

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN FTO/ZnO UNTUK *WATER SPLITTING* FOTOELEKTROKIMIA**

**SKRIPSI**

*Dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains bidang  
studi Fisika*



**Oleh:**

**PARINZA ANANDA**

**08021281823021**

**JURUSAN FISIKA**

**KBI TEORI DAN MATERIAL**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN FTO/ZnO UNTUK *WATER SPLITTING* FOTOELEKTROKIMIA**

**SKRIPSI**

*Dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Sains bidang studi Fisika*

**Oleh:**


**PARINZA ANANDA**

**08021281823021**

Indralaya, Juli 2022

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Supardi, S.Pd., M.Si.

NIP. 197112112002121002

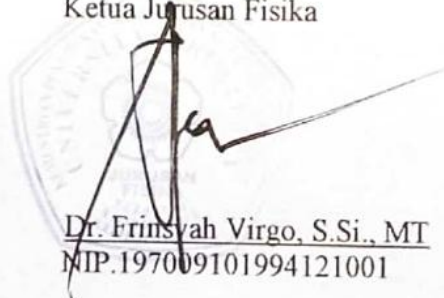
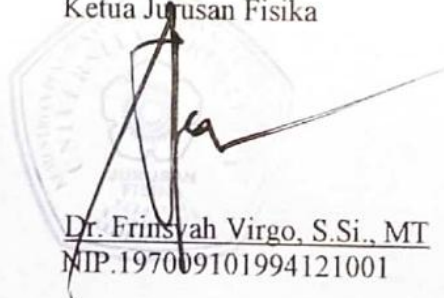
Pembimbing II



Dr. Eng. Gerald Ensang Timuda

NIP. 198302082009121005

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., MT

NIP. 197009101994121001

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, Mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya:

Nama : Parinza Ananda

NIM : 08021281823021

Judul TA : Sintesis dan Karakterisasi Lapisan FTO/ZnO untuk *Water Splitting* Fotoelektrokimia

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun dengan judul tersebut adalah asli atau orisinalitas dan mengikuti etika penulisan karya tulis ilmiah sampai pada waktu skripsi ini diselesaikan, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains di program studi fisika Universitas Sriwijaya.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Apabila dikemudian hari terdapat kesalahan ataupun keterangan palsu dalam surat pernyataan ini, maka saya siap bertanggung jawab secara akademik dan bersedia menjalani proses hukum yang telah ditetapkan.

Indralaya, Juli 2022

Yang menyatakan



Parinza Ananda  
NIM. 08021281823021

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar sarjana sains (S.Si), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya. Tugas Akhir ini dilakukan di Pusat Riset Fisika BRIN, Serpong, Tangerang Selatan, pada 2 Juni 2021 hingga 8 November 2021. Laporan Tugas Akhir ini berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Lapisan FTO/ZnO untuk *Water Splitting* Fotoelektrokimia”.

Penulis sangat bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini tidaklah terlaksana tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih terutama kepada Bapak Dr. Supardi, S.Pd., M.Si. Dan Bapak Dr. Eng. Gerald Ensang Timuda, selaku Pembimbing I dan Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, bantuan, dan waktu selama Tugas Akhir ini. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga: Orangtua, Bapak Pariadi dan Ibu Nurimah, kakak, serta adik yang selalu mendo'akan, memberikan dukungan, memberikan inspirasi dan motivasi serta menjadi penyemangat bagi penulis.
2. Seluruh dosen Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, selaku dosen yang selalu memberikan banyak arahan, saran dan masukan yang sangat bermanfaat selama proses Tugas Akhir ini.
3. Seluruh karyawan Program Studi Fisika yang memberikan bantuan selama proses Tugas Akhir.
4. Teman material 2018 yang selalu memberikan bantuan dan semangat selama proses Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna yang disebabkan karena keterbatasan pengetahuan dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan bantuan berupa kritik dan saran yang sifatnya membangun

dan dapat membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan maksimal. Kritik dan saran yang membangun dari pembaca dapat disampaikan melalui alamat surat elektronik penulis [parinzaananda.2225@gmail.com](mailto:parinzaananda.2225@gmail.com). Penulis sangat berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca.

Indralaya, Juli 2022

Penulis

Parinza Ananda

NIM.08021281823021



# SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN FTO/ZnO UNTUK WATER SPLITTING FOTOELEKTROKIMIA

Parinza Ananda<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

\*parinzaananda.2225@gmail.com

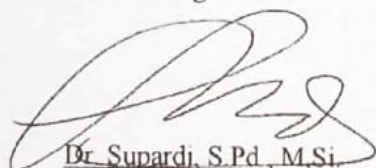
## ABSTRAK

Penelitian ini berfokus pada sintesis film tipis sebagai fotoelektroda yang berbasis ZnO dengan tujuan untuk melakukan studi fotoelektrokimia dari hasil semprot pirolisis pada variasi volume larutan tertentu. Variasi larutan pada sintesis film tipis ZnO adalah 10, 20, 30, dan 40 mL. Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui keberadaan fasa yang terbentuk dalam sampel. Hasil Analisa XRD menunjukkan adanya fasa ZnO terbentuk. Studi fotoelektrokimia menggunakan metode *Linear Sweep Voltammetry* (LSV) menunjukkan film tipis ZnO variasi volume larutan 30 mL memberikan *Photoconversion Efficiency* (PCE) paling optimum sebesar 1,32 % pada potensial 0,225 V (vs Ag/AgCl). Nilai efisiensi yang hanya mengalami kenaikan kecil ini disebabkan fotoanoda yang digunakan berstruktur bukan dalam skala nano. Studi fotoelektrokimia menggunakan metode *Amperometric Detection* (AD) pada tegangan 0,2 V (vs Ag/AgCl) menunjukkan film tipis ZnO variasi volume 30 mL memiliki nilai *current density* paling optimum sebesar 0,053 mA/cm<sup>2</sup>.

Kata Kunci: ZnO, Semprot Pirolisis, Fotoelektrokimia, *Water Splitting*.

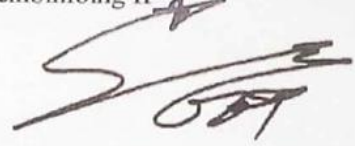
Indralaya, Juli 2022

Pembimbing I

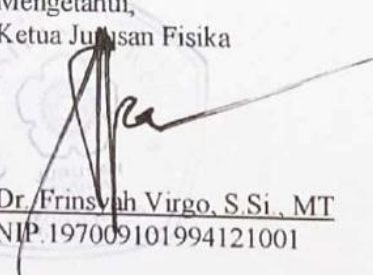
  
Dr. Supardi, S.Pd., M.Si.  
NIP. 197112112002121002

Menyetujui,

Pembimbing II

  
Dr. Eng. Gerald Ensang Timuda  
NIP. 198302082009121005

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika

  
Dr. Frinsyah Virgo, S.Si., MT  
NIP. 197009101994121001

# SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF FTO/ZNO LAYER FOR PHOTOELECTROCHEMICAL WATER SPLITTING

Parinza Ananda<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>*Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Science, University of Sriwijaya, South Sumatera, Indonesia*

\*Parinzaananda.2225@gmail.com

## ABSTRACT

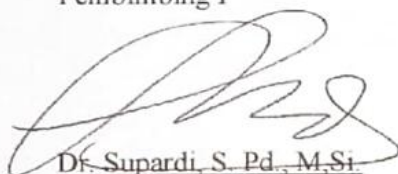
*This research focuses on the synthesis of a thin film as a ZnO-based photoelectrode with the aim of conducting a photoelectrochemical study of the pyrolysis spray results in a certain volume variation of the solution. The variation of the solution in the synthetic ZnO thin film was 10, 20, 30, and 40 mL. X-Ray Diffraction (XRD) characterization was used to determine the presence of the phase formed in the sample. The results of XRD analysis showed that the ZnO phase was formed. Photoelectrochemical studies using the Linear Sweep Voltammetry (LSV) method showed that the ZnO thin film with a volume variation of 30 mL gave the most optimum Photoconversion Efficiency (PCE) of 1.32% at a potential of 0.225 V (vs Ag/AgCl). The efficiency value which only experienced a small increase was due to the photoanode being used with a structure not on the nanoscale. Photoelectrochemical studies using the Amperometric Detection (AD) method at a voltage of 0.2 V (Ag/AgCl) showed that the ZnO thin film with a volume variation of 30 mL had the most optimum current density value of 0.053 mA/cm<sup>2</sup>.*

*Keywords: ZnO, Spray Pyrolysis, Photoelectrochemical, Water Splitting.*

Indralaya, Juli 2022

Menyetujui,

Pembimbing I



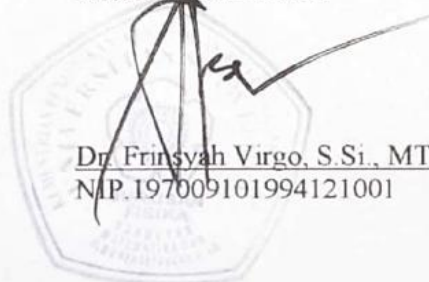
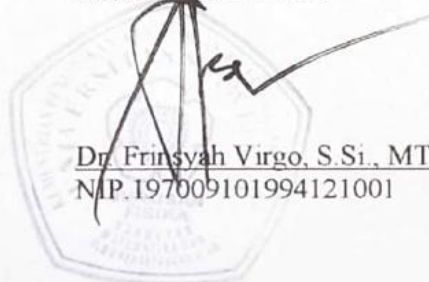
Dr. Supardi, S. Pd., M. Si.  
NIP. 197112112002121002

Pembimbing II



Dr. Eng. Gerald Ensang Timuda  
NIP. 198302082009121005

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S. Si., MT  
NIP. 197009101994121001

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR SINGKATAN .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Tujuan Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Fotoelektrokimia <i>Water Splitting</i> .....	5
2.2. <i>Fluorine Doped Tin Oxide</i> (FTO) .....	7
2.3. Zinc Oxide (ZnO) .....	8
2.4. Metode <i>Spray Pyrolysis</i> .....	9
2.5. Karakterisasi dan Pengujian Material .....	11
BAB III METEDOLOGI PENELITIAN .....	15
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian .....	15
3.2. Alat dan Bahan .....	15
3.3. Diagram Alir Penelitian .....	16
3.4. Proses Pembuatan Bahan Uji dan Pengujian .....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	19
BAB V PENUTUP .....	25
5.1 Kesimpulan .....	25
5.2 Saran .....	25
DAFTAR PUSTAKA .....	26



## DAFTAR GAMBAR

2. 1	Ilustrasi PEC <i>water splitting</i> untuk semikonduktor tipe n .....	5
2. 2	Ilustrasi pita energi untuk reaksi <i>water splitting</i> .....	6
2. 3	Struktur kristal rutil dari SnO <sub>2</sub> .....	8
2. 4	Struktur Kristal ZnO <i>Wurtzite</i> Heksagonal .....	9
2. 5	Mekanisme <i>spray pyrolysis</i> .....	11
2. 6	Prinsip difraksi sinar- x .....	12
2. 7	Skema Fotoelektrokimia <i>Water Splitting</i> untuk Uji I-V ( <i>Current-Voltage</i> )	13
2. 8	Ilustrasi grafik <i>amperometric detection</i> saat kondisi gelap dan terang .....	14
2. 9	Ilustrasi grafik <i>Linear Sweep Voltammetry</i> saat kondisi gelap dan terang ...	14
3. 1	Diagram Alir Penelitian .....	16
4. 1	Hasil Film ZnO a) 10 mL, b) 20 mL, c) 30 mL, dan d) 40 mL .....	16
4. 2	Spektrum XRD dari sampel ZnO (30 mL). .....	20
4. 3	Grafik LSV dari ZnO hasil <i>spray pyrolysis</i> berbagai variasi volume. ....	21
4. 4	PCE (%) dari sampel ZnO berbagai variasi volume larutan. ....	23
4. 5	Kurva AD dari sampel ZnO (0.2 V vs Ag/AgCl) berbagai variasi volume larutan.	24

## DAFTAR TABEL

3. 1 Alat dan Bahan Penelitian.....	15
-------------------------------------	----

## DAFTAR SINGKATAN

<b>Lambang/Singkatan</b>	<b>Keterangan</b>
ZnO	Seng Oksida
FTO	<i>Fluorine-doped Tin Oxide</i>
SnO <sub>2</sub>	Timah Dioksida
F	<i>Fluor</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
PEC	<i>Photoelectrochemical</i>
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Natrium Sulfat
H <sub>2</sub> O	Air
O <sub>2</sub>	Oksigen
OH <sup>-</sup>	Hidroksil
H <sub>2</sub>	Hidrogen
IV	<i>Current-Voltage</i>
e <sup>-</sup>	Elektron
H <sup>+</sup>	Proton
LSV	<i>Linear Sweep Voltammetry</i>
AD	<i>Amperometric Detection</i>
PCE	<i>Photoconversion Efficiency</i>

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Peningkatan kebutuhan energi global dengan menipisnya ketersediaan bahan bakar fosil dan pencemaran lingkungan akibat konsumsi bahan bakar fosil yang besar telah mendorong pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan, dapat diperbaharui, dan berkelanjutan serta penyimpanan energi yang efisien yang semakin dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat (Hamdani & Bhaskarwar, 2021). Masalah selanjutnya, permintaan global untuk sistem energi yang bersih menjadikan hidrogen yang merupakan energi terbarukan sebagai kandidat pengganti bahan bakar fosil. Hidrogen hadir sebagai kandidat pengganti bahan bakar fosil dengan berbagai keunggulan dari energi lainnya dengan teknologi yang lebih baik dan menjanjikan. Hidrogen merupakan bahan bakar yang dapat disimpan dan ramah lingkungan serta menghasilkan arus listrik tanpa produk sampingan (Lu et al., 2020). Energi yang dihasilkan dengan bahan bakar hidrogen memiliki beberapa metode dalam produksinya. Teknologi *Photoelectrochemical water splitting* adalah salah satu metode produksi hidrogen yang paling potensial karena memanfaatkan energi matahari yang merupakan sumber energi tak terbatas, memiliki stabilitas dalam air, dan berlimpah serta dalam prosesnya tidak mengeluarkan emisi yang berbahaya (Yu et al., 2020). Dalam prosesnya, fotoelektrokimia *water splitting* menggunakan bahan semikonduktor sebagai fotoelektroda. Bahan semikonduktor tersebut memiliki peran penting sebagai penyerapan foton, generasi pasangan elektron-hole, pemisahan muatan diikuti dengan dihasilkannya hidrogen dan oksigen dari proses reduksi dan oksidasi dari elektron-hole yang mengalami fotogenerasi. Efisiensi yang lebih tinggi dapat diperoleh dalam fotoelektrokimia dengan menggunakan kombinasi bahan semikonduktor yang tepat sebagai fotoelektroda (Kant et al., 2018).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian banyak dilakukan pada bahan semikonduktor seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ , dan  $\text{WO}_3$  (Kant et al., 2018). Diantara bahan-bahan tersebut, Seng Oksida ( $\text{ZnO}$ ) merupakan salah satu kandidat bahan

semikonduktor yang tepat sebagai fotoelektroda. ZnO dapat dengan mudah dibentuk menjadi berbagai nanostruktur (Timuda et al., 2021). Selain itu, ZnO memiliki mobilitas elektron yang tinggi ( $115\text{-}155\text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ) (Long et al., 2018), konduktivitas termal yang tinggi, celah pita yang lebar (3,2 eV) (Johari et al., 2017), energi ikat eksiton yang besar (Kane et al., 2016), stabilitas elektrokimia yang tinggi, tingkat toksisitas yang rendah, berlimpah di alam, biaya murah (Muchuwani et al., 2017). ZnO sangat ideal digunakan sebagai katalis dalam proses *water splitting* karena pita konduksinya berada di atas potensial standar pasangan redoks  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$  dan pita valensinya di bawah  $\text{H}_2\text{O}/\text{O}_2$  akibat celah pita ZnO yang lebar. ZnO dalam pengaplikasiannya pada fotoelektrokimia *water splitting* banyak digunakan dalam berbagai bentuk struktur nano seperti nanopartikel, *nanowire*, *nanosheet*, *nanorod*, *nanocoral*, *nanoforest*, dan *nanoarray*. ZnO dengan struktur *nanowire* atau *nanorod* telah terbukti meningkatkan kecepatan transpor elektron (Wang et al., 2019). Kemudian, ZnO dengan struktur *nanosheet* telah terbukti dapat memberikan respon cahaya yang lebih luas (Timuda et al., 2021). Banyak faktor yang dapat mempengaruhi performa dari suatu film seperti suhu aniling, ketebalan film, substrat yang digunakan, metode deposisi (Johari et al., 2017), molaritas prekursor, dan waktu deposisi (Sugihartono et al., 2018). Dalam penelitian ini, ZnO *single layer* dibentuk di atas substrat FTO (*Fluorine-doped Tin Oxide*). Substrat FTO dipilih karena memiliki transparansi yang baik dalam rentang yang tampak dan FTO memiliki celah pita yang lebar ( $E_g > 3\text{ eV}$ ) sehingga menjadikan FTO substrat kaca yang cocok untuk proses PEC *water splitting* (Yusuf, 2020).

Dari berbagai metode pembuatan lapisan tipis, metode sintesis kimia digunakan karena mampu menghasilkan lapisan tipis yang berkualitas tinggi dengan biaya fabrikasi yang murah (Meftah et al., 2018). Berbagai metode deposisi lapisan ZnO telah banyak dilakukan, antara lain hidrotermal, *spin coating*, elektrodeposisi, dan *spray pyrolysis*. Berbagai contoh metode deposisi yang pernah dilakukan dalam berbagai penelitian antara lain, metode elektrodeposisi secara galvanostatik digunakan untuk membentuk struktur *nanosheet* di atas kaca ITO. Performa PEC tertinggi diperoleh pada *nanosheet* yang lebih tinggi akan tetapi hal tersebut dibatasi oleh lapisan di bawahnya (Timuda et al., 2021). Metode



*spray pyrolysis* digunakan untuk mendeposisikan Ag-ZnO pada substrat kaca ITO dengan variasi doping Ag diterapkan. Performa PEC terbukti meningkat dengan adanya penambahan doping Ag pada ZnO (Tarwal & Patil, 2011). Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, optimasi yang dilakukan dalam metode deposisi berpengaruh besar dalam performa lapisan yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, metode *spray pyrolysis* digunakan untuk mendeposisikan ZnO pada substrat kaca FTO dengan menerapkan variasi volume larutan *spray*. Metode *spray pyrolysis* memiliki kemampuan untuk menghasilkan lapisan semikonduktor yang seragam dan dapat direproduksi (Saha et al., 2020). Penelitian Sivalingam (2014) yang melakukan sintesis lapisan ZnO menggunakan metode *spray pyrolysis* dengan variasi volume larutan (15, 30, dan 45 mL) menunjukkan jika transmitansi dan *bandgap* film ZnO akan semakin menurun dengan bertambahnya volume larutan. Konduktivitas listrik akan semakin meningkat dengan adanya penambahan volume larutan, akan tetapi batas butir yang semakin melebar. Pelebaran batas butir tersebut menyebabkan konduktivitas listrik film ZnO menurun (Sivalingam et al., 2014).

Berdasarkan literatur yang sejauh ini telah dilaporkan, hampir seluruhnya menggunakan fotoelektroda berstruktur nano. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian terkait fotoelektroda berstruktur lapisan tipis tanpa melibatkan struktur nano dan dianalisis sejauh mana pengaruh struktur lapisan tipis terhadap PEC *water splitting*. Pada penelitian ini dilakukan sintesis lapisan tipis ZnO yang difokuskan pada struktur bukan berukuran nano untuk membuktikan lapisan ZnO bisa atau tidak menjadi fotoelektroda pada proses PEC *water splitting*. Sintesis lapisan ZnO dilakukan dengan metode *spray pyrolysis* dan variasi volume larutan *spray* film diterapkan dengan tujuan untuk menganalisis volume larutan *spray* terbaik dari film ZnO yang menghasilkan performa PEC *water splitting* terbaik. Volume larutan *spray* yang menunjukkan hasil terbaik akan digunakan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut.

## **1.2. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana mensintesis lapisan ZnO pada substrat kaca FTO dengan metode *spray pyrolysis*?

2. Bagaimana pengaruh volume larutan *spray* ZnO terhadap performa fotoelektrokimia *water splitting*?

### 1.3. Batasan Masalah

1. Sintesis ZnO dengan bahan baku *Zinc Acetate Dihydrate* ( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan *ethanol* ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) yang akan dilapisi pada substrat kaca *Fluorine doped tin oxide* (FTO) melalui metode *spray pyrolysis*.
2. Proses sintering dilakukan pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 2 jam pada atmosfer udara bebas.
3. Perbandingan volume larutan *spray* ZnO yang disemprotkan sebesar 10 mL: 20 mL: 30 mL: 40 mL.
4. Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan untuk konfirmasi keberadaan ZnO pada lapisan tipis.
5. Pengujian performa lapisan FTO/ZnO dengan uji IV (*current-voltage*).
6. Penelitian ini difokuskan untuk mensintesis lapisan tipis ZnO pada struktur bukan nano untuk membuktikan lapisan ZnO bisa atau tidak menjadi fotoelektroda dan mencari mencari hubungan volume larutan *spray* FTO/ZnO terhadap performa fotoelektrokimia *water splitting*.

### 1.4. Tujuan Penelitian

1. Memahami cara mensintesis lapisan ZnO pada substrat kaca FTO dengan metode *spray pyrolysis*.
2. Memahami dan menganalisis pengaruh volume larutan *spray* ZnO terhadap performa fotoelektrokimia *water splitting*.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat sebagai usaha untuk meningkatkan sifat dan karakteristik dari lapisan ZnO melalui variasi volume larutan *spray* ZnO sehingga dapat dianalisa performa fotoelektrokimia *water splitting*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adjimi, A., Zeggar, M. L., Attaf, N., & Aida, M. S. (2018). Fluorine-Doped Tin Oxide Thin Films Deposition by Sol-Gel Technique. *Journal of Crystallization Process and Technology*, 08(04), 89–106. <https://doi.org/10.4236/jcpt.2018.84006>
- Alarcon-Angeles, G., Álvarez-Romero, G. A., & Merkoçi, A. (2018). Electrochemical biosensors: Enzyme kinetics and role of nanomaterials. *Encyclopedia of Interfacial Chemistry: Surface Science and Electrochemistry*, 140–155. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.13477-8>
- Aprilia, C. (2021). *Studi ZnO Nanosheet (ZnO-NS) dan ZnO-NS Tersensitisasi Dye (Dye-ZnO-NS) sebagai Fotoanoda Sistem Photoelectrochemical Water Splitting*.
- Bontempelli, G., Dossi, N., & Toniolo, R. (2016). Linear Sweep and Cyclic ☆. In *Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering* (Issue January). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.12200-0>
- Duran, E., Galan, J. A., Manuel, J., & Marquez, A. (2008). *A New Method to Obtain I-V Characteristics Curves of Photovoltaic Modules Based on SEPIC and Cuk Converters A New Method to Obtain I-V Characteristics Curves of Photovoltaic Modules Based on SEPIC and Cuk Converters Keywords I . Introduction. June 2015*. <https://doi.org/10.1080/09398368.2008.11463676>
- Gavrilovi, T. V., & Jovanovi, D. J. (2018). *2.1 introduction*. 55–81. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813731-4.00002-3>
- Gorup, L. F., Amorin, L. H., Camargo, E. R., Sequinel, T., Cincotto, F. H., Biasotto, G., Ramesar, N., & La Porta, F. de A. (2020). Methods for design and fabrication of nanosensors: the case of ZnO-based nanosensor. *Nanosensors for Smart Cities*, 9–30. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819870-4.00002-5>
- Hamdani, I. R., & Bhaskarwar, A. N. (2021). Recent progress in material selection and device designs for photoelectrochemical water-splitting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138(October 2019), 110503. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110503>
- Hossain, M. M., Islam, M. A., Shima, H., Hasan, M., Hilal, M., & Lee, M. (2018). Recrystallization techniques for the synthesis of ZnO nanorods: an: in situ process for carbon doping and enhancing the dispersion concentration of ZnO nanorods. *RSC Advances*, 8(30), 16927–16936. <https://doi.org/10.1039/c8ra03016b>
- Hussain, C. M., & Keçili, R. (2020). Electrochemical techniques for environmental analysis. *Modern Environmental Analysis Techniques for Pollutants*, 199–222. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816934-6.00008-4>
- Islam, S., Hussain, K. M. A., & Rashid, M. J. (2018). Deposition and Optical Characterization of ZnO Thin films on Glass Substrate. *Journal of Physics*:

- Conference Series*, 1086(1), 0–5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1086/1/012009>
- Johari, S., Muhammad, N. Y., & Zakaria, M. R. (2017). Study of zinc oxide thin film characteristics. *EPJ Web of Conferences*, 162, 1–4. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201716201057>
- Kane, S. N., Mishra, A., & Dutta, A. K. (2016). Preface: International Conference on Recent Trends in Physics (ICRTP 2016). *Journal of Physics: Conference Series*, 755(1), 0–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
- Kant, R., Pathak, S., & Dutta, V. (2018). Design and fabrication of sandwich-structured  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Au/ZnO photoanode for photoelectrochemical water splitting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 178(September 2017), 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.01.005>
- Krol, R. van de, & Gratzel, M. (2012). *Photoelectrochemical Hydrogen Production* (R. van de Krol & M. Grätzel, Eds.; Vol. 102). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1380-6>
- Lechat, P. (Service de pharmacologie). (2008). Université Pierre et Marie Curie. *Biochimie, January*, 349.
- Li, J., Griep, M., Choi, Y., & Chu, D. (2018). *Supporting Information Photoelectrochemical overall water splitting with textured CuBi<sub>2</sub>O<sub>4</sub> as photocathode*.
- Long, X., Li, F., Gao, L., Hu, Y., Hu, H., Jin, J., & Ma, J. (2018). Heterojunction and Oxygen Vacancy Modification of ZnO Nanorod Array Photoanode for Enhanced Photoelectrochemical Water Splitting. *ChemSusChem*, 11(23), 4094–4101. <https://doi.org/10.1002/cssc.201801828>
- Lu, Y. R., Wang, Y. F., Chang, H. W., Huang, Y. C., Chen, J. L., Chen, C. L., Lin, Y. C., Lin, Y. G., Pong, W. F., Ohigashi, T., Kosugi, N., Kuo, C. H., Chou, W. C., & Dong, C. L. (2020). Effect of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coating on ZnO nanowires in photoelectrochemical water splitting: A synchrotron x-ray spectroscopic and spectromicroscopic investigation. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 209(February). <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110469>
- Ma, M., Huang, Y., Liu, J., Liu, K., Wang, Z., Zhao, C., Qu, S., Wang, Z., Ma, C. M. M., Huang, Y. B., Liu, J., Liu, K., Wang, Z. J., Zhao, C., Qu, S. C., Wang, Z. G., Ma, M., Huang, Y., Liu, J., ... Zhao, C. (2020). *Engineering the photoelectrochemical behaviors of ZnO for efficient solar water splitting* *Engineering the photoelectrochemical behaviors of ZnO for*. 41(9). <https://doi.org/10.1088/1674-4926/41/9/091702>
- Meftah, Y., Bekker, D., Benhaoua, B., Rahal, A., Benhaoua, A., & Hamzaoui, A. H. (2018a). Post annealing effect on structural and optical properties of ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

- thin films prepared by spray pyrolysis with moving nozzle. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 13(2), 465–474.
- Meftah, Y., Bekker, D., Benhaoua, B., Rahal, A., Benhaoua, A., & Hamzaoui, A. H. (2018b). Post annealing effect on structural and optical properties of ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) thin films prepared by spray pyrolysis with moving nozzle. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 13(2), 465–474.
- Muchuweni, E., Sathiaraj, T. S., & Nyakoty, H. (2017). Synthesis and characterization of zinc oxide thin films for optoelectronic applications. *Heliyon*, January, e00285. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00285>
- Munir, B., & Muslih, E. Y. (2021). Novel synthesis of ZnO thin films by facile solution process. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 33(8), 525–530. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.06.003>
- Ramlan, Muljadi, Sardjono, P., Gulo, F., & Setiabudidaya, D. (2017). Effect of Sintering Temperature to Physical, Magnetic Properties and Crystal Structure on Permanent Magnet BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> Prepared from Mill Scale. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 214(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/214/1/012009>
- Reza, H., Ali, M., & Morad, A. (2011). *Synthesis of ZnO Nanoparticles by Spray Pyrolysis Method*. 30(1), 1–6.
- Saha, J. K., Bukke, R. N., Mude, N. N., & Jin, J. (2020). Significant improvement of spray pyrolyzed ZnO thin film by precursor optimization for high mobility thin film transistors. 10, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65938-6>
- Sharma, G. P., & Behara, D. (2017). *15 Fundamental Aspect of Photoelectrochemical Water Splitting: Processes, Technologies, and Challenges*. August. <https://doi.org/10.1201/9781315153209-16>
- Shnain, Z. Y., Toma, M. A., Abdulhussein, B. A., Saleh, N. J., Ibrahim, M., Manuel, N., & Mahmood, A. (2022). The Effect of Solvent-Modification on the Physicochemical Properties of ZnO Nanoparticles Synthesized by Sol-Gel Method. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 17(1), 46–52. <https://doi.org/10.9767/bcrec.17.1.12345.46-52>
- Sivalingam, K., Shankar, P., Mani, G. K., & Rayappan, J. B. B. (2014). Solvent volume driven ZnO nanopetals thin films: Spray pyrolysis. *Materials Letters*, 134, 47–50. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.07.019>
- Solanki, A., Singh, A. P., Satsangi, V. R., & Dass, S. (2009). *photoelectrochemical splitting of water Preparation and characterization of nanostructured ZnO thin films for photoelectrochemical splitting of water*. February. <https://doi.org/10.1007/s12034-009-0004-1>



- Sugihartono, I., Handoko, E., Fauzia, V., Arkundato, A., & Sari, L. P. (2018). *Structural and Photoluminescence Properties of ZnO Thin Films Deposited by Ultrasonic Spray Pyrolysis*. 22(1), 13–16. <https://doi.org/10.7454/mst.v22i1.3423>
- Suryavanshi, R. D., & Rajpure, K. Y. (2018). Spray deposited Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and stratified Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO novel photoelectrode for photoelectrocatalytic degradation of benzoic acid under solar light illumination. *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.02.008>
- Tahir, M. B., Rafique, M., Rafique, M. S., Nawaz, T., Rizwan, M., & Tanveer, M. (2020). Chapter 8 - Photocatalytic nanomaterials for degradation of organic pollutants and heavy metals. In *Nanotechnology and Photocatalysis for Environmental Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821192-2.00008-5>
- Tarwal, N. L., & Patil, P. S. (2011). Electrochimica Acta Enhanced photoelectrochemical performance of Ag – ZnO thin films synthesized by spray pyrolysis technique. *Electrochimica Acta*, 56(18), 6510–6516. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.05.001>
- Tchaoushev, S. (2019). *Spray pyrolysis equipment for various applications*. January 2013.
- Timuda, G. E., Lie, M. E., Oktaviano, H. S., Yudasari, N., Subhan, A., Khaerudini, D. S., Aziz, M., & Waki, K. (2021). Photoelectrochemical water splitting properties of a vertically aligned ZnO nanosheet. *AIP Conference Proceedings*, 2382(August). <https://doi.org/10.1063/5.0060173>
- Ullah, S., Ahmed, F., Badshah, A., Ali Altaf, A., Raza, R., Lal, B., & Hussain, R. (2013). Solvothermal Preparation of ZnO Nanorods as Anode Material for Improved Cycle Life Zn/AgO Batteries. *PLoS ONE*, 8(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0075999>
- Wang, B. S., Li, R. Y., Zhang, Z. Y., Xing-Wang, Wu, X. L., Cheng, G. A., & Zheng, R. T. (2019). An overlapping ZnO nanowire photoanode for photoelectrochemical water splitting. *Catalysis Today*, February, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.02.028>
- Widiyastuti, W., Balgis, R., Iskandar, F., & Okuyama, K. (2010). Nanoparticle formation in spray pyrolysis under low-pressure conditions. *Chemical Engineering Science*, 65(5), 1846–1854. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2009.11.026>
- Yu, J. M., Lee, J., Kim, Y. S., Song, J., Oh, J., Lee, S. M., Jeong, M., Kim, Y., Kwak, J. H., Cho, S., Yang, C., & Jang, J. W. (2020). High-performance and stable photoelectrochemical water splitting cell with organic-photoactive-layer-based photoanode. *Nature Communications*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19329-0>

- Yuniar Christyaningsih, R. (2020). *Aplikasi Fisika Kuantum-Hamburan Pada " X-Ray Diffraction ( XRD )" . June.*
- Yusuf, M. (2020). *Fabrikasi Lapisan Nano Fluorine Doped Tin Oxide ( FTO ) Dengan Variasi Temperature Menghasilkan Material Bersifat Transparan Dan Konduktif. 1(2), 88–94.*
- Zhang, B. K., Li, Q., Wang, D., Wang, J., Jiang, B., Jiao, S., Liu, D. H., Zeng, Z., Zhao, C. C., Liu, Y., Xun, Z., Fang, X., Gao, S., Zhang, Y., & Zhao, L. (2020). Efficient photocatalytic hydrogen evolution over tio<sub>2</sub>-x mesoporous spheres-zno nanorods heterojunction. *Nanomaterials*, *10*(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/nano10112096>
- Zhang, S. (2018). *Study of fluorine-doped tin oxide ( FTO ) thin films for photovoltaics applications To cite this version : HAL Id : tel-01689976 Study of fluorine-doped tin oxide ( FTO ) thin films for photovoltaics applications. July, 225.*