

Pengaruh Konsentrasi Larutan Me_2SnCl_2 Terhadap Nilai Viskositas Larutan Konduktif Dalam Pembuatan Kaca Konduktif FTO

Tri Arini^{1*}, Januar Irawan¹, Aga Ridhova¹, Lia Andriyah¹, Latifa Hanum Lalasari¹, F. Firdiyono¹

¹Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI

Gedung 470 Kawasan Puspiptek - Serpong, Tangerang Selatan 15314

*Corresponding author : arinitri82@gmail.com.

Abstrak

Percobaan pendahuluan tentang pembuatan kaca konduktif *fluorine-doped tin oxide* (FTO) dilakukan dengan menggunakan metode *spin coating*. Penelitian ini menggunakan bahan baku *dimethyltin dichloride* (Me_2SnCl_2) sebagai prekursor dan *ammonium florida* (NH_4F) sebagai doping. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa nilai viskositas larutan $\text{SnO}_2:\text{F}$ yang dibuat dalam pelarut *ethanol* lebih besar daripada dalam *methanol* seiring meningkatnya konsentrasi Me_2SnCl_2 . Pembuatan kaca konduktif *fluorine-doped tin oxide* (FTO) dengan metode *spin coating*, konsentrasi larutan optimum dalam penelitian ini berada pada konsentrasi 0,3M dengan pelarut *ethanol* dengan nilai resistansi 3,2 M Ω dimana pada konsentrasi tersebut semakin meningkat waktu *spin coating* maka resistansi akan semakin kecil.

Kata kunci : viskositas, konsentrasi, *dimethyltin dichloride* (Me_2SnCl_2), *spin coating*

Abstract

Preliminary experiments on the manufacture of fluorine-doped tin oxide (FTO) conductive glass were carried out using the spin coating method. This study uses the raw material dimethyltin dichloride (Me_2SnCl_2) as a precursor and ammonium fluoride (NH_4F) as doping. The experimental results show that the viscosity value of $\text{SnO}_2:\text{F}$ solution made in ethanol is greater than in methanol as the concentration of Me_2SnCl_2 increases. The making of fluorine-doped tin oxide (FTO) conductive glass by the spin coating method, the optimum concentration of the solution in this study was at a concentration of 0.3 M with ethanol solvent with a resistance value of 3.2 M Ω where at that concentration the spin coating time increases, the resistance will getting smaller.

Keywords : viscosity, concentration, *dimethyltin dichloride* (Me_2SnCl_2), *spin coating*

PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi terbarukan sebagai energi alternatif saat ini merupakan suatu keharusan karena kebutuhan energi yang semakin meningkat yang menyebabkan konsumsi energi meningkat pula. Saat ini sumber energi yang banyak digunakan berupa energi fosil yang merupakan energi habis pakai yang tidak diperbaharui lagi yang kesediaannya di dalam bumi juga terbatas.

Dengan adanya keterbatasan kesediaan energi tersebut, untuk itu perlu dikembangkan energi alternatif yang aman dan dapat diperbaharui. Salah satu dari potensi sumber energi alternatif yang terbesar dan terbarukan

adalah energi surya, sinar matahari. Sinar matahari merupakan energi yang tak terbatas sebagai sumber energi

Pada daerah tropis seperti Indonesia, hampir setiap hari cahaya matahari diterima. Jika cahaya ini dapat dikonversikan menjadi energi, maka kebutuhan energi masyarakat dapat terpenuhi tanpa mengeluarkan biaya yang besar. Salah satu sistem yang dapat digunakan dalam pemanfaatan energi matahari menjadi energi listrik adalah panel *photovoltaic*. Salah satu komponen utama untuk panel *photovoltaic* ini adalah *Transparent Conductive Oxide* (TCO) atau

gelas transparan konduktif (Rinaldi, Amri, and Khairat 2016).

Kaca konduktif transparan (TCO) yang umumnya digunakan adalah ITO (*Indium-doped Tin Oxide*), ATO (*Antimony-doped Tin Oxide*) dan FTO (*Fluorine-doped Tin Oxide*). Indium merupakan unsur logam yang langka sehingga proses pembuatan TCO dengan indium (ITO) dibutuhkan biaya yang mahal. Berbagai unsur kimia coba diteliti untuk menggantikan indium dalam rangka menghasilkan TCO, salah satunya adalah *antimony* (Sb), namun TCO dengan dopan antimoni ini masih sulit dikembangkan secara komersil. Unsur kimia lain yang ketersediaannya melimpah di alam adalah *fluorine* (F), sehingga TCO dengan *fluorine* (F) lebih sering di sintesis karena proses pembuatannya reaktif lebih murah (Fikri dkk, 2017). Oleh sebab itu, *fluorine* dijadikan kandidat utama yang memiliki potensi besar menggantikan indium dalam produksi TCO.

Prekursor yang selama ini banyak digunakan dalam pembuatan FTO adalah *dihydrated tin (II) chloride* ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Karthick dkk. 2015) (Ammu, Vaidyan, and Manoj 2005)(Maddu, Hasiholan, and Mersi 2009)(Widiyandari dkk.. 2012). Selain itu, *dihydrated tin (II) chloride* ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), Tin(IV) chloride pentahydrate ($\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (Moholkar dkk. 2008) (Ammu, Vaidyan, and Manoj 2005) juga banyak digunakan dalam pembuatan FTO.

(Wang dkk. 2014) telah menggunakan prekursor *dimethyltin dichloride* (Me_2SnCl_2) sebagai alternatif dalam pembuatan FTO dengan metode *chemical vapor deposition* (CVD) dengan hasil nilai mobilitas $0,65-28,5 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ dengan adanya peningkatan bidang kristal (200).

Dalam penelitian awal ini menggunakan *dimethyltin dichloride* (Me_2SnCl_2) produksi perusahaan lokal Indonesia sebagai prekursor dalam pembuatan kaca konduktif *fluorine-doped tin oxide* (FTO) dengan menggunakan metode *spin coating* sederhana.

METODE

Substrat yang digunakan adalah kaca *slide* mikroskop sodalime, Me_2SnCl_2 (Lokal

Indonesia), NH_4F (98%, Merck Ltd., Germany), aquades, *ethanol* dan *methanol*.

Kaca substrat sebelumnya dibersihkan dengan menggunakan deterjen komersial, kemudian direndam dalam *acetone* di dalam *ultrasonic cleaner* selama kurang lebih 5 menit dan diulangi 3 kali untuk menghilangkan kotoran yang masih menempel pada substrat.

Pembuatan larutan konduktif $\text{SnO}_2:\text{F}$ melalui dua tahapan : Tahap pertama, Me_2SnCl_2 (0,3; 0,4; 0,5; 0,6 dan 0,7M) dilarutkan dalam 100 ml *ethanol* dengan suhu refluks $70-76^\circ\text{C}$ dan diaduk selama 60 menit. Pembuatan larutan *doping fluorine* (F) yakni dengan cara mencampur NH_4F (rasio konsentrasi $\text{NH}_4\text{F} : \text{Me}_2\text{SnCl}_2$ sebesar 2 % wt) dengan *aquades*, sampai larutan homogen. Tahap berikutnya, larutan doping ditambahkan ke dalam larutan prekursor setetes demi setetes disertai pengadukan selama 60 menit dengan tujuan agar larutan menjadi homogen.

Pembuatan larutan konduktif $\text{SnO}_2:\text{F}$ selanjutnya dilakukan dengan menggunakan pelarut *methanol*, yakni Me_2SnCl_2 (0,7M dan 0,9M;) dilarutkan dalam 100 ml *methanol* dengan suhu refluks 64°C dan diaduk selama 60 menit. Hal yang sama dilakukan seperti pada pelarut *ethanol*, dengan jumlah doping yang sama yakni 2% wt.

Proses selanjutnya adalah proses deposisi dengan menggunakan metode *spin coating*. Proses deposisi dilakukan dengan meneteskan larutan konduktif $\text{SnO}_2:\text{F}$ di atas permukaan dengan ketinggian 2cm sebanyak 1 tetes dengan variasi waktu *spin* 30,60, 90, 120 dan 150 detik. Setelah itu kaca akan melalui proses *drying* selama 10 menit. Proses deposisi dilakukan sebanyak 4 *cycle* dengan temperatur *annealing* 400°C pada akhir proses tahapan.

Proses pengujian viskositas dilakukan dengan menggunakan *viscometer ostwald*. Pengujian kualitatif untuk mengetahui kandungan logam apa saja yang terkandung dalam larutan konduktif dengan dilakukan menggunakan ICP (*Inductively Coupled Plasma*).

Sedangkan pengujian kaca konduktor menggunakan *scanning electron microscope - energy dispersive spectroscopy* (SEM-EDS), *x-ray difraksi* (XRD), dan digital multimeter.

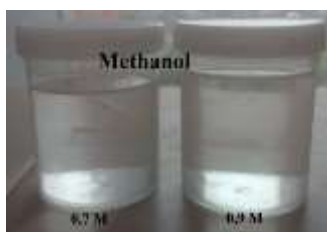
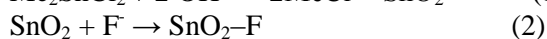
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menginvestigasi pengaruh konsentrasi prekursor Me_2SnCl_2 terhadap viskositas dalam pembuatan bahan lapisan tipis kaca konduktif FTO dengan metode *spin coating*.

Pembuatan larutan timah oksida dibuat dengan melarutkan prekursor Me_2SnCl_2 dengan variasi pelarut ethanol dan methanol yang akan didoping fluorine 2wt% dengan menggunakan refluks dengan temperatur refluks 70-76 °C untuk pelarut ethanol dan temperatur 64 °C untuk pelarut methanol dengan.

Penambahan dopan dilakukan secara setetes demi setetes dengan tujuan dopan tercampur merata ke seluruh larutan serta mempersempit waktu kontak larutan serta memperbanyak pembentukan inti sol timah yang didoping flourida sehingga endapan yang terbentuk akan berkurang (Lalasari et al. 2015).

Umumnya reaksi (1) dan (2) yang terjadi dapat dilihat dari persamaan (Ramdhan and Doyan 2018) :



Gambar 1. Larutan konduktif dengan variasi konsentrasi

Gambar 1 memperlihatkan hasil larutan yang telah di refluks dengan variasi konsentrasi dan pelarut. Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa pencampuran larutan dengan variasi konsentrasi 0,3-0,7 M masih

menghasilkan larutan yang bening, namun mempunyai nilai viskositas yang berbeda.

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi prekursor dan pelarut terhadap nilai viskositas larutan

Pelarut	Konsentrasi Larutan (M)	Viskositas (cp)
Ethanol	0,3	0,992
	0,4	1,170
	0,5	1,182
	0,6	1,252
	0,7	1,483
Methanol	0,7	0,773
	0,9	0,830

Pengaruh konsentrasi prekursor dan pelarut terhadap nilai viskositas ditunjukkan pada Tabel 1 yang memperlihatkan dengan adanya peningkatan nilai konsentrasi maka akan terjadi peningkatan nilai viskositas (Prisma 2012). Hal ini didukung oleh Norrman,dkk (Norrman, Ghanbari-Siahkali, and Larsen 2005) yang mengatakan bahwa viskositas meningkat untuk konsentrasi yang lebih tinggi. Hubungan antara konsentrasi dan viskositas ditunjukkan pada persamaan (3) berikut (Greenfield 1976) :

$$\mu = ke^{0,26c} \quad (3)$$

dimana μ = viskositas Pa s

c = konsentrasi (g/desiliter)

Pada Tabel 1 terlihat bahwa pelarut *Ethanol* $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (2 karbon) lebih besar nilai viskositasnya daripada pelarut *methanol* CH_3OH (1 karbon). Viskositas senyawa mengandung rantai karbon (seperti rantai hidrokarbon induk) meningkat seiring rantai menjadi lebih panjang. Hasil tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh (Motin, Kabir, and Huque 2005) yang mengatakan bahwa nilai viskositas dalam larutan *ethanol* lebih besar bila dibandingkan dalam larutan *methanol*.

Uji kuantitatif dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur Sn yang terkandung dalam larutan timah oksida yang didoping *fluorine* dengan menggunakan alat ICP (*Inductively Coupled Plasma*).

Tabel 2. Hasil uji kandungan unsur Sn dengan ICP (*Inductively Coupled Plasma*) larutan timah oksida yang didoping fluorine dengan variasi konsentrasi prekursor dan pelarut.

Pelarut	Konsentrasi Larutan (M)	Unsur Sn (ppm)
Ethanol	0,3	1475,38
	0,4	1924,87
	0,5	2345,32
	0,6	2882,58
	0,7	2901,35
Methanol	0,7	3381,13
	0,9	3808,45

Dari hasil uji ICP (*Inductively Coupled Plasma*) dalam Tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa kandungan Sn dalam larutan semakin besar seiring dengan bertambahnya konsentrasi prekursor dan pelarut

Tabel 3. Pengaruh konsentrasi prekursor, pelarut dan waktu *spin* terhadap nilai resistansi lapisan tipis FTO

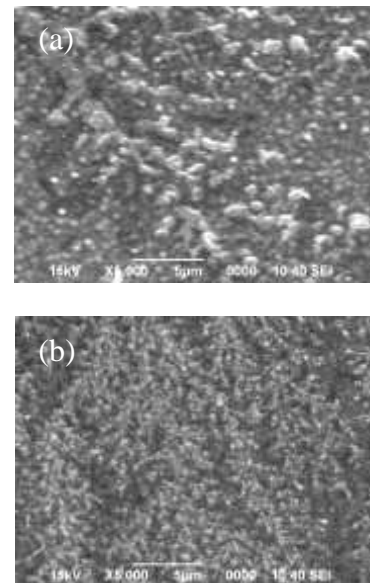
Pelarut	Konsentrasi Larutan (M)	Resistansi (M Ω)				
		30 det	60 det	90 det	120 det	150 det
Ethanol	0,3	13	8,2	8,3	5,2	3,2
	0,4	∞	∞	∞	∞	∞
	0,5	∞	∞	∞	∞	∞
	0,6	∞	15,9	16,4	8,5	7,9
	0,7	∞	∞	∞	∞	∞
Methanol	0,7	∞	∞	32	∞	∞
	0,9	9,6	∞	11	∞	∞

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada konsentrasi larutan terkecil (0,3M) kaca konduktif FTO memperlihatkan adanya nilai resistansi, sedangkan penambahan konsentrasi, nilai resistansi semakin besar (tidak terhingga).

Pengujian resistansi menggunakan digital multimeter (*Sanwa® CD800a*). Berdasarkan pengukuran pada Tabel 4.3, khususnya pada konsentrasi 0,3M dengan pelarut ethanol, terlihat tren penurunan nilai resistansi yang terukur dengan penambahan waktu *spin*. Hasil ini menunjukkan semakin lama waktu *spin*, semakin baik nilai konduktivitasnya.

Hal ini dapat dikaitkan dengan adanya penambahan waktu *spin*, partikel SnO₂ tumbuh

menjadi lebih padat sehingga porositas menjadi berkurang dan interkoneksi menjadi lebih terhubung, transfer elektronik antar partikel lebih mudah dan resistivitas menjadi berkurang secara signifikan (Muruganatham, Ravichandran, and Saravanakumar 2011). Itu artinya semakin lama waktu lapisan, semakin baik sifat konduktif yang didapat.



Gambar 2. Morfologi permukaan kaca konduktif FTO dengan temperatur *annealing* 400°C, metode *spin coating* a) 0,3 M, pelarut ethanol dan waktu spin 150 detik; b) 0,9 M pelarut methanol dengan waktu spin 90 detik.

Gambar 2 memperlihatkan morfologi dari lapisan tipis FTO. Gambar diatas menunjukkan morfologi permukaan film tipis FTO dengan permukaan datar dan halus yang terdiri dari butiran kecil halus. Pada konsentrasi 0,3M dengan pelarut *ethanol*, waktu *spin* 150 detik, lapisan tipis FTO memperlihatkan permukaan dan ukuran butiran lebih kasar dan besar daripada film tipis FTO yang Pada konsentrasi 0,9M dengan pelarut *methanol*, waktu spin 90 detik. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi larutan dan waktu *spin* memiliki pengaruh signifikan pada perubahan kekasaran permukaan.

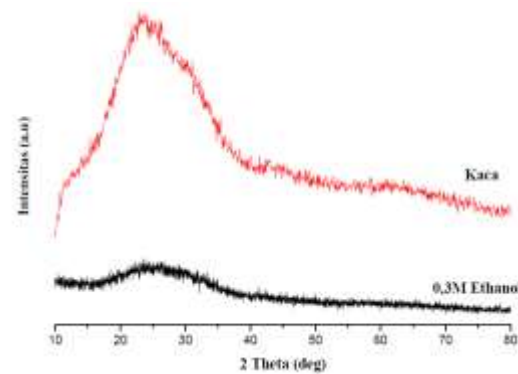
Tabel 4. Analisis Semikuantitatif EDS-SEM permukaan kaca konduktif FTO dengan temperatur *annealing* 400°C, metode *spin coating*

Unsur	Kadar Massa %	
	0,3M <i>ethanol</i>	0,9M <i>methanol</i>
O	33,56	35,82
Na	10,84	9,31
Mg	2,66	2,71
Si	39,16	40,09
Cl	2,66	1,80
Ca	8,60	9,15
Sn	2,53	1,12
O	33,56	35,82

Tabel 4 merupakan hasil semikuantitatif permukaan lapisan tipis FTO dengan temperatur *annealing* 400°C, metode *spin coating*. Berdasarkan tabel 4 tersebut, kandungan silika masih tinggi pada kedua sampel kaca FTO (39-40%) tetapi kandungan Sn di dalam FTO tersebut sangat kecil. Menurut (Niemeyer 2015), kaca slide mengandung unsur Natrium (Na), magnesium (Mg), Aluminium (Al), silika (Si), dan kalsium (Ca) sehingga unsur-unsur yang terdeteksi adalah unsur-unsur yang terdapat pada substrat kaca slide.

Dari hasil ini terlihat bahwa larutan timah oksida yang didoping fluorine yang dibuat masih belum terdeposisi secara sempurna karena masih nampak unsur-unsur dasar substrat kaca sedangkan unsur-unsur Sn, Cl dan O masih terlihat sangat kecil nilai persentasenya. Hal ini kemungkinan disebabkan karena Me_2SnCl_2 yang digunakan masih mengandung impuritis yang banyak dan higroskopis sehingga dapat juga mempengaruhi hasil resistansi FTO yang dibuat yaitu resistansi yang diperoleh masih tinggi.

Gambar 3a merupakan hasil pengujian yang dilakukan oleh (Lalasari et al. 2015) yang merupakan analisis hasil substrat kaca slide kosong yang belum dilakukan perlakuan apapun dimana kaca slide ini digunakan untuk penelitian ini sebagai dasar substrat pelapisan. Dari analisis yang dilakukan oleh (Lalasari et al. 2015) terlihat bahwa Si terbentuk pada titik $2\theta = 28$.



Gambar 3. Pola difraksi sinar-x lapisan tipis SnO_2 a) Kaca slide (Lalasari et al. 2015) b) 0,3 M, pelarut *ethanol* dan waktu *spin* 150 detik

Gambar 3b merupakan analisis XRD yang memperlihatkan bahwa sampel menghasilkan fasa masih cenderung *amorf*, belum ada puncak difraksi yang muncul. Pada grafik ini tidak terlihat adanya kristal Si atau SiO_2 pada titik $2\theta = 28$ yang merupakan unsur yang terdapat pada substrat kaca slide. Hal ini kemungkinan lapisan telah terbentuk yang berasal dari SnO_2 (Syuhada, Bayuwati, and Sulaiman 2008).

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan waktu spin dapat mempengaruhi proses pertumbuhan kristal, namun masih diperlukan pengkajian yang lebih mendalam untuk konsentrasi pelarut, jenis pelarut, waktu spin serta temperatur anneal agar mendapatkan hasil yang lebih optimal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Percobaan yang dilakukan ini menghasilkan beberapa kesimpulan yaitu nilai viskositas larutan $SnO_2:F$ yang dibuat dalam pelarut *ethanol* lebih besar daripada dalam *methanol* dan semakin meningkat seiring meningkatnya konsentrasi Me_2SnCl_2 . Dalam pembuatan lapisan tipis FTO dengan metode *spin coating*, konsentrasi larutan optimum dalam penelitian ini berada pada konsentrasi 0,3M dengan pelarut *ethanol* dengan nilai resistansi 3,2 M Ω dimana pada konsentrasi tersebut semakin meningkat waktu *spincoating* maka resistansi listrik akan semakin kecil.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan pendanaan dari Penelitian Tematik Tahun Anggaran 2019 Pusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI. Ucapan terima kasih juga diberikan pada Galang Andreanto, Mahasiswa Magang Jurusan Kimia, Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta dan semua pihak yang membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amma, D. Sumangala Devi, V. K. Vaidyan, and P. K. Manoj. 2005. "Structural, Electrical and Optical Studies on Chemically Deposited Tin Oxide Films from Inorganic Precursors." *Materials Chemistry and Physics* 93(1): 194–201.
- Fikri, Dahlin., Yuwono Akhmad., Sofyan, Nofrijon., Arini, Tri., Hanum, Latifa.. 2017. "The Effect of Substrate Heating Temperature upon Spray Pyrolysis Process on the Morphological and Functional Properties of Fluorine Tin Oxide Conducting Glass." In *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing, 02003 (1-9).
- Greenfield, P F. 1976. "Viscosity Increases in Concentrated Sugar Solutions and Molasses Due To Dextrans." (1972).
- Karthick, P. Divya, Vijayanarayanan., S. Suja., M. Sridharan., 3 K. Jeyadheepan. 2015. "Opto-Electronic Properties of Fluorine Doped Tin Oxide Films Deposited by Nebulized Spray Pyrolysis Method." *Asian Journal of Applied Sciences* 8(4): 259–68.
<http://www.scialert.net/abstract/?doi=ajaps.2015.259.268> (October 14, 2016).
- Lalasari, Latifa Hanum, Tri Arini, Akhmad Herman Yuwono, and F Firdiyono. 2015. "Pengaruh Pencampuran Dan Rasio Dopan/Prekursor Dalam Pembuatan Lapisan Tipis Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) Berbasis Timah (II) Klorida." *Majalah Metalurgi* 3: 105–14.
- Maddu, Akhiruddin, Rodo Tua Hasiholan, and Kurniati Mersi. 2009. "Penumbuhan Film Nanokristal SnO₂ Dengan Metode Chemical Bath Deposition (CBD)." *Nanosains & Teknologi* 1: 96–99.
- Moholkar, A V, S M Pawar, K Y Rajpure, and C H Bhosale. 2008. "Effect of Concentration of SnCl₄ on Sprayed Fluorine Doped Tin Oxide Thin Films." *Journal of Alloys and Compounds* 455: 440–46.
- Motin, M. A., M. H. Kabir, and M. E. Huque. 2005. "Viscosities and Excess Viscosities of Methanol, Ethanol and N-Propanol in Pure Water and in Water + Surf Excel Solutions at Different Temperatures." *Physics and Chemistry of Liquids* 43(2): 123–37.
- Muruganatham, G, K Ravichandran, and K Saravanakumar. 2011. "Effect of Solvent Volume on the Physical Properties of Undoped and Fluorine Doped Tin Oxide Films Deposited Using a Low-Cost Spray Technique." *Superlattices and Microstructures* 50(6): 722–33.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.spmi.2011.09.014>.
- Niemeyer, Wayne D. 2015. "SEM/EDS Analysis for Problem Solving in the Food Industry." *Scanning Microscopies 2015* 9636: 96360G.
- Norrmann, K., A. Ghanbari-Siahkali, and N. B. Larsen. 2005. "Studies of Spin-Coated Polymer Films." *Annual Reports on the Progress of Chemistry - Section C* 101(May): 174–201.
- Prisma, Antonius. 2012. "Pengaruh Konsentrasi Dan Viskositas Larutan Polistiren Terhadap Morfologi Permukaan Dan Ketebalan Lapisan ZnPc Pada Permukaan QCM." *Natural B*: 4–7.
- Ramadhan, Zahid, and Aris Doyan. 2018. "Preliminary Study Fluorine Tin Oxide (FTO) Using Sol-Gel Spin Coating Techniques." 10(2): 27–30.
- Rinaldi, Rino, Amun Amri, and Khairat. 2016. "Sintesa Fluorinated Tin Oxide (FTO) Menggunakan Prekursor Ramah Lingkungan Dan Penambahan Graphene Dengan Metode Deposisi Spray Coating Untuk Aplikasi Material Konduktif Transparan." *Jom FTEKNIK* 3(2): 10.

- Syuhada, Dwi Bayuwati, and Sulaiman. 2008. "Pembuatan Konduktor Transparan Thin Film SnO₂ Dengan Menggunakan Teknik Spray Pyrolysis." *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia* 8(1): 24–29.
- Wang, Jian Tao, Xiang Lei Sh., Wei Wei Liu., Xin Hua Zhong., Jian Nong Wang., Leo Pyrah., Kevin D. Sanderson., Philip M. Ramsey., Masahiro Hirata., Keiko Tsuru. 2014. "Influence of Preferred Orientation on the Electrical Conductivity of Fluorine-Doped." : 1–9.
- Widiyandari, Hendri, Agus Purwanto, Eko Hidayanto, and Kuncoro Diharjo. 2012. "Fabrikasi Gelas Transparan Konduktif FTO (Fluorine-Doped Tin Oxide) Dan Aplikasinya Pada Sel Surya Berbasis Dye (DSSC)." *Prosiding InSINas*: 88–92.