



PENGARUH WAKTU DEPOSISI DAN TEMPERATUR SUBSTRAT TERHADAP PEMBUATAN KACA KONDUKTIF FTO (*FLUORINE-DOPED TIN OXIDE*)

Tri Arini^{a*}, Latifa Hanum Lalasari^a, Akhmad Herman Yuwono^b, F. Firdiyono^a, Lia Andriyah^a, Achmad Subhan^c

^aPusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI

Gedung 470 Kawasan Puspiptek - Serpong, Tangerang Selatan 15314

^bDepartemen Teknik Metalurgi dan Material – Universitas Indonesia

Kampus Baru Universitas Indonesia – Depok 16424

^cPusat Penelitian Fisika - LIPI

Kawasan Puspiptek - Serpong, Tangerang Selatan 15314

E-mail: arinistri82@gmail.com

Masuk Tanggal : 02-08-2016, revisi tanggal : 12-03-2017, diterima untuk diterbitkan tanggal 28-04-2017

Intisari

Pembuatan FTO (*flourine-doped tin oxide*) ini diharapkan dapat menggantikan fungsi ITO (*indium tin oxide*) karena proses pembuatan yang sederhana dan biaya yang relatif rendah. Prekursor timah klorida dengan doping flourine yang dipreparasi melalui metode *sol-gel* dengan proses pelapisan dengan teknik *spray pyrolysis* dapat dipertimbangkan sebagai suatu terobosan baru di dalam struktur *device* sel surya tersensitasi zat pewarna. Percobaan ini menggunakan bahan baku timah (II) klorida hidrat ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) sebagai prekursor dan amonium florida (NH_4F) sebagai doping dengan rasio 6 %berat dengan variasi temperatur 250, 300, 350, 400 °C dan dengan variasi waktu 5, 20, 30, dan 40 menit. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semakin lama waktu deposisi maka akan semakin kecil nilai resistivitas kaca konduktif. Namun semakin lama waktu deposisi akan mengurangi nilai transmitansi. Pada percobaan ini menghasilkan transmitansi tinggi dan resistivitas rendah diperoleh pada variasi waktu deposisi 5 menit dengan temperatur substrat 300 °C dengan nilai resitivitas $3,16 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ dan nilai transmitansi 86,74%.

Kata Kunci: Kaca konduktif, $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, doping NH_4F , resistivitas, transmitansi

Abstract

Manufacturing FTO (fluorine-doped tin oxide) is expected to replace ITO (indium tin oxide) because the process is simple and relatively low cost. Tin chloride precursor with fluorine doping is prepared via sol-gel method with a coating process with spray pyrolysis technique can be considered as a new breakthrough in DSSC device structures. This experiment uses the raw material tin (II) chloride hydrate ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) as precursors and ammonium fluoride (NH_4F) as a doping ratio of 6% wt with variation in temperatures of 250, 300, 350, 400 °C and time resistivities of 5, 20, 30 and 40 minutes. The results showed that the longer deposition time decreasing value of conductive glass resistivity. This condition would reduce the value of transmittance. High transmittance and low resistivity obtained on the variation of deposition time 5 minutes with a substrate temperature of 300 °C with a resistivity value of $3.16 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ and transmittance value of 86.74%.

Keywords: Conductive glass, $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, doping NH_4F , resistivity, transmittance

1. PENDAHULUAN

Salah satu komponen terpenting dalam perangkat DSSC (*dye sensitized solar cell*) adalah TCO (*transparent conductive oxide*). TCO adalah sebuah lapisan oksida transparan konduktif. Salah satu material TCO yang

banyak di pasaran yaitu ITO (*indium tin oxide*), namun untuk membuat ITO ini membutuhkan dana yang cukup besar karena bahan bakunya sangat mahal dan juga tersedia dalam jumlah yang terbatas dan ketersediaan alat yang menunjang dalam proses pembuatannya. Oleh

karena itu, perlu diteliti material TCO lain yang dapat menjadi alternatif untuk menggantikan fungsi ITO. Salah satu oksida yang digunakan dalam pembuatan TCO selain ITO adalah FTO (*fluorine-doped tin oxide*)^[1]. Semikonduktor FTO ini diharapkan dapat menggantikan fungsi ITO yang bahan bakunya sangat mahal.

Berbagai metode telah digunakan untuk menumbuhkan film SnO₂ baik secara fisika maupun kimia. Secara fisika, pelapisan dapat dibuat dengan metode evaporasi^[2], *electron beam evaporation*^[3], *sputtering*^[4], dan *spray pyrolysis*^[5]. Sedangkan secara kimia berbagai metode deposisi dapat digunakan diantaranya metode *sol-gel*^[6] dan deposisi uap kimia (CVD)^[7]. Latifa dkk^[8] menjelaskan bahwa rasio konsentrasi dopan/prekursor (NH₄ F: SnCl₂.2H₂O) sebesar 10% menghasilkan larutan konduktif paling stabil dan lapisan tipis FTO yang dihasilkan dengan teknik *dip coating* mempunyai morfologi heksagonal lebih teratur dan seragam.

Mengacu pada beberapa penelitian sebelumnya^[8-11] maka penelitian ini difokuskan pada pembuatan kaca konduktif FTO menggunakan kombinasi metode *sol-gel* untuk preparasi larutan konduktif dan teknik *ultrasonic spray pyrolysis* untuk deposisi film tipis FTO. Pemilihan teknik deposisi *ultrasonic spray pyrolysis* mempunyai keunggulan diantaranya merupakan metode yang sangat sederhana dan relatif hemat biaya, terutama mengenai biaya peralatan^[12] selain itu tidak memerlukan kondisi vakum, hasil akhir lapisan yang seragam, dan memiliki efisiensi pelapisan yang tinggi^[13]. Kombinasi metode *sol gel* dan *ultrasonic spray pyrolysis* diharapkan mampu menghasilkan kaca konduktif FTO yang transparan dengan resistivitas <10⁻⁴ Ω.cm, nilai transmitansi >80 % dan struktur kristal tetragonal. Jenis prekursor dan dopan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sama dengan penelitian Latifa dkk^[8] namun menggunakan metode yang berbeda yaitu menggunakan metode *ultrasonic spray pyrolysis*. Tujuan dari penelitian adalah untuk menyelidiki pengaruh waktu deposisi dan suhu substrat pada sifat TCO termasuk struktur kristal, morfologi, resistivitas dan transparansi optik.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kaca *slide* mikroskop sodalime, SnCl₂.2H₂O (98%, Merck Ltd., Germany), NH₄F (98%, Merck Ltd., Germany), aquades dan etanol (Et-OH).

Proses fabrikasi FTO diawali dengan pembersihan kaca substrat dengan menggunakan deterjen komersial, kemudian kaca substrat direndam dalam larutan NaOH : etanol dengan konsentrasi 0,5 g/ml selama 24 jam. Setelah direndam, lalu kaca substrat dibersihkan dengan *aquades* dan diultrasonikasi selama 15 menit.

Proses selanjutnya adalah pembuatan larutan konduktif timah dengan tahapan sebagai berikut: 12 gram SnCl₂.2H₂O dilarutkan dalam 100 ml etanol dan diaduk selama 30 menit. Di sisi lain, pembuatan larutan *doping fluoride* (F) dengan cara melarutkan bubuk NH₄F (rasio konsentrasi NH₄F : SnCl₂.2H₂O sebesar 6 %berat) dengan *aquades*, sampai larutan homogen. Selanjutnya, larutan doping ini ditambahkan setetes demi setetes ke dalam larutan timah (prekursor) disertai pengadukan selama 30 menit supaya homogen.

Proses selanjutnya adalah proses *spray* dengan menggunakan metode *spray pyrolysis* dengan menggunakan nebulizer ultrasonik GEA Medis 402A1 dengan jarak 10 cm dan kecepatan ± 30 ml/10 menit dan kaca substrat diletakkan di atas *hot plate* dengan temperatur bervariasi yaitu 250, 300, 350 dan 400 °C pada waktu deposisi tetap 5 menit. Variasi waktu deposisi 5, 20, 30 dan 40 menit juga dilakukan dalam pembuatan FTO dengan suhu pemanasan konstan 300 °C.

Proses pengujian kaca konduktor menggunakan *scanning electron microscope - energy dispersive spectroscopy* (JEOL-JSM 6390A), x-ray difraksi / XRD (Shimadzu XRD-7000), UV-Vis spectroscopy (Thermo UV-Vis Genesys 10s) dan *four point probe* (FPP5000).

3. HASIL DAN DISKUSI

A. Pengaruh Waktu Deposisi

Tabel 1 menunjukkan hasil analisis semikuantitatif lapisan tipis FTO. Dari hasil analisis semikuantitatif EDS dapat diketahui kandungan kimia dari lapisan tipis terdapat unsur-unsur seperti dalam Tabel 1, yaitu O, Cl dan Sn berasal dari larutan prekursor SnCl₂.2H₂O; F berasal dari larutan dopan NH₄F; sedangkan Na, Si, dan Ca berasal dari substrat kaca *slide*^[14].

Pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa lama waktu deposisi berpengaruh pula pada kandungan unsur F. Hal itu mengindikasikan semakin lama proses deposisi semakin memungkinkan dopan F yang berupa gas ketika substrat dipanaskan akan mengalami dua kondisi yaitu sebagian dopan F menempel pada

substrat dan lainnya menguap ke udara. Kondisi ini berbeda dengan hasil analisa semikuantitatif EDS-SEM untuk elemen Sn pada Tabel 1. Tabel 1 terlihat bahwa lama waktu deposisi berpengaruh pula pada kenaikan komposisi akhir kandungan unsur Sn. Unsur Sn dengan berat molekul lebih besar cenderung lebih banyak menempel pada substrat dibandingkan dopan F ketika diberikan perlakuan pemanasan dan semakin lama proses deposisi. Meningkatnya rasio Sn/O menyatakan bahwa doping F sukses masuk ke dalam struktur baik sebagai pengganti oksigen atau sebagai interstitial^[15].

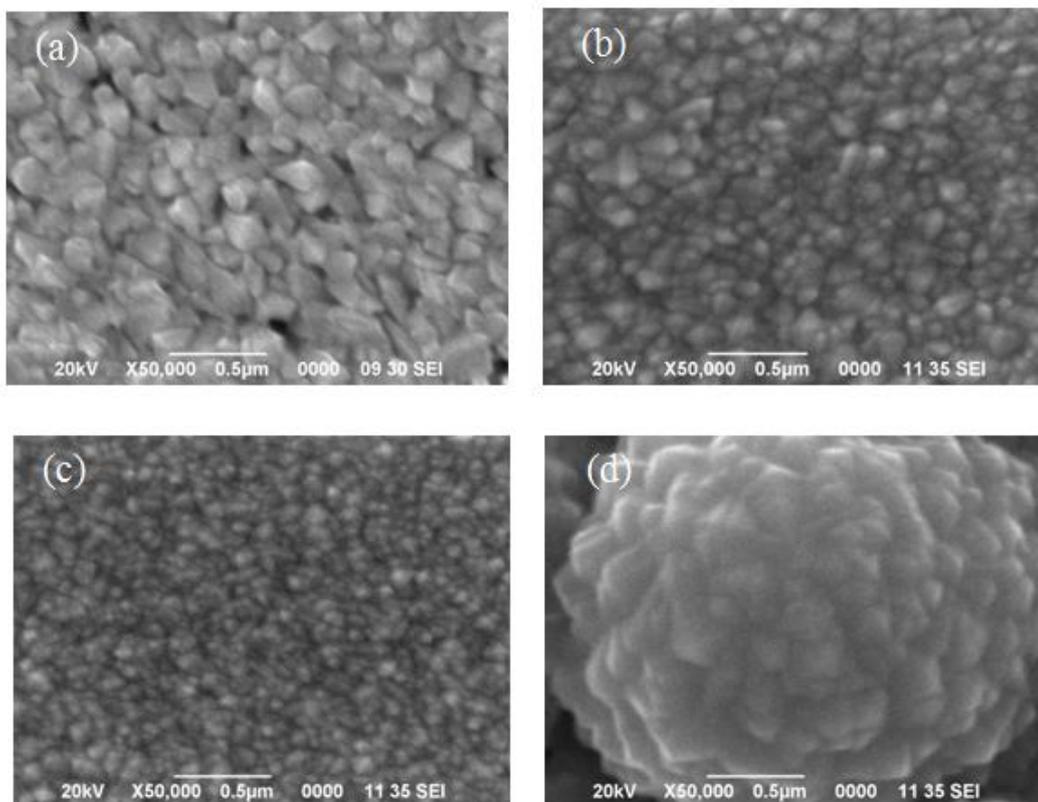
Gambar 1 memperlihatkan morfologi permukaan dari lapisan tipis FTO pada temperatur 300 °C dengan variasi waktu deposisi. Morfologi pada waktu deposisi 5 menit terlihat pada Gambar 1(a), lapisan tipis terdiri dari partikel-partikel kecil berbentuk trapesium^[16] namun masih terlihat beberapa void porositas antara partikel, hal ini kemungkinan diakibatkan karena waktu deposisi berlangsung singkat, *droplet* larutan

tidak mampu terdispersi secara merata ke semua bagian permukaan kaca. Akibatnya *droplet* tersebut jatuh dalam bentuk tetesan dan kemudian diiringi dengan penguapan pelarut saat terkena temperatur tinggi 300 °C.

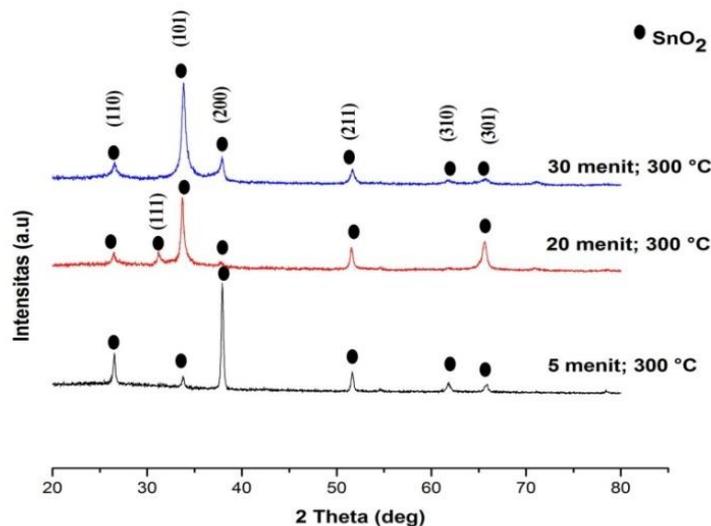
Tabel 1. Analisis semikuantitatif EDS-SEM lapisan tipis kaca konduktif pada temperatur 300 °C dengan variasi waktu deposisi

Elemen	Kadar % massa			
	5 menit	20 menit	30 menit	40 menit
O	18,67	14,40	15,88	13,22
F	0,62	0,32	0,23	0,57
Na	1,20	-	-	-
Si	15,13	-	-	-
Cl	0,57	-	-	-
Ca	3,82	-	-	-
Sn	59,98	85,29	83,89	86,21

Dengan penambahan waktu deposisi, partikel menjadi lebih kompak dan saling berhubungan di mana porositas telah berkurang secara signifikan.



Gambar 1. Hasil foto SEM lapisan tipis FTO dengan variasi waktu deposisi pada rasio doping 6% berat, temperatur 300 °C selama; (a) 5 menit; (b) 20 menit; (c) 30 menit; (d) 40 menit



Gambar 2. Pola difraksi sinar-x lapisan tipis SnO₂ dengan tiga variasi waktu deposisi pada temperatur 300 °C

Pola difraksi sinar-x lapisan tipis SnO₂ yang tumbuh di atas substrat kaca dengan variasi waktu deposisi 5, 20, 30 menit ditunjukkan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut terlihat bahwa ketiga sampel memiliki sedikit pergerakan puncak difraksi pada sudut 2θ. Hasil pengukuran XRD tersebut menunjukkan bahwa puncak-puncak tersebut menunjukkan fasa material SnO₂ dengan bidang kristal (110), (101), (200), (211), (310), (301) dengan struktur kristal tetragonal sesuai dengan pola rutil SnO₂^[17].

Peningkatan waktu deposisi 5, 20 dan 30 menit terlihat menyebabkan adanya perubahan intensitas pada bidang kristal. Pada waktu deposisi 5 menit, *peak* (200) terlihat mempunyai intensitas tertinggi dibandingkan waktu deposisi 20 dan 30 menit. Hal ini menunjukkan fasa kristal SnO₂ sudah terbentuk dengan baik pada waktu deposisi selama 5 menit. Menurunnya intensitas *peak* (200) pada waktu deposisi 20 dan 30 menit menunjukkan bahwa lapisan tipis FTO yang dihasilkan mempunyai nilai transparansi yang rendah. Hasil ini didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh G. Gordillo *et al*^[18] yang menjelaskan bahwa bidang kristal (200) yang tinggi dapat menyebabkan keseimbangan optimal antara tahanan listrik dan transmitansi optik. Oleh karena itu intensitas yang tinggi pada *peak* (200) menjadi indikator keberhasilan dalam preparasi lapisan tipis FTO. Perubahan intensitas bidang kristal (101) semakin meningkat pada waktu 20 dan 30 menit. Hal ini disebabkan karena jumlah doping F yang semakin menebal pada permukaan seiring dengan penambahan waktu deposisi^[19]. Kondisi ini didukung oleh hasil transmitansi pada

waktu deposisi 20 dan 30 menit semakin kecil (tidak optimal). Pada bidang kristal (111) di waktu deposisi 20 menit menunjukkan fasa material *tin dioxide* (SnO₂).

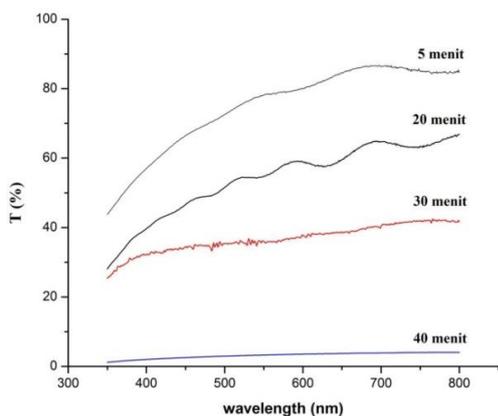
Tabel 2. Pengaruh waktu deposisi pada rasio doping 6 %berat, temperatur 300 °C dengan variasi waktu (menit)

Waktu Deposisi	Resistivitas (Ω.cm)
5 menit	$3,16 \times 10^{-4}$
20 menit	$3,83 \times 10^{-5}$
30 menit	$3,50 \times 10^{-5}$
40 menit	$8,17 \times 10^{-6}$

Dari hasil yang dapat dilihat pada Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa lama waktu deposisi maka akan semakin kecil nilai resistivitas. Nilai resistivitas menurun secara signifikan yaitu dari $3,16 \times 10^{-4}$ ke $3,83 \times 10^{-5}$ (Ω.cm) pada waktu deposisi 5 menit sampai 20 menit. Hasil konduktivitas listrik ini dapat berhubungan dengan partikel dan kristal pertumbuhan struktur fase SnO₂ seperti yang telah dipelajari dengan SEM (Gambar 1) dan XRD (Gambar 2).

Proses *spray* pyrolisis dengan waktu deposisi 5 menit (Gambar 1(a)) telah menghasilkan partikel kecil disertai dengan kehadiran pori-pori atau rongga sebagai konsekuensi dari koneksi lengkap antara partikel tersebut. Pori-pori ini bertindak sebagai *sink* untuk jalan elektronik, dan sebagai konsekuensinya resistivitas *film* itu masih agak tinggi. Sebagai peningkatan waktu deposisi, partikel SnO₂ tumbuh menjadi lebih padat sehingga mengurangi porositas dan interkoneksi lebih terhubung, transfer elektronik antar partikel menjadi lebih mudah

dan resistivitas telah berkurang secara signifikan^[19].



Gambar 3. Spektrum transmitansi lapisan tipis SnO₂ dengan variasi waktu deposisi pada rasio doping 6 %berat, temperatur substrat 300 °C

Hasil pengamatan spektrum transmitansi lapisan tipis SnO₂ dengan variasi waktu deposisi ditunjukkan pada Gambar 3 dengan konsentrasi doping 6 %berat, temperatur substrat 300 °C dengan waktu deposisi 5, 20, 30 menit dan 40 menit adalah 4,06~86,74% pada daerah cahaya tampak (350-800 nm). Transmittansi tertinggi (sekitar 86,74%) diperoleh pada waktu 5 menit. Pada waktu 20, 30 dan 40 menit transmittansi menurun menjadi 67; 42,50 dan 4,06%.

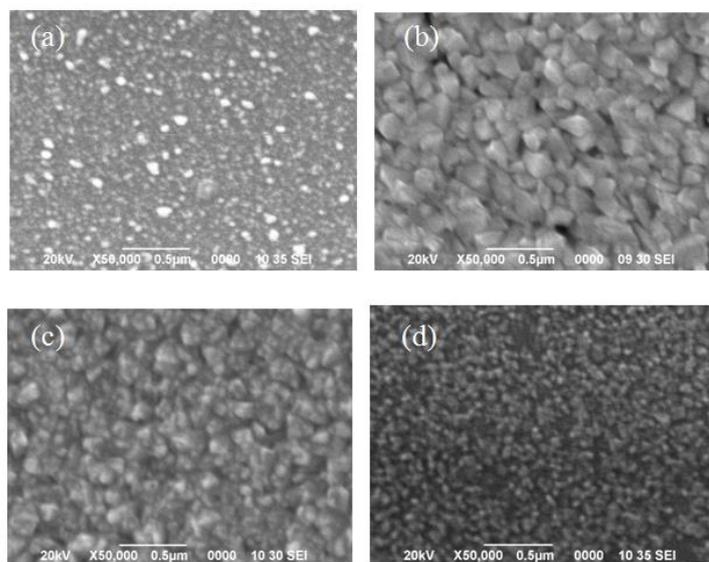
Hal ini didukung dengan nilai dari ketebalan lapisan, dimana semakin lama waktu deposisi, maka lapisan tipis akan semakin tebal. Dengan menggunakan metode *Swanopoe*^[20] didapatkan nilai ketebalan berturut-turut adalah 15,87; 20,85; 29,03 dan 54,06 μm untuk waktu deposisi 5, 20, 30 dan 40 menit.

B. Pengaruh Temperatur Substrat

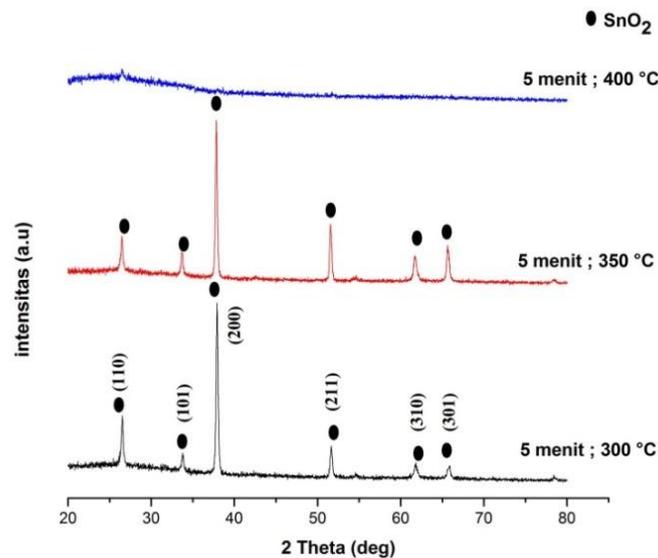
Tabel 3 menunjukkan hasil analisis semikuantitatif lapisan tipis SnO₂. Dari hasil analisis semikuantitatif EDS dapat diketahui kandungan kimia dari lapisan tipis terdapat unsur-unsur seperti dalam Tabel 1, yaitu O, Cl dan Sn berasal dari larutan prekursor SnCl₂.2H₂O; F berasal dari larutan dopan NH₄F; sedangkan Na, Mg, Al, Si, dan Ca berasal dari substrat kaca *slide*^[14]. Bila dilihat dari hasil analisis semikuantitatif EDS di atas, dapat disimpulkan, untuk waktu deposisi 5 menit, kandungan kimia dari lapisan tipis masih terdapat unsur dari kaca substrat itu sendiri, hal ini disebabkan karena waktu deposisi berlangsung singkat sehingga *droplet* larutan tidak mampu terdispersi secara merata ke semua bagian permukaan kaca.

Tabel 3. Analisis semikuantitatif EDS-SEM lapisan tipis kaca konduktif dengan variasi waktu deposisi pada rasio doping 6 %berat, dengan waktu deposisi 5 menit dan variasi temperatur (°C)

Elemen	Kadar % massa			
	250 °C	300 °C	350 °C	400 °C
O	37,27	18,67	14,06	38,67
F	-	0,62	0,26	-
Na	8,61	1,20	-	8,12
Mg	2,41	-	-	2,77
Al	1,93	-	-	-
Si	38,73	15,13	0,75	39,46
Cl	-	0,57	-	-
Ca	38,73	3,82	-	8,24
Sn	3,58	59,98	84,93	2,74



Gambar 4. Hasil foto SEM lapisan tipis FTO dengan variasi waktu deposisi pada rasio doping 6 %berat, dengan waktu deposisi 5 menit pada temperatur (°C); (a) 250; (b) 300; (c) 350; dan (d) 400



Gambar 5. Pola difraksi sinar X lapisan tipis SnO₂ dengan variasi temperatur substrat pada rasio doping 6% berat, waktu deposisi 5 menit

Gambar 4 memperlihatkan morfologi dari lapisan tipis FTO yang dipersiapkan dari larutan konduktif 6 % berat pada waktu deposisi 5 menit dengan variasi temperatur substrat. Pada temperatur 250 °C terlihat morfologi yang dominan adalah substrat itu sendiri. Hal ini disebabkan karena waktu yang relatif sedikit dan temperatur yang rendah sehingga tidak cukup untuk menyelesaikan reaksi kimia^[21] dan larutan belum menempel secara sempurna pada permukaan.

Pada temperatur 300 °C terlihat butiran kristal tumbuh lebih besar namun masih terlihat adanya batas butir. Pada temperatur 350 °C batas butir berkurang sehingga resistivitas semakin menurun. Pada temperatur 400 °C terlihat butiran semakin mengecil dan tampak terlihat adanya poros pada permukaan kaca. Hal ini didukung oleh penelitian Yadav^[21] bahwa film tumbuh pada suhu optimal dan akan menurun bila temperatur berada di atas suhu optimal. Berkurangnya ukuran partikel setelah 350 °C kemungkinan dikarenakan pada suhu substrat tersebut, ada dekomposisi termal lengkap pada tetesan *spray* sebelum mencapai substrat panas karena energi panas yang tidak cocok (lebih tinggi) dari yang dibutuhkan untuk dekomposisi sempurna dan rekristalisasi berikutnya. Dengan kata lain, hal ini dikarenakan sedikitnya prekursor yang terdeposisi di atas substrat, karena mereka telah menguap terlebih dahulu jauh sebelum mengenai substratnya.

Gambar 5 menunjukkan spektrum XRD, spektrum lapisan tipis SnO₂ pada temperatur substrat yang berbeda. Pada temperatur substrat 400 °C tumbuh dengan struktur amorf, hanya

bidang kristal (110) yang terlihat namun tidak tajam, sedangkan bidang kristal lainnya tidak muncul. Hal ini dikarenakan sedikitnya prekursor yang terdeposisi di atas substrat, karena mereka telah menguap terlebih dahulu jauh sebelum mengenai substratnya. Uap tersebut kemudian beraglomerasi membentuk serbuk yang memiliki daya adhesi yang sangat rendah, sehingga tidak terdeposisi di atas kaca. Namun untuk temperatur substrat 300 dan 350 °C, sampel memiliki sedikit pergerakan puncak difraksi pada sudut 2θ. Hasil pengukuran XRD menunjukkan bahwa puncak-puncak tersebut adalah fasa material SnO₂ dengan bidang kristal (110), (101), (200), (211), (310), (301) dengan struktur kristal tetragonal sesuai dengan pola rutil SnO₂^[17]

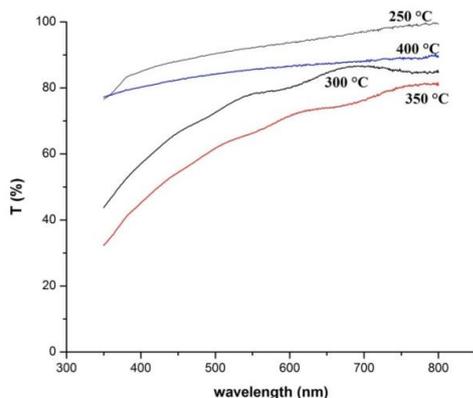
Peningkatan temperatur substrat pada suhu 300 dan 350 °C menyebabkan adanya perubahan intensitas pada bidang kristal dan intensitas bidang kristal (200) terlihat sangat dominan dibandingkan dengan intensitas bidang kristal lainnya yang mengindikasikan bahwa kualitas kristal menjadi lebih baik. Sebuah studi sebelumnya oleh G. Gordillo *et al*^[18] menunjukkan bahwa (200) adalah bidang kristal yang diinginkan untuk keseimbangan optimal antara hambatan listrik dan transmisi optik. Gambar 4 memperlihatkan morfologi dari lapisan tipis FTO yang dipersiapkan dari larutan konduktif 6 % berat pada waktu deposisi 5 menit dengan variasi temperatur substrat. Pada temperatur 250 °C terlihat morfologi yang dominan adalah substrat itu sendiri. Hal ini disebabkan karena waktu yang relatif sedikit dan temperatur yang rendah sehingga tidak cukup untuk menyelesaikan reaksi kimia^[21] dan

larutan belum menempel secara sempurna pada permukaan.

Tabel 4. Pengaruh waktu deposisi pada rasio doping 6 %berat, dengan waktu deposisi 5 menit dengan variasi temperatur (°C)

Temperatur substrat	Resistivitas ($\Omega.cm$)
250 °C	$4,10 \times 10^{-1}$
300 °C	$3,16 \times 10^{-4}$
350 °C	$5,46 \times 10^{-5}$
400 °C	$6,79 \times 10^{-2}$

Dari hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai resistivitas menurun secara signifikan dari $4,10 \times 10^{-1}$ ke $3,16 \times 10^{-4}(\Omega.cm)$ pada temperatur substrat 250 °C sampai 300 °C, dan turun ke $5,46 \times 10^{-5}$ ketika temperatur substrat dinaikkan 350 °C. Namun nilai resistivitas kembali naik pada temperatur di atas 350 °C, hal ini disebabkan karena sedikit prekursor yang tertempel pada kaca karena banyak yang menguap. Pada temperatur substrat di atas 250 °C, struktur amorf berubah menjadi struktur kristal, dan kemudian penyempitan batas butir yang menghasilkan peningkatan konduktivitas. Pada temperatur substrat lebih dari 350 °C, struktur kristal berubah menjadi amorf, dan kemudian terjadi pelebaran batas butir yang menghasilkan penurunan konduktivitas^[18].



Gambar 5. Spektrum transmitansi lapisan tipis SnO_2 dengan variasi temperatur substrat pada rasio doping 6 %berat, waktu deposisi 5 menit

Hasil pengamatan spektrum transmitansi lapisan tipis SnO_2 dengan variasi waktu deposisi ditunjukkan pada Gambar 5 dengan konsentrasi doping 6 %berat, waktu deposisi 5 menit dengan temperatur substrat 250, 300, 350 dan 400 °C adalah 81,62~99,79% pada daerah cahaya tampak (350-800 nm). Transmitansi tertinggi (sekitar 86,74%) diperoleh pada temperatur substrat 250 °C. Pada temperatur substrat 300 dan 350 °C transmitansi menurun

menjadi 86,74 dan 81,62%, namun pada temperatur substrat 400 °C naik kembali menjadi 90,32%.

Hal ini didukung dengan nilai dari ketebalan lapisan, dimana semakin tinggi temperatur substrat, maka lapisan tipis akan semakin tebal. Dengan menggunakan metode *Swanopoe*^[20] didapatkan nilai ketebalan lapisan berturut-turut adalah 13,80; 15,87; 53,57 μm untuk temperatur substrat 250, 300 dan 350 °C dan ketebalan menurun menjadi 42,69 μm pada temperatur substrat 400 °C.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa *ultrasonic nebulizer* terbukti mampu menjadi alat deposisi lapisan tipis dan dapat direkomendasikan sebagai alat pembuatan lapisan tipis FTO pada skala laboratorium. Semakin lama waktu deposisi akan menambah ketebalan lapisan tipis FTO dan peningkatan temperatur substrat juga meningkatkan ketebalan lapisan tipis, sehingga tahanan listrik menurun. Namun, lapisan yang terlalu tebal menciptakan efek buruk pada transparansi optik. Oleh karena itu harus ada keseimbangan antara tahanan listrik dan transparansi optik. Hasil optimal dalam percobaan ini adalah pada variasi waktu deposisi 5 menit dan temperatur substrat 300 °C didapatkan nilai resistivitas $3,16 \times 10^{-4} \Omega.cm$ dan nilai transmitansi 86,74%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan pendanaan dari Penelitian Kompetensi Inti Tahun Anggaran 2016 Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Widiyandari, A. Purwanto, E. Hidayanto, and K. Diharjo, "Fabrikasi Gelas Transparan Konduktif FTO (*Fluorine-doped Tin Oxide*) dan Aplikasinya pada Sel Surya Berbasis Dye (DSSC)," *Prosiding InSINas*, pp. 88–92, 2012.
- [2] S. Muranaka, Y. Bando, and T. Takada, "Preparation and Properties of Sb-doped SnO_2 Films by Reactive Evaporation," *Bulletin of the Institute for Chemical Research, Kyoto University.*, vol. 64(4), p. 1986, 1986.
- [3] K. S. Shamala, L. C. S. Murthy, and K. N. Rao, "Studies on tin oxide films prepared by electron beam evaporation and *spray pyrolysis* methods," *Bulletin of Materials*

- Science.*, vol. 27, no. 3, pp. 295–301, 2004.
- [4] J.-L. Brousseau, H. Bourque, A. Tessier, and R. M. Leblanc, “Electrical properties and topography of SnO₂ thin films prepared by reactive sputtering,” *Applied Surface Science.*, vol. 108, no. 3, pp. 351–358, Mar. 1997.
- [5] A. Paraskevi and N. Munkegade, “Structural and sensing properties of nanocrystalline SnO₂ films deposited by spray pyrolysis from a SnCl₂ precursor,” *Applied Physics A Material Science and Processing.*, vol. 91, pp. 667–670, 2008.
- [6] D. Ganz, A. Reich, and M. A. Aegerter, “Coatings on Glass Laser firing of transparent conducting SnO₂ sol–gel coatings,” *Journal of Non-Crystalline Solids.*, vol. 218, pp. 242–246, 1997.
- [7] S. C. Ray, M. K. Karanjai, and D. Dasgupta, “Preparation and study of doped and undoped tin dioxide films by the open air chemical vapour deposition technique,” *Thin Solid Films.*, vol. 307, pp. 221–227, 1997.
- [8] L. H. Lalasari, T. Arini, A. H. Yuwono, and F. Firdiyono, “Pengaruh Pencampuran dan Rasio Dopan/Prekursor dalam Pembuatan Lapisa Tipis Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) Berbasis Timah (II) Klorida,” *Majalah Metalurgi.*, vol. 3, pp. 105–114, 2015.
- [9] D. Miao, Q. Zhao, S. Wu, Z. Wang, X. Zhang, and X. Zhao, “Effect of substrate temperature on the crystal growth orientation of SnO₂:F thin films spray-deposited on glass substrates,” *Journal of Non-Crystalline Solids.*, vol. 356, no. 44–49, pp. 2557–2561, 2010.
- [10] D. Tatar and B. Duzgun, “The relationship between the doping levels and some physical properties of SnO₂:F thin films spray-deposited on optical glass,” *Journal of Physics.*, vol. 79, no. 1, pp. 137–150, 2012.
- [11] D. Tatar, G. Turgut, and B. Duzgun, “Effect of substrate temperature on the crystal growth orientation and some physical properties of SnO₂:F thin film deposited by spray pyrolysis technique,” *Journal of Physics.*, vol. 58, pp. 143–158, 2013.
- [12] D. Perednis, *Thin Film Deposition by Spray Pyrolysis and the Application in Solid Oxide Fuel Cells.*, no. 15190. Zurich:, pp. 1–165, 2003.
- [13] A. V. Moholkar, S. M. Pawar, K. Y. Rajpure, and C. H. Bhosale, “Effect of solvent ratio on the properties of highly oriented sprayed fluorine-doped tin oxide thin films,” *Materials Letters.*, vol. 61, pp. 3030–3036, 2007.
- [14] Chinaseniorsupplier.com, “hda 7102 microscope slides 7102 cut edges,” 2016, diakses 10 Mei 2016 .
- [15] V. Bilgin, I. Akyuz, E. Ketenci, S. Kose, and F. Atay, “Electrical , structural and surface properties of fluorine doped tin oxide films,” *Applied Surface Science.*, vol. 256, no. 22, pp. 6586–6591, 2010.
- [16] A. V. Moholkar, S. M. Pawar, K. Y. Rajpure, S. N. Almari, P. S. Patil, and C. H. Bhosale, “Solvent-dependent growth of sprayed FTO thin films with mat-like morphology,” *Solar Energy Materials and Solar Cells.*, vol. 92, pp. 1439–1444, 2008.
- [17] Z. Y. Banyamin, P. J. Kelly, G. West, and J. Boardman, “Electrical and Optical Properties of Fluorine Doped Tin Oxide Thin Films Prepared by Magnetron Sputtering,” *Coatings.*, vol. 4, pp. 732–746, 2014.
- [18] G. Gordillo, L. C. Moreno, W. de la Cruz, and P. Teheran, “Preparation and characterization of SnO₂ thin films deposited by spray pyrolysis from SnCl₂ and SnCl₄ precursors,” *Thin Solid Films.*, vol. 252, no. 1, pp. 61–66, 1994.
- [19] H. Zhao, Q. Liu, Y. Cai, and F. Zhang, “Effects of water on the structure and properties of F-doped SnO₂ films,” *Materials Letters.*, vol. 62, pp. 1294–1296, 2008.
- [20] R. Swanepoel, “Determination of the thickness and optical constants of amorphous silicon,” *Journal Phys. E: Sci. Instrum.*, vol. 16, no. 27, 1983.
- [21] A. A. Yadav, E. U. Masumdar, A. V. Moholkar, M. Neumann-spallart, K. Y. Rajpure, and C. H. Bhosale, “Electrical , structural and optical properties of SnO₂:F thin films: Effect of the substrate temperature,” *Journal of Alloys and Compounds.*, vol. 488, pp. 350–355, 2009.

