

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  DAN *HYBRID*  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  PADA  
FTO SEBAGAI FOTOANODA UNTUK FOTOELEKTROKIMIA *WATER*  
*SPLITTING***

**SKRIPSI**

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



**Oleh:**

**ANNISA NURFITRIA ARIANE**

**NIM. 08021181823095**

**JURUSAN FISIKA**

**KBI FISIKA TEORI DAN MATERIAL**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2022**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  DAN *HYBRID*  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZNO}$   
PADA FTO SEBAGAI FOTOANODA UNTUK FOTOELEKTROKIMIA *WATER*  
*SPLITTING***

**SKRIPSI**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S. Si)*

Oleh

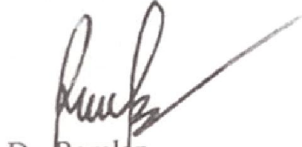
**ANNISA NURFITRIA ARIANE**

**08021181823095**

Indralaya, Juli 2022

Mengetahui

Pembimbing I



Dr. Ramlan

NIP. 196604101993031003

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 dibawah ini, Mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya:

Nama : Annisa Nurfitria Ariane

NIM : 08021181823095

Judul TA : Sintesis Dan Karakterisasi Lapisan  $Fe_2O_3$  Dan *Hybrid*  $Fe_2O_3/ZnO$   
Pada FTO Sebagai Fotoanoda Untuk Fotoelektrokimia *Water Splitting*

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



Annisa Nurfitria Ariane  
NIM. 0802118182095

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur marilah kita panjatkan ke-hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta memberikan kesehatan jasmani dan rohani sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini dibuat sebagai memperoleh gelar sarjana sains (S.Si), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya. Tugas Akhir ini dilakukan di Bahan Material Maju, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, pada 2 Juni 2021 - Novemeber. Laporan tugas akhir ini dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi Lapisan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  Dan *Hybrid*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  / $\text{ZnO}$  Pada FTO Sebagai Fotoanoda untuk Fotoelektrokimia *Water Splitting*”**.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan dan dukungan serta semangat dari berbagai pihak yang mendukung. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Dr. Ramlan selaku dosen pembimbing I yang selalu memberikan banyak bimbingan, motivasi serta masukan yang sangat bermanfaat dan ucapan terimakasih kepada Bapak Dr. Eng. Gerald Ensang Timuda selaku pembimbing II atau pembimbing lapangan yang selalu memberikan banyak bimbingan, saran dan masukan yang bermanfaat, memberikan arahan selama penelitian. Selain itu ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak, Ibu, adik dan kakak serta saudara-saudara yang selalu memberikan semangat, motivasi serta mendo'akan.
2. Seluruh dosen Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya, yang selalu memberikan arahan, bantuan, dan semangat selama proses Tugas Akhir.

Penulis telah berusaha agar laporan tugas akhir ini dapat menjadi karya yang bermanfaat untuk pembaca dan dapat menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya. Namun, untuk kesempurnaanya penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan untuk penulisan ke depannya yang dapat disampaikan melalui *email* penulis [annisanurfitriaariane30@gmail.com](mailto:annisanurfitriaariane30@gmail.com). Penulis berharap semoga Allah SWT memberkahi skripsi ini menjadi karya yang bermanfaat bagi pembaca.

Indralaya, Juli 2022

Penulis

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI LAPISAN  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  DAN *HYBRID*  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  PADA FTO SEBAGAI FOTOANODA UNTUK FOTOELEKTOKIMIA *WATER SPLITTING***

Annisa Nurfitria Ariane<sup>1</sup>\*

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

\*[Annisanurfitriaariane30@gmail.com](mailto:Annisanurfitriaariane30@gmail.com)


**ABSTRAK**

Penelitian ini berfokus pada sintesis lapisan *single layer*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan *hybrid*  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  menggunakan metode *spray pyrolysis* dengan tujuan untuk melakukan studi fotoelektrokimia pada sampel yang telah disintesis dengan variasi volume 10 dan 30 mL pada masing-masing variasi *layer* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$ ,  $\text{ZnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang di *annealing* pada suhu  $500^\circ\text{C}$ . Studi fotoelektrokimia menggunakan metode LSV menunjukkan bahwa sampel *single layer*  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  memberikan nilai *photoconversion efficiency* (PCE) 0.0%. Pengujian metode *Amperometric Detection* (AD) pada tegangan 0.4 V menunjukkan bahwa *hybrid layer* dengan ZnO perlu dilakukan untuk memperkecil rekombinasi pasangan elektron pada  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Kecilnya nilai *current density* yang dihasilkan dimungkinkan karena komposisi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  digunakan memiliki pori yang terlalu besar sehingga dapat menimbulkan banyak *defect* yang menyebabkan penurunan *current density* saat pengukuran serta banyaknya bercak-bercak pada sampel yang menyebabkan tidak meratanya larutan melapisi substrat FTO.

**Kata Kunci:**  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ZnO, Fotoelektrokimia, *hybrid*, *water splitting*

Indralaya, Juli 2022

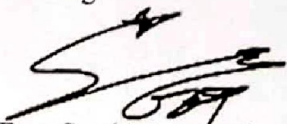
Pembimbing I



Dr. Ramlah

NIP. 196604101993031003

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  $Fe_2O_3$  AND HYBRID  $Fe_2O_3/ZnO$  LAYERS  
IN PHOTO AS PHOTOANODES FOR WATER SPLITTING  
PHOTOELECTROCHEMICAL**

Annisa Nurfitria Ariane<sup>1,\*</sup>

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

<sup>\*</sup>[Annisanurfitriaariane30@gmail.com](mailto:Annisanurfitriaariane30@gmail.com)

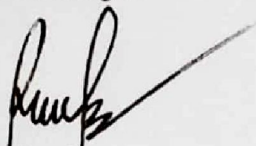
**ABSTRACT**

*This research focuses on the synthesis of single layer  $Fe_2O_3$  and  $Fe_2O_3/ZnO$  hybrid layers using the spray pyrolysis method with the aim of conducting photoelectrochemical studies on samples that have been synthesized with volume variations of 10 and 30 mL in each layer variation ( $Fe_2O_3$ ,  $Fe_2O_3/ZnO$ ,  $ZnO/Fe_2O_3$ ) which was annealed at 500 °C. Photoelectrochemical studies using the LSV method showed that the single layer  $Fe_2O_3$  sample gave a photoconversion efficiency (PCE) value of 0.0%. Testing the Amperometric Detection (AD) method at a voltage of 0.4 V shows that a hybrid layer with ZnO needs to be done to minimize electron pair recombination in  $Fe_2O_3$ , causes a decrease in the current density during measurement and the number of spots on the sample which causes the solution to coat the FTO substrate unevenly.*

**Keywords:**  $Fe_2O_3$ , ZnO, Photoelectrochemical, hybrid, water splitting

Indralaya, Juli 2022


Pembimbing I



Dr. Ramlan

NIP. 196604101993031003

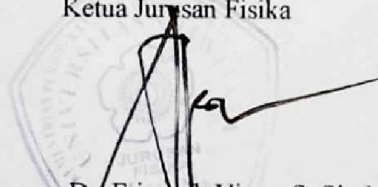
Pembimbing II



Dr. Eng. Gerald Ensang Timuda

NIP.198302082009121005

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Frinsyah Virgo, S. Si., MT

NIP.197009101994121001

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SINGKATAN.....	x
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II.....</b>	<b>6</b>
2.1 Fotelektrokimia <i>Water Splitting</i> .....	6
2.2 FTO ( <i>Fluorine Tin Oxide</i> ).....	8
2.3 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan ZnO.....	8
2.4 Metode <i>Spray Pyrolysis</i> .....	10
2.5 Karakterisasi Lapisan Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan <i>Hybrid Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO</i> .....	11
<b>BAB III.....</b>	<b>16</b>
3.1 Tempat Penelitian.....	16
3.2 Alat dan Bahan.....	16
3.3 Diagram Air Metode Penelitian.....	18
3.4 Tahap Konfirmasi Larutan Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan ZnO.....	19
3.5 Tahap Pembuatan Bahan Uji dan Pengujian.....	21
<b>BAB IV.....</b>	<b>23</b>
4.1 Analisa Konfirmasi Lapisan Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan ZnO pada FTO.....	23
4.2 Analisa Pengujian IV (Current-Voltage) <i>Water Splitting</i> Fotelektrokimia.....	25
<b>BAB V.....</b>	<b>34</b>

<b>PENUTUP.....</b>	<b>34</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>34</b>
<b>5.2 Saran.....</b>	<b>34</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>35</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>39</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Terjadinya <i>Water Splitting</i> Fotoelektrokimia .....	6
Gambar 2.2	Posisi <i>Band Gap</i> untuk Reaksi Fotoelektrokimia <i>Water Splitting</i> ....	7
Gambar 2.3	Posisi <i>bandedge</i> dari material semikonduktor .....	9
Gambar 2.4	Metode <i>Spray Pyrolysis</i> .....	11
Gambar 2.5	Rangkaian Evaluasi Kinerja Fotoelektrokimia dengan Uji IV.....	11
Gambar 2.6	Grafik <i>Amperometric Detection</i> (AD) .....	12
Gambar 2.7	<i>Grafik Linier Sweep Voltamogram</i> (LSV) .....	13
Gambar 2.8	Difraksi Sinar-X oleh Bidang Kristal .....	14
Gambar 3.1	Digaram Alir Proses Konfirmasi Larutan Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> dan ZnO .....	18
Gambar 3.2	Digaram Alir Proses Pembuatan Bahan Uji dan Pengujian .....	19
Gambar 4.1	Sampel .....	23
Gambar 4.2	Spektrum XRD dari Sampel Lapisan Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	24
Gambar 4.3	Spektrum XRD dari Sampel Lapisan ZnO .....	24
Gambar 4.4	Pengujian Studi Fotokatalik LSV .....	26
Gambar 4.5	Grafik PCE .....	28
Gambar 4.6	Pengujian Studi Fotokatalik AD .....	30
Gambar 4.7	Posisi <i>Band Gap</i> Lapisan ZnO/ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	32
Gambar 4.8	Posisi <i>Band Gap</i> Lapisan Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ZnO .....	32

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Alat-Alat Penelitian.....	16
Tabel 3.2 Bahan-Bahan Penelitian.....	17

## DAFTAR SINGKATAN

Lambang/ Singkatan	Keterangan	Halaman
AD	<i>Amperometric Detection</i>	iv, v, vii-viii, 5, 12, 23, 30, 31, 34
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Etanol	17
CO <sub>2</sub>	Karbon Dioksida	1
DOE	<i>Department of Energy</i>	14, 29
EBT	Energi Baru Terbarukan	1
ESDM	Energi dan Sumber Daya Mineral	1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Besi(II)Oksida/ <i>Iron Oxide</i>	i – x, 2-4, 8-9, 11, 16-22, 26-32, 34
FeCl <sub>3</sub>	<i>Iron Chloride</i>	3-5, 17, 20-22, 44
FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	<i>Iron(III)chloride hexahydrate</i>	4, 5, 17, 20, 21
FTO	<i>Fluorin doped Thin Oxide</i>	i-vii, 4-8, 17, 20-22, 24-26, 34,35, 42
HER	<i>Hydrogen Evolution Reaction</i>	6, 28
IV	<i>Uji Current-Voltage</i>	vii-viii, 5, 11, 17, 22, 26, 28, 30, 40
IUPAC	<i>International Union of Pure and Applied Chemistry</i>	13
LSV	<i>Liniear Sweep Voltametry</i>	iv-v, v-viii, 5, 12-13, 23, 26, 27, 29, 31, 34
NaNO <sub>3</sub>		
OER	<i>Oxygen Evolution Reaction</i>	6, 9, 28
PCE	<i>Photoconversion efficien</i>	ii-iii, ix, 13, 29-30, 35
Pt	Platina	17, 23
Renstra	Rencana Strategis	1
RHE	<i>reversible hydrogen electrode</i>	13, 28
STH	<i>Solar to hydrogen</i>	14, 29
US	United States	1
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>	vi-vii, ix, 5, 14, 16-17, 21, 24, 25-26
Zn(CH <sub>3</sub> COOH) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	<i>Zinc Acetat Dyhidrate</i>	4, 5, 17, 20-21
Zn-Ac	<i>Zinc Acetat</i>	21, 22
ZnO	Seng(II)Oksida/ <i>Zinc Oxide</i>	i-viii, 2-5, 8-9, 11, 16-22, 24-23

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Pengembangan ekonomi energi jangka panjang dan berkelanjutan menyebabkan konsumsi bahan bakar fosil terus digunakan. Dampak dari hal tersebut menyebabkan terjadinya pemanasan global yang meningkat secara bertahap (Dias & Mendes., 2017). Pemanasan global ini disebabkan oleh terjadinya peningkatan emisi gas rumah kaca seperti emisi CO<sub>2</sub> (Rahmadania & Sipil, 2022). Hasil evaluasi *Emission Gap Report 2018*, menunjukkan kondisi emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2017 terjadi 80% emisi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil (Irmawati, 2019). Selain pemanasan global, dampak yang dapat terjadi adalah penipisan sumber daya alam, dan penurunan kesehatan global (Dias & Mendes., 2017). Selain itu, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada rencana strategis (Renstra) menyatakan bahwa minyak bumi tersisa sekitar 3.6 miliar barel sehingga akan habis dalam kurun waktu 13 tahun mendatang (Sa'adah, et. al., 2017).

Oleh karena hal-hal tersebut, energi baru terbarukan (EBT) merupakan salah satu cara untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang semakin terbatas, salah satunya dengan penggunaan senyawa hidrogen (Pusat data dan Teknologi Informasi ESDM, 2017; Sutarno & Malik., 2016). Hidrogen dianggap sebagai salah satu pilihan bahan bakar yang menjanjikan sebagai distribusi energi yang bersih dan terbarukan (Dias & Mendes., 2017). Hidrogen memiliki kandungan energi spesifik sebesar 122 kJ/g, atau 2,75 kali lebih besar dari bahan bakar fosil (Sharma & Ghoshal., 2015). Khususnya hidrogen yang dihasilkan dari energi matahari sebagai media penyimpanan energi potensial yang besar (Dias & Mendes., 2017). Matahari adalah penghasil energi paling berlimpah di bumi, dimana matahari menyinari bumi sekitar  $3 \times 10^{24}$  Joule yang setara dengan 10.000 kali konsumsi energi global tahunan (Yuliananda et al., 2015).

Fotoelektrokimia *Water Splitting* merupakan produksi hidrogen yang ideal, murah, dan terbarukan (Zayed et al., 2019). Proses fotoelektrokimia merupakan gabungan dari proses fotokatalis menggunakan sumber cahaya dan elektrolisis air untuk menghasilkan hidrogen dan oksigen (Dias & Mendes). Prinsip dasar dari proses ini menggunakan bahan semikonduktor untuk mengubah energi matahari

menjadi energi kimia yang disimpan dalam bentuk hidrogen (Arzaee et al., 2019). Untuk menjalankan proses ini diperlukan adanya air, sumber cahaya, tegangan tambahan, dan material fotoelektroda menggunakan semikonduktor (Aprilia., 2020).

Semikonduktor sebagai fotoelektroda adalah komponen penting yang bertanggung jawab untuk penyerapan cahaya sebagai pembawa muatan fotogenerasi. Stabilitas dan efisiensi dalam konversi energi merupakan kriteria penting dalam pemilihan material yang akan digunakan sebagai semikonduktor (Peter & Upul., 2014). Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) adalah salah satu semikonduktor yang memiliki karakteristik tidak beracun, ekonomis dan stabilitas elektrokimia yang besar (Arzaee et al., 2019). Material ini banyak diteliti karena mampu menghasilkan sejumlah besar foton dalam spektrum cahaya tampak karena memiliki *bandgap* antara 2.0 - 2.2 eV sehingga dapat hampir merespon cahaya tampak sebesar 40% secara teoritis, namun karena nilai *bandgap* yang cukup rendah menyebabkan rekombinasi elektron *holes* yang cukup tinggi (Arzaee et al., 2019). Oleh karena itu dibutuhkan suatu material lain untuk membantu menstabilkan rekombinasi elektron *holes* tersebut (Najaf et al., 2020).

Seng (II) Oksida atau ZnO merupakan material semikonduktor yang memiliki sifat dispersi tinggi (Chen et al., 2019). ZnO memiliki nilai eksitasi energi ikat yang besar (sekitar 60 meV), mudah ditemukan, tidak beracun serta memiliki nilai *band gap* sekitar 3.37 eV (Srinivasulu et al., 2017). Hal ini menyebabkan energi foton yang terserap oleh ZnO hanya sebatas spektrum sinar ultraviolet (UV) yang memiliki panjang gelombang pendek (200-400 nm) dimana sinar UV hanya berperan 5% dari total spektrum cahaya matahari (Zayed et al., 2019). Kekurangan-kekurangan yang dimiliki oleh  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan ZnO tersebut, pembuatan lapisan fotoelektroda dapat diperbaiki menggunakan struktur *hybrid* atau *heterojunction* dalam sintesis semikonduktor.

Penelitian sintesis *Hybrid ZnO nanorods* dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanopartikel menghasilkan *current density* 1.5 mA/cm<sup>2</sup> (Kodan et al., 2020). Penelitian lain mensintesis *hybrid Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO* menghasilkan *current density* 0.07 mA/cm<sup>2</sup> (Aprilia., 2020). Terdapat juga penelitian mensintesis lapisan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tunggal *nanoarrays* menghasilkan *current density* sekitar 0.2 mA/cm<sup>2</sup> ini menandakan

bahwa struktur *nanoarrays* dapat menekan rekombinasi pasangan electron meskipun hanya sedikit (Yu et al., 2018). Terdapat beberapa proses sintesis fotoelektroda semikonduktor, seperti hidrotermal, *spin coating*, dan *spray pyrolysis* (Bouhjar et al., 2018; Kodan et al., 2020; Suryavanshi & Rajpure, 2018).

Sintesis hidrotermal adalah metode sintesis yang menggunakan air sebagai pelarut dibawah tekanan tinggi. Dalam penelitian (Bouhjar et al., 2018) mensintesis lapisan film  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  menggunakan metode hidrotermal dengan komposisi larutan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanopartikel terdiri dari  $\text{FeCl}_3$  dan  $\text{NaNO}_3$  dan  $\text{HCl}$  sebagai pelarut. Komposisi  $\text{ZnO}$  *nanotubes* terdiri dari  $\text{Zn}((\text{NO})_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$  dan HMT,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ ) sebagai pelarut. Pada penelitian ini menunjukkan nilai *current density* sebesar  $2.4 \text{ mA/cm}^2$  dan lapisan ini respon terhadap cahaya. Penyebab naiknya kerapatan arus ini disebabkan oleh bentuk *heterojunction* dapat menekan rekombinasi elektron *holes*.

Metode *spin coating* adalah metode sintesis pelapisan menggunakan *spin* atau perputaran diatas substrat dengan gaya sentrifugal. Dalam penelitian (Kodan et al., 2020) mensintesis lapisan film  $\text{ZnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan komposisi larutan  $\text{ZnO}$  (*nanorods*) terdiri dari  $\text{ZnCl}_2$  dan  $\text{NH}_3$  sebagai pelarut. Komposisi larutan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (nanopartikel) adalah  $\text{FeCl}_3$ . Pada penelitian ini menunjukkan sampel memiliki *current density* sebesar  $1.5 \text{ mA/cm}^2$ . *Spray pyrolysis* adalah metode yang didasarkan pada pembentukan aerosol dari berbagai larutan prekursor. Tetapan larutan yang dihasilkan (aerosol) kemudian dipanaskan atau proses penguapan dalam suhu tertentu dengan waktu yang cepat (Gavrilovic & Jovanovi, 2018). Dalam penelitian (Suryavanshi & Rajpure, 2018) berhasil dilakukan sintesis lapisan film  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan lapisan *heterojunction*  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  menggunakan metode *spray pyrolysis* dengan komposisi larutan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  adalah  $\text{FeCl}_3$  dan etanol sebagai pelarut dan komposisi larutan  $\text{ZnO}$  adalah  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2$  dan metanol sebagai pelarut. Pada penelitian ini menunjukkan hasil analisa XRD memiliki struktur kristal rombohedral untuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan hexagonal untuk  $\text{ZnO}$ .

*Spray pyrolysis* adalah salah satu metode terfavorit karena mudah digunakan dan waktu yang digunakan cukup singkat, ekonomis, lebih mudah diterapkan dalam laboratorium, dapat dilakukan deposisi area yang luas dengan mudah memungkinkan film yang disintesis dengan baik serta mudah mengontrol

ketebalannya dengan memvariasikan suhu, konsentrasi dan jumlah larutan (Zayed et al., 2019). Karena telah banyak dibuat lapisan tunggal atau *single layer* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, lapisan *hybrid* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO berstruktur nano, seperti *nanorods*, *nanotube*, *nanoarrays* dan nanopartikel.

Pada penelitian melakukan studi apakah lapisan *single layer* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan lapisan *hybrid* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO tanpa struktur tidak nano dapat menjadikan material Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lapisan tunggal atau ZnO sebagai peran fotoelektroda semikonduktor untuk fotoelektrokimia *water splitting*. Oleh karena itu pada penelitian ini akan mensintesis dan karakterisasi lapisan tipis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan lapisan *hybrid* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO dengan komposisi bahan FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O dan etanol sebagai pelarut untuk Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Komposisi bahan Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O dan etanol sebagai pelarut untuk ZnO yang dilapisi pada kaca (*Fluorin Doped Thin Oxide*) FTO menggunakan metode *spray pyrolysis* untuk fotoelektrokimia *water splitting*.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana mengkaji lapisan sampel *single layer* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan lapisan *hybrid* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO dan pengaruh ZnO terhadap lapisan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>?
2. Bagaimana pengaruh lapisan *single layer* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan lapisan *hybrid* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO sebagai fotoelektroda semikonduktor?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Sintesis lapisan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan lapisan *hybrid* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO pada kaca FTO dengan metode *spray pyrolysis*.
2. Larutan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dibuat menggunakan larutan prekursor FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O 0.02 M dan etanol sebagai pelarut. Larutan ZnO dibuat menggunakan larutan prekursor Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O 0.02 M dan etanol sebagai pelarut.
3. Aniling sampel lapisan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan lapisan *hybrid* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO menggunakan *furnace tube* dengan suhu 500°C.
4. Karakterisasi sampel lapisan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan lapisan *hybrid* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO dengan pengujian uji *Current-Voltage* (IV) serta menganalisa studi fotoelektrokimia menggunakan metode *Linear Sweep Voltamogram* (LSV) dan *Amperometric Detection* (AD) dan sebelum pengujian

*Current-Voltage* (IV) dilakukan karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) terlebih dahulu hanya untuk konfirmasi larutan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{ZnO}$ .

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

1. Mengkaji lapisan sampel pada metal oksida terbaik antara lapisan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  *single layer* dan lapisan *hybrid*  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  dan melihat pengaruh  $\text{ZnO}$  terhadap  $\text{Fe}_2\text{O}_3$
2. Mengkaji hasil studi fotoelektrokimia material yang telah dibuat melalui analisa *photocurrent density*.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dapat memahami bagaimana pengaruh lapisan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebagai fotoelektroda semikonduktor serta pengaruh  $\text{ZnO}$  pada lapisan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  melalui pengujian *Current-Voltage* (IV) dan menganalisa studi fotokatalik menggunakan metode *Linear Sweep Voltamogram* (LSV) dan *Amperometric Detection* (AD).



## DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, C (2020). Studi Fotoelektrokimia:  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  Sebagai Fotoanoda Untuk Water Splitting Hydrogen Generation. Jakarta: Universitas Pertamina.
- Aprilia, C (2021). Studi ZnO Nanosheet (ZnO-NS) dan ZnO-NS Tersensitisasi Dye (Dye-ZnO-NS) sebagai Fotoanoda Sistem Photoelectrochemical Water Splitting. Jakarta: Universitas Pertamina.
- Arzaee, N. A (2019). *Aerosol-assisted chemical vapour deposition of  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nano flowers for photoelectrochemical water splitting*. 45(May), 16797–16802. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.05.219>.
- Bouhjar, F., Marí, B., & Bessaïs, B. (2018). *Hydrothermal fabrication and characterization of ZnO/  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  heterojunction devices for hydrogen production*., 7(3), 315–321. <https://doi.org/10.15406/japlr.2018.07.00246>
- Chang, S. L. Y., Fekete, M., Hocking, R. K., Izgorodina, A., Singh, A., Zhou, F., ... Spiccia, L. (2013). Role of Advanced Analytical Techniques in the Design and Characterization of Improved Catalysts for Water Oxidation. *New and Future Developments in Catalysis*, 305–339. doi:10.1016/b978-0-444-53872-7.00014-5
- Chen, C., Bai, H., Da, Z., Li, M., Yan, X., Jiang, J., ... Shi, W. (2015). Hydrothermal synthesis of  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$  heterojunction photoanode for photoelectrochemical water splitting. *Functional Materials Letters*, 08(05), 1550058. doi:10.1142/s1793604715500587
- Dias, P., & Mendes, A. (2017). Hydrogen Production from Photoelectrochemical Water Splitting. *Fuel Cells and Hydrogen Production*, 103-1053. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7789-5\\_957](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7789-5_957).
- Duran, E., Galán, J., Andujar, J. M., & Sidrach-de-Cardona, M. (2008). A New Method to Obtain I-V Characteristics Curves of Photovoltaic Modules Based on SEPIC and Cuk Converters. *EPE Journal*, 18(2), 5–15. doi:10.1080/09398368.2008.11463676
- Fikriyah, A. (2020). Uji Aktivitas Dan Penggunaan Kembali Katalis Kitosan-Hidrotalsit Pada Sintesis Biodiesel. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia
- Gavrilovic, T. V, & Jovanovi, D. J. (2018). *2.1 introduction*. 55–81. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813731-4.00002-3>
- Hakim, L., Dirgantara, M. & Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 1(1):46.
- Irmawati, J., 2019. Transformasi Struktur Sektor Energi Indonesia. Buletin Pertamina Energy Institute Edisi 01.
- Jia, L., Harbauer, K., Bogdanoff, P., Herrmann-Geppert, I., Ramírez, A., van de Krol, R., & Fiechter, S. (2014).  $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  films for photoelectrochemical water oxidation – insights of key performance parameters. *J. Mater. Chem. A*, 2(47), 20196–20202. doi:10.1039/c4ta04720f

- Kalanur, S., Duy, L. T., & Seo. (2018). Recent Progress in Photoelectrochemical Water Splitting Activity of WO<sub>3</sub> Photoanodes. *Top Catal*, 61, 1043 - 1076. <https://doi.org/10.1007/s11244-018-0950-1>
- Kegel, J., Povey, I. M., & Pemble, M. E. (2018). Zinc oxide for solar water splitting: A brief review of the material's challenges and associated opportunities. *Nano Energy*. doi:10.1016/j.nanoen.2018.10.043 10.1016/j.nanoen.2018.10.043
- 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, 38–45. doi:10.1016/j.solmat.2018.01.005
- Kodan, N., Ahmad, M., & Mehta, B. R. (2020). Credit Author Statement Nisha Kodan : Conceptualization , Methodology , Writing- Original. *Journal of Alloys and Compounds*, 155 650. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155650>.
- Korjenic, A., & Raja, K. S. (2019). *Electrochemical Stability of Fluorine Doped Tin Oxide (FTO) Coating at Different pH Conditions*. *Journal of The Electrochemical Society*, 166(6), C169–C184. doi:10.1149/2.0811906jes
- Li, R., & Li, C. (2017). Photocatalytic Water Splitting on Semiconductor-Based Photocatalysts. In *Advances in Catalysis* (Vol. 60, pp. 1–57). *Academic Press Inc*. <https://doi.org/10.1016/bs.acat.2017.09.001>.
- Lin, Y., Zhou, S., Sheehan, S. W., & Wang, D. (2011). Nanonet-Based hematite heteronanostructures for efficient solar water splitting. *Journal of the American Chemical Society*, 133(8), 2398–2401. <https://doi.org/10.1021/ja110741z>.
- Nailazzulfa, K. (2014). *Synthesis Of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles From Local Iron Stone Using Coprecipitation Method With Ph Variation*. Surabaya: Institut Sepuluh November.
- Najaf, Z., Le, D., Nguyen, T., & Youn, S. (2020). ScienceDirect Recent trends in development of hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) as an efficient photoanode for enhancement of photoelectrochemical hydrogen production by solar water splitting. *International Journal of Hydrogen Energy*, xxx, 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.07.111>.
- Park, S.-I., Quan, Y.-J., Kim, S.-H., Kim, H., Kim, S., Chun, D.-M., ... Ahn, S.-H. (2016). A review on fabrication processes for electrochromic devices. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(4), 397–421. doi:10.1007/s40684-016-0049-8
- Sa'adah, A. F., Fauzi, A., & Juanda, B. (2017). Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia dengan Model Sistem Dinamik. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 2(17):118-137. <https://doi.org/10.21002/jepi.v17i2.661>.
- Samad, W. Z., Salleh, M. M., Shafiee, A., & Yarmo, M. A. (2011). Structural, Optical and Electrical Properties of Fluorine Doped TinOxide Thin Films

- Deposited Using Inkjet Printing Technique. *Sains Malaysiana*, 20 (3): 251-257
- Sharma, S., & Ghoshal, S. K. (2015). Hydrogen the future transportation fuel: From production to applications. *In Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1151–1158. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.093>.
- Srinivasulu, T., Saritha, K., & Reddy, K. T. R. (2017). ScienceDirect Physical Properties of Spray Deposited Fe: ZnO Thin Films. *Materials Today: Proceedings*, 4(14), 12571–12576. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.10.063>.
- Peter, L. M., & Upul Wijayantha, K. G. (2014). Photoelectrochemical water splitting at semiconductor electrodes: Fundamental problems and new perspectives. *In ChemPhysChem*, 15 (10): 1983–1995. <https://doi.org/10.1002/cphc.201402024>
- Pusat data dan Teknologi Informasi ESDM. (2017). Kajian Penyediaan dan Pemanfaatan Migas, Batubara, EBT, dan Listrik. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-kajian-penyediaan-dan-pemanfaatan-energi-2017.pdf>
- Suryavanshi, R & Rajpure, K., 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 and Photobiology A: Chemistry*, 357, 72-80. [10.1016/j.jphotochem.2018.02.008](https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.02.008)
- Sutarno & Malik, A. Kajian Produksi Energi Hidrogen Menuju Transisi Ekonomi Bebas Co<sub>2</sub> : Sebuah Tinjauan Pustaka. *Teknoin*, 22 (7): 534-539.
- Rahmadania, N., & Sipil, T. (2022). Pemanasan Global Penyebab Efek Rumah Kaca dan Penanggulangannya. *In Ilmuteknik.org*, 2 (3): 1-13.
- Ramlan & Bama, A. A. (2011). Pengaruh Suhu dan Waktu Sintering terhadap Sifat Bahan Porselen untuk Bahan Elektrolit Padat (Komponen Elektronik). *Jurnal Penelitian Sains*, 3(14): 23. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1428/1/012014>
- Ramlan, Setiabudidaya, D., & Muljadi., 2014. Synthesis and Characterization of Nd 2 Fe 14 B Powder by using Mechanical Milling of Flakes NdFeB. *Journal of Physics Conference Series*. 1428 (1) : 1-6.
- Timuda et al. (2021). Photoelectrochemical Water Splitting Properties of a Vertically Aligned ZnO Nanosheet. *AIP Conference Proceedings*, 2382, 02006, 1-9. <https://doi.org/10.1063/5.0060173>.
- Yu, L., Zhang, Y., He, J., Zhu, H., Zhou, X., & Li, M. (2018). Enhanced photoelectrochemical properties of a- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoarrays for water splitting. *Journal of Alloys and Compounds*, 753, 601–606. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.04.258>.
- Yusuf, M. (2020). *Fabrikasi Lapisan Nano Fluorine Doped Tin Oxide ( FTO ) Dengan Variasi Temperature Menghasilkan Material Bersifat Transparan Dan Konduktif*. 1(2), 88–94.
- Yuliananda, S., Sarya, G., & Hastijani, R, RA. (2015). Pengaruh Perubahan

Intensitas Matahari Terhadap Daya Keluaran Panel Surya. *Jurnal Pengabdian LPPM Untag Surabaya*, 2(1): 193-202.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/294893711.pdf>.

Zayed, M., Ahmed, A. M., & Shaban, M. (2019). ScienceDirect Synthesis and characterization of nanoporous ZnO and Pt / ZnO thin films for dye degradation and water splitting applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(33), 17630–17648.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.117>.