

FABRIKASI KACA FLUORINE DOPED-TIN OXIDE (FTO) MENGGUNAKAN TEKNIK SPRAY PYROLYSIS

Fluorine Doped-Tin Oxide (FTO) Glass Fabrication Using Spray Pyrolysis Technique

Eka Wahyuni, Darsikin, dan Sahrul Saehana

Program Studi Pendidikan Fisika/Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan/Universitas Tadulako, Palu
Email : ekawahyuni3380@gmail.com

Kata Kunci

FTO (*Fluorine-doped Tin Oxide*)
Kaca konduktif
transparan
Spray Pyrolysis

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil yang diperoleh dari fabrikasi kaca *Fluorine Doped-Tin Oxide* (FTO) menggunakan teknik *Spray Pyrolysis*. Penelitian ini bersifat *eksperimental-laboratoris*. Metode yang digunakan dalam pembuatan kaca FTO ini adalah metode *spray pyrolysis* untuk mendeposisi kaca biasa sebagai kaca FTO yang konduktif dan transparan. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Nebulizer OMRON NE-C28*, *Digital Ultrasonic Cleaner*, *Neraca Digital*, *Magnetic Stirrer*, Plat Pemanas (*Thermo Scientific Hot Plate*), *Aluminium Foil*, Selang dan Corong, Statif dan Klem, Substrat Kaca, *Tin (II) Chloride Dihydrate* ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), *Ammonium Fluoride* (NH_4F), *Ethanol 96%*. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa Ultrasonic Nebulizer direkomendasikan menjadi alat pembuatan lapisan tipis *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) pada skala laboratorium. Hasil pengujian sifat mikroskopik (SEM dan XRD), sifat listrik (Arus dan Tegangan), dan resistansi diperoleh bahwa jarak *nozzle* semprot terhadap substrat mempengaruhi nilai resistansi pada sampel yang diuji. Semakin dekat jarak yang diberikan maka ketebalan lapisan tipis bertambah, sehingga tahanan listrik menurun. Namun, lapisan yang terlalu tebal mempengaruhi transparansi dari kaca. Sehingga harus ada keseimbangan antara tahanan listrik dengan transparansi. Hasil fabrikasi kaca konduktif transparan yang optimal pada penelitian ini diperoleh pada jarak 11,5 cm dengan suhu/temperatur 450°C dalam waktu 50 menit yaitu sebesar $1286,8 \Omega$.

Keywords

Fluorine Doped-Tin Oxide (FTO)
Transparent
conductive glass
Spray Pyrolysis

Abstract

This study aims to determine the results obtained from the fabrication of Fluorine Doped-Tin Oxide (FTO) glass using the Spray Pyrolysis technique. This research is experimental-laboratory. The method used in the manufacture of FTO glass is the spray pyrolysis method to deposit ordinary glass as conductive and transparent FTO glass. The tools and materials used in this research are the OMRON NE-C28 Nebulizer, Digital Ultrasonic Cleaner, Digital Balance, Magnetic Stirrer, Heating Plate (Thermo Scientific Hot Plate), Aluminium Foil, Hoses and Funnels, Statives and Clamps, Glass Substrate, Tin (II) Chloride Dihydrate ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Ammonium Fluoride (NH_4F), Ethanol 96%. The results of the research that have been carried out show that the Ultrasonic Nebulizer is recommended as a tool for making Fluorine-doped Tin Oxide (FTO) thin films on a laboratory scale. The test results of microscopic properties (SEM and XRD), electrical properties (Current and Voltage), and resistance showed that the distance of the spray nozzle to the substrate affects the resistance value of the sample being tested. The closer the distance is given, the thickness of the thin layer increases, so that the electrical resistance decreases. However, a layer that is too thick affects the transparency of the glass. So there must be a balance between electrical resistance and transparency. The results of the optimal transparent conductive glass fabrication in this study were obtained at a distance of 11.5 cm with a temperature of 450°C in 50 minutes, which is 1286.8Ω .

©2022 The Author
p-ISSN 2338-3240
e-ISSN 2580-5924

Received 5 June 2022; Accepted 1 August 2022 ; Available Online 30 August 2022

*Corresponding Author: sahrulsaehana@gmail.com

PENDAHULUAN

Selama sepuluh tahun terakhir, nanoteknologi merupakan prioritas utama dalam bidang sains dan teknologi. Salah satu produk dari nanoteknologi adalah lapisan tipis (*thin film*). Salah satu lapisan tipis untuk semikonduktor yang telah dikembangkan yaitu dalam bentuk *Transparent Conducting Oxide* (TCO)[1].

Lapisan transparan konduktif atau yang sering dikenal dengan *Transparent Conducting Oxide* (TCO) merupakan sebuah material konduktif dan transparan yang dilapiskan pada kaca. *Transparent Conducting Oxide* (TCO) memegang peranan penting untuk pembuatan film tipis berbasis silikon maupun film tipis untuk solar cell berbasis bahan lain. Isolator listrik, silikon dan semikonduktor senyawa adalah resistor optik yang bergantung pada panjang gelombang (menghasilkan elektron bergerak), tetapi konduktor listriknya bergantung pada dopan[2]. Lapisan TCO stabil pada temperatur 450°C[3].

Transparent Conducting Oxide (TCO) yang umumnya digunakan adalah *Indium-doped Tin Oxide* (ITO), *Antimony-doped Tin Oxide* (ATO) dan *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO). Proses pembuatan TCO dengan ITO membutuhkan biaya yang mahal karena unsur logamnya yang langka sehingga sulit didapatkan. Unsur kimia lain yang ketersediaannya melimpah di alam adalah *Fluorine* (F), proses pembuatannya hanya memerlukan biaya yang relatif lebih murah. *Fluorine* dijadikan kandidat utama yang memiliki potensi besar menggantikan indium dalam produksi TCO. Saat ini salah satu material yang menguasai pasar TCO adalah *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO)[4]. FTO memiliki beberapa kelebihan yaitu lebih resisten secara kimiawi, murah, dan mudah didapat. Selain itu, FTO juga mampu merekat pada kaca lebih kuat, serta memiliki transparansi optik yang lebih tinggi dan menunjukkan sifat konduktif listrik yang relatif lebih tahan terhadap perlakuan pemanasan dibandingkan dengan ITO[5]. FTO umumnya lebih murah dan bahan bakunya lebih mudah diperoleh daripada ITO[6]. Hal ini membuat FTO banyak digunakan sebagai elektroda pada sel surya khususnya untuk aplikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)[7].

Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini diantaranya, Penelitian yang dilakukan oleh Saehana dkk (2018) menggunakan metode *spray pyrolysis* untuk fabrikasi kaca *Transparent Conducting Oxide* (TCO) berbahan *Tin Oxide* (TO) yang didoping *Fluorine*, menghasilkan lapisan tipis

konduktif *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) dengan konduktivitas yang baik yaitu sekitar 60Ω/cm². Kristalisasi dan morfologi *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) dikonfirmasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)[8].

Penelitian yang dilakukan Rinaldi R dkk (2016) menghasilkan lapisan *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) yang cukup baik dengan nilai transmitansi maksimum yaitu 86,4% dan resistivitas yaitu 14,1 x 10⁻⁴ Ω cm. Semakin besar konsentrasi dan ketebalan coating, maka transmitansi dan resistivitas menurun, serta nilai Figur Of Merit (FOM) tertinggi adalah 0,0453x 10⁴ Ω⁻¹ cm⁻¹. Struktur kristal *Fluorine-doped Tin Oxide* (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 *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) menunjukkan hasil yang baik dengan lapisan yang halus dan merata sepanjang substrat[9].

Penelitian yang dilakukan oleh Yusuf, M dkk (2020) dilakukan variasi pemanasan pada temperatur 400°C, 425°C, 450°C, 475°C, 500°C. Dari metode ini diperoleh hasil terbaik pada suhu 475°C, sehingga diperoleh resistivitas 25Ω/cm² dan persentase transmitansi tertinggi[10].

Berdasarkan pemaparan masalah diketahui bahwa Indium merupakan unsur logam yang langka sehingga proses pembuatan *Transparent Conducting Oxide* (TCO) dengan *Indium-doped Tin Oxide* (ITO) membutuhkan biaya yang mahal. Unsur kimia yang ketersediaannya melimpah di alam adalah *Fluorine* (F). Salah satu material yang menguasai pasar *Transparent Conducting Oxide* (TCO) adalah *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO).

Tujuan Penelitian

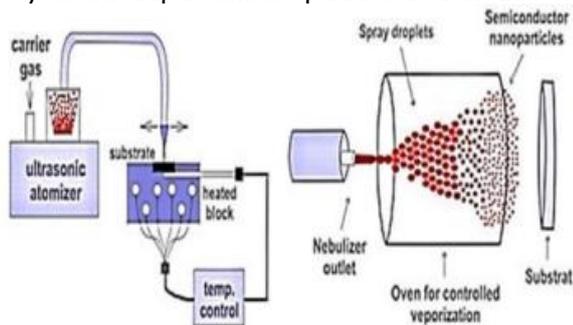
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil yang diperoleh dari fabrikasi kaca *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) menggunakan teknik *Spray Pyrolysis*.

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat *eksperimental-laboratoris*. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan membuat kaca *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO). Metode yang digunakan dalam pembuatan kaca *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) ini adalah metode *spray pyrolysis* untuk mendeposisi kaca biasa sebagai kaca *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) yang konduktif

dan transparan. Skema dari metode Spray Pyrolysis ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gbr.1 Skema Metode Spray Pyrolysis (Sumber: Saehana dkk,2018)

Waktu dan Tempat penelitian

Lokasi pembuatan kaca FTO dengan teknik *spray pyrolysis* dilakukan di Laboratorium Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Tadulako. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Mineral Maju FMIPA UM. Penelitian dilakukan dari tahap persiapan sampai selesai yaitu dalam jangka waktu 4 bulan.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Nebulizer OMRON NE-C28, Digital Ultrasonic Cleaner, Neraca Digital, Magnetic Stirrer, Plat Pemanas (Thermo Scientific Hot Plate), Aluminium Foil, Selang dan Corong, Statif dan Klem, Substrat Kaca, Tin (II) Chloride Dihydrate (SnCl₂.2H₂O), Ammonium Fluoride (NH₄F), dan Ethanol analys 96%.*

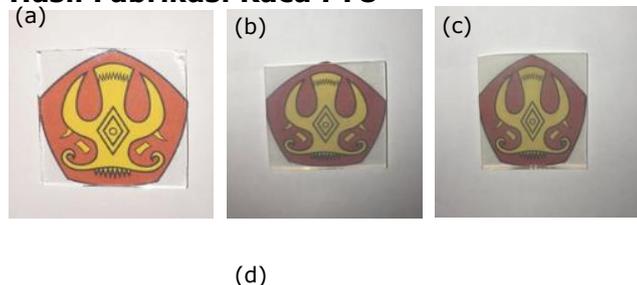
Prosedur Pengujian

Pengujian sampel yang dilakukan pada kaca FTO untuk mendapatkan data dan proses analisis dari variabel penelitian. Pengujian yang dilakukan untuk sampel terdiri dari 4 jenis pengukuran yaitu pengukuran resistansi, IV, SEM, dan XRD.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

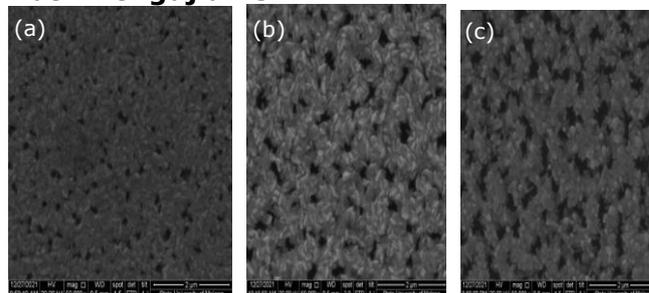
Hasil Fabrikasi Kaca FTO



Gbr.2 Hasil Fabrikasi Kaca FTO: (a) Kaca biasa; (b) Kaca FTO jarak 26 cm; (c) Kaca FTO jarak 16,7 cm; (d) Kaca FTO jarak 11,5 cm.

Semua sampel terlihat transparan (tembus pandang). Kaca FTO sedikit buram karena pada kaca sudah terdeposisi FTO sehingga menjadi lebih buram. Semua sampel yang telah dipanaskan terlihat transparan, transparan dalam hal ini berarti sampel terlihat jernih dan tembus pandang. Namun, dalam penelitian ini belum dilakukan pengukuran terhadap nilai transparansi dari bahan lapisan ini. Secara kualitatif tembus pandang berarti dapat melihat benda dengan jelas yang berada di belakang kaca dengan lapisan *Fluorine-doped Tin Oxide (FTO)*.

Hasil Pengujian SEM



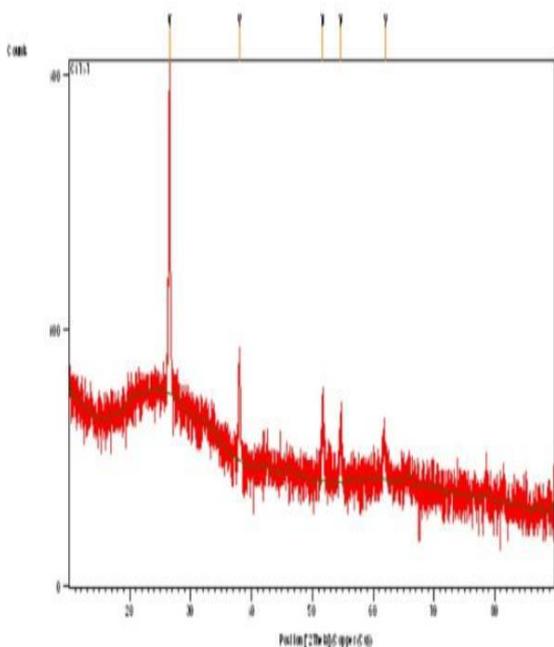
Gbr.3 Lapisan Tipis *Fluorine-doped Tin Oxide (FTO)* dengan Menggunakan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*: (a) Jarak 11,5 cm; (b) Jarak 16,7 cm; (c) Jarak 26 cm.

Gambar 3 menunjukkan hasil analisis dengan instrumen SEM yang menghasilkan struktur morfologi dari lapisan tipis *Fluorine-doped Tin Oxide (FTO)* dengan perbesaran 50.000x. Gambar pengukuran ini memperlihatkan ukuran dari partikel *SNO₂:F*. Hal ini membuktikan bahwa serbuk *SNO₂:F* telah menghasilkan partikel berukuran nanometer. Pada hasil SEM ini juga memperlihatkan mikrostruktur dari serbuk *SNO₂:F* dengan warna yang gelap[11].

Hasil Pengujian XRD

Hasil karakterisasi dengan XRD yang diperoleh ketiga sampel berupa difraktogram, yaitu grafik hubungan antara intensitas puncak spektrum dan sudut hamburan (2θ)[12]. Dapat dilihat pada Gambar 4,5 dan 6.

a. Jarak 11,5 cm



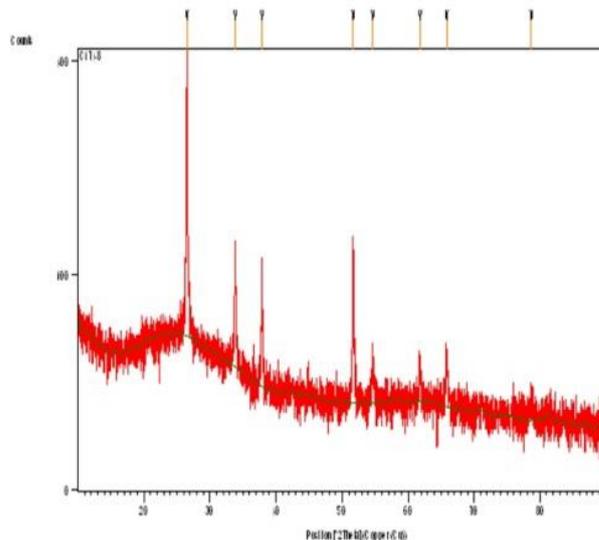
Gbr.4 Difraktogram Hasil Uji XRD dengan Jarak 11,5 cm

Daftar puncak pada jarak 11,5 cm dari hasil XRD dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Puncak Difraktogram Hasil Uji XRD dengan Jarak 11,5 cm

No	Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel.Int. [%]
1	26.5159	364.29	0.1378	3.3616	100.00
2	38.0292	56.05	0.1968	2.3662	15.38
3	51.7089	30.52	0.3149	1.7678	8.38
4	54.6636	22.60	0.2362	1.6790	6.20
5	62.0023	11.10	1.1520	1.4955	3.05

b. Jarak 16,7 cm



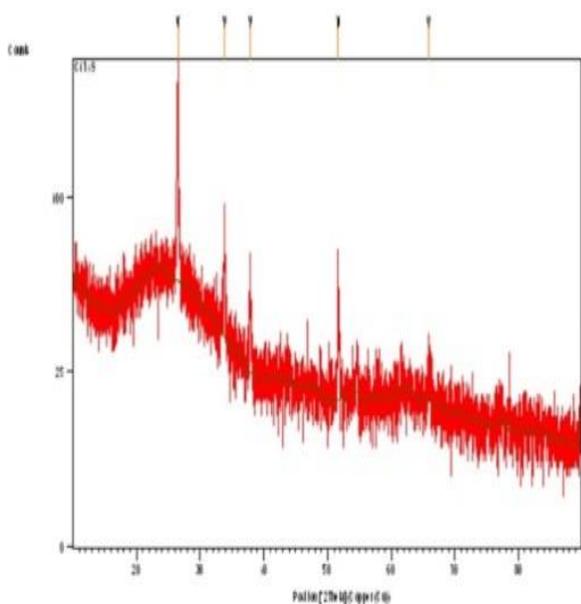
Gbr.5 Difraktogram Hasil Uji XRD dengan Jarak 16,7 cm

Daftar puncak pada jarak 16,7 cm dari hasil XRD dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar Puncak Difraktogram Hasil Uji XRD dengan Jarak 16,7 cm

No	Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel.Int. [%]
1	26.5217	355.92	0.1574	3.3609	100.00
2	33.8233	84.41	0.1968	2.6502	23.71
3	37.9027	74.38	0.1378	2.3738	20.90
4	51.6994	107.87	0.2755	1.7681	30.31
5	54.6951	21.12	0.2362	1.6781	5.93
6	61.7989	16.31	0.2362	1.5012	4.58
7	65.8492	21.99	0.3149	1.4183	6.18
8	78.7076	6.32	1.1520	1.2147	1.77

c. Jarak 26 cm



Gbr.6 Difraktogram Hasil Uji XRD dengan Jarak 26 cm

Daftar puncak pada jarak 26 cm dari hasil XRD dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Daftar Puncak Difraktogram Hasil Uji XRD dengan Jarak 26 cm

No	Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel.In t. [%]
1	26.5131	136.49	0.1771	3.36197	100.00
2	33.7987	47.39	0.1574	2.65208	34.72
3	37.8827	31.79	0.2362	2.37503	23.29
4	51.6745	43.52	0.1574	1.76895	31.88
5	65.8963	8.07	0.5760	1.41630	5.92

Hasil Perhitungan Ukuran Kristal

Hasil dari pengujian XRD dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal (*crystallite size*) dengan fase tertentu dengan merujuk pada puncak-puncak utama pola difraktogram melalui persamaan *Debye Scherrer* yang dirumuskan[13]:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

Keterangan:

- D = Ukuran kristal
- K = Faktor bentuk dari kristal (0,9-1)
- Λ = Panjang gelombang dari sinar-X (1,54056 Å = 0,15406 nm)
- β = Nilai dari Full Width at Half Maximum (FWHM) (rad)
- θ = Sudut difraksi (derajat)

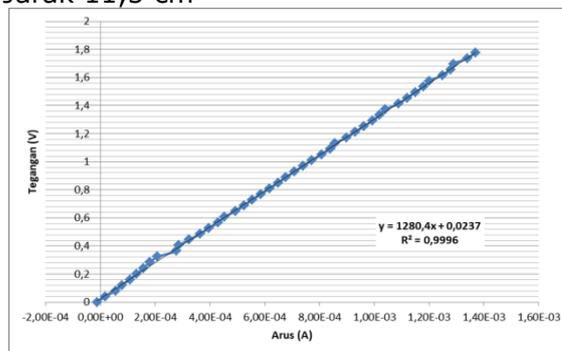
Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan Debye Scherrer diperoleh nilai rata-rata dari ukuran kristal dari setiap jarak yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Jarak *nozzle* Semprot dengan Ukuran Kristal

No	Jarak (cm)	Ukuran Kristal (nm)
1	11,5 cm	0,8001 nm
2	16,7 cm	0,9837 nm
3	26 cm	0,9378 nm

Hasil Pengujian Arus dan Tegangan (IV)

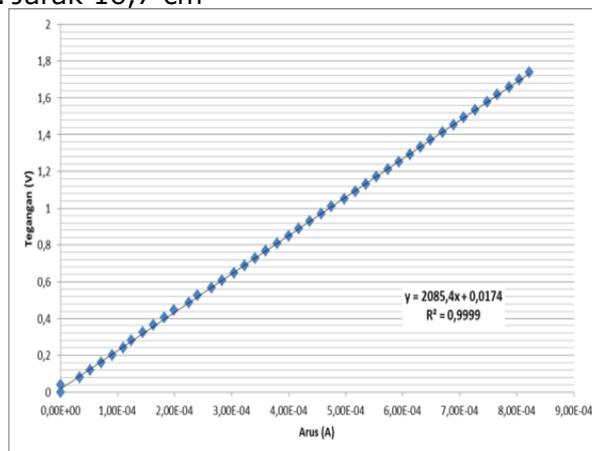
a. Jarak 11,5 cm



Gbr.7 Grafik Hubungan antara Arus (I) dan Tegangan (V) pada jarak 11,5 cm

Dari grafik hubungan antara arus dan tegangan dengan persamaan regresi linear $y=1280,4x + 0,0237$ dan R^2 (koefisien/indeks determinasi) sebesar 0,9996 diperoleh bahwa tegangan berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan pada kaca FTO artinya semakin besar tegangan yang dihasilkan maka arus yang mengalir semakin besar.

b. Jarak 16,7 cm

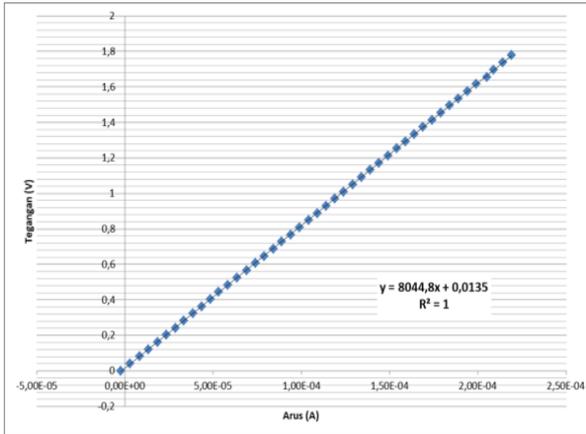


Gbr.8 Grafik Hubungan antara Arus (I) dan Tegangan (V) pada jarak 16,7 cm

Dari grafik hubungan antara arus dan tegangan dengan persamaan regresi linear $y=2085,4x + 0,0174$ dan R^2 (koefisien/indeks determinasi) sebesar 0,9999 diperoleh bahwa tegangan berbanding lurus dengan arus yang

dihasilkan pada kaca FTO artinya semakin besar tegangan yang dihasilkan maka arus yang mengalir semakin besar.

c. Jarak 26 cm

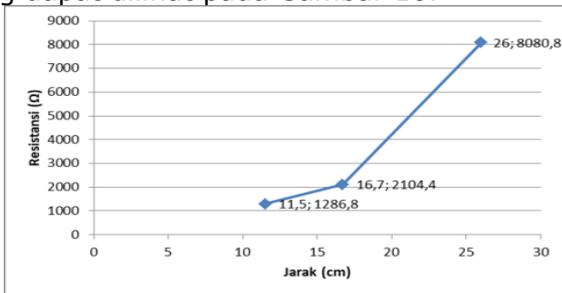


Gbr.9 Grafik Hubungan antara Arus (I) dan Tegangan (V) pada jarak 26 cm

Dari grafik hubungan antara arus dan tegangan dengan persamaan regresi linear $y=8044,8x + 0,0135$ dan R^2 (koefisien/ indeks determinasi) sebesar 1 diperoleh bahwa tegangan berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan pada kaca FTO artinya semakin besar tegangan yang dihasilkan maka arus yang mengalir semakin besar.

Hasil pengukuran Resistansi

Dari hasil perhitungan resistansi diperoleh grafik hubungan antara jarak dan resistansi yang dapat dilihat pada Gambar 10.



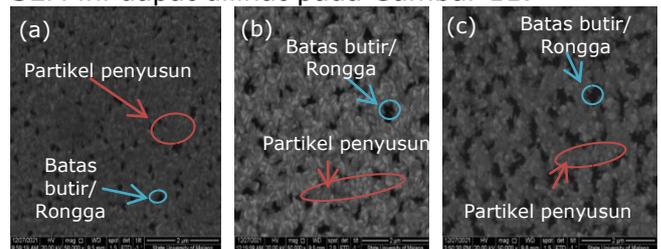
Gbr.10 Grafik Hubungan antara Jarak (cm) dan Resistansi (Ω) pada Kaca FTO

Dari grafik hubungan antara jarak dan resistansi diperoleh bahwa jarak berbanding lurus dengan resistansi yang dihasilkan pada kaca FTO artinya semakin besar nilai jarak yang diberikan maka resistansi yang dihasilkan akan semakin besar pula, begitupun sebaliknya. Dari hasil perhitungan resistansi dapat dilihat bahwa nilai resistansi terendah diperoleh pada jarak 11,5 cm. Semakin dekat jarak nozzle semprot dengan substrat mempengaruhi ketebalan dari lapisan tipis FTO, sehingga ketahanan listrik semakin menurun.

Pembahasan

Kaca FTO yang dihasilkan sedikit lebih buram karena permukaan kaca sudah terdeposisi FTO sehingga menjadi lebih buram. Semua sampel yang telah dipanaskan terlihat transparan, transparan dalam hal ini berarti sampel terlihat jernih dan tembus pandang. Tetapi, secara kualitatif tembus pandang berarti dapat melihat benda dengan jelas yang berada di belakang kaca dengan lapisan *Fluorine-Doped Tin Oxide* (FTO).

Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap sampel yang telah dibuat. Pengujian pertama yaitu pengujian menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai morfologi permukaan lapisan. Hasil pengujian SEM ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gbr.11 Hasil Pengujian SEM Berukuran Nanometer: (a) Jarak 11,5 cm; (b) Jarak 16,7 cm; (c) Jarak 26 cm

Pada Gambar 11 dengan jarak 11,5 cm terlihat bahwa partikel penyusunnya lebih rapat yang artinya lebih banyak larutan yang terdeposisi dan batas butir atau rongga terlihat lebih kecil dan padat. Hal ini berpengaruh pada hasil resistansinya yang semakin kecil. Selanjutnya, pada jarak 16,7 cm terlihat batas butir yang lebih sedikit dibandingkan pada ukuran 26 cm dimana pori-pori atau batas butirnya (rongga) lebih berkurang dibandingkan pada saat jarak 26 cm. Sedangkan pada jarak 26 cm terlihat batas butir atau rongga yang lebih banyak dan ukuran batas butir yang lumayan besar. Hal ini berpengaruh pada resistansi karena banyak yang menghambat partikel untuk mengalirkan listrik, batas butir ini berfungsi sebagai sink atau penghambat arus listrik[14]. Hal ini membuktikan bahwa semakin jauh jarak antara *nozzle* semprot dan substrat maka batas butir yang terlihat akan lebih banyak dan ukuran batas butir akan semakin besar sehingga berpengaruh pada besarnya resistansi yang dihasilkan karena banyak yang menghambat partikel untuk mengalirkan listrik, begitupun sebaliknya semakin dekat jaraknya maka partikel penyusunnya akan terlihat lebih rapat yang artinya lebih banyak larutan yang terdeposisi dan batas butirnya terlihat lebih sedikit dan

kecil yang akan memudahkan listrik mengalir sehingga resistansi yang dihasilkan akan lebih kecil.

Pengujian sampel yang kedua yaitu karakterisasi lapisan $\text{SnO}_2:\text{F}$ menggunakan XRD yang bertujuan untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis $\text{SnO}_2:\text{F}$. Data hasil karakterisasi dengan XRD yang diperoleh ketiga sampel berupa difraktogram, yaitu grafik hubungan antara intensitas puncak spektrum dan sudut hamburan (2θ). Pengujian XRD ini menunjukkan terbentuknya struktur Kristal *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) dari campuran $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{F} \rightarrow \text{SnO}_2:\text{F}$ (*Fluorine Tin Oxide*) yang dapat dilihat dari *peak* (puncak) yang terbentuk dari hasil pengujian XRD. Selanjutnya, dilihat perbedaan *peak* yang terbentuk dari perlakuan untuk jarak yang berbeda berdasarkan hasil yang diperoleh.

Berdasarkan hasil difraktogram pada pengujian XRD ini terlihat bahwa perbedaan jarak antara nozzle semprot dengan substrat mempengaruhi tinggi puncak yang dihasilkan. Semakin besar jarak yang diberikan maka semakin tinggi puncak yang dihasilkan.

Untuk menentukan ukuran kristal dari lapisan tipis FTO digunakan persamaan Debye Scherrer. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh ukuran kristal untuk jarak 11,5 cm secara berurut yaitu sebesar 1,1245 nm, 0,8944 nm, 0,7105 nm, 1,0149 nm, dan 0,2564 nm. Selanjutnya, pada jarak 16,7 cm diperoleh ukuran kristal secara berurut yaitu sebesar 0,9845 nm, 0,8480 nm, 1,2753 nm, 0,8120 nm, 1,0163 nm, 1,2421 nm, 1,0763 nm, dan 0,6147 nm. Dan pada jarak 26 cm diperoleh ukuran kristal secara berurut yaitu sebesar 0,8749 nm, 1,0602 nm, 0,7438 nm, 1,4206 nm, dan 0,5896 nm. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan Debye Scherrer diperoleh nilai rata-rata ukuran kristal pada jarak 11,5 cm sebesar 0,8001 nm, jarak 16,7 sebesar 0,9837 nm, dan jarak 26 cm sebesar 0,9378 nm. Hal ini menunjukkan bahwa nilai ukuran kristal yang dihasilkan berbanding terbalik dengan nilai FWHM, sedangkan nilai FWHM dipengaruhi oleh intensitas masing-masing bidang kristal, semakin tinggi intensitas maka nilai FWHM semakin kecil [15].

Pengujian yang ketiga yaitu pengujian Arus (I) dan Tegangan (V) menggunakan teknik Two Point Probe yang menghasilkan grafik hubungan antara Arus (I) dan Tegangan (V). Berdasarkan grafik hubungan antara arus (I) dan tegangan (V) diperoleh bahwa tegangan berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan pada kaca FTO artinya semakin besar tegangan yang dihasilkan maka arus yang mengalir juga

akan semakin besar. Dari grafik hubungan ini diperoleh nilai untuk pengujian resistansi yang dihitung menggunakan persamaan sehingga diperoleh hasil sebesar 1286,8 Ω pada jarak 11,5 cm, 2104,4 Ω pada jarak 16,7 cm dan 8080,8 Ω pada jarak 26 cm. Berdasarkan nilai perhitungan resistansi ini diperoleh grafik hubungan antara jarak dengan resistansi. Dari grafik hubungan antara jarak dan resistansi diperoleh bahwa jarak berbanding lurus dengan resistansi yang dihasilkan pada kaca FTO artinya semakin besar nilai jarak yang diberikan maka resistansi yang dihasilkan akan semakin besar pula, begitupun sebaliknya. Semakin dekat jarak *nozzle* semprot dengan substrat akan mempengaruhi ketebalan dari lapisan tipis FTO, sehingga ketahanan listrik semakin menurun. Dari hasil perhitungan resistansi dapat dilihat bahwa nilai resistansi terendah diperoleh pada jarak 11,5 cm.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian sifat mikroskopik (SEM dan XRD), sifat listrik (Arus dan Tegangan) dan resistansi, telah berhasil dibuat kaca FTO untuk hasil optimal dengan resistansi yang kecil sebesar 1286,8 Ω pada jarak 11,5 cm dalam waktu 50 menit. Jarak *nozzle* semprot terhadap substrat mempengaruhi nilai resistansi pada sampel yang diuji. Semakin dekat jarak *nozzle* semprot dengan substrat menambah ketebalan lapisan tipis, sehingga tahanan listrik menurun. Namun, lapisan yang terlalu tebal mempengaruhi transparansi dari kaca sehingga harus ada keseimbangan antara tahanan listrik dengan transparansi.

Diharapkan adanya penelitian selanjutnya mengenai lapisan tipis *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) di lingkungan Universitas Tadulako sehingga bisa meneliti lebih dalam hasil optimal pada kaca FTO dengan lebih memperhatikan keseimbangan antara tahanan listrik dengan transparansi untuk hasil optimal sehingga kaca FTO dapat dihasilkan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Diah Imawanti, Y., Doyan, A., & Gunawan, E. R. (2017). Sintesis Lapisan Tipis (Thin Film) SnO_2 Dan $\text{SnO}_2:\text{Al}$ Menggunakan Teknik Sol-Gel Spin Coating Pada Substrat Kaca Dan Quartz. 3(1). <http://jppipa.unram.ac.id/index.php/jppipa>
- [2] Stadler, A. (2012). Transparent Conducting Oxides—An Up-To-Date Overview. *Materials*, 5(12), 661–683. <https://doi.org/10.3390/ma5040661>
- [3] Wirjoadi, W., & Siswanto, B. (2008). Sifat Optik, Struktur Kristal Dan Struktur Mikro Lapisan Tipis

- Zno:Al Pada Substrat Kaca Sebagai Bahan Tco. *Ganendra Majalah IPTEK Nuklir*, 11(2), 369-375. <https://doi.org/10.17146/gnd.2008.11.2.142>
- [4] Arini, T., Lallasari, L. H., Yuwono, H., Firdiyono, F., Andriyah, L., & Subhan, A. (2017). Pengaruh Waktu Deposisi Dan Temperatur Substrat Terhadap Pembuatan Kaca Konduktif Fto (Fluorine-Doped Tin Oxide) (Vol. 1). www.ejurnalmaterialmetalurgi.com
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Lallasari, L. H., Arini, T., Yuwono, A. H., & Firdiyono, F. (2015). Pembuatan Lapisan TIpis FLuorine Doped Tin Oxide (FTO). 105-114.
- [8] Saehana, S.dkk.(2018). Preliminary Study in Fabricating Fluorine-doped Tin Oxide by Using Spray Pyrolysis Methods, *IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering* 395 012015.
- [9] Rinaldi, R., Amri, A., Jurusan Teknik Kimia, M., & Jurusan Teknik Kimia, D. (2016). Sintesa Fluorinated Tin Oxide (FTO) Menggunakan Prekursor Ramah Lingkungan dan Penambahan Graphene dengan Metode Deposisi Spray Coating Untuk Aplikasi Material Konduktif Transparan. In *Jom FTEKNIK* (Vol. 3, Issue 2).
- [10] Yusuf, M., & Suciarno, S. (2020). Fabrikasi Lapisan Nano *Fluorine Doped Tin Oxide* (FTO) Dengan Variasi Temperatur Menghasilkan Material Bersifat Transparan Dan Konduktif. *Quantum Teknika : Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 1(2).
- [11] Rahayu, D., & Sari, M. (2013). Analisis Struktur Mikro dan Perubahan Fasa γ -TiAl sebagai Material Paduan Tahan Temperatur Tinggi. *Jurnal Teknik Komits*, 2(1), 73-77.
- [12] Bonardo, D., & Siburian, R. (2021). Analisis Struktur Nano Partikel Silika Dari Abu Ampas Tebu Menggunakan Metode Xrd. *Jurnal Einstein* 9, (1), 13-20. <http://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/einstene-issn:2407-747x,p-issn2338-1981>
- [13] Masruroh, Manggara, A. B., Lapailaka, T., & Triandi, R. (2013). Penentuan Ukuran Kristal (Crystallite Size) Lapisan Tipis Pzt Dengan Metode Xrd Melalui Pendekatan Persamaan Debye Scherrer. *Erudio Journal of Educational Innovation*, 1(2), 24-29. <https://doi.org/10.18551/erudio.1-2.4>
- [14] Walfred Tambunan, U. M. (2012). *Efek Aditif Bi 2 O 3 Terhadap Mikrostruktur Dan Koefisien Non Linear Varistor Zno Efek Aditif Bi 2 O 3 Terhadap Mikrostruktur Dan Koefisien Non Linear Varistor Zno*. I(2), 41-46.
- [15] Istiqomah, M., Jamaluddin, A., & Iriani, Y. (2015). Pembuatan Material Feroelektrik Barium Titanat (BaTiO3) Menggunakan Metode Solid State Reaction (Halaman 59 s.d. 61). *Jurnal Fisika Indonesia*, 18(53), 59-62. <https://doi.org/10.22146/jfi.24391>