

OPTIMASI SIFAT LISTRIK LAPISAN TIPIS FLUORINE DOPED TIN OXIDE (FTO) DENGAN METODE SPRAY PYROLISIS

Optimization Of Electrical Properties Of Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) Thin Layers With Spray Pyrolysis Method

Nadriatul Sulfana dan Sahrul Saehana

Physics education program, Faculty of Teacher Training and Education, Tadulako University, Palu JL. Soekarno Hatta Km. 9 Kampus Bumi Tadulako Tondo – Sulawesi Tengah
Email: nadriatulsulfana.a17053@gmail.com

Kata Kunci

FTO
Spray Pyrolysis
Temperatur
Resistansi
Nilai Optimal

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menghasilkan kaca FTO yang memiliki sifat listrik yang optimal. Jenis penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimen lab. Pembuatan kaca FTO menggunakan metode *spray pyrolysis*. Pembuatan kaca FTO ini, menggunakan bahan baku timah (II) klorida dihidrat ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan ammonium fluoride (NH_4F) dengan konsentrasi 0,7 M. Adapun parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi temperatur deposisi 450°C, 475°C, dan 500°C dengan waktu tetap 40 menit. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian resistansi, *Scanning Electrone Mikroscope* (SEM), dan *X-Ray Diffraction* (XRD). Hasil penelitian ini didapatkan nilai resistansi pada variasi temperatur 450°C sebesar 615,38 Ω , temperatur 475°C sebesar 400 Ω , dan temperatur 500°C sebesar 14 k Ω . Berdasarkan hasil penelitian ini, didapatkan hasil optimal pada variasi temperatur deposisi 475°C dengan waktu 40 menit.

Keywords

FTO
Spray Pyrolysis
Temperature
Resistance
Optimal value

Abstract

The purpose of this research is to produce FTO glass which has optimal electrical properties. This type of research is included in laboratory experiment research. FTO glass manufacture using spray pyrolysis method. This FTO glass manufacture uses tin (II) chloride dihydrate ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and ammonium fluoride (NH_4F) with a concentration of 0.7 M. The parameters used in this study are variations in deposition temperatures of 450, 475, and 500 with a fixed time of 40 minutes. . In this study, resistance testing, Scanning Electrone Microscope (SEM), and X-Ray Diffraction (XRD) were carried out. The results of this study showed that the resistance value at 450°C temperature variation was 615.38 Ω , temperature 475°C was 400 Ω , and temperature 500°C was 14 k Ω . Based on the results of this study, the optimal results were obtained at the deposition temperature variation of 475°C with a time of 40 minutes.

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

Received 25 June 2022 ; Accepted 10 August 2022 ; Available Online 30 August 2022

*Corresponding Author: nadriatulsulfana.a17053@gmail.com

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan teknologi yang terus meningkat dan semakin canggih membawa terciptanya teknologi-teknologi baru. Bahan oksida transparan konduktif atau transparent konduktif oxide (TCO) adalah salah satu contoh perkembangan teknologi yang canggih dibidang ilmiah yang ada pada saat ini. TCO adalah bahan transparan konduktif yang diaplikasikan pada kaca. Pengaplikasian untuk lapisan ini sangat luas dan umum dalam kehidupan masyarakat

yang dapat ditemukan pada layar smartphone. Selain itu, pengaplikasiannya juga banyak ditemukan pada layar LCD, panel surya, dan pemanas optik [1].

Hotim (2015) menyatakan bahwa Indonesia pada saat ini merupakan net importer material TCO artinya Indonesia masih menjadi negara yang lebih banyak melakukan import TCO daripada melakukan ekspor TCO [2]. Oleh karena itu, untuk mencapai upaya menuju kearah kemandirian energi di dalam negeri dan pemenuhan kebutuhan pasar serta

dapat meningkatkan devisa Negara, bahan ini perlu diproduksi di dalam negeri.

Bahan yang biasa digunakan sebagai TCO antara lain Indium Tin Oxide (ITO) dan Fluorine Doped Tin Oxide (FTO). Menurut U.S Geological Survey memeperkirakan bahwa cadangan indium di kerak bumi pada tahun 1998 hanya 2.600 ton [3]. Oleh karena itu, salah satu bahan yang saat ini mendominasi pasar TCO adalah FTO, mengingat bahan yang digunakan untuk membuat ITO masih tergolong mahal karena ketersediaan indium di alam yang langka dibandingkan dengan FTO. *Fluorine Doped Tin oxide* (FTO) merupakan pelapis di substrat kaca konduktif transparan yang pada umumnya bisa didapatkan melalui proses kaca yang permukaannya dideposisikan larutan yang telah diionisasi menggunakan alat nebulizer. Muliani (2012), menyatakan bahwa FTO pada umumnya diaplikasikan sebagai substrat semikonduktor pada fabrikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).[4] FTO lebih resistansi secara kimiawi, serta murah dan ketersediaan bahan baku yang lebih mudah diperoleh [5]. FTO menunjukkan sifat konduktif yang relatif lebih tahan terhadap perlakuan pemanasan daripada ITO, terutama untuk aplikasi DSSC [6].

Dalam pembuatan lapisan tipis konduktif pada FTO dipilih *tin oxide* (SnO_2) sebagai elemen konduktif utama (unsur induk). Hal ini karena *tin oxide* memiliki sifat elektrik yang bagus atau resistansi yang baik, masa pemakaian di alam melimpah [7]. Kaca konduktif dari SnO_2 memiliki konduktifitas rendah sehingga perlu adanya *doping*. *Doping* yang digunakan pada penelitian ini yaitu florida yang didapat dari ammonium fluoride (NH_4F). Penggunaan florida sebagai doping karena florida memiliki tahanan listrik yang rendah dan transmisi optik yang tinggi. Parameter lain yang juga mempengaruhi kedua sifat tersebut adalah temperatur, yang berperan dalam menentukan SnO_2 .

Penelitian yang dilakukan oleh Yusuf, M., dkk (2020) mengenai pembuatan kaca FTO menggunakan metode *spray pyrolysis* dengan larutan prekursor SnCl_2 dan menggunakan variasi temperatur 400°C, 450°C, 500°C, 550°C. Hasil penelitian didapatkan nilai konduktivitas FTO yang tinggi diperoleh pada temperatur sintering 400°C dengan nilai resistivitas sebesar 26,72 $\Omega\cdot\text{cm}$ [8]

Penelitian yang dilakukan oleh Maksum (2018), yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio massa $\text{NH}_4\text{F}:\text{SnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan temperatur pendeposisian dalam pembuatan kaca FTO dengan metode *spray pyrolysis deposition* dengan larutan prekursor sebanyak 7

ml. Temperatur tetap pada 400°C dilakukan variasi rasio 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% wt. Sedangkan variasi selanjutnya untuk rasio massa diatur tetap 4% wt dengan variasi temperatur yang berbeda-beda yaitu 300°C, 350°C, 400°C, 450°C, dan 500 °C. Hasil terbaik pada penelitian ini yaitu pada variasi temperatur 400°C rasio massa 8% didapatkan nilai resistansi sebesar 9,186% Ω dan nilai transmitansi tertinggi 90,047% pada panjang gelombang 80 nm. [9]

Muliani (2012) menyatakan bahwa FTO merupakan pelapis substrat kaca konduktif transparan yang pada umumnya diaplikasikan sebagai substrat semikonduktor pada fabrikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Pada kaca FTO terdapat beberapa hal yang mendasarinya. Diantaranya sebagai berikut:

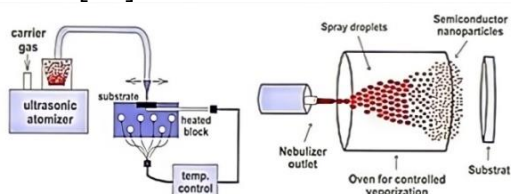
1. Lapisan Film Tipis merupakan lapisan yang terdapat pada substrat. Dimana pengaplikasian lapisan film tipis ini dapat ditemui pada komponen elektronika seperti transistor, kapasitor, rangkaian hybrid, dan sel surya. Karena pada dasarnya lapisan film tipis dari bahan tersebut dapat memiliki sifat-sifat listrik seperti isolator, konduktor dan semikonduktor.
2. Sifat Listrik *Fluorine Doped Tin Oxide* (FTO), terdiri dari konduktivitas, dan resistansi.
3. Kaca FTO juga memiliki sifat optik yaitu transmitansi.

Spray pyrolysis merupakan metode yang digunakan untuk menghasilkan partikel produk berukuran mikrometer, submikrometer ataupun nanometer tergantung konsentrasi prekursor, selanjutnya partikel digunakan untuk membuat lapisan tipis semikonduktor [10].

Spray Pyrolysis adalah salah satu teknik yang efektif dan sederhana yang cocok untuk komersialisasi dan biasa digunakan dalam pembuatan lapisan tipis FTO, karena metode ini cepat dan mudah untuk diaplikasikan jika digunakan pada area deposisi yang luas. Selain itu, metode ini murah dan penyusunan komponen pendukung yang sederhana, metode ini memiliki beberapa keuntungan seperti tingkat pertumbuhan yang tinggi, kemampuan menghasilkan droplet yang seragam dan daya rekat yang kuat, tidak membutuhkan kondisi vakum, kemudahan jumlah doping yang dapat dikontrol, dan kemampuan untuk mendeposisikan campuran dari multikomponen (Maksum, 2018)

Proses dari *spray pyrolysis* yaitu larutan yang telah dibuat dimasukkan kedalam wadah *ultrasonic nebulizer* untuk menjadikan partikel berukuran nano, kemudian diatomisasi dan

dideposisi atas permukaan gelas. Proses deposisi larutan menggunakan temperatur yaitu 500°C [11].



Gambar 2.2 Skema Metode *Spray Pyrolysis*
Sumber : [12]

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan kondisi optimum sifat listrik pada lapisan tipis *Fluorine Doped Tin Oxide* (FTO).

METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah eksperimen laboratorium yaitu melakukan pengamatan secara langsung sebab akibat dari suatu proses. Adapun metode yang digunakan dalam pembuatan kaca FTO adalah metode *spray pyrolysis*.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Program Studi Pendidikan Fisika, Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Tadulako. Kemudian untuk pengujian dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju FMIPA UM. Adapun waktu penelitian dilakukan pada bulan November sampai dengan Desember.

Alat dan bahan pada penelitian ini terdiri dari:

- 1) Nebulizer OMRON NE-C28, digunakan untuk pendeposisian agar larutan prekursor teratomisasi dan menempel pada permukaan substrat.
- 2) Digital Ultrasonic Cleaner, berfungsi untuk membersihkan kotoran pada kaca sebelum dilakukan proses pembentukan lapisan diatas kaca.
- 3) Neraca Digital, digunakan untuk mengukur massa Tin (II) Klorida Dihidrat ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan Amonium Fluorida (NH_4F) agar sesuai dengan konsentrasi larutan yang ditentukan.
- 4) Magnetik Stirrer sekaligus Plat Pemanas, dimana magnetik stirrer digunakan untuk mengaduk larutan agar larutan menjadi homogen dan plat pemanas digunakan untuk memanaskan kaca agar larutan yang teratomisasi dapat menempel ke permukaan kaca.
- 5) Aluminium Foil, digunakan untuk melapisi plat pemanas pada saat proses pembentukan lapisan FTO.

- 6) Selang dan corong, digunakan untuk meneruskan prekursor ke plat pemanas dan juga berfungsi untuk membatasi agar larutan prekursor pada proses *spray pyrolysis* tidak menyebar ke lingkungan.
- 7) Statif dan Klem, digunakan untuk mempertahankan selang yang terhubung corong tetap kokoh.
- 8) Kaca sebelum pelapisan
- 9) Tin (II) Klorida Dihidrat ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- 10) Amonium Fluorida (NH_4F)
- 11) Ethanol 96%.

Etanol merupakan larutan yang bersifat inert (tidak bereaksi dengan komponen lain) inilah yang menjadikan etanol sering digunakan sebagai pelarut [13].

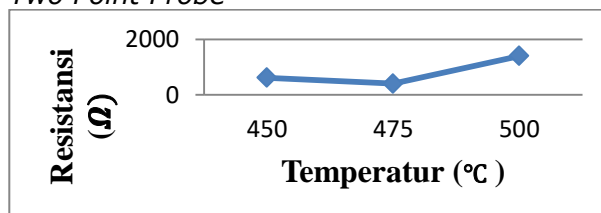
Adapun prosedur pembuatan lapisan tipis FTO ini adalah :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan.
2. Membuat larutan prekursor dengan konsentrasi 0,7 M.
3. Membersihkan substrat kaca menggunakan digital ultrasonic cleaner selama 5 menit.
4. Meletakkan kaca yang telah dibersihkan di plat pemanas.
5. Memanaskan kaca pada temperatur 450°C, 475°C, 500° C.
6. Melakukan penyemprotan larutan dengan nebulizer pada kaca yang dipanaskan selama 40 menit.
7. Mengukur resistansi kaca FTO.

Pengujian sampel yang dilakukan pada kaca FTO untuk mendapatkan data dan proses analisis dari variabel penelitian. Pengujian yang dilakukan untuk sampel terdiri dari empat pengujian yaitu pengujian resistansi kaca FTO menggunakan multimeter, pengujian resistansi kaca FTO dengan metode *two poin probe*, pengujian morfologi kaca FTO menggunakan SEM, dan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD).

HASIL DAN PEMBAHASAN Hasil Penelitian

- a. Hasil Pengukuran Resistansi dengan Metode *Two Point Probe*

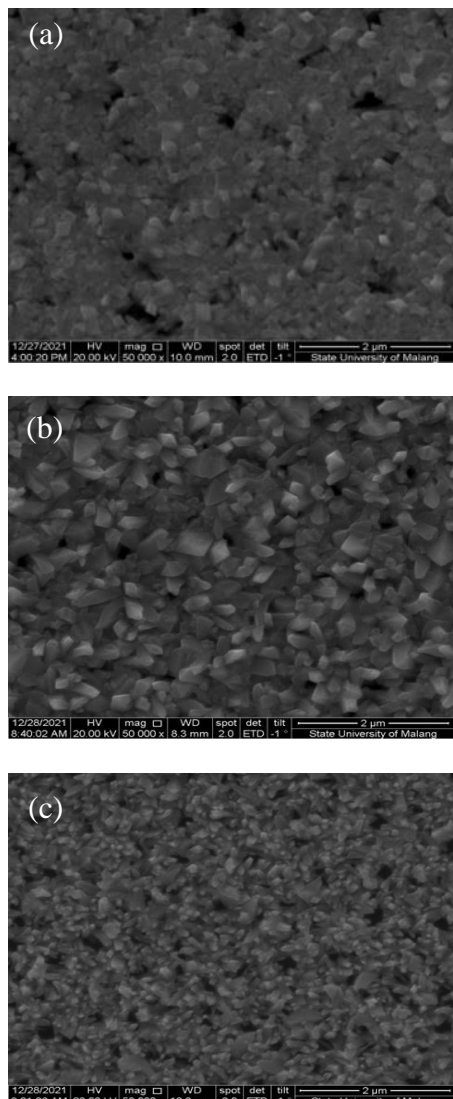


Gambar 2. Grafik hubungan resistansi dengan temperatur.

Dari hasil pengukuran yang dilakukan, dapat dilihat bahwa resistansi terendah (Optimum) didapatkan pada temperatur 475°C.

Pada kenaikan temperatur substrat dari 450°C - 475°C nilai resistansi menurun yaitu dari 615,38 Ω sampai 400 Ω .

b. Hasil Pengukuran SEM (Scanning Electron Microscopy)



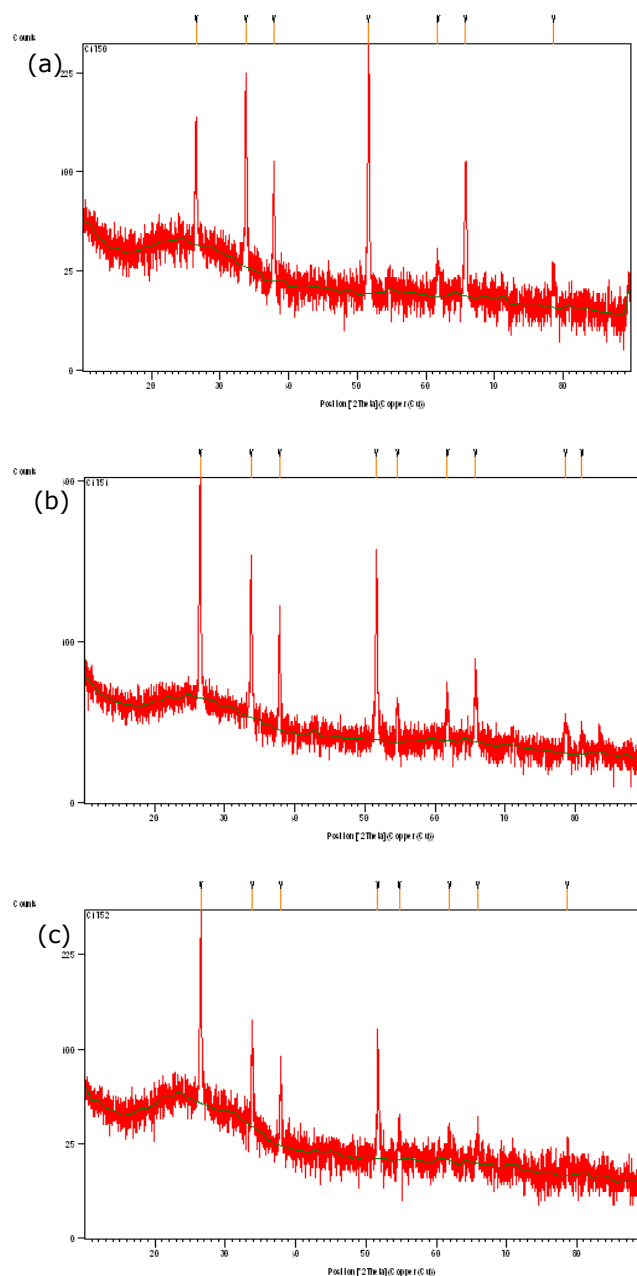
Gambar 3. Hasil pengujian SEM kaca FTO dengan variasi temperatur deposisi pada waktu tetap 40 menit (a) 450°C; (b) 475°C; (c) 500°C

Gambar 3 di atas memperlihatkan morfologi kaca FTO yang di hasilkan. Adapun pada gambar (a) 450°C terlihat morfologi kaca telah menghasilkan partikel namun masih terlihat adanya batas butir, kemudian morfologi kaca FTO pada gambar (b) 475°C terlihat bahwa ukuran partikel semakin besar dan rapat sehingga rongga semakin sedikit, hal ini dapat menyebabkan aliran listrik semakin lancar dan resistansi semakin menurun, pada gambar (c) 500°C terlihat ukuran partikel semakin kecil dan terdapat banyak rongga, hal ini sesuai dengan penelitian Yadav (2009) bahwa film tumbuh

pada suhu optimal dan akan menurun bila temperatur berada diatas suhu optimal. Berubahnya ukuran partikel yang semakin mengecil pada suhu 500°C dapat disebabkan karena pada suhu tersebut sudah melewati batas optimal hal ini dikarenakan sedikitnya prekursor yang terdeposisi di atas substrat akibat prekursor telah menguap terlebih dahulu jauh sebelum mengenai substratnya.

c. Hasil pengujian XRD

1. Grafik difraktogram pada masing-masing tempertur, sebagai berikut:



Gambar 4. Hasil pengujian XRD kaca FTO dengan variasi temperatur deposisi pada waktu tetap 40 menit (a) 450°C; (b) 475°C; (c) 500°C

Pada Gambar 4 dapat dilihat pola difraksi sinar-x lapisan tipis SnO₂:F yang tumbuh di atas substrat kaca dengan variasi temperatur deposisi 450°C, 475°C, dan 500°C.

2. Ukuran Kristal

Hasil uji XRD digunakan untuk mencari ukuran kristal dengan fase tertentu berdasarkan puncak utama pola difraksi menggunakan persamaan Debye Scherrer yang dirumuskan:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

Ket.

- 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)

Tabel 1. Ukuran kristal pada variasi temperatur

No.	Temperatur (°C)	Ukuran Kristal (nm)
1	450°C	1,2269 nm
2	475°C	1,3695 nm
3	500°C	0,8228 nm

Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi optimum sifat listrik pada lapisan tipis *Fluorine Doped Tin Oxide* (FTO). Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi temperatur deposisi 450°C, 475°C, dan 500°C dengan waktu tetap 40 menit dan konsentrasi tetap 0,7 M. Pada penelitian ini dapat diketahui terjadi perubahan pengaruh variasi temperatur terhadap konduktivitas kaca FTO. Hal ini berdasarkan pengujian resistansi menggunakan metode *two point probe*, dimana pada temperatur 450°C sampai 475°C resistansi cenderung menurun dari 615,38 Ω sampai 400 Ω sehingga konduktivitas akan semakin baik pada kenaikan suhu tersebut. Kemudian, pada saat temperatur dinaikkan menjadi 500°C resistansi yang didapatkan kembali naik yaitu sebesar 14 kΩ.

Selanjutnya, pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk menghasilkan struktur morfologi dari lapisan tipis FTO dengan perbesaran 50.000x. Pada Gambar 3 memperlihatkan hasil morfologi kaca FTO pada masing-masing temperatur. Pada temperatur 450°C terlihat partikel penyusun sudah terbentuk dengan masih adanya rongga, selanjutnya pada temperatur 475°C terlihat partikel penyusunnya semakin membesar dari

sebelumnya dan rongga berkurang hal ini menyebabkan resistansi yang semakin menurun, pada temperatur 500°C terlihat ukuran partikel yang semakin mengecil dan semakin banyak rongga akibatnya resistansi kembali naik pada temperatur tersebut. Hal ini didukung dengan penelitian Yadav (2009) yang menyatakan bahwa lapisan akan tumbuh pada suhu optimal dan akan menurun apabila temperatur berada diatas suhu optimal [14]. Hal ini disebabkan pada saat suhu berada dibatas optimal prekursor yang terdeposisi di atas substrat semakin sedikit karena banyak yang telah menguap terlebih dahulu jauh sebelum mengenai substratnya [15].

Pengujian sampel selanjutnya yaitu karakterisasi lapisan SnO₂:F menggunakan pengujian XRD. Adapun data hasil karakterisasi dengan XRD yang diperoleh pada penelitian ini dalam bentuk difraktogram, yaitu berupa grafik hubungan antara intensitas puncak spektrum dan sudut hamburan (2θ). Pada pengujian XRD ini terbentuk struktur kristal *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) dari campuran SnCl₂.2H₂O + NH₄F → SnO₂:F (*Fluorine Tin Oxide*) yang ditunjukkan dari peak (puncak) yang terbentuk pada pengujian XRD.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Hasil kaca FTO yang optimal pada penelitian ini didapatkan pada variasi temperatur 475°C dengan nilai resistansi sebesar 400 Ω.
2. Pengaruh temperatur yaitu dapat menurunkan nilai resistansi sampai batas tertentu dan nilai akan kembali naik apabila telah melewati batas optimum dari larutan yang dapat menyebabkan larutan menguap.
3. Adapun dilihat dari morfologi kaca FTO pada temperatur 450°C partikel sudah terbentuk namun masih ada batas butir atau rongga, pada temperatur 475°C terlihat ukuran partikel yang semakin besar dari sebelumnya sehingga batas butir berkurang yang dapat menyebabkan resistansi menurun, kemudian pada temperatur 500°C ukuran partikel semakin kecil dan terdapat banyak batas butir hal ini disebabkan pada temperatur tersebut larutan sudah banyak menguap sehingga tidak terdeposisi pada kaca. Hal ini dapat didukung dengan adanya data dari XRD mengenai ukuran kristal dari kaca FTO. Didapatkan ukuran kristal kaca FTO yang

paling besar terdapat pada variasi temperatur 475°C yaitu 1,3965 nm.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian mengenai kaca FTO yang perlu dikembangkan lebih lanjut sehingga dapat menghasilkan kaca FTO yang optimal, mengingat pentingnya peran kaca FTO sebagai salah satu material dari TCO yang dapat bermanfaat bagi kehidupan di era teknologi.
2. Penelitian lebih lanjut dapat mempersempit kisaran variasi untuk menentukan batas optimum temperatur.
3. Penelitian selanjutnya dapat melakukan berbagai parameter, seperti jarak, konsentrasi, waktu deposisi, dll.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wager, J. (2003). *Transparent Electronics*. AAAS Science 300, 1245 DOI: 10.1126/science.1085276. online ISSN: 1095-19203.
- [2] Hotim, 2015. *Physics, Technology and use of Photovoltaics in Indonesia*. Teaching Journal Science and Mathematics, Vol. 14 No.2
- [3] Dengyuan, S. 2005. *Zinc Oxide TCOs (Transparent Conductive Oxides) and Polycrystalline Silicon Thin-films For Photovoltaic Applications*. University of New South Wales. Sydney.
- [4] 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).
- [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 Conducting ITO and FTO*, *Thin Solid Film*. 519(2): 595-597.
- [7] Lalasari, L. H., Arini, T., Yuwono, A. H., & Firdiyono, F. (2015). *PEMBUATAN L APISAN T IPIS F LUORINE D OPE D T IN OXIDE (FTO)*. 105-114.
- [8] Yusuf, M. (2020). *Fabrikasi Lapisan Nano Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) Dengan Variasi Temperatur Menghasilkan Material Bersifat Transparan Dan Konduktif*. 1(2), 88-94.
- [9] Maksum, I.M. (2018). *Pengaruh Temperatur Dan Rasio Massa Doping Dalam Pembuatan Thin Film Doped Tin Oxide (FTO)*. Skripsi Universitas Brawijaya.
- [10] Bahriyah, S., Pakendek, S., Madhania, S., & Winardi, S. (2011). *Sintesis ZnO: Al Sebagai Bahan Transparent Conducting Oxide (TCO) dengan Metode Spray Pyrolysis*. 1-6.
- [11] Widiyandari, H., Purwanto, A., Hidayanto, E., Diharjo, K., Teknik, J., Fakultas, K., Universitas, T., Maret, S., Teknik, J., Fakultas, M., Universitas, T., & Maret, S. (2012). *FABRIKASI GELAS TRANSPARANT KONDUKTIF FTO (FLOURINE-DOPED TIN OXIDE) DAN APLIKASINYA PADA SEL SURYA BERBASIS DYE (DSSC)*. *Cvd*, 88-92.
- [12] 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.
- [13] Fauziah, E. Astuti dan Fitri Nur Pratiwi. 2013. *Pembuatan Gelas Transparan FTO (Fluorine Tin Oxide) Sebagai Bahan Baku Sel Surya*, Tugas Akhir Program Studi Diploma III, Teknik Kimia UNS.
- [14] Yadav, A. A., Masumdar, E. U., Moholkar, A. V., Neumann-spallart, M., Rajpure, K. Y., & Bhosale, C. H. (2009). *Electrical , structural and optical properties of SnO 2: F thin films: Effect of the substrate temperature*. 488, 350-355. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.08.130>
- [15] Arini, T., Lalasari, 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