

Sintesa *Fluorinated Tin Oxide* (FTO) Menggunakan Prekursor Ramah Lingkungan dan Penambahan *Graphene* dengan Metode Deposisi *Spray Coating* Untuk Aplikasi Material Konduktif Transparan

Rino Rinaldi ¹⁾, Amun Amri ²⁾, Khairat ³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
rino.rinaldi@ymail.com

ABSTRACT

Fluorine doped tin oxide (FTO) films were fabricated on a glass substrate by a spray coating deposition methode. Non-toxic SnF₂ was used as fluorine source to replace toxic HF or NH₄F. Effect of SnF₂ content, 0 – 10 mol% and 115 ppm graphene as comparison to the fluor content on the substrate, on structure, electrical resistivity, optical transmittance of the films and morfology were investigated using X-ray diffraction (XRD), Multimeter, UV–vis spectra and Scanning Electron Microscopy (SEM). Structural analysis revealed that the films are amorf with crystal structure. Grain size varies from 501 nm - 175 nm with increasing fluorine concentration, which in fact critically impacts resultant electrical and optical properties. The 300 °C-annealed FTO film containing 10 mol% SnF₂ shows the lowest electrical resistivity $14,1 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$, on 5x deposition repeat, optical transmittance 86,4% on 0 mol% SnF₂ with once deposition repeat. The highest figure of merit $0,0453 \times 10^4 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ which is used for standart of best quality of transparent conductive oxide (TCO). Because of the promising electrical and optical properties, F-doped thin films prepared by this green process are well-suited for use in all aspects of transparent conducting oxide.

Keywords: *Fluorine doped tin oxide (FTO) films, Transparent conducting oxide (TCO), Sol–gel dip-coating, Electrical resistivity, Optical properties, Figure of merit.*

1. Pendahuluan

Energi sangat diperlukan dalam menjalankan aktivitas perekonomian Indonesia, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun untuk aktivitas produksi berbagai sektor perekonomian. Indonesia merupakan negara yang kaya dengan sumber daya energi, baik energi yang bersifat *renewable* (dapat diperbaharui) maupun yang bersifat *unrenewable* (tidak dapat diperbaharui). Namun, eksplorasi sumber daya energi fosil yang bersifat *unrenewable* lebih banyak daripada eksplorasi sumber daya energi yang bersifat *renewable*. Kondisi ini menyebabkan ketersediaan *unrenewable resources* menjadi semakin berkurang.

Pemerintah Indonesia telah berusaha mengembangkan energi baru terbarukan seperti energi matahari untuk menjawab persoalan tersebut. Letak

geografis Indonesia yang berada di atas garis khatulistiwa memungkinkan sinar matahari dapat diterima secara optimal di hampir seluruh wilayah Indonesia sepanjang tahun. Hal ini membuat Indonesia berpeluang besar untuk menjadikan energi matahari sebagai salah satu sumber energi alternatif masa depan. Untuk itu dibutuhkan suatu sistem yang mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik sehingga dapat dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu sistem yang biasa digunakan dalam pemanfaatan energi matahari adalah sel surya (*solar cell*).

Salah satu komponen utama untuk fabrikasi sel surya ini adalah *Transparent Conductive Oxide* (TCO) atau gelas transparan konduktif. Selain menjadi komponen utama pada sel surya, TCO juga

digunakan sebagai komponen *display*, *smart window*, *touch screen*, *light emitting diode*, dan lain-lain sehingga material ini menjadi sangat berharga dan mahal (Kumar dan Chongwu, 2010).

Hotim (2015) menyatakan bahwa saat ini Indonesia merupakan net importir material TCO. Untuk itu diperlukan produksi material ini di dalam negeri sebagai upaya menuju ke arah kemandirian energi di dalam negeri dan pemenuhan kebutuhan pasar serta dapat meningkatkan devisa Negara.

Dewasa ini TCO yang populer diperdagangkan adalah *Indium Tin Oxide* (ITO) dan *Fluorinated Tin Oxide* (FTO). Menurut U.S Geological Survey cadangan indium dalam kerak bumi pada tahun 1998 diperkirakan hanya 2600 ton (Dengyuan, 2005). Karena langka, maka harga Indium menjadi sangat mahal. Sementara FTO lebih murah dengan kinerja yang kompetitif dengan ITO (Tran *et al* , 2015). Usaha-usaha yang intensif telah dilakukan di berbagai negara untuk mencari bahan pengganti ITO agar diperoleh TCO yang murah, kinerja baik serta bersifat ramah lingkungan.

Sampai dengan saat ini salah satu material yang menguasai pasar TCO adalah FTO (*Fluorinated-Tin Oxide*). FTO umumnya lebih resistan secara kimiawi, murah dan ketersediaan bahan baku yang lebih mudah diperoleh daripada ITO (Adnane, dkk, 2005). Selain itu, dalam aplikasi sel surya, FTO menunjukkan sifat konduktifitas listrik yang relatif lebih tahan terhadap perlakuan pemanasan dibandingkan dengan ITO (Sima, dkk, 2010). Hal ini membuat FTO banyak digunakan sebagai elektroda pada sel surya.

Ada beberapa cara sintesis FTO, salah satunya adalah metode sol-gel dengan berbagai teknik deposisi. Metode ini dikenal *low-cost* dan sederhana dalam sintesis material. Pada umumnya, sintesis sol gel untuk *coating* FTO menggunakan $\text{SnCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber Sn (timah) dan HF atau NH_4F sebagai sumber *fluor* (F)

(Widiyandari, dkk, 2013). Namun Senyawa HF dan NH_4F dikenal sebagai senyawa yang relatif toksik, mudah menguap sehingga relatif kurang ramah lingkungan.

2. Metodologi Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian sintesa FTO yaitu $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (Acros Organics, purity 99.0%), SnF_2 (Acros Organics, purity 99.0%), *Monoethanolamina* (MEA, $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$ Sigma-Aldrich, purity 99.0%), Amonium Hidroksida (NH_4OH Acros Organics, purity 29.0%), alkohol (Metanol CH_3OH , Acros Organics, purity 99.9%), deterjen dan akuades.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu adalah *furnace*, oven, timbangan analitik, *hot plate*, gelas piala, *ultrasonic cleaner*, difraksi sinar-X (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan spektrofotometer UV-Vis dan multimeter, serta adhesi meter (Elcometer).

2.1 Tahap Penelitian

2.1.1 Pembuatan Sol

Pembuatan sol FTO ini mengacu pada penelitian Tran *et al.* (2015) yaitu larutan dibuat dengan melarutkan campuran $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan MEA dengan perbandingan molar 1:1, serta CH_3OH dan NH_4OH dengan perbandingan volume 95:5. Larutan kemudian diaduk di atas *hot plate* pada suhu tertentu (80°C) selama 3 jam. Selanjutnya larutan ditambahkan dengan SnF_2 dengan variasi konsentrasi (0 mol%, 1 mol%, 5 mol%, dan 10 mol%) sambil terus diaduk selama 2 jam. Setelah itu, larutan didiamkan di gelas kimia selama 48 jam pada suhu kamar sehingga terbentuk sol yang berwarna kuning transparan.

2.1.2 Pembuatan Graphene

Larutan *graphene* dibuat dengan menggunakan metode *elektro-exfoliating* yaitu dengan meletakkan 2 batang grafit sebagai elektroda-elektroda baterai 9 volt. Pada bagian tengah batang grafit diberi selotip untuk pengecekan *graphene*, lalu dicelupkan kedalam 10 ml air dan 5 ml

H₂SO₄ 18 M agar didapatkan larutan *graphene*. Kemudian lapisan-lapisan dari batang grafit akan menyebar diatas permukaan larutan tersebut. Sehingga lapisan atas dari larutan akan membentuk lapisan tipis yang akan membentuk *graphene*.

2.1.3 Teknik Pelapisan

Lapisan gel FTO dibuat dengan menyemprotkan sol prekursor menggunakan *sprayer* yang dideposisikan di atas substrat kaca. *Sprayer* yang digunakan memiliki diameter lubang

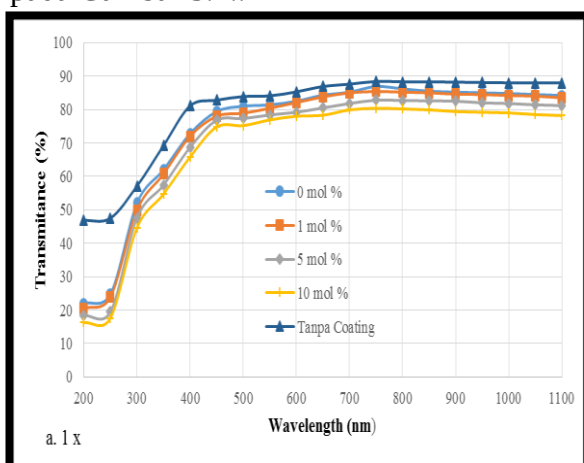
2.2 Analisa Karakteristik FTO

Lapisan FTO yang dihasilkan dikarakterisasi berdasarkan sifat transparansi optik dan sifat listriknya menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan Ohm meter. Struktur dan orientasi bidang kristal dari lapisan FTO diuji dengan XRD (XRD, Bruker-D822 dengan radiasi Cu K α). Morfologi permukaan lapisan FTO dapat diamati dengan menggunakan SEM (SEM, HITACHI/S-4800). Sedangkan adhesi diuji dengan elcometer.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Transmittansi

Pengukuran transmittansi optik pada rentang panjang gelombang 200 nm – 1100 nm ditunjukkan dengan grafik transmittansi pada Gambar 3.1..



Gambar 3.1 Grafik Nilai Transmittansi Lapisan Tipis FTO Terhadap Panjang Gelombang

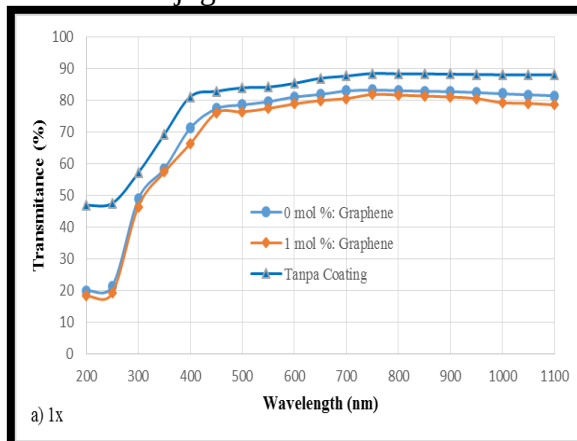
dengan ukuran 0,8 mm dan tekanan kompresor 20 psi. Substrat kaca yang digunakan terlebih dahulu dibersihkan dengan detergen kemudian dibersihkan dengan air mendidih selama 15 menit, terakhir dibersihkan dengan *acetone*. Setelah itu substrat kaca dilapisi dengan larutan sol, dan sebagian sampel dilakukan penambahan *graphene* dengan metode *spray*. Perlakuan *Annealing* dilakukan didalam furnace pada suhu 300°C selama 2 jam. Hal yang sama dilakukan untuk variasi ketebalan *coating*.

Secara umum terlihat bahwa transmittansi meningkat dengan peningkatan panjang gelombang (atau lebih tepatnya partikel cahaya yang disebut dengan foton) yang mengenai permukaan material TCO dikarenakan lebar celah ini berada pada kisaran 3,2 eV atau setara dengan panjang gelombang elektromagnetik 320 nm (*ultraviolet*), maka hanya foton dengan energi setara atau lebih besar dari 3,2 eV yang mampu mengeksitasi elektron mengatasi celah ini. Sedangkan, foton dengan energi lebih kecil dari celah tidak akan mampu mengeksitasi elektron, sehingga foton ini hanya akan ditransmisikan atau diteruskan. Foton yang diteruskan ini berada pada kisaran spektrum cahaya tampak dengan energi lebih kecil dari 3,2 eV. Hal inilah yang menyebabkan kaca FTO dapat ditembus oleh cahaya tampak. Sedangkan perubahan transmittansi menunjukkan adanya absorpsi pada panjang gelombang tertentu. Penurunan transmittansi yang tajam dapat pula menjadi petunjuk mengenai kualitas kristal. Semakin tajam kemiringannya maka kualitas kristal semakin baik (Raharjo, 2009).

3.1.1 Transmittansi dengan Penambahan *Graphene*

Adapun penambahan *graphene* adalah sebagai pembanding yang ditambahkan pada konsentrasi SnF₂ 0

mol% dan 1 mol% membuat nilai transmitansi juga semakin menurun.



Gambar 3.2 Grafik Nilai Transmitansi Lapisan Tipis FTO dengan Penambahan *Graphene* Terhadap Panjang Gelombang

3.2 Resistivitas

Karakterisasi sifat listrik lapisan tipis FTO dilakukan menggunakan pengukuran dengan menggunakan metode *four probe*. Metode *four probe* adalah metode yang digunakan untuk mengukur daya hantar listrik dengan penempatan 4 titik pada lapisan permukaan material untuk membaca nilai tegangan, kuat arus dan hambatannya. Dari Tabel 3.1 secara umum terlihat bahwa peningkatan SnF_2 akan menurunkan resistivitas atau menaikkan konduktivitas.

Tabel 3.1 Nilai Resistivitas Lapisan FTO Terhadap Konsentrasi SnF_2

Konsentrasi SnF_2	Resistivitas ($\times 10^{-4} \Omega\text{cm}$)		
	1x	3x	5x
0 mol %	372,9	352,1	352,3
1 mol %	191,5	173,2	171,9
5 mol %	134,7	94,2	82,1
10 mol %	94,7	21,7	14,1

Meningkatnya sifat listrik pada kadar *fluor* yang tinggi karna konfigurasi orbital dari *fluor* dan oksigen berturut-turut adalah $2S^22P^5$ dan $2S^22P^4$. Ini menjelaskan bahwa atom *fluor* mendonorkan satu elektron dan akan mengisi kekosongan dari oksigen. Jari-jari atom *fluor* ($1.36 \text{ \AA}$) lebih kecil

daripada oksigen ($1.40 \text{ \AA}$), oleh karna itu atom *fluor* lebih elektronegatif daripada atom oksigen sehingga atom *fluor* dapat menggantikan sisi kekosongan oksigen dengan lebih mudah. Hal ini akan meningkatkan mobilitas pembawa muatan (*carrier*) yang menurunkan resistivitas. Penurunan resistivitas secara umum juga terjadi ketika ketebalan *coating* bertambah. Hal ini akan menyebabkan tumbukan ion unsur *fluor* pada SnO_2 akan terus berlangsung. Semakin lama tumbukan ion pada SnO_2 maka akan dihasilkan lapisan tipis yang semakin tebal. Meningkatnya ketebalan lapisan tipis ini akan memperkecil resistivitas lapisan tipis (Wirjoadi, dkk, 2001).

3.2.1 Resistivitas dengan Penambahan *Graphene*

Pada Tabel 3.2 menunjukan nilai resistivitas lapisan FTO terhadap penambahan kadar *fluor* dan *graphene* pada ulangan deposisi 1x, 3x dan 5x dengan pemanasan substrat kaca 300°C .

Tabel 3.2 Nilai Resistivitas Lapisan FTO Terhadap Penambahan *Graphene*

Konsentrasi SnF_2	Resistivitas ($\times 10^{-4} \Omega\text{cm}$)		
	1x	3x	5x
0 mol % + <i>Graphene</i>	121,1	43,1	31,3
1 mol % + <i>Graphene</i>	105,8	31,1	21,9

Hal ini disebabkan dengan adanya *graphene* dalam SnF_2 , muatan dari foton dapat ditangkap oleh *graphene* dan secara cepat dapat diteruskan dengan cepat ke partikel SnF_2 yang selanjutnya. Fenomena tersebut menyebabkan jarak penghantaran *charge* menjadi lebih pendek sehingga daya hantar listrik dapat ditingkatkan. Namun apabila melebihi batas maksimum penambahannya, *graphene* dapat menutupi permukaan FTO, sehingga akibatnya akan mengganggu penghantaran *charge* dari satu partikel ke partikel yang lain, hal tersebut dapat membuat rekombinasi *charge* tidak

dapat dikendalikan, dan *short circuit* akan dengan mudah terjadi (Pradana, 2013).

3.3 Nilai *Figur of Merit* (FOM)

Nilai FOM dari perbandingan nilai transmitansi dan nilai resistivitas dari lapisan FTO seperti yang ditunjukkan Tabel 3.3 berikut.

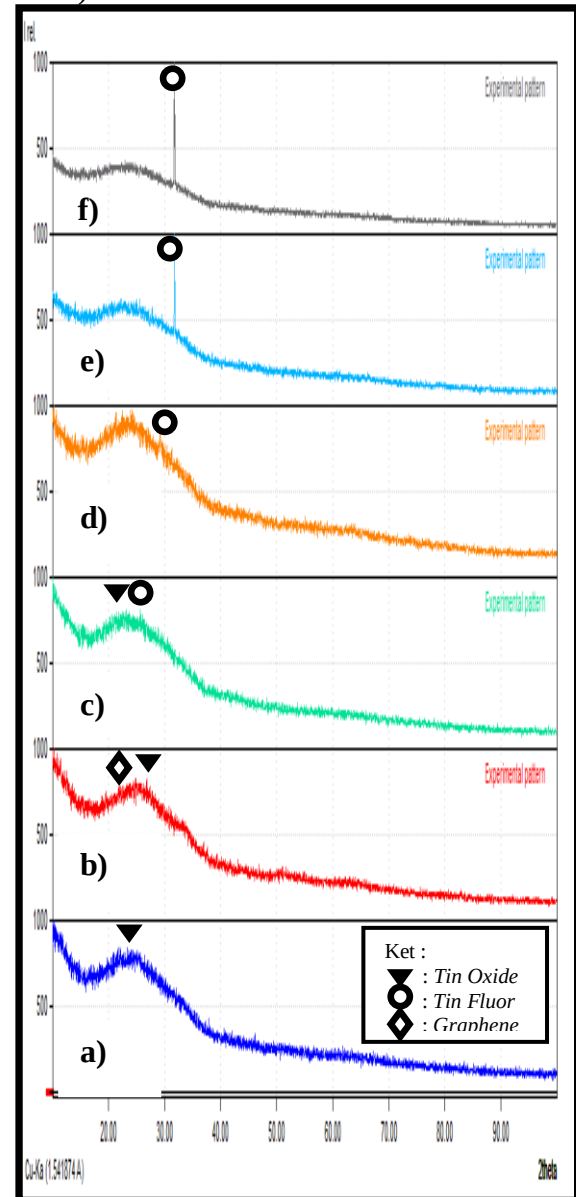
Tabel 3.3 Nilai FOM dari Perbandingan Transmittansi dan Resistivitas

Konsentrasi SnF ₂	<i>Figur of Merit</i> ($\times 10^4 \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$)		
	1x	3x	5x
0 mol %	0.0023	0.0022	0.0020
1 mol %	0.0044	0.0043	0.0041
5 mol %	0.0061	0.0078	0.0083
10 mol %	0.0084	0.0308	0.0453
0 mol % + Graphene	0.0068	0.0171	0.0223
1 mol % + Graphene	0.0076	0.0233	0.0305

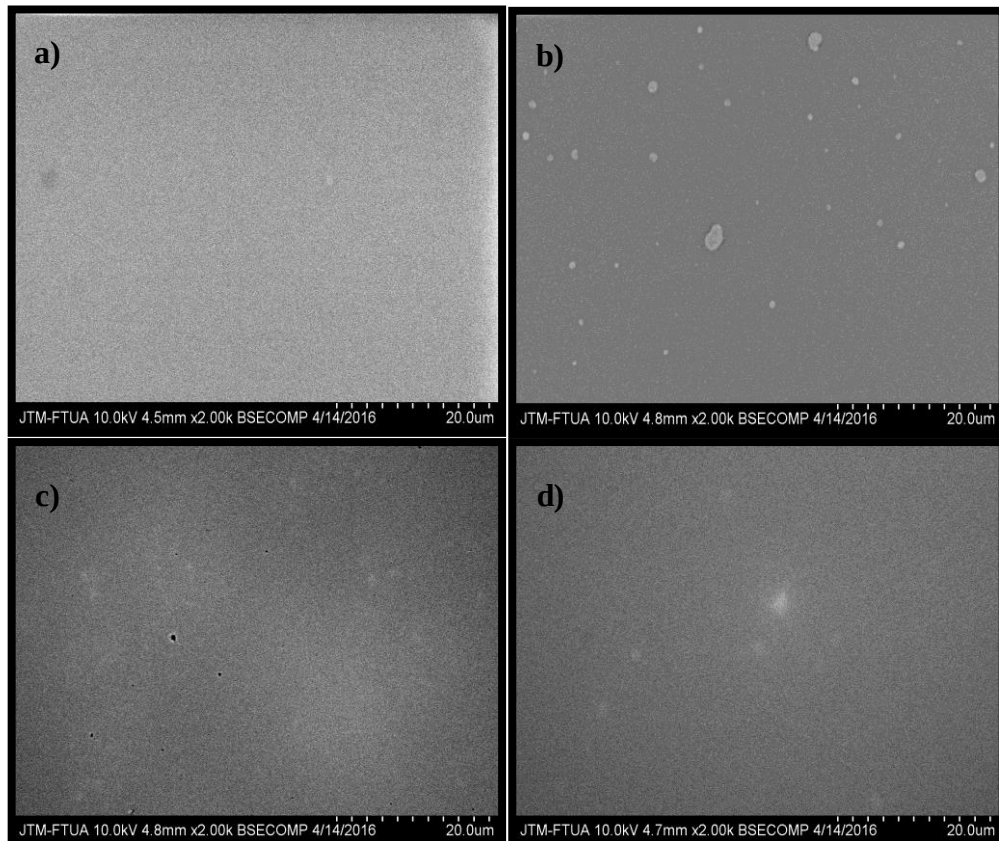
3.4 Analisa Struktur Kristal

Analisa XRD (*X-Ray Diffraction*) bertujuan untuk melihat senyawa kimia dan struktur kristal yang terdapat di dalam sampel beserta komposisinya. Pada penelitian ini dilakukan pengujian karakterisasi XRD pada *coating* terbaik dengan berbagai konsentrasi *fluor* dan *graphene*. Hal ini bertujuan untuk melihat perubahan struktur kristal dan senyawa kimia yang terbentuk seiring dengan kenaikan konsentrasi *fluor* dan *graphene*. Gambar 3.2 menunjukkan difraktogram *coating* pada permukaan substrat yang disintesis pada berbagai konsentrasi SnF₂. Gambar 3.2a-b merupakan spektra XRD *coating* yang diannealing pada suhu 300°C berdasarkan *ICDD card* 00-002-1340 merupakan fase kristal *Tin Oxide*. Puncak-puncak utama pada 2 θ : 52.22° (211), 39.57° (111) merupakan puncak-puncak dari *Tin Oxide* sangat mendekati puncak dari *ICDD referensi Tin Oxide*. Gambar 3.2c-f menunjukkan puncak-puncak utama yang terbentuk pada 2 θ : 28.73°(102), 31.77°(110), 31.74°(110) untuk *Tin Oxide*

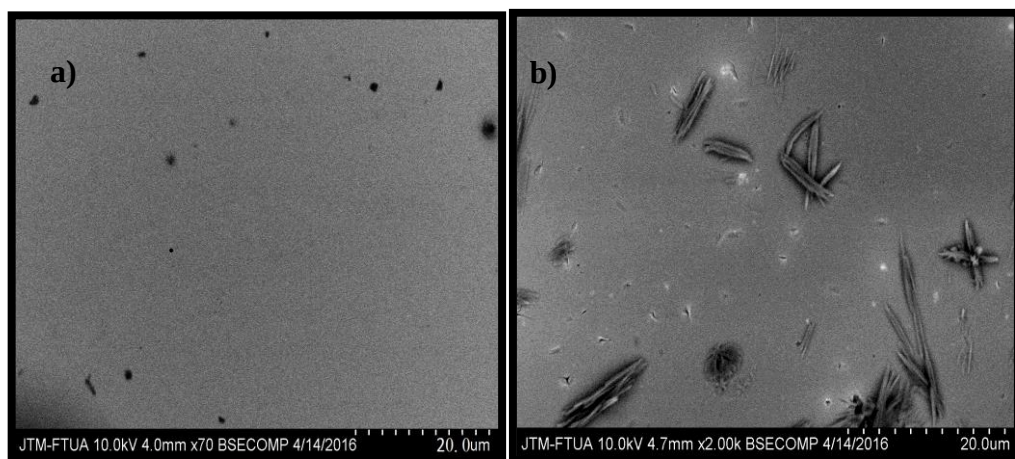
dan 2 θ : 20.12°(111), 27.96°(102), 28.35°(110) untuk *Tin Fluor* sangat mendekati puncak dari *ICDD referensi Tin Oxide* dan *Tin Fluor*. Pada konsentrasi 10 mol % puncak-puncak yang terbentuk hampir sama dengan konsentrasi 5 mol % dan 1 mol % dan 0 mol %. Namun, meningkatnya konsentrasi SnF₂ membuat puncak-puncak semakin tinggi (Cote *et al*, 2009).



Gambar 3.2 Difraktogram *Coating* yang disintesis dengan Konsentrasi SnF₂: a) 0 mol %, b) 0 mol % + *Graphene*, c) 1 mol %, d) 1 mol % + *Graphene*, e) 5 mol%, f) 10 mol %.



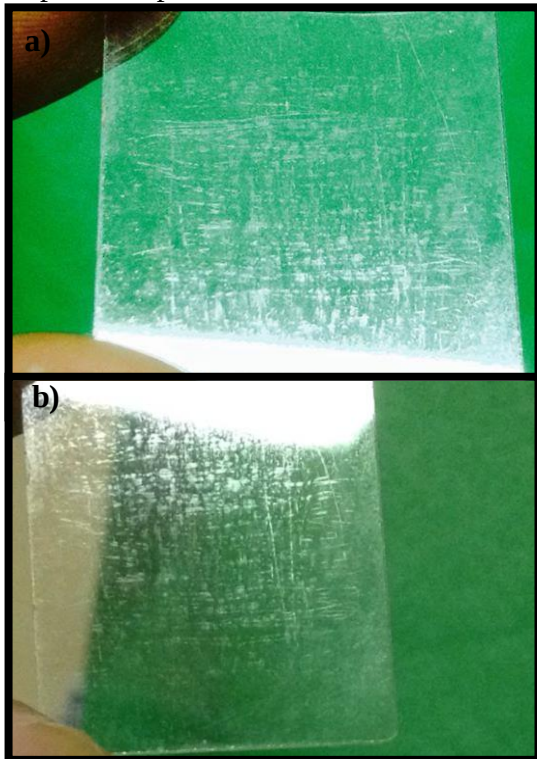
Gambar 3.3 Morfologi Permukaan Menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada FOM Terbaik Konsentrasi SnF₂ : a) 0 mol%, b) 1 mol%, c) 5 mol%, d) 10 mol%.



Gambar 3.4 Morfologi Permukaan Menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada FOM Terbaik Konsentrasi SnF₂ : a) 0 mol% + *Graphene*, b) 1 mol% + *Graphene*.

3.5 Uji Sifat Adhesive Coating

Pengujian adhesi dilakukan untuk mengetahui sifat daya rekat *coating* terhadap substrat kaca. Pengujian *adhesi* dilakukan pada *coating* dengan nilai FOM tertinggi yaitu pada konsentrasi SnF₂ 10 mol% ulangan deposisi 5x serta konsentrasi SnF₂ 1 mol% + *Graphene* ulangan deposisi 5x pada temperatur 300°C.



Gambar 3.5 Sampel *Coating* Setelah di Uji dengan ASTM D 3359 dengan FOM Tertinggi : a) Konsentrasi SnF₂ 10 mol% b) Konsentrasi 1 mol% + *Graphene*

Berdasarkan hasil analisa, daya rekat (*adhesi*) yang terlihat pada gambar 3.5a-b dapat diperoleh hasil bahwa permukaan mempunyai daya ikat *coating* yang cukup (2B) antara lapisan dengan substrat sesuai klasifikasi pengujian daya rekat yang disajikan ASTM D 3359.

4. Kesimpulan

Sintesis FTO dengan menggunakan metode *spray coating* menghasilkan lapisan FTO yang cukup baik dengan nilai transmitansi maksimum yaitu 86,4% dan resistivitas yaitu $14,1 \times 10^{-4} \Omega\text{cm}$. Semakin besar konsentrasi dan ketebalan *coating*, maka transmitansi dan resistivitas menurun,

serta nilai *Figur of Merit* (FOM) tertinggi adalah $0,0453 \times 10^4 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$. Adapun penambahan *graphene* menyebabkan nilai transmitansi dan resistivitas juga menurun. Struktur kristal FTO berbentuk tetragonal dengan ukuran diameter yang terus menurun seiring bertambahnya konsentrasi SnF₂ (0 mol% - 10 mol%) yaitu 501,27 nm – 175,92 nm. Secara keseluruhan morfologi permukaan lapisan FTO menunjukkan hasil yang baik dengan lapisan yang halus dan merata sepanjang substrat dan permukaan *coating* mempunyai daya ikat yang cukup baik antara *coating* dengan substrat.

Daftar Pustaka

- Adnane, M., H. Cachet, G. Folcher, dan S. Hamzaoui. 2005. Beneficial Effects of Hydrogen Peroxide on Growth, Structural and Electrical Properties of Sprayed Fluorine-Doped SnO Films. *Thin Solid Film*. 492 (1-2): 240-247.
- Benhaoua A., A. Rahal, B. Benhaoua dan M. Jlassi. 2014. Effect of Fluorine Doping on the Structural, Optical and Electrical Properties of SnO₂ Thin Films Prepared by Spray Ultrasonic. *Superlattices Microstruct.* 70 (1): 61-69.
- Chen, X.L. 2010. ZnO Nano Particulate Thin Film: Preparation, Characterization and Gas-Sensing Property. *Elsevier Sensor and Actuators B*. 102 (1): 248-252.
- Cote, L.J., Cruz-Silva, R. and Huang, J., (2009). *Flash reduction and patterning of graphite oxide and its polymer composite*, *J. Am. Chem. Soc.*, 131, 11027-11032.
- Dengyuan, S. 2005. *Zinc Oxide TCOs (Transparent Conductive Oxides) and Polycrystalline Silicon Thin-Films for Photovoltaic Applications*. University of New South Wales. Sydney.

- Duell, Jinxia, Xintang Huang, and Enke Wang. 2010. "PEG-assisted Synthesis of TiO_2 for DSSC Nanotubes." *Materials Letters* 60, no. 15 (July 2010): 1918–1921.
- Gao, Q., H. Jiang, C. Li, Y. Mab, X. Li, Z. Ren, Y. Liu, C. Song dan G. Han. 2013. Tailoring of Textured Transparent Conductive $\text{SnO}_2\text{:F}$ Thin Films, *Journal of Alloy Compound*. 574(1): 427-431.
- Graf, H. Z. 2005. *Optical and Electronic Properties of GaN : A Comparative Study With Particular Reference to Laser Induced Chemical Vapour Deposited Film* (Thesis). Masquarie University, Australia.
- Handini, 2008. "Pengaruh Tingkat Kristanilitas Terhadap Kinerja Semikonduktor dan Sel Surya". Skripsi : Sarjana, Fakultas Teknik. UI, Indonesia.
- Hotim, 2015."Physic, Technology and use of Photovoltaics in Indonesia". *Teaching Journal Science and Mathematics*, Vol. 14 No. 2
- He, M.A. El Khakani, A.M. Serventi, M. Trudeau, R.G. Saint-Jacques. 1993. "Effect of PEG-400 on the Morphology and Electrical Properties of ZnO Nanoparticles Application for Gas Sensor." *Materials Science in Semiconductor Processing* 16, no. 3 (June 1993): 807–817.
- Hudaya., Bayuwati D., dan Sulaiman, 2012, *Pembuatan Konduktor Transparan Thin Film SnO_2 Dengan Menggunakan Teknik Spray Pyrolysis*. *J. Crys. Growth*, 194, 364–378.
- K. Ravichandran, R. Mohan. 2013. Property Enhancement of Transparent Conducting Zinc Oxide Thin Films Effect of Simultaneous (Sn+F) Doping, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*. 74 (2013) 1794–1801.
- Kim, H., R.C.Y. Auyeung dan A. Piqué. 2008. Transparent Conducting F-Doped SnO_2 Thin Films Grown by Pulsed Laser Deposition. *Thin Solid Films*. 516 (1): 5052–5056.
- Koida *et al*, 2007. *Optimization of ZnO Film for Amorphous Silicon Solar Cells*, Jpn, J. Appl. Phys, Vol, 33332, 1993, Part I, No. 9A, 3764-3769.
- Kumar, Akshay dan Chongwu Zhou. 2010. The Race to Replace Tin-Doped Indium Oxide: Which Material Will Win, *ACS Nano*. 4 (1): 11-14.
- Kumara dan Prajitno. 2013. Zinc Oxide Bulk, Thin Films and Nanostructures, Processing, Properties, and Applications, *Elsevier Science*. (6) : 17-21.
- Maddu, A. Bagheri-Mohagheni, Juybari, M. 2010. *Chatodoluminescence, and Optik Absorbance Spectroscopy of 58 Aluminium Gallium Nitride ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$) film*. *Jurnal mater. Res*. Vol.13. no. 9 sep 2010.
- McCune, M., W. Zhang, dan Y. Deng. 2012. High Efficiency Dye-Sensitized Solar Cells Based on Three-Dimensional Multilayered ZnO Nanowire Arrays with Caterpillar-Like Structure. *Nanoletters*. 12 (1): 3656-3662.
- Molopade, O.E. Awe, A.M, Awobode. 2012. Characterization of $\text{SnO}_2\text{:F}$ Films Deposited by Atmospheric Pressure Chemical Vapour Deposition for Optimum Performance Solar Cells. *The African Review of Physics*. 7:0018 : 177.

- Morris, A.G. Macedo, E.A. de Vascencelos, R. Valaski, F. 2013. "Preparation of ZnO Porous Thin Films by Sol-gel Method Using PEG Template." *Materials Letters* 59, no. 28 (December 2013): 3620–3625.
- Moure-Flores, F. de, A. Guillén-Cervantes, K.E. Nieto-Zepeda, J.G. Quiñones-Galván, A. Hernández-Hernández, M. de la, L. Olvera dan M. Meléndez-Lira. 2013. SnO₂:F Thin Films Deposited by RF Magnetron Sputtering: Effect of the SnF₂ Amount In the Target on the Physical Properties, *Rev. Mex. Fís.* 59(1): 335-338.
- Muliani, Samad, M.M Salleh, A. Yarmo. 2012. The Effect of the Transparent Conductive Oxide on the Performance of Thin Film Cds/Cdte Solar Cells. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 33 (1).
- O'regan dan Gratzel, M. 1991. A Low-Cost, High Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films. *Nature*. 353, Issue 6346: 737.
- Paveena, A.Z. Tachan, M. Boutbara. 2010. The Effect of Substrate Temperature on Structural and Physical Properties of Ultrasonically Sprayed Cds Film. *Materials Chemistry and Physics*. 94.
- Pierson A.N., S. Kundoo, P. Saha dan K.K. Chattopadhyay. 2001. Synthesis and Characterization of Nano-Crystalline Fluorine-Doped Tin Oxide Thin Films by Sol-Gel Method. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 28 (1): 105-110.
- Pradana, A. Hania, Y. Dias. A. 2013. Analisa Pengaruh Komposisi Graphene-TiO₂ terhadap Unjuk Kerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Jurnal Teknik Pomits* Vol. 2, No. 1, (2013) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print).
- Purwaningsih, Y. S. 2003. *Pembuatan Film tipis ZnO : Al Pada Substrat Kaca dengan Metode dc Magnetron Sputtering dan Karakterisasi Sifat Fisisnya*. Yogyakarta: FISIKA FMIPA UGM (Tesis).
- Raharjo, M. Azizi, A. Masumdar, A.V. Zaban, A. 2009. Deposition of Transparent Conductive Tin Oxide Thin Films Doped With Fluorine by PACVD. *Thin Solid Films* 2003, 427, 208–214.
- Samad, W.Z., M.M. Salleh, A. Shafiee dan M.A. Yarmo. 2011. Structural, Optical and Electrical Properties of Fluorine Doped Tin Oxide Thin Films Deposited Using Inkjet Printing Technique, *Sains Malaysia*. 40: 251-257.
- Shah, A., J. Tauc, R. Grigorovic, A. Vancu, K.J Patel. 1999. Photovoltaic Technology: The Case for Thin- Film Solar Cells. *Science*. 285(8): 692.
- Sima, C., C. Grigoriu, dan S. Antohe. 2010. Comparison of the Dye-Sensitized Solar Cells Performances Based on Transparent Conductive ITO and FTO, *Thin Solid Film*. 519(2): 595-597.
- Singh, C.; Hüpkes, J.; Schöpe, G.; Berginski, M. 2001. Physical Properties of Highly Oriented Spray-Deposited Fluorine-Doped Tin Dioxide Films as Transparent Conductor. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 2001, 93, 1256–1262.
- Smestad, G.P. dan M. Gratzel. 1998. Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology: A Natural Dye-

- Sensitized Nanocrystalline Energy Converter. *Journal of Chemical Education*. 75: 752-756.
- Syuhada, S.; Anuratha, H.; Subramanian, C.; Ramasamy, P. 2008. Effect of fluorine doping on structural, electrical and optical properties of sprayed SnO₂ thin films. *J. Crys. Growth*, 194, 369–373.
- Tran, Q. P., J.S. Fang, T.S. Chin. 2015. Properties of Fluorine-Doped SnO₂ Thin Films by a Green Sol–Gel Method, *Materials Science in Semiconductor Processing*. 40: 664-669.
- Veluchamy, P., M. Tsuji, T. Nishio, T. Aramoto, H. Higuchi, S. Kumazawa, S. Shibutani, J. Nakajima, T. Arita, H. Ohyma, A. Hanafusa, T. Hibino, dan K. Omura. 2001. *Solar Engineering Material Solar Cells*. 67: 179.
- Wanzurina, S.; Matsholleh, M.; Ashkan, S. 2011. Structural, Optical and Electrical Properties of Fluorine Doped Tin Oxide Thin Films Deposited Using Inkjet Printing Technique, *Sains Malaysia* 40(3)(2011): 251–257.
- Widiatmoko, E. A. 2012. Sifat Optik dan Struktur Mikro Lapisan Graphene. *Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan*. 369 – 375.
- Widiyandari, H., A. Purwanto, E. Hidayanto, K. Diharjo dan Suyitno. 2013. *Fabrikasi Gelas Transparan Konduktif FTO (Fluorine-Doped Tin Oxide) dan Aplikasinya Pada Sel Surya Berbasis Dye (DSSC)*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Wilda Amanati, 2015. “Temperature dependence of the conductivity in large-grained boron-doped ZnO films. *Solar energy Material & Solar Cell*. 91, 1269-1274.
- Wirjoadi, F. Finanda, H.C, Diah, S. 2001. “Analisis Pengaruh Ion Boron Terhadap Listrik dan Optik Lapisan Tipis TCO” *Pusat Teknologi Batan* 0216 -3128.
- Yaws, C. L., 1999, “*Chemical Properties Handbook*”, p. 1-29, 185-211, 288-313, McGraw Hill Company, Inc., New York
- Zhang, Q., H. Kang, J. Yun, J. Lee, J.H. Park dan S. Baik. 2010. Hierarchical Construction of Structure Graphene . *ACS Nano*. 5(6): 5088-5093.