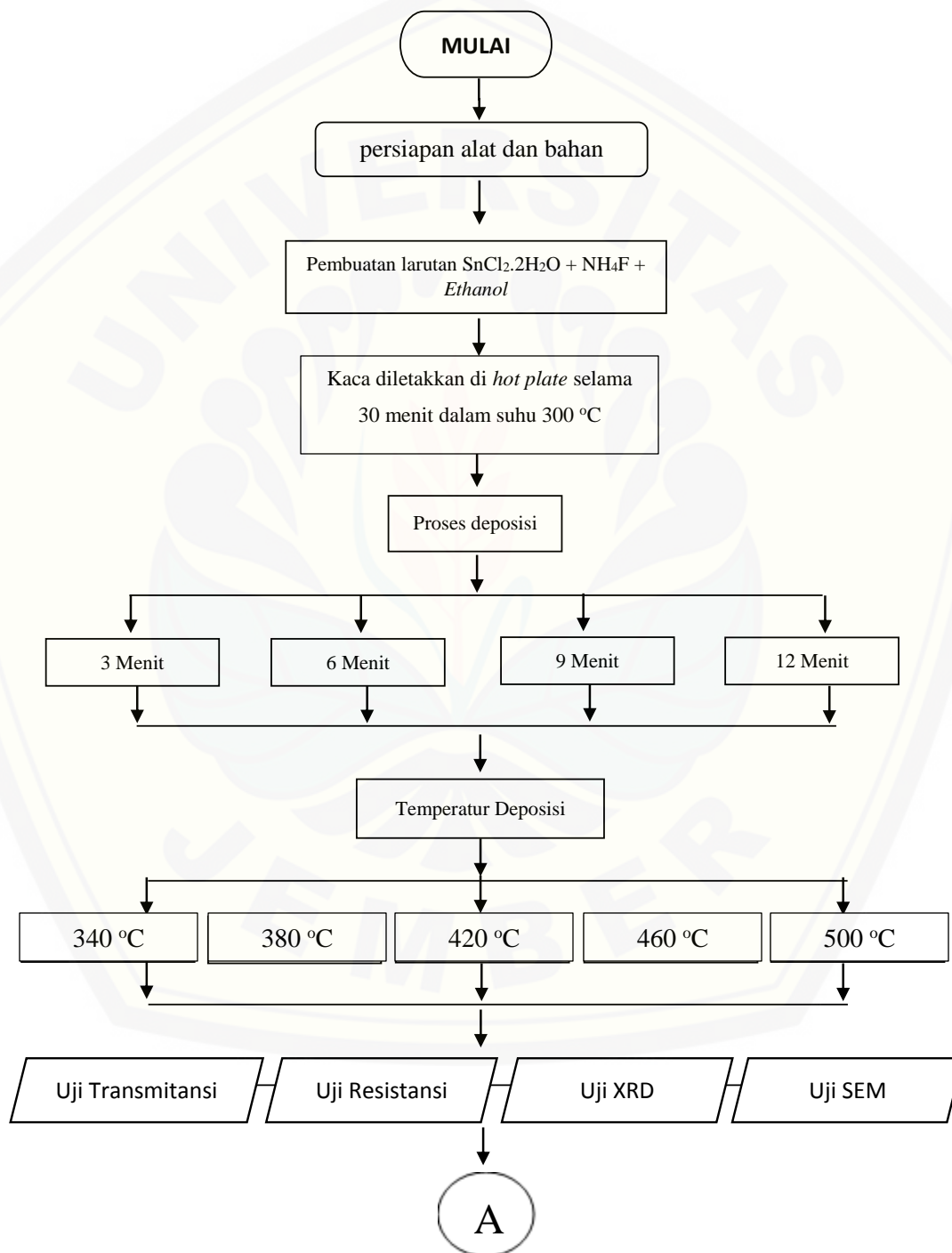
1. Memasukkan larutan PVA/ZnAc ke dalam pompa suntik.
2. Menghubungkan jarum suntik dan kaca konduktif dengan tegangan tinggi
3. Mengatur jarak antara ujung jarum dan kaca dengan jarak 5 cm.
4. Mengatur laju alir fluida dengan kecepatan 1 $\mu\text{L}/\text{menit}$, dengan jarak tempuh 5 mm di dalam pompa *syringe* 1 mL.
5. Mengkalsinasi dalam suhu 100 °C selama 1 jam
6. Memberi perlakuan panas sintering pada suhu 600 °C selama 1 jam
7. Mematikan furnace agar kaca dingin

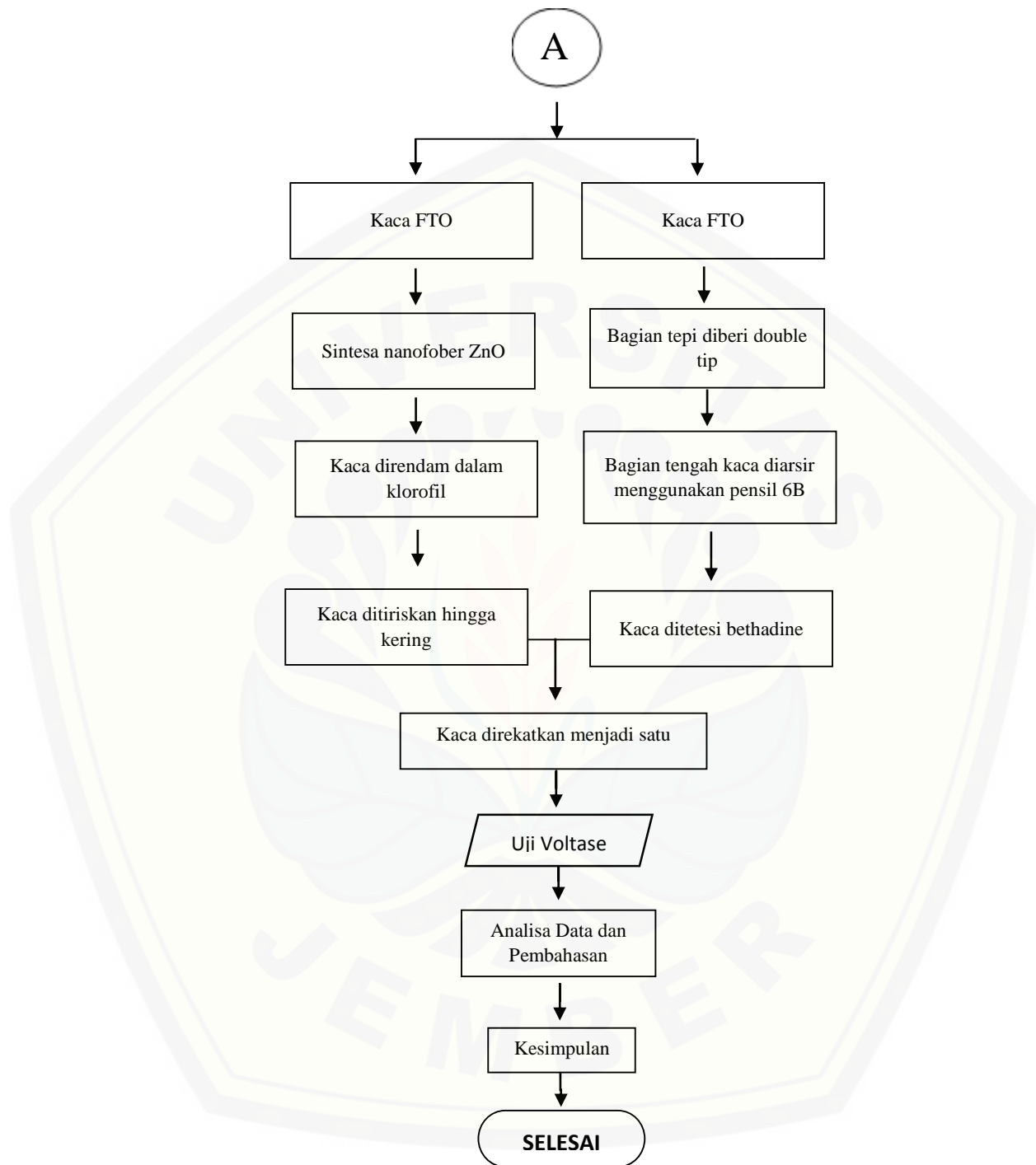
e. Pembuatan solar sel

1. Kaca yang sudah disintering direndam dalam klorofil
2. Kemudian ditiriskan
3. Kaca FTO diberi double tip pada tepinya dengan ukuran luar 2,5 cm x 6 cm dan ukuran dalam 1,5 cm x 4 cm
4. Bagian dalam kaca FTO diarsir menggunakan pensil 6B
5. Kemudian ditetesi bethadine yang mengandung *iodhine*
6. Kaca FTO yang sudah ditetesi *iodhine* ditempelkan dengan kaca yang sudah direndam dalam klorofil

3.4 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan dari proses awal pembuatan spesimen hingga menghasilkan kaca FTO





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil pembahasan yang telah dilakukan dan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Temperatur deposisi optimum untuk membuat kaca FTO dengan resistansi yang terendah dan meningkatkan unjuk kerja DSSC adalah 460 °C.
2. Waktu deposisi optimum yang menghasilkan kaca FTO dengan nilai resistansi terendah adalah 9 menit. Waktu deposisi FTO optimum yang meningkatkan unjuk kerja DSSC adalah 6 menit.
3. Meningkatnya tingkat kristalinitas dipengaruhi oleh meningkatnya temperatur deposisi FTO.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk menghasilkan kaca transparan FTO yang memiliki resistansi yang lebih rendah dan merata. Penambahan konsentrasi *fluorine* bisa menjadi salah satu upaya dalam menurunkan resistansi kaca FTO. Selain itu dalam pembuatan DSSC, semikonduktor dan *dye* sangat perlu diperhatikan untuk meningkatkan efisiensi DSSC.

Daftar Pustaka

- Banyamin, Ziad.Y., dkk. 2014. *Electrical and Properties of Fluorine Doped Tin Oxide Thin Films Prepared by Magnetron Sputtering*. Manchester Metropolitan University. UK
- Ching-Ching, Lin., Mei-Ching Chiang., Yu-Wei Chen. 2009. *Temperature Dependence of Fluorine-doped Tin Oxide Films Produced by Ultrasonic Spray Pyrolysis*. National Chiao Tung University. Taiwan
- D. Belanger, J.P. Dotelet, B.A. Lombos, J. I. Dickson, J. Electrochem Soc. 398, 1321-1405 (1985)
- Dai Q and Rabani J. 2002 *Photosensitization of nanocrystalline TiO₂ films by Anthocyanin Dyes*. J. Photochem. Photobiol. A, 148:17-24
- Ekasari, Vitriany., Gatut Yudhoyono. 2013. *Fabrikasi DSSC dengan Dye Ekstrak Jahe Merah Variasi Larutan TiO₂ Nanopartikel dengan Teknik Spin Coating*. Institut Sepuluh Nopember Surabaya.
- Fadli, U.M., A.B.Prasada., Cari., A.Supriyanto. 2016. *The Effect Of Cu Doping Into Oriza Sativa L. Indica Dye As Photosensitizer For Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Fauziah, Evalika., Fitri, Nur. 2013. *Pembuatan Gelas Transparan FTO Sebagai Bahan Baku Sel Surya*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Grätzel M, O'Regan B. 1991. *A Low-Cost, High-efficiency solar-cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films*. Nature. 353(6346): 737-740.
- Halme, J. 2002. *Dye Sensitized Nano-structural and Organic PV: Technical Review And Preliminary Tests*. University of Helsinki
- Hassanien, A.E., Hashem, H.M. 2015. *Performance of Transparent Conducting Fluorine-doped Tin Oxide Films for Applications in Energy Efficient Devices*. Helwan University, Helwan, Egypt.
- Kadir, Abdul. 1995. *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Jakarta: UI-Press
- Koyama Y, Wang XF, Xiang J, Wang P, Yanagida S, Wada Y, Hamada K, Sasaki S, Tamiaki H. 2006. Chem. Phys. Lett. 408- 409.
- Kumar, R., Zhou, C. 2010. *The Race To Replace Tin-Doped Indium Oxide : Which Material Will Win?*. ACS Nano Vol.4, No 1 pp 11-14

- Lalasari, Latifa Hanum., dkk. 2015. *Pengaruh Pencampuran dan Rasio Dopan/Prekursor dalam Pembuatan Lapisan Tipis Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) Berbasis Timah (II) Klorida*. LIPI
- Lee, Sang-Min., Young Hee-Joo. 2014. *Influences of film thickness and annealing temperature on properties of sol-gel derived ZnO-SnO₂ nanocomposite thin film*. Chung Ang University.
- Lin, Chin-Ching., dkk. 2009. *Temperature Dependence of Fluorine-Doped Tin Oxide Films Produced by Ultrasonic Spray Pyrolysis*. National Chiao Tung University. Taiwan
- Luangchaisri, C., dkk. 2011. *Effect of Heat Treatment on Electrical Properties of Fluorine Doped Tin Dioxide Films Prepared by Ultrasonic Spray Pyrolysis Technique*. Bangkok.
- M. Ruske, G. Brauer, Szczrbowski J, *Thin Solid Films* 351, 146-150 (1999)
- Moholkar, A.V., dkk. 2007. *Electrical, Structural And Optical Properties of SnO₂:F Thin Films: Effect of The Substrate Temperature*. Chonnam National University. South Korea
- Napi, M.L., Maarof, M.F. 2016. *Fabrication Of Fluorine Doped Tin Oxide (Fto) Thin Films using Spray Pyrolysis Deposition Method for Transparent Conducting Oxide*. Universiti Tun Hussein Onn Malaysia.
- Okuya, Masayuki. 2003. *Fabrication of dye-sensitized solar cells by spray pyrolysis deposition (SPD) technique*. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 164 (2004) 167-172.
- Prasatya, Akbar Nur., Diah, Susanti. 2013. *Pengaruh Temperatur Kalsinasi pada Kaca FTO yang di-coating ZnO terhadap Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) yang Menggunakan Dye dari Buah Terung Belanda (Solanum betacium)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- P.S. Shewale, S. I. Patil, M. D. Uplane, *Semicond. Sci. Technol.* 25, 115008-115016 (2010)
- Purwanto, Agus., dkk. 2011. *Fabrication of High Performance Fluorine Doped Tin Oxide Film Using Flame Assisted Spray Deposition*. Universitas Sebelas Maret.
- Q. Chen, Y. Qian, Z. Chen, G. Zhou, Y. Zhang, *Thin Solid Films* 264, 25-28 (1995)
- Q. Zhao, S. Wu, D. Miao, *Advanced Materials Research*, 150-151, 1043-1048 (2011)

- Rahmawati, Leila Rizky. 2016. *Pelapisan Nanofiber Titanium Dioxide (TiO₂) diatas Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) Untuk Meningkatkan Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell*. Universitas Sebelas Maret.
- Rinaldi, Rio., Amun, Amri., Kahirat. 2016. *Sintesa Fluorinated Tin Oxide (FTO) Menggunakan Prekursor Ramah Lingkungan dan Penambahan Graphene dengan Metode Deposisi Spray Coating Untuk Aplikasi Material Konduktif Transparan*. Universitas Riau.
- Russo, B., G.Z.Cao. 2007. *Fabrication and Characterization of Fluorine-doped Thin Oxide Thin Films and Nanorod Arrays Via Spray Pyrolysis*. University of Washington. USA
- Tatar, Demet., Guven Turgut., Bahattin Duzgun. 2011. *Effect Of Substrate Temperature on The Crystal Growth Orientation and Some Physical Properties of SnO₂ : F Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis Deposition*. Ataturk University. Turkey
- Wahyudi, Bayu., Hendri Widiyandari. 2011. *Deposisi Nanopartikel Dioksida (TiO₂) Diatas Gelas Transparan Konduktif dan Aplikasinya sebagai Elektroda Kerja pada Sel Surya Berbasis Dye (DSSC)*. Universitas Diponegoro.
- Wang, Lidio, *et al.* 2006. *Review Of Recent Progress In Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells*. Key Lab of Organic Optoelectronics & Molecular Engineering of Ministry of Education, Department of Chemistry, Tsinghua University, China.
- Wang XF, Matsuda A, Koyama Y, Nagae H, Sasaki S, Tamiaki H, Wada Y. 2006. *Chem. Phys. Lett.* 423:470.
- Wang, Jian Too., Xiang Lei Shi., Wie Wei Lui. 2014. *Influence of Preferred Orientation on the Electrical Conductivity of Fluorine-Doped Tin Oxide Films*. Nanomaterial Research Japan.
- Widiyandari, Hendri., Agus, Purwanto., dkk. 2012. *Fabrikasi Gelas Transparan Konduktif FTO (Flourine-Doped Tin Oxide) dan Aplikasinya Pada Sel Surya Berbasis Dye (DSSC)*. Universitas Diponegoro.
- W.Y. Chung, C.H. Shim, S.D. Choi, D.D. Lee, *Sens. Act. B* 20, 139-142 (1994)
- Yadav, A.A., E.U.Masumdar.,dkk. 2009. *Electrical, Structural And Optical Properties of SnO₂:F Thin Films:Effect of The Substrate Temperature*. Rajarshi Shahu Mahavidyalaya, Latur. India
- Zaouk, D.,dkk. 2000. *Fabrication of tin oxide (SnO₂) thin film by electrostatic spray pyrolysis*. University of Montpellier II, Montpellier, France.

LAMPIRAN

A. Tabel dan Data Pengujian Transmittansi

1. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 340°C dan Waktu Deposisi 3 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	76,7%	79%	81,5%	82,9%	83,7%	83,6%	82,8%	82,7%	82,2%
2	86,2%	87,2%	87,9%	88,6%	88,1%	87,6%	86,5%	85,6%	84,6%
3	77,2%	80,4%	82,6%	84%	83,4%	84,7%	83,7%	83%	82,5%
4	83,7%	85%	86,6%	87,6%	87,7%	87,4%	86,4%	85,4%	85,2%

2. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 380°C dan Waktu Deposisi 3 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	77,3%	80%	81,5%	83,1%	83,8%	83,9%	83,4%	82,5%	81,5%
2	78,5%	78,9%	79,8%	80,4%	81,4%	81,2%	80,7%	80,1%	80,1%
3	78,9%	82,6%	84,7%	86,7%	87,1%	86,8%	85,9%	85,1%	84,5%
4	79,5%	81,2%	82,6%	82,7%	83,9%	83,3%	82,2%	82,2%	81,3%

3. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 420°C dan Waktu Deposisi 3 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	63%	71,1%	75,9%	78,2%	80,4%	81,5%	81,7%	82,3%	81,7%
2	74,4%	80,2%	82,3%	81,7%	81,9%	80,4%	79,1%	77,5%	76,4%
3	70,7%	76,1%	78,8%	81,3%	81,9%	82,4%	81,9%	81,9%	81,8%
4	63,2%	72,3%	78%	79,4%	81,1%	81,2%	81,5%	81,4%	81%

4. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 460°C dan Waktu Deposisi 3 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	46,9%	57,6%	62,8%	70,6%	74,7%	77,1%	76,9%	76,9%	76,3%
2	48,5%	59,6%	68%	73,5%	76,8%	78,5%	80,1%	80,7%	80,2%
3	60,1%	69,7%	74,6%	77,9%	80,9%	81,7%	82,1%	82,2%	82,5%
4	59,4%	65,3%	69,9%	72,6%	73,1%	75,1%	75,8%	76,8%	77%

5. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 500°C dan Waktu Deposisi 3 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	55,1%	63,1%	67,7%	70,2%	70,4%	71,1%	71,7%	71,4%	71,2%
2	43,1%	52,3%	57,4%	63,7%	70,7%	73,9%	76,4%	76,1%	77,3%
3	67,1%	75,5%	81%	83,6%	83,8%	82,1%	81%	79,2%	78,8%
4	57,9%	64,9%	68,4%	70,7%	71,8%	71,6%	72%	72,8%	72,5%

6. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 340°C dan Waktu Deposisi 6 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	74,2%	82,1%	85,6%	84,1%	82,5%	79,6%	75,8%	75,1%	73,6%
2	78,6%	77,4%	77,5%	77,2%	76,7%	74,8%	74,6%	74,2%	73,5%
3	80,6%	80,6%	80,6%	80,7%	80,6%	79,4%	78,9%	79,2%	78,6%
4	79,1%	80%	77,8%	78%	77,7%	77,2%	75,8%	76,3%	75,1%

7. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 380°C dan Waktu Deposisi 6 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	77,8%	79,3%	80,8%	81,7%	81,6%	81,2%	80,7%	80,4%	80,4%
2	79%	80,2%	81%	81,6%	81,3%	81,1%	79,9%	80,2%	79,8%
3	79,8%	79,7%	79,9%	80%	81,2%	80,4%	80%	79,8%	79,8%
4	77,5%	78,2%	79,5%	80,6%	81,5%	80,8%	80,8%	81,6%	80,5%

8. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 420°C dan Waktu Deposisi 6 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	75,4%	75,5%	79,7%	82,2%	83,2%	82,2%	80,4%	79,3%	78,2%
2	60,4%	70,2%	74,9%	77,5%	79,9%	79,9%	80,5%	80,4%	80,7%
3	76,8%	79,1%	79,5%	79,7%	81,2%	80,3%	79,6%	80,1%	79,2%
4	72,3%	75,5%	76,8%	78,1%	78,5%	77,9%	78,5%	77,3%	76,7%

9. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 460°C dan Waktu Deposisi 6 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	63,7%	68,8%	74,7%	75%	74,8%	74,7%	75,5%	76,2%	76,6%
2	47,4%	52,6%	55,5%	59,7%	66,6%	70,6%	72,1%	74,7%	74,2%
3	73,8%	72%	74,8%	78,3%	81%	81,1%	81,1%	79,4%	78,1%
4	49,6%	61,7%	68,9%	71,6%	77,1%	78,2%	79,2%	79,7%	79,5%

10. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 500°C dan Waktu Deposisi 6 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	67,3%	74,3%	76,8%	75,5%	76,5%	78,9%	81,4	82	81
2	30,5%	34,2%	39,2%	44,4%	50,5%	52,3%	56,8	58,8	61,6
3	32,8%	38%	40,1%	45,8%	52,8%	54,4%	56,4	59,9	61,3
4	59,8%	64,2%	68,6%	70,8%	71,6%	72,1%	71,8	71,7	71,9

11. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 340°C dan Waktu Deposisi 9 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	75,1%	75,2%	75,5%	73,3%	75,3%	75,3%	74,6%	74,3%	73,7%
2	75,3%	76,9%	78,1%	79%	79,2%	79,5%	79,2%	78,7%	78,5%
3	74,6%	83%	85,5%	85,5%	83,4%	81,8%	79,7%	77,2%	75,4%
4	70,8%	80,1%	82,3%	81,4%	80,2%	78,4%	76,2%	74,4%	73%

12. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 380°C dan Waktu Deposisi 9 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	69,5%	70,9%	71,8%	75,1%	77,7%	79,1%	78,1%	77,8%	76,9%
2	66,3%	71,7%	78%	79,8%	80,4%	79,1%	75,4%	72,9%	71,4%
3	68,9%	69,5%	69,3%	71,6%	75,7%	78,3%	78,7%	78,2%	76,6%
4	59,7%	72,2%	77%	74%	70,9%	70,7%	71,9%	73,2%	73,7%

13. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 420°C dan Waktu Deposisi 9 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	76,1%	79,8%	78,5%	78,8%	79,4%	80,5%	80,1%	79,2%	79,4%
2	67,9%	71,4%	76%	79,7%	81,2%	81%	79,4%	77,9%	77,2%
3	65,7%	74,5%	79,1%	80,7%	79,6%	79,1%	77,7%	77,2%	76,8%
4	72,7%	80,9%	78,5%	77,6%	78,5%	80%	80,7%	80,9%	79,7%

14. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 460°C dan Waktu Deposisi 9 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	67,5%	71,9%	76,6%	78,8%	81%	81,2%	78,1%	78,6%	77,2%
2	56,2%	65,4%	71,4%	76,7%	76,9%	77,3%	77,7%	79,6%	77,7%
3	64,9%	68,6%	71,3%	76,6%	79,6%	78,7%	76,6%	76,4%	76,4%
4	50,7%	57,6%	61,2%	66,6%	69,6%	71,6%	73,1%	72,7%	73,2%

15. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 500°C dan Waktu Deposisi 9 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	61,2%	63,5%	67%	73%	76,3%	75,1%	73,3%	73,1%	73,3%
2	35,1%	43,9%	51,9%	56,5%	57,8%	62,3%	67%	68,6%	68,3%
3	51,7%	58,9%	66,4%	69,6%	71,5%	71,7%	71,6%	71,5%	71,9%
4	63,4%	68,4%	71,1%	68,1%	72%	75,9%	76%	76,9%	76,4%

16. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 340°C dan Waktu Deposisi 12 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	72,1%	74,3%	75,8%	76,3%	77,2%	77,3%	77,4%	77,3%	76,6%
2	71,1%	73,1%	74,2%	74,9%	75,7%	76,1%	76,1%	77%	76,2%
3	81,3%	81,5%	81,4%	79,8%	78,7%	77,1%	76,2%	74,9%	74,8%
4	78,7%	77,8%	78,4%	78,3%	78,7%	78,4%	78,3%	78,1%	77,2%

17. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 380°C dan Waktu Deposisi 12 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	68,8%	71,9%	73,4%	77,2%	77,2%	79,4%	78,3%	78,9%	79,7%
2	74,4%	74,4%	74,2%	74,2%	73,9%	73,9%	73,8%	73,4%	74,3%
3	70,1%	72%	74,9%	76,7%	78,3%	79,1%	79%	79,7%	79,5%
4	73,4%	74,6%	74,2%	75,6%	75,5%	75%	75,1%	75%	74,5%

18. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 420°C dan Waktu Deposisi 12 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	77,4%	79,1%	81,8%	83,7%	84,5%	84,7%	84,6%	83,6%	83,7%
2	79,8%	78,4%	78%	78,3%	78,5%	78,1%	77,8%	77,5%	77,9%
3	80%	79%	77,8%	77,4%	77,1%	76,1%	76%	75,3%	75,6%
4	84,8%	84,5%	83,2%	80,6%	78,5%	76,6%	75,5%	73,6%	74,7%

19. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 460°C dan Waktu Deposisi 12 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	77,9%	78,5%	80,4%	81,4%	80,7%	80,5%	79,8%	78,8%	78,7%
2	71,2%	67,4%	72,4%	78%	77,8%	75,8%	71%	69,6%	69,9%
3	71,6%	74,5%	81,6%	84,9%	85,1%	83%	81,2%	79,5%	77,8%
4	70,6%	75,3%	78,5%	74,7%	78,3%	81,3%	81,6%	77,8%	74,8%

20. Hasil Pengujian Transmittansi Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 500°C dan Waktu Deposisi 12 Menit

Sampel	Panjang Gelombang (nm)								
	410	460	510	560	610	660	710	760	800
1	70,2%	69,9%	76,6%	74,9%	80,3%	79,8%	75,4%	76,8%	79,7%
2	50,1%	55,2%	61,4%	66,2%	69,1%	72,2%	70,7%	73,4%	73,8%
3	74,1%	79,7%	74,9%	80,8%	84%	79%	76,8%	78,1%	80,4%
4	58,8%	61,4%	67,8%	69,9%	73,8%	73,3%	72,6%	74,1%	74,8%

B. Tabel dan Data Pengujian Resistansi

1. Pengujian Resistansi Kaca FTO dengan Waktu Deposisi 3 Menit

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
340 °C	1	795	596	771	1551	1074	957,4	K Ω
	2	1350	335	115	105	44	389,8	K Ω
	3	-	-	-	-	-	-	K Ω
	4	-	-	-	-	-	-	K Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
380 °C	1	7,1	5,3	4,7	4,2	5,6	5,38	K Ω
	2	1,79	6,47	9,1	3,14	1,85	4,47	K Ω
	3	4,71	3,29	3,33	3,56	4,05	3,788	K Ω
	4	4,22	3,83	3,39	3,73	4,98	4,03	K Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
420 °C	1	162	172	209	200	202	189	Ω
	2	391	290	263	313	376	326,6	Ω
	3	264	469	508	448	336	405	Ω
	4	242	236	243	204	388	262,6	Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
460 °C	1	497	336	295	298	341	353,4	Ω
	2	200	235	286	332	432	297	Ω
	3	284	377	448	546	734	477,8	Ω
	4	254	298	320	384	438	338,8	Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
500 °C	1	7,1	5,3	4,7	4,2	5,6	5,38	K Ω
	2	1,79	6,47	9,1	3,14	1,85	4,47	K Ω
	3	4,71	3,29	3,33	3,56	4,05	3,788	K Ω
	4	4,22	3,83	3,39	3,73	4,98	4,03	K Ω

2. Pengujian Resistansi Kaca FTO dengan Waktu Deposisi 6 Menit

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
340 °C	1	4,9	4,5	4,2	2,9	3,9	4,08	K Ω
	2	-	-	-	-	-	-	K Ω
	3	-	-	-	-	-	-	K Ω
	4	-	-	-	-	-	-	K Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
380 °C	1	1,01	1,11	1,06	0,76	0,57	0,902	K Ω
	2	1,64	1,57	1,62	1,57	1,8	1,64	K Ω
	3	2,33	1,87	1,7	1,93	1,96	1,958	K Ω
	4	1,75	1,04	1,04	0,89	1,28	1,2	K Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
420 °C	1	0,33	0,29	0,26	0,26	0,29	0,286	K Ω
	2	0,23	0,3	0,41	0,42	0,29	0,33	K Ω
	3	0,18	0,13	0,16	0,19	0,26	0,184	K Ω
	4	0,23	0,33	0,39	0,26	0,15	0,272	K Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
460 °C	1	83	66	55	51	57	62,4	Ω
	2	48	48	56	65	79	59,2	Ω
	3	130	160	140	122	100	130,4	Ω
	4	86	85	88	85	86	86	Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
500 °C	1	711	515	375	298	266	433	Ω
	2	490	421	345	289	262	361,4	Ω
	3	169	153	147	225	374	213,6	Ω
	4	551	348	258	203	215	315	Ω

3. Pengujian Resistansi Kaca FTO dengan Waktu Deposisi 9 Menit

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
340 °C	1	729	163	85	90	215	256,4	K Ω
	2	-		-	-	-	-	K Ω
	3	573	1629	1750	1950	1804	1541,2	K Ω
	4	72	70	76	74	99	78,2	K Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
380 °C	1	0,28	0,42	0,41	0,22	0,13	0,292	K Ω
	2	0,36	0,24	0,2	0,22	0,32	0,268	K Ω
	3	0,82	0,67	0,58	0,7	1,14	0,782	K Ω
	4	0,59	0,38	0,31	0,26	0,24	0,356	K Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
420 °C	1	142	151	154	164	128	147,8	Ω
	2	155	124	97	99	121	119,2	Ω
	3	133	103	87	86	95	100,8	Ω
	4	161	164	162	167	188	168,4	Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
460 °C	1	49	56	57	76	85	64,6	Ω
	2	86	68	60	59	65	67,6	Ω
	3	54	52	51	45	40	48,4	Ω
	4	78	85	93	88	75	83,8	Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
500 °C	1	388	307	289	354	461	359,8	Ω
	2	260	270	320	430	710	398	Ω
	3	558	439	318	294	338	389,4	Ω
	4	459	513	580	534	634	544	Ω

4. Pengujian Resistansi Kaca FTO dengan Waktu Deposisi 12 Menit

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata – Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
340 °C	1	14,2	6,2	5,2	3,6	4,9	6,82	K Ω
	2	2,1	3,1	8,5	11,2	5,5	6,08	K Ω
	3	21	16	17,6	17,4	26,2	19,64	K Ω
	4	10,7	5,9	5,8	9,4	18,4	10,04	K Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata – Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
380 °C	1	3,73	4,24	4,23	4,16	5,08	4,288	K Ω
	2	2,84	4,09	3,75	1,78	1,28	2,748	K Ω
	3	2,73	2,84	3,35	3,14	3,1	3,032	K Ω
	4	3,05	2,73	2,05	2,84	3,54	2,842	K Ω

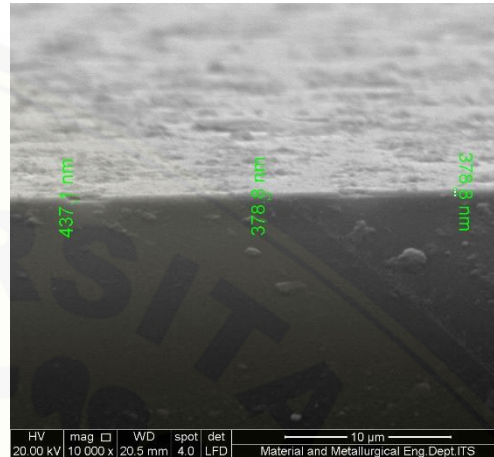
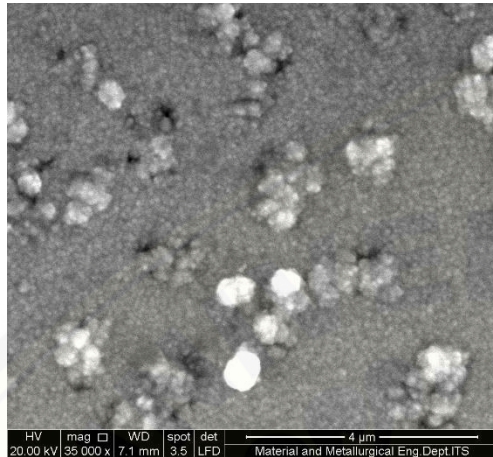
Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata – Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
420 °C	1	857	849	875	1095	1306	996,4	Ω
	2	825	957	926	968	1050	945,2	Ω
	3	796	857	943	885	736	843,4	Ω
	4	889	1013	933	682	623	828	Ω

Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata – Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
460 °C	1	175	161	152	150	130	153,6 Ω	Ω
	2	275	218	193	170	138	198,8 Ω	Ω
	3	276	233	198	199	217	224,6 Ω	Ω
	4	67	68	80	79	96	78 Ω	Ω

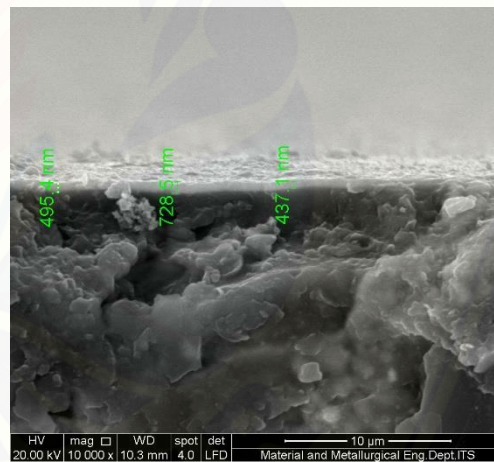
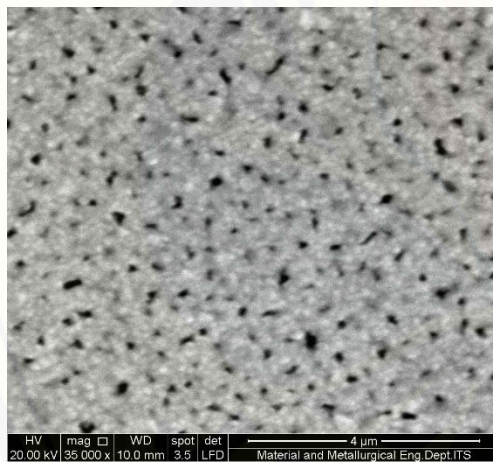
Temperatur Deposisi	Sample	Resistansi per cm					Rata - Rata	SATUAN
		S1	S2	S3	S4	S5		
500 oC	1	233	213	189	264	330	245,8	Ω
	2	275	218	193	170	138	100,8	Ω
	3	276	233	198	199	217	154	Ω
	4	67	68	80	79	96	160	Ω

C. Hasil Uji SEM

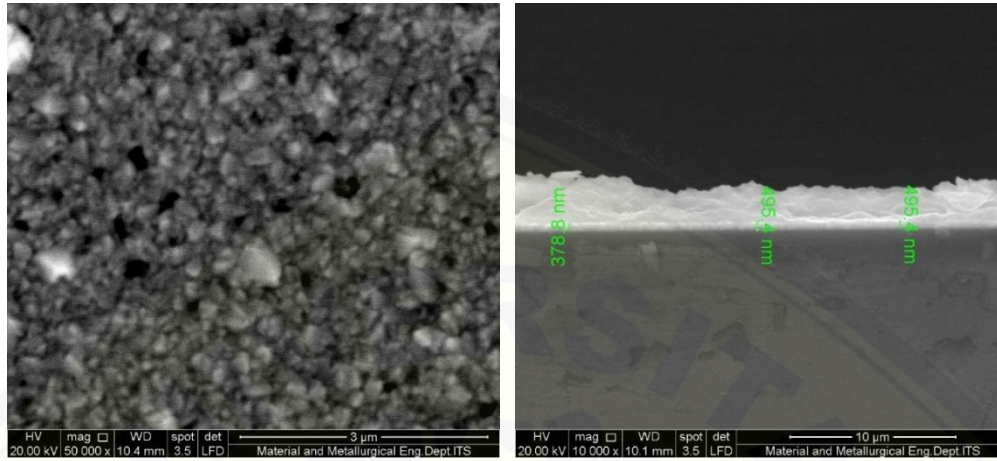
1. FTO dengan Temperatur Deposisi 340 °C



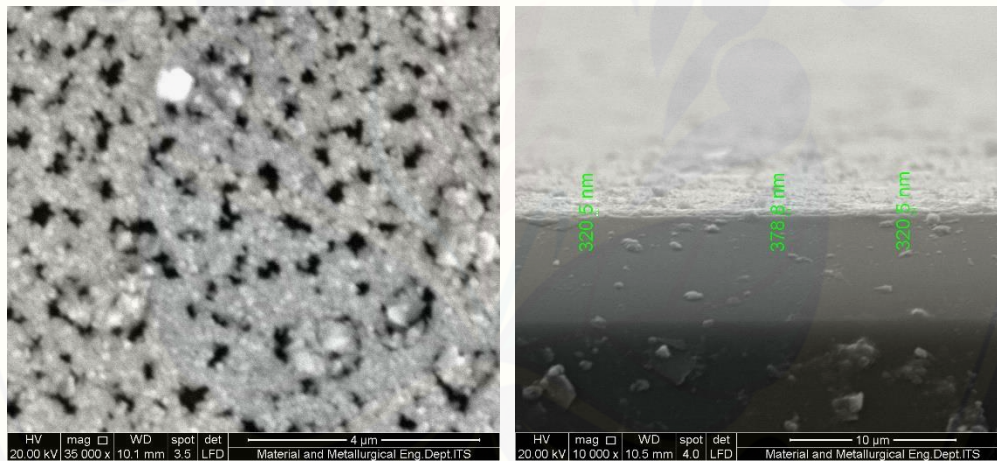
2. FTO dengan Temperatur Deposisi 380 °C



3. FTO dengan Temperatur Deposisi 460 °C

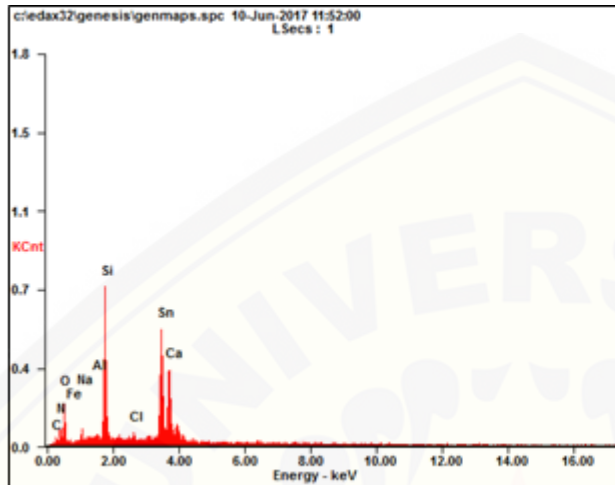


4. FTO dengan Temperatur Deposisi 500 °C

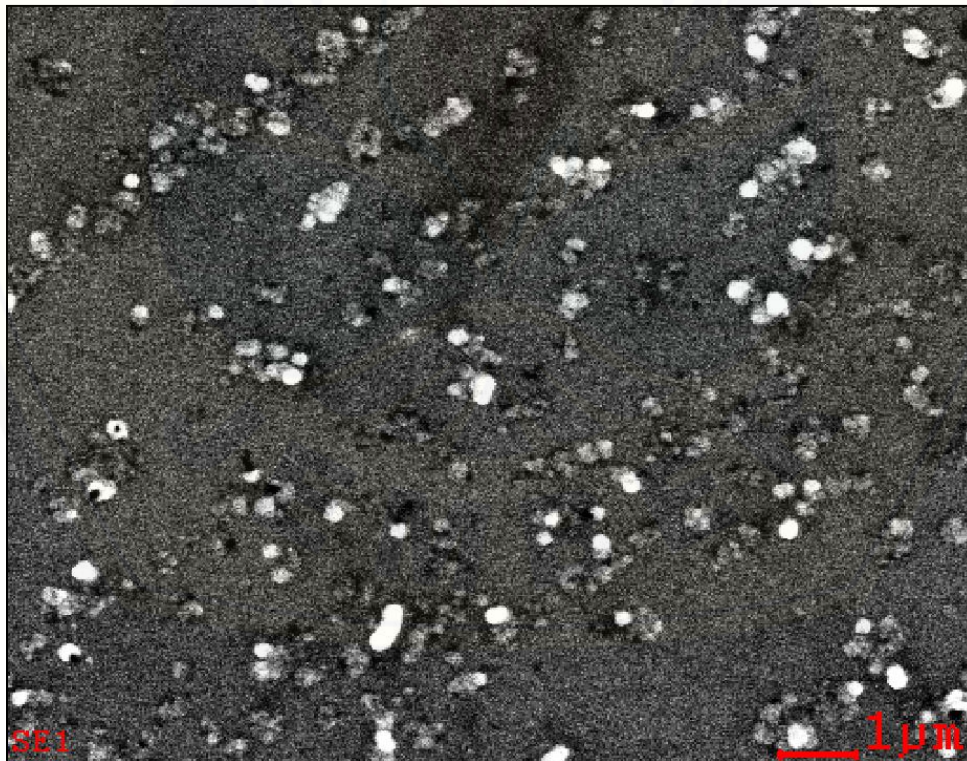


D. Hasil Pengujian EDX

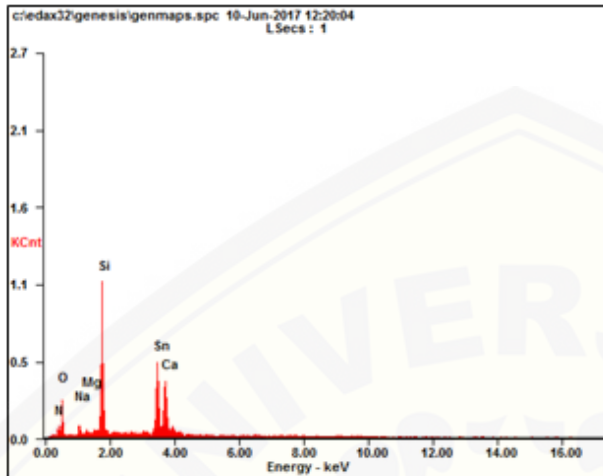
1. EDX FTO Temperatur Deposisi 340 °C



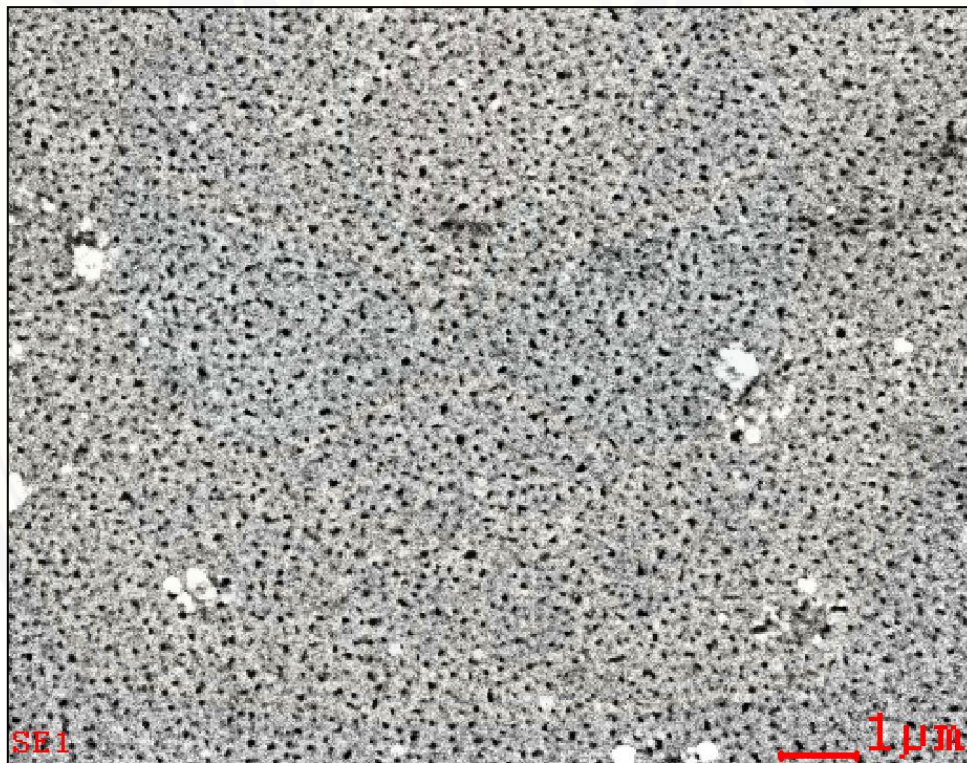
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	01.78	04.97
<i>NK</i>	05.57	13.31
<i>OK</i>	17.43	36.47
<i>FeL</i>	04.58	02.74
<i>NaK</i>	02.11	03.07
<i>AlK</i>	00.74	00.92
<i>SiK</i>	17.79	21.20
<i>ClK</i>	00.89	00.84
<i>SnL</i>	44.36	12.51
<i>CaK</i>	04.76	03.97
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



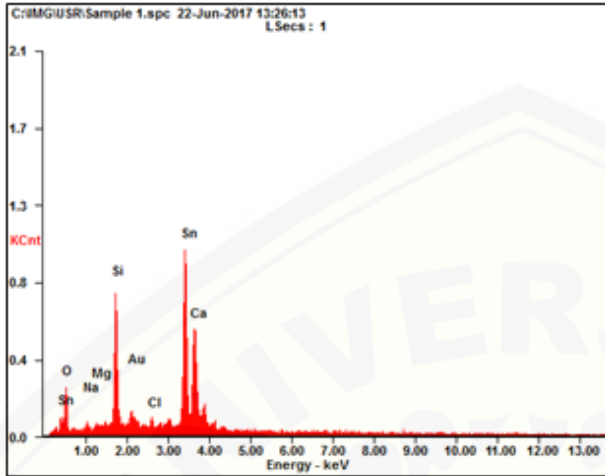
2. EDX FTO Temperatur Deposisi 380 °C



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>NK</i>	04.73	10.89
<i>OK</i>	20.27	40.87
<i>NaK</i>	02.68	03.76
<i>MgK</i>	01.02	01.35
<i>SiK</i>	23.33	26.78
<i>SnL</i>	41.76	11.35
<i>CaK</i>	06.21	05.00
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



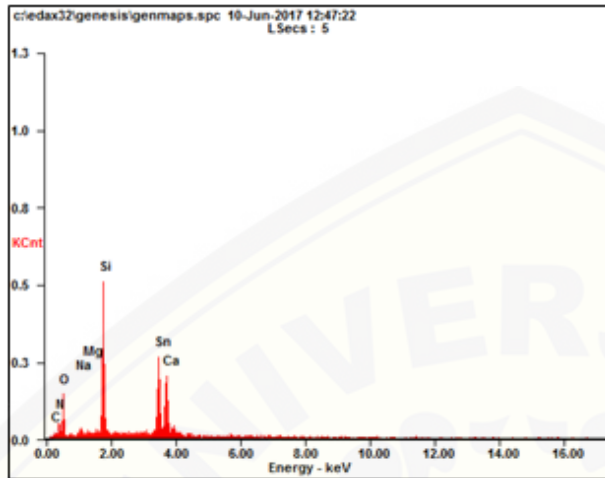
3. EDX FTO Temperatur Deposisi 460 °C



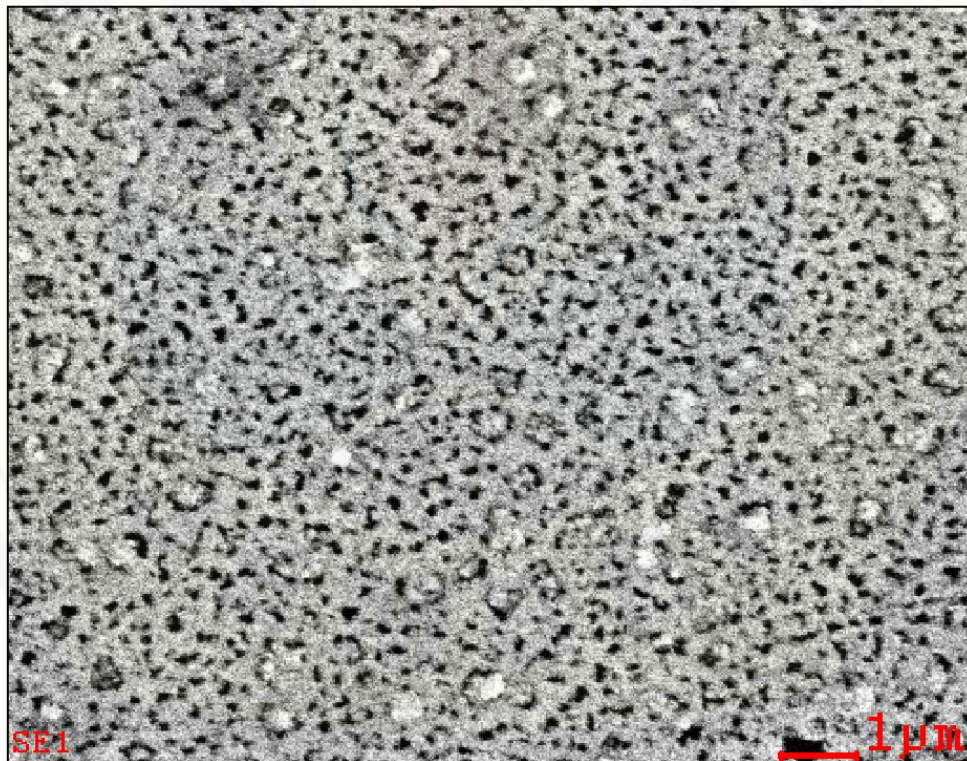
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>OK</i>	17.12	47.49
<i>NaK</i>	01.04	02.01
<i>MgK</i>	00.57	01.04
<i>SiK</i>	13.30	21.02
<i>AuM</i>	04.61	01.04
<i>ClK</i>	00.70	00.88
<i>SnL</i>	58.42	21.84
<i>CaK</i>	04.23	04.68
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



4. EDX FTO Temperatur Deposisi 500 °C

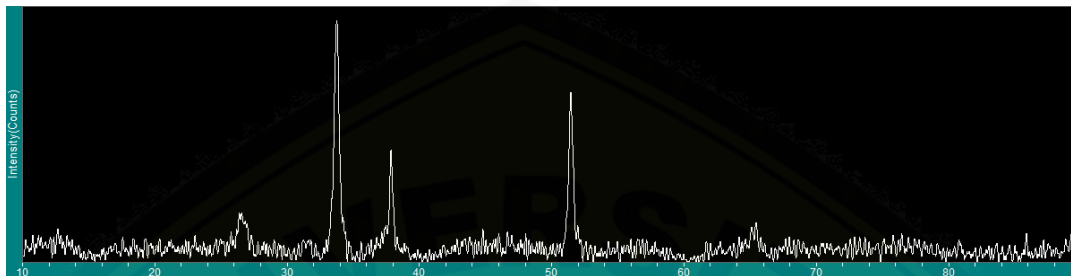


<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	02.22	05.64
<i>NK</i>	06.03	13.11
<i>OK</i>	21.52	40.98
<i>NaK</i>	01.77	02.35
<i>MgK</i>	00.69	00.87
<i>SiK</i>	20.70	22.46
<i>SnL</i>	42.07	10.80
<i>CaK</i>	05.00	03.80
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



E. Hasil Pengujian XRD

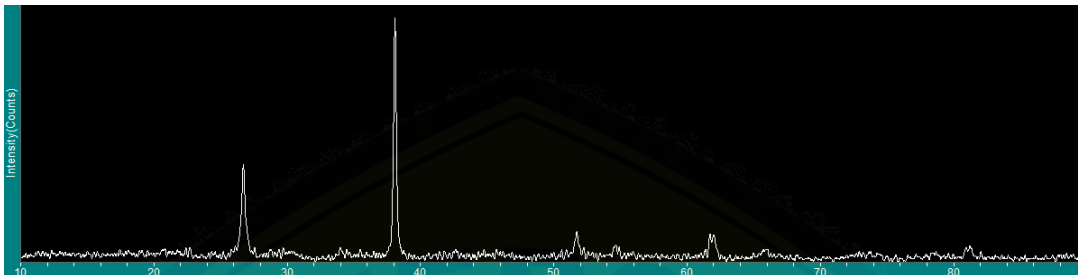
1. Hasil Pengujian XRD Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 380 °C



21 Hits Sorted on Figure-Of- Merit	Chemical Formula	I%	Space Group	a	b	c	Z
Tin Oxide	SnO ₂	38	P42/mnm (136)	4,75	4,75	3,198	2
Tin Oxide	SnO ₂	<1	Pa-3 (205)	4,87	4,87	4,87	4
Tin Nitride	Sn _x N _z	<1	P-3m1 (164)	3,723	3,723	5,21	2
Potassium Phosphate	K _{x+2} (P _x O _{3x+1})	<1					
Tin Fluoride	Sn ₂ F ₆	<1	Fm-3m (225)	8,328	8,328	8,328	4
Oxygen	O ₂	<1	Fmmm (69)	4,217	2,949	6,661	4
Oxygen	O ₂	<1	R-3m (166)	2,784	2,784	10,196	1
Vanadium Oxide	V _x O ₂	<1		11,72	8,96	5,37	
Tin Oxide	SnO ₂	<1	Fm-3m (225)	4,925	4,925	4,925	4
Tin Oxide Fluoride	Sn ₄ O ₂ F ₄	<1	C2/m (12)	9,296	8,076	5,074	2
Tin Oxide	SnO ₂	<1	P212121 (19)	4,714	5,727	5,214	4
Tin Fluoride	Sn ₇ F ₁₆	<1					
Tin Oxide	Sn ₂ O ₃	<1	P* (2)	5,457	8,179	3,714	2

Tin Oxide	Sn ₃ O ₄	<1	P* (2)	4,86	5,88	8,2	2,16
Tin Oxide Fluoride	SnOF ₂	<1		8,89	8,89	8,89	12
Tin	Sn	<1	I ₄ /mmm (139)	3,811	3,811	3,483	2
Tin Oxide	Sn ₃ O ₄	<1	P-1 (2)	5,88	8,2	4,86	2,16
Tin Oxide	SnO	<1					
Romarchite, syn	SnO	<1	P ₄ /mmm (129)	3,802	3,802	4,836	2
Gray tin	Sn	<1	Fd-3m (227)	6,489	6,489	6,489	8
Tin, syn	Sn	<1	I ₄ 1/amd (141)	5,831	5,831	3,182	4

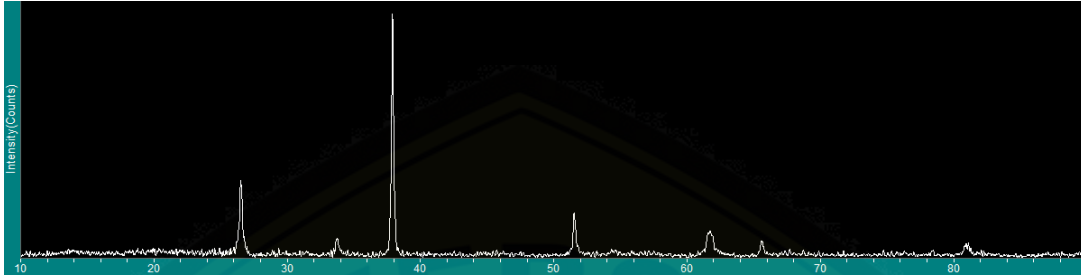
2. Hasil Pengujian XRD Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 420 °C



23 Hits Sorted on Intensity%	Chemical Formula	I%	Space Group	a	b	c	Z
Cassiterite, syn	SnO ₂	31	P42/mnm (136)	4,738	4,738	3,187	2
Tin Oxide Fluoride	SnOF ₂	<1		8,89	8,89	8,89	12
Tin Oxide	Sn ₃ O ₄	<1	P* (2)	4,86	5,88	8,2	2,16
Tin Oxide	Sn ₂ O ₃	<1	P* (2)	5,457	8,179	3,714	2
Tin	Sn	<1	I4/mmm (139)	3,811	3,811	3,483	2
Tin Oxide	Sn ₃ O ₄	<1	P-1 (2)	5,88	8,2	4,86	2,16
Tin Fluoride	SnF ₂	<1	C2/c (15)	13,353	4,909	13,787	16
Tin Oxide	SnO	<1					
Romarchite, syn	SnO	<1	P4/nmm (129)	3,802	3,802	4,836	2
Gray tin	Sn	<1	Fd-3m (227)	6,489	6,489	6,489	8
Tin Fluoride	Sn ₇ F ₁₆	<1					
Tin Oxide	SnO ₂	<1	P212121 (19)	4,714	5,727	5,214	4
Tin Fluoride	Sn ₁₀ F ₃₄	<1					
Tin Oxide Fluoride	Sn ₄ O ₂ F ₄	<1	C2/m (12)	9,296	8,076	5,074	2
Tin Oxide	SnO ₂	<1	Fm-3m (225)	4,925	4,925	4,925	4

Vanadium Oxide	V_xO_2	<1		11,72	8,96	5,37	
Oxygen	O_2	<1	R-3m (166)	2,784	2,784	10,196	1
Oxygen	O_2	<1	Fmmm (69)	4,217	2,949	6,661	4
Tin Fluoride	Sn_2F_6	<1	Fm-3m (225)	8,328	8,328	8,328	4
Potassium Phosphate	$K_{x+2}(P_xO_{3x+1})$	<1					
Tin Nitride	Sn_xN_z	<1	P-3m1 (164)	3,723	3,723	5,21	2
Tin Oxide	SnO_2	<1	Pa-3 (205)	4,87	4,87	4,87	4
Tin, syn	Sn	<1	I41/amd (141)	5,831	5,831	3,182	4

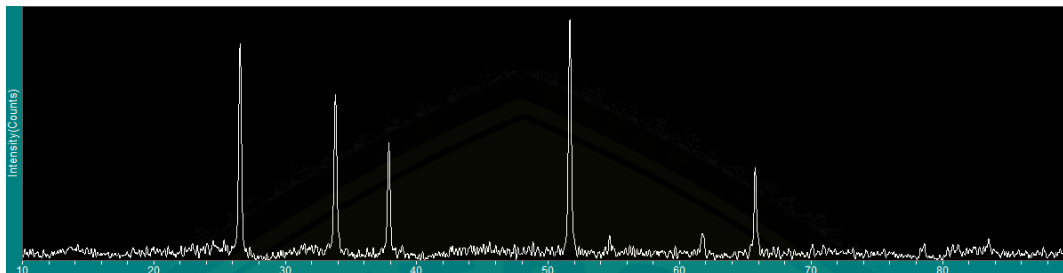
3. Hasil Pengujian XRD Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 460 °C



23 Hits Sorted on Intensity%	Chemical Formula	I%	Space Group	a	b	c	Z
Tin Oxide	SnO ₂	20	P42/mnm (136)	4,75	4,75	3,198	2
Tin Oxide Fluoride	SnOF ₂	<1		8,89	8,89	8,89	12
Tin Oxide	Sn ₃ O ₄	<1	P* (2)	4,86	5,88	8,2	2,16
Tin Oxide	Sn ₂ O ₃	<1	P* (2)	5,457	8,179	3,714	2
Tin	Sn	<1	I4/mmm (139)	3,811	3,811	3,483	2
Tin Oxide	Sn ₃ O ₄	<1	P-1 (2)	5,88	8,2	4,86	2,16
Tin Fluoride	SnF ₂	<1	C2/c (15)	13,353	4,909	13,787	16
Tin Oxide	SnO	<1					
Romarchite, syn	SnO	<1	P4/nmm (129)	3,802	3,802	4,836	2
Gray tin	Sn	<1	Fd-3m (227)	6,489	6,489	6,489	8
Tin Fluoride	Sn ₇ F ₁₆	<1					
Tin Oxide	SnO ₂	<1	P212121 (19)	4,714	5,727	5,214	4
Tin Fluoride	Sn ₁₀ F ₃₄	<1					
Tin Oxide Fluoride	Sn ₄ O ₂ F ₄	<1	C2/m (12)	9,296	8,076	5,074	2
Tin Oxide	SnO ₂	<1	Fm-3m (225)	4,925	4,925	4,925	4

Vanadium Oxide	V_xO_2	<1		11,72	8,96	5,37	
Oxygen	O_2	<1	R-3m (166)	2,784	2,784	10,196	1
Oxygen	O_2	<1	Fmmm (69)	4,217	2,949	6,661	4
Tin Fluoride	Sn_2F_6	<1	Fm-3m (225)	8,328	8,328	8,328	4
Potassium Phosphate	$K_{x+2}(P_xO_{3x+1})$	<1					
Tin Nitride	Sn_xN_z	<1	P-3m1 (164)	3,723	3,723	5,21	2
Tin Oxide	SnO_2	<1	Pa-3 (205)	4,87	4,87	4,87	4
Tin, syn	Sn	<1	I41/amd (141)	5,831	5,831	3,182	4

4. Hasil Pengujian XRD Kaca FTO dengan Temperatur Deposisi 500 °C



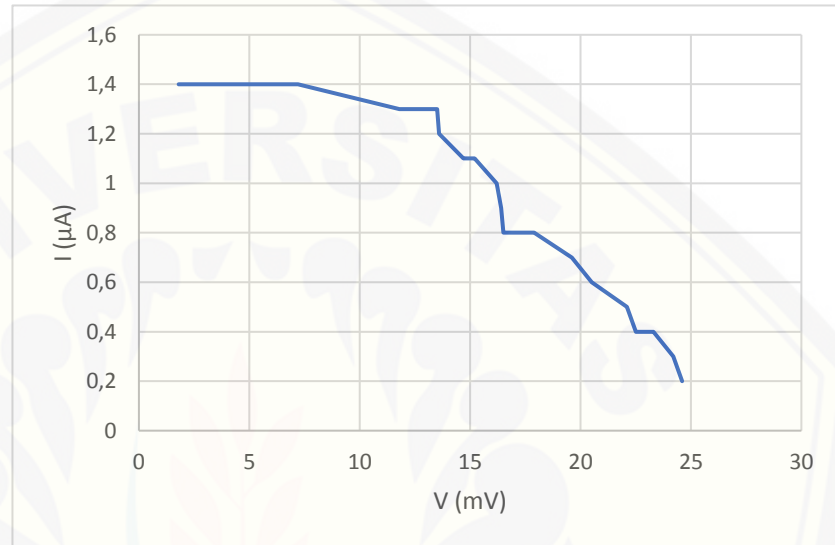
23 Hits Sorted on Figure-Of- Merit	Chemical Formula	I%	Space Group	a	b	c	Z
Tin Oxide	SnO ₂	38	P4 ₂ /mnm (136)	4,75	4,75	3,198	2
Tin Oxide	SnO ₂	<1	Pa-3 (205)	4,87	4,87	4,87	4
Tin Nitride	Sn _x N _z	<1	P-3m1 (164)	3,723	3,723	5,21	2
Potassium Phosphate	K _x +2(P _x O _{3x+1})	<1					
Tin Fluoride	Sn ₂ F ₆	<1	Fm-3m (225)	8,328	8,328	8,328	4
Oxygen	O ₂	<1	Fmmm (69)	4,217	2,949	6,661	4
Oxygen	O ₂	<1	R-3m (166)	2,784	2,784	10,196	1
Vanadium Oxide	V _x O ₂	<1		11,72	8,96	5,37	
Tin Oxide	SnO ₂	<1	Fm-3m (225)	4,925	4,925	4,925	4
Tin Oxide Fluoride	Sn ₄ O ₂ F ₄	<1	C2/m (12)	9,296	8,076	5,074	2
Tin Fluoride	Sn ₁₀ F ₃₄	<1					
Tin Oxide	SnO ₂	<1	P212121 (19)	4,714	5,727	5,214	4
Tin Fluoride	Sn ₇ F ₁₆	<1					

Tin Oxide	Sn ₂ O ₃	<1	P* (2)	5,457	8,179	3,714	2
Tin Oxide	Sn ₃ O ₄	<1	P* (2)	4,86	5,88	8,2	2,16
Tin Oxide Fluoride	SnOF ₂	<1		8,89	8,89	8,89	12
Tin	Sn	<1	I4/mmm (139)	3,811	3,811	3,483	2
Tin Oxide	Sn ₃ O ₄	<1	P-1 (2)	5,88	8,2	4,86	2,16
Tin Fluoride	SnF ₂	<1	C2/c (15)	13,353	4,909	13,787	16
Tin Oxide	SnO	<1					
Romarchite, syn	SnO	<1	P4/nmm (129)	3,802	3,802	4,836	2
Gray tin	Sn	<1	Fd-3m (227)	6,489	6,489	6,489	8
Tin, syn	Sn	<1	I41/amd (141)	5,831	5,831	3,182	4

F. Data dan Tabel Pengujian Efisiensi Sel Surya

1. DSSC 1 (Temperatur Deposisi 380°C dan Waktu Deposisi 3 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
1,8	1,4
1,9	1,4
2,2	1,4
4,5	1,4
7,2	1,4
11,8	1,3
13,5	1,3
13,6	1,2
14,7	1,1
15,2	1,1
16,2	1
16,4	0,9
16,5	0,8
17,9	0,8
19,6	0,7
20,5	0,6
22,1	0,5
22,5	0,4
23,3	0,4
24,2	0,3
24,6	0,2

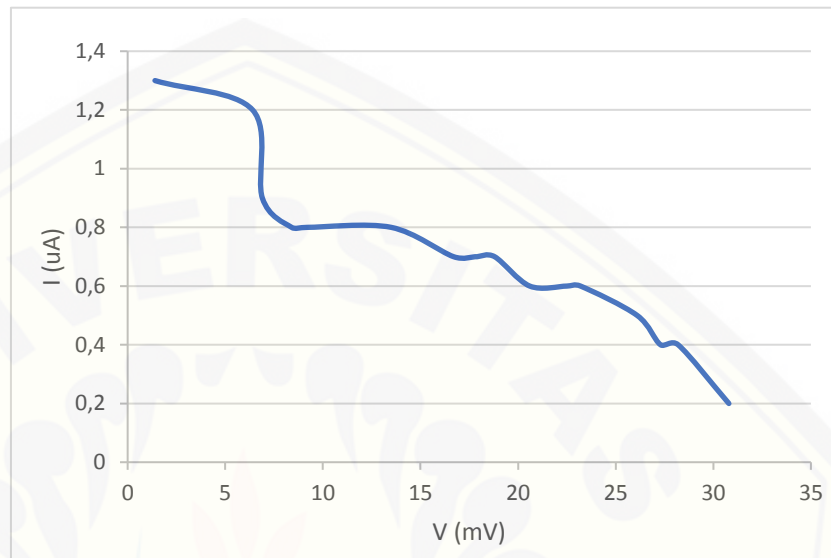


Keterangan

■ : V_{MPP}
 ■ : I_{MPP}

2. DSSC 2 (Temperatur Deposisi 420°C dan Waktu Deposisi 3 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
1,4	1,3
6,4	1,2
6,9	0,9
8,4	0,8
9,2	0,8
13,5	0,8
16,7	0,7
17,8	0,7
17,9	0,7
18,8	0,7
20,6	0,6
22,5	0,6
23,2	0,6
26,1	0,5
27,3	0,4
28,2	0,4
30,8	0,2

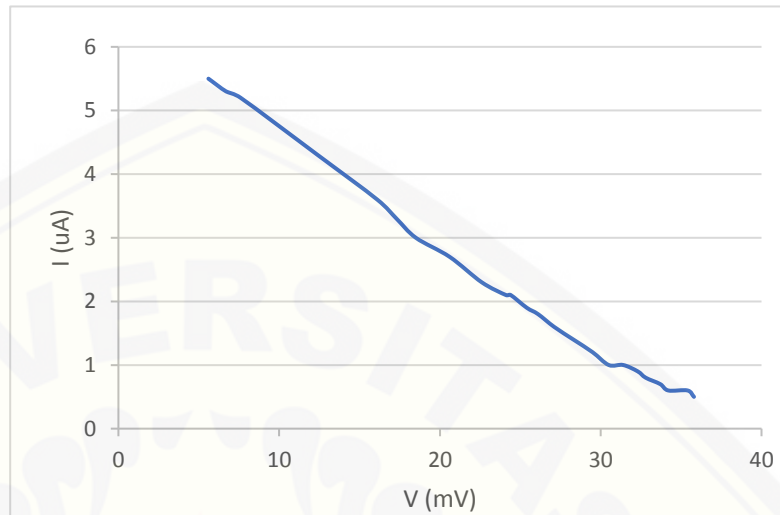


Keterangan

- : V_{MPP}
- : I_{MPP}

3. DSSC 3 (Temperatur Deposisi 460°C dan Waktu Deposisi 3 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
5,6	5,5
6,7	5,3
7,6	5,2
12,4	4,3
16,1	3,6
17,3	3,3
18,5	3
20,6	2,7
22,6	2,3
24,1	2,1
24,4	2,1
25,4	1,9
26,1	1,8
27,1	1,6
28,3	1,4
29,5	1,2
30,5	1
31,4	1
32,3	0,9
32,8	0,8
33,7	0,7
34,2	0,6
35,4	0,6
35,8	0,5
36,7	0,5
37,2	0,5
37,7	0,4
38,1	0,3
38,1	0,4

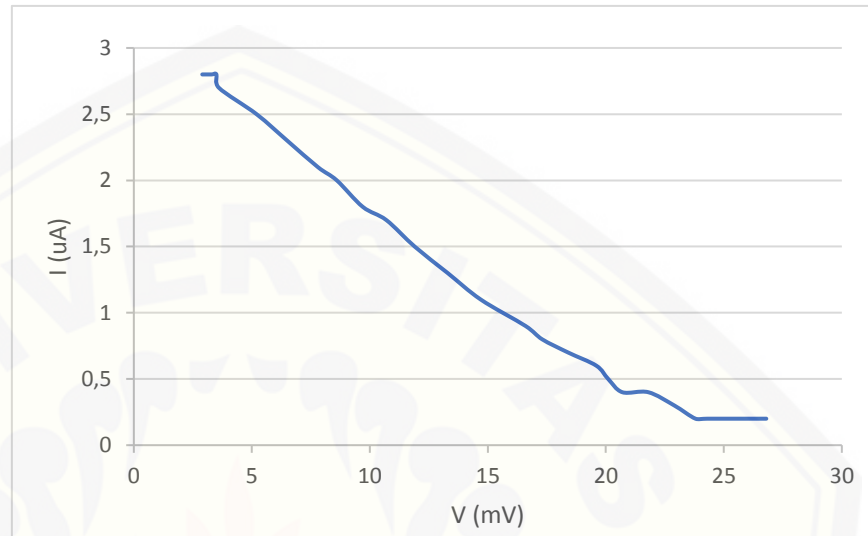


Keterangan

- : V_{MPP}
- : I_{MPP}

4. DSSC 4 (Temperatur Deposisi 500°C dan Waktu Deposisi 3 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
2,9	2,8
3,3	2,8
3,5	2,8
3,6	2,7
5,2	2,5
6,5	2,3
7,8	2,1
8,6	2
9,7	1,8
10,7	1,7
11,9	1,5
13,3	1,3
14,7	1,1
16,6	0,9
17,3	0,8
18,4	0,7
19,6	0,6
20,1	0,5
20,7	0,4
21,8	0,4
22,9	0,3
23,8	0,2
24,3	0,2
26,8	0,2

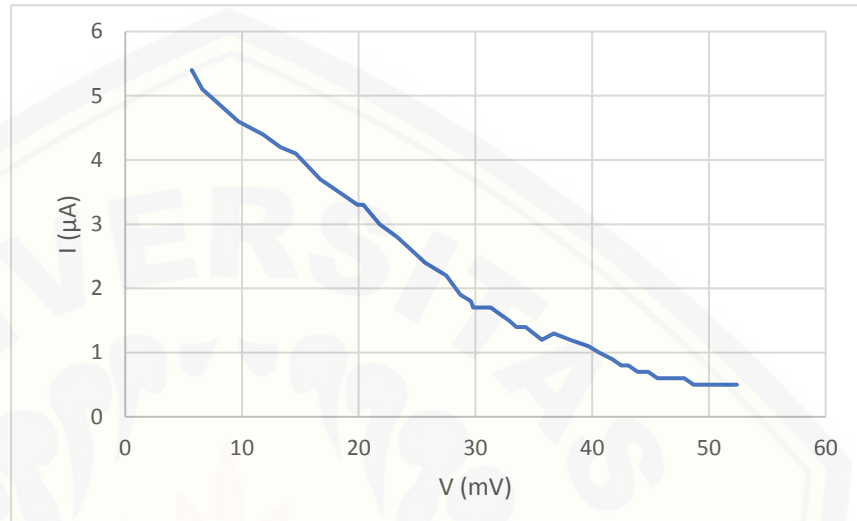


Keterangan

 : V_{MPP}
 : I_{MPP}

5. DSSC 5 (Temperatur Deposisi 380°C dan Waktu Deposisi 6 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Ampere)
5,7	5,4
5,7	5,2
6,6	5,1
9,7	4,6
11,8	4,4
13,3	4,2
14,6	4,1
16,7	3,7
19,9	3,3
20,4	3,3
21,8	3
23,3	2,8
25,7	2,4
27,5	2,2
28,7	1,9
29,6	1,8
31,3	1,7
32,1	1,6
32,9	1,5
34,3	1,4
35,7	1,2
36,7	1,3
38,1	1,2
39,7	1,1
40,6	1
41,7	0,9
43,1	0,8
44,8	0,7
47,9	0,6
48,7	0,5

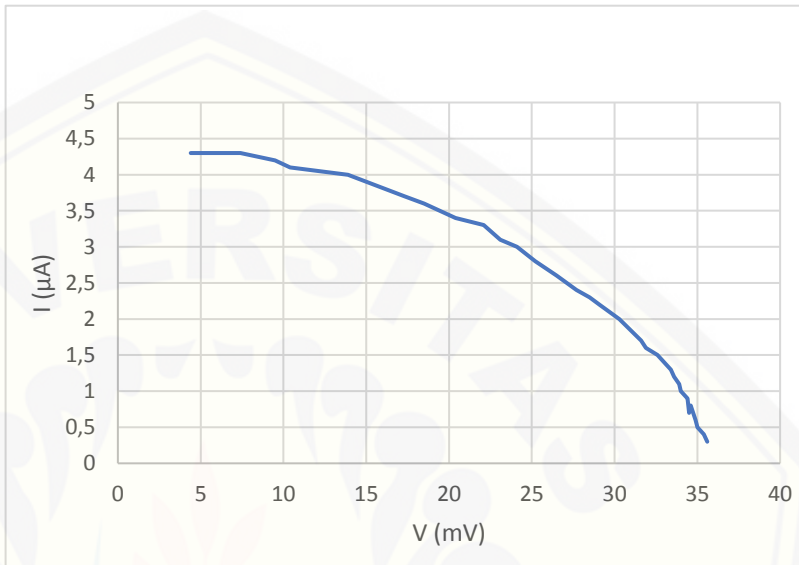


Keterangan

- : V_{MPP}
- : I_{MPP}

6. DSSC 6 (Temperatur Deposisi 420°C dan Waktu Deposisi 6 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
4,4	4,3
4,7	4,3
5,3	4,3
7,4	4,3
9,5	4,2
10,4	4,1
13,9	4
17,3	3,7
18,5	3,6
20,4	3,4
22,1	3,3
23,1	3,1
24,1	3
25,2	2,8
26,5	2,6
27,7	2,4
28,5	2,3
29,1	2,2
30,3	2
31,6	1,7
31,9	1,6
32,6	1,5
33,4	1,3
33,6	1,2
33,9	1,1
34	1
34,4	0,9
34,5	0,7
34,6	0,8
34,9	0,6
35	0,5
35,4	0,4
35,6	0,3

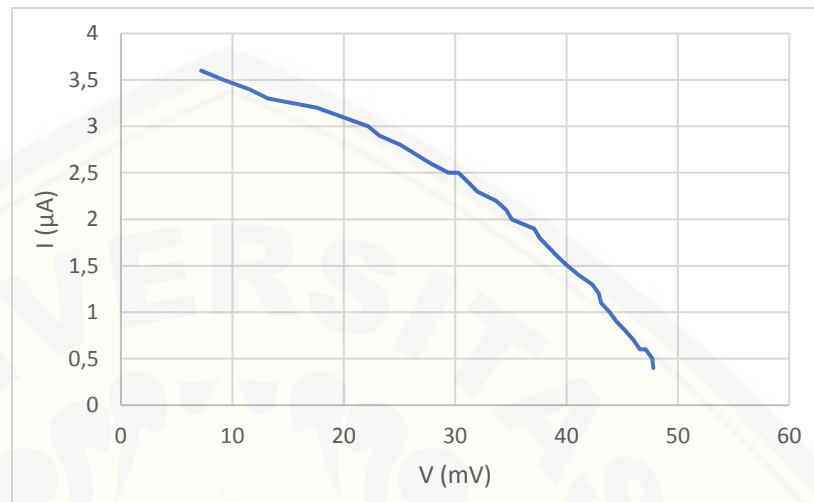


Keterangan

 : V_{MPP}
 : I_{MPP}

7. DSSC 7 (Temperatur Deposisi 460°C dan Waktu Deposisi 6 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
7,2	3,6
9,2	3,5
11,5	3,4
13,2	3,3
17,6	3,2
22,2	3
23,2	2,9
25,1	2,8
27,8	2,6
29,4	2,5
30,3	2,5
31,2	2,4
32	2,3
33,7	2,2
34,6	2,1
35,1	2
37,1	1,9
37,6	1,8
39,2	1,6
40,1	1,5
41,1	1,4
42,3	1,3
42,9	1,2
43,1	1,1
43,9	1
44,5	0,9
45,3	0,8
46	0,7
47,1	0,6
47,7	0,5
47,8	0,4

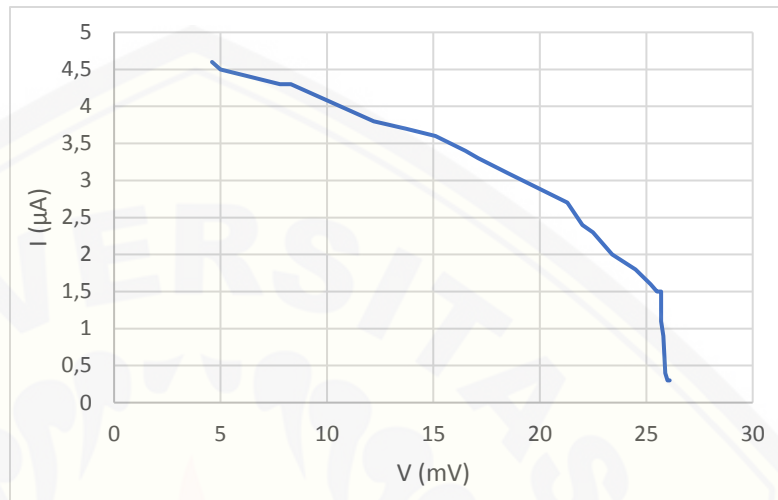


Keterangan

- : V_{MPP}
- : I_{MPP}

8. DSSC 8 (Temperatur Deposisi 500°C dan Waktu Deposisi 6 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
4,6	4,6
5	4,5
7,8	4,3
8,3	4,3
12,2	3,8
13,7	3,7
15,1	3,6
16,5	3,4
17,1	3,3
18,5	3,1
21,3	2,7
22	2,4
22,5	2,3
23,4	2
24,5	1,8
25,2	1,6
25,5	1,5
25,7	1,5
25,7	1,1
25,8	0,9
25,9	0,4
25,9	0,4
26	0,3
26,1	0,3

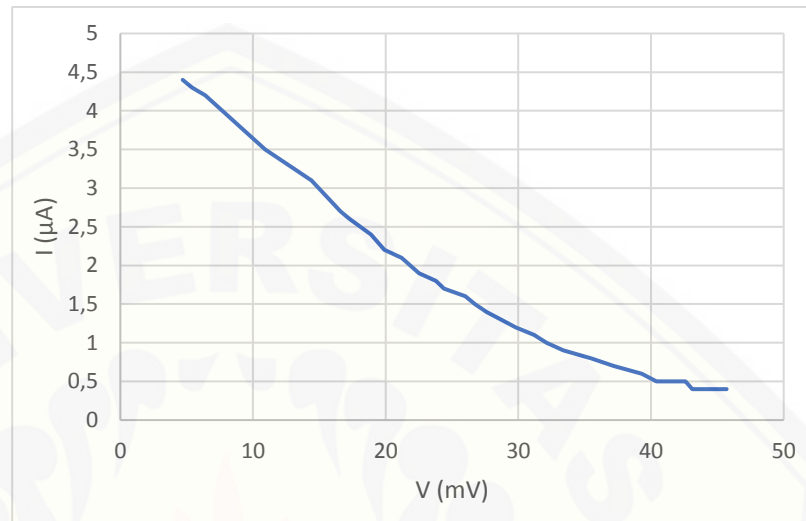


Keterangan

- : V_{MPP}
- : I_{MPP}

9. DSSC 9 (Temperatur Deposisi 380°C dan Waktu Deposisi 9 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
45,7	0,4
43,1	0,4
42,6	0,5
40,4	0,5
39,3	0,6
37,2	0,7
35,5	0,8
33,4	0,9
32,1	1
31,2	1,1
29,8	1,2
27,6	1,4
26,7	1,5
26	1,6
24,4	1,7
23,8	1,8
22,5	1,9
21,2	2,1
19,9	2,2
18,9	2,4
17,3	2,6
16,6	2,7
14,4	3,1
10,9	3,5
6,4	4,2
5,4	4,3
4,7	4,4

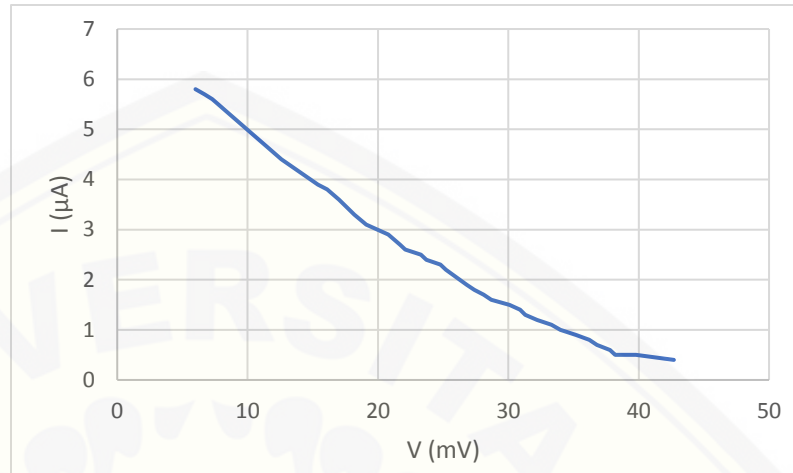


Keterangan

 : V_{MPP}
 : I_{MPP}

10. DSSC 10 (Temperatur Deposisi 420°C dan Waktu Deposisi 9 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
42,7	0,4
39,8	0,5
38,2	0,5
37,8	0,6
36,8	0,7
36,2	0,8
35,2	0,9
32,2	1,2
31,3	1,3
28,1	1,7
27,4	1,8
26,8	1,9
25,2	2,2
24,8	2,3
23,7	2,4
23,3	2,5
22,1	2,6
21,7	2,7
20,8	2,9
19,1	3,1
18,2	3,3
17	3,6
16,1	3,8
15,4	3,9
12,6	4,4
7,3	5,6
6,7	5,7
6	5,8

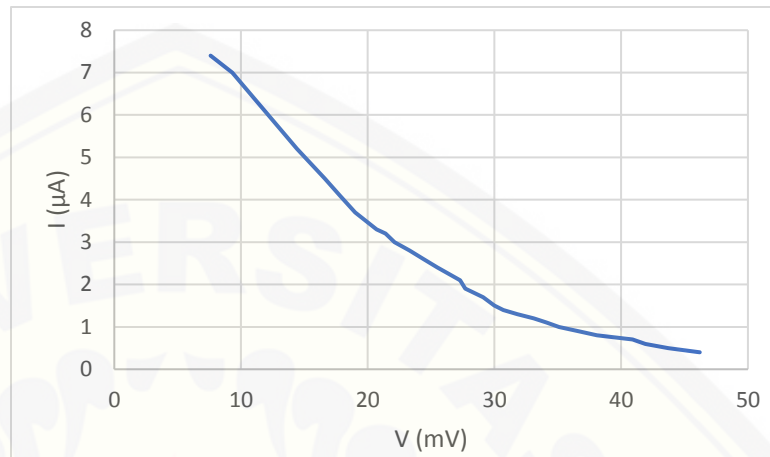


Keterangan

 : V_{MPP}
 : I_{MPP}

11. DSSC 11 (Temperatur Deposisi 460°C dan Waktu Deposisi 9 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
46,2	0,4
43,7	0,5
41,9	0,6
40,9	0,7
38,1	0,8
36,6	0,9
35,1	1
34,1	1,1
33,1	1,2
31,8	1,3
30,7	1,4
30	1,5
29,1	1,7
27,7	1,9
27,3	2,1
25,5	2,4
24,4	2,6
23,3	2,8
22,1	3
21,4	3,2
20,7	3,3
19	3,7
17,8	4,1
16,6	4,5
14,4	5,2
9,3	7
7,6	7,4

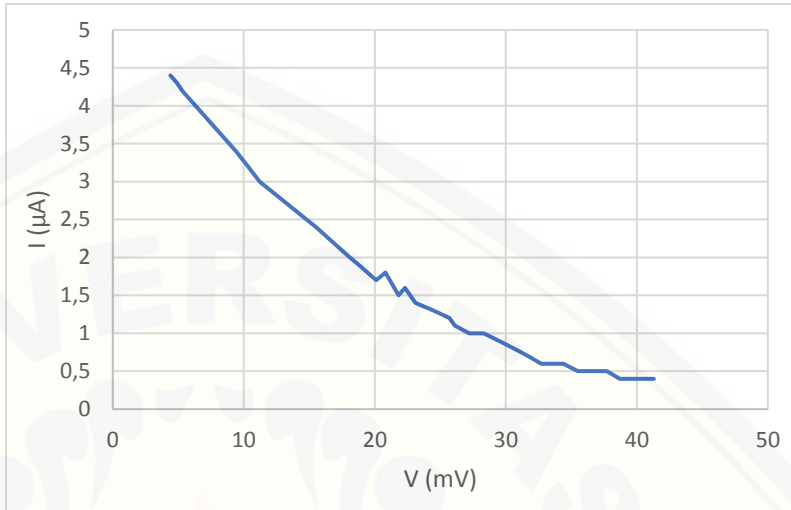


Keterangan

■ : V_{MPP} ■ : I_{MPP}

12. DSSC 12 (Temperatur Deposisi 500°C dan Waktu Deposisi 9 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
4,4	4,4
4,9	4,3
5,3	4,2
9,4	3,4
10,3	3,2
11,2	3
15,5	2,4
18,1	2
18,8	1,9
20,1	1,7
20,8	1,8
21,8	1,5
22,3	1,6
23,1	1,4
24,5	1,3
25,7	1,2
26,1	1,1
27,2	1
28,3	1
29,5	0,9
30,6	0,8
31,7	0,7
34,4	0,6
35,5	0,5
38,7	0,4
39,7	0,4
40,5	0,4
41,3	0,4

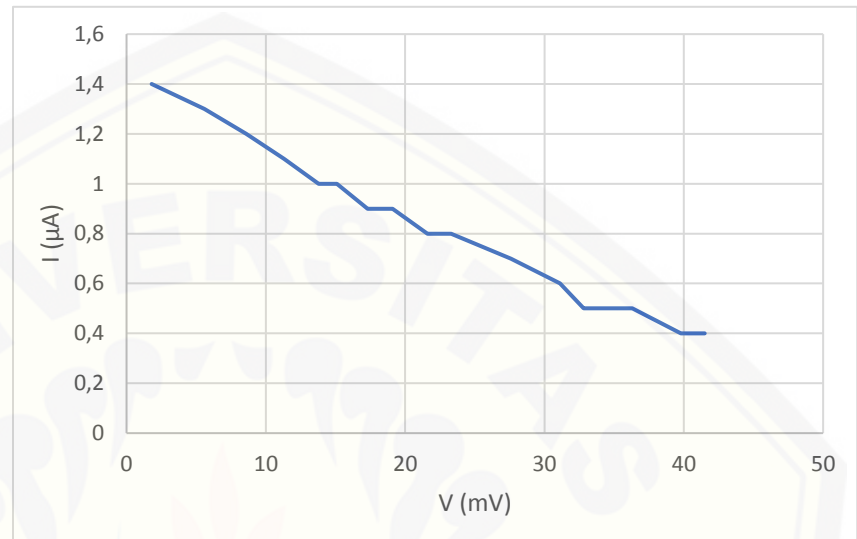


Keterangan

- : V_{MPP}
- : I_{MPP}

13. DSSC 13 (Temperatur Deposisi 380°C dan Waktu Deposisi 12 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
41,5	0,4
39,8	0,4
36,3	0,5
34,7	0,5
32,8	0,5
31,1	0,6
27,6	0,7
23,3	0,8
21,6	0,8
19,1	0,9
17,3	0,9
15,1	1
13,8	1
11,3	1,1
8,6	1,2
5,6	1,3
1,8	1,4

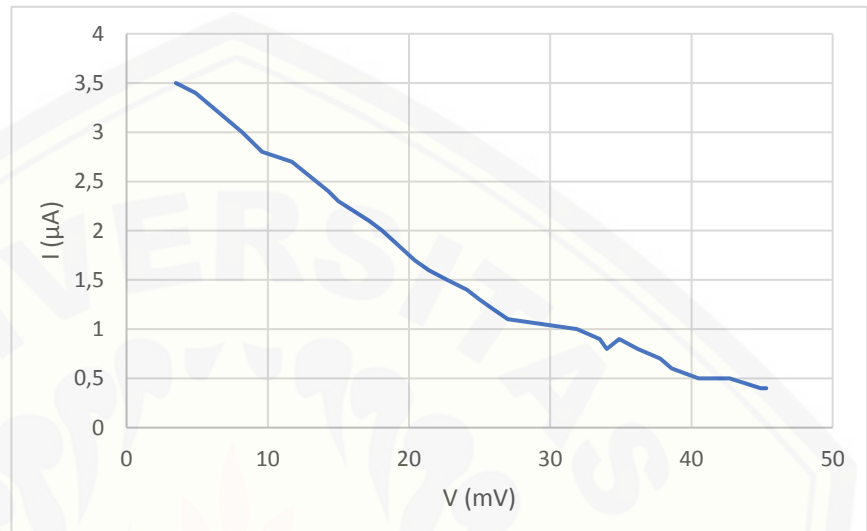


Keterangan



14. DSSC 14 (Temperatur Deposisi 420°C dan Waktu Deposisi 12 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
45,3	0,4
44,9	0,4
42,7	0,5
40,5	0,5
38,6	0,6
37,8	0,7
36,2	0,8
34,9	0,9
34	0,8
33,5	0,9
31,9	1
27	1,1
26	1,2
25	1,3
24,1	1,4
22,7	1,5
21,4	1,6
20,4	1,7
18,1	2
17,2	2,1
15	2,3
14,3	2,4
11,7	2,7
9,6	2,8
8,2	3
4,9	3,4
3,5	3,5

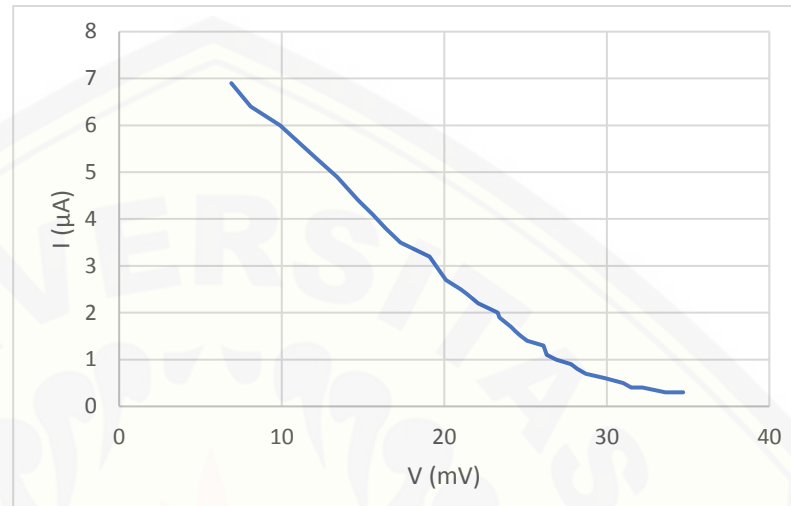


Keterangan

 : V_{MPP}
 : I_{MPP}

15. DSSC 15 (Temperatur Deposisi 460°C dan Waktu Deposisi 12 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
34,7	0,3
33,6	0,3
32,2	0,4
31,5	0,4
31	0,5
29,9	0,6
28,7	0,7
28,2	0,8
27,8	0,9
26,9	1
24,4	1,6
24,1	1,7
23,4	1,9
23,3	2
22,1	2,2
21,4	2,4
21	2,5
20,1	2,7
19,1	3,2
17,3	3,5
16,4	3,8
15,6	4,1
14,7	4,4
13,4	4,9
12,1	5,3
9,9	6
8,1	6,4
6,9	6,9

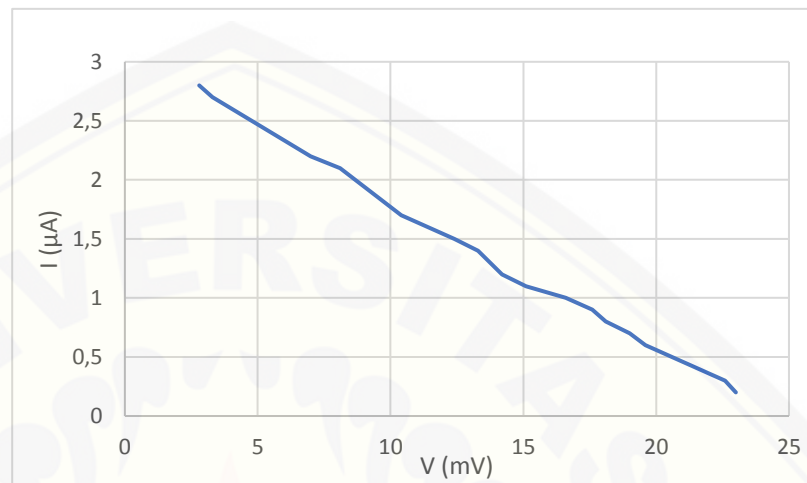


Keterangan

■ : V_{MPP}
 ■ : I_{MPP}

16. DSSC 16 (Temperatur Deposisi 500°C dan Waktu Deposisi 12 Menit)

Voltase (Volt)	Arus (Amper)
23	0,2
22,6	0,3
21,6	0,4
20,6	0,5
19,6	0,6
19	0,7
18,1	0,8
17,6	0,9
16,6	1
15,1	1,1
14,2	1,2
13,3	1,4
12,4	1,5
10,4	1,7
8,1	2,1
7	2,2
3,3	2,7
2,8	2,8

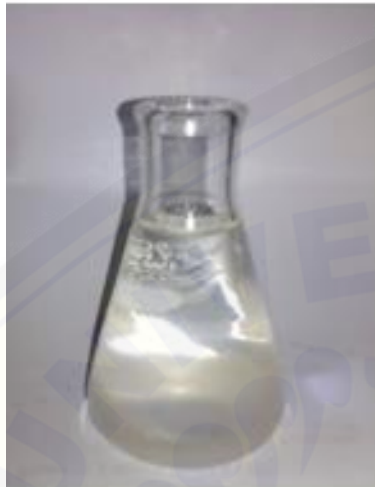


Keterangan

: V_{MPP}
 : I_{MPP}

F. Dokumentasi

1. Proses Deposisi FTO



(a)



(b)



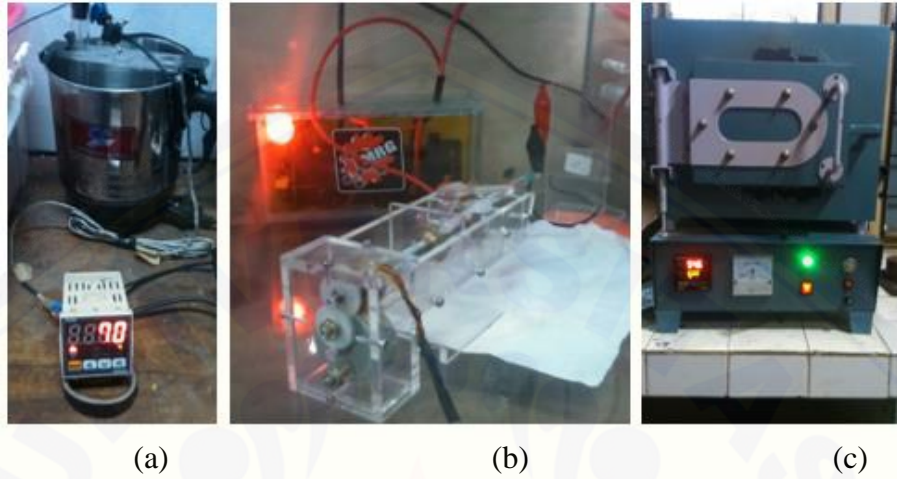
(c)



(d)

Larutan $\text{NH}_4\text{F} + \text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{etahnol}$ (a), Proses *Misting* (b),
Proses Pemanasan (c), Proses Deposisi (d)

2. Proses Sintesa Nanofiber



(a) (b) (c)
Gambar 4.4 Proses Sintesa Nanofiber
Pengadukan Larutan (a), Sintesa Nanofiber Metode *Electrospinning* (b),
Sintering (c)