

**PEMBUATAN LAPISAN TIPIS ZnO DOPING SILVER DENGAN METODE
DIP COATING UNTUK APLIKASI *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana
Sains*



Oleh :
FARHAN EL MAULID
NIM. 17034070

PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021

PERSETUJUAN SKRIPSI

**PEMBUATAN LAPISAN TIPIS ZnO DOPING *SILVER*
DENGAN METODE *DIP COATING* UNTUK APLIKASI
*Dye Sensitized Sollar Cell (DSSC)***

Nama : Farhan El Maulid
NIM : 17034070
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

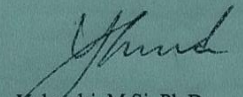
Padang, 8 November 2021

Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP. 196901201993032 002

Disetujui Oleh
Pembimbing



Yohandri, M.Si, Ph.D
197807252006041003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Farhan El Maulid
NIM : 17034070
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

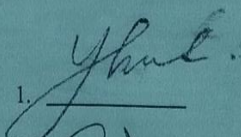
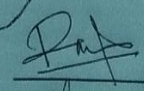
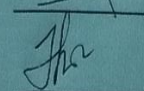
PEMBUATAN LAPISAN TIPIS ZnO DOPING SILVER DENGAN METODE *DIP COATING* UNTUK APLIKASI *Dye Sensitized Sollar Cell(DSSC)*

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan Di Depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 8 November 2021

Tim Penguji,

1. Ketua : Yohandri, M.Si, Ph.D
2. Anggota : Dr. Ramli, M.Si
3. Anggota : Hary Sanjaya, S.Si, M.Si

1. 
2. 
3. 

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulissaya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Pembuatan Lapisan Tipis ZnO Doping Silver dengan Metode *Dip Coating* untuk Aplikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)” adalah asli karya sendiri;
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing;
3. Didalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan dalam perpustakaan;
4. Pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan didalam pernyataan ini, saya menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, 8 November 2021

Saya yang menyatakan



Farhan El Maulid

NIM: 17034070

Pembuatan Lapisan Tipis ZnO Doping Silver Dengan Metode Dip Coating Untuk Aplikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Farhan El Maulid

ABSTRAK

Ketersediaan energi fosil semakin hari semakin menurun. Sehingga, diperlukan solusi Energi Baru Terbarukan (EBT). Salah satu energi terbarukan yaitu DSSC. DSSC merupakan sel surya berbasis fotoelektrokimia yang memiliki biaya lebih murah, penyusunan tidak sulit, dan ramah lingkungan. DSSC terdiri dari elektroda kerja, *dye*, elektrolit, dan elektroda *counter*. Salah satu peningkatan performa DSSC yaitu metode pelapisan elektroda. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh variasi jumlah pencelupan lapisan tipis ZnO/Ag 9% dengan metode *dip coating* serta pengaruhnya terhadap efisiensi DSSC.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Dalam penelitian ini, semikonduktor elektroda kerja dibuat berdasarkan sintesis ZnO/Ag 9% dengan melalui proses *sol-gel*. Elektroda kerja dideposisi dengan metode *dip coating* dengan variasi pencelupan 1 kali, 3 kali dan 5 kali. *Dye* terbuat dari ekstrak zat antosianin, elektroda *counter* dari karbon, dan elektrolit (KI₂, I₂, PEG, dan *asetonitril*). Pada lapisan tipis ZnO/Ag 9% dilakukan pengujian FPP dan dikarakterisasi dengan XRD, Spektrofotometer UV-DR, dan SEM.

Berdasarkan hasil pengujian FPP, nilai resistivitas lapisan tipis ZnO/Ag 9% dengan variasi pencelupan menunjukkan nilai optimum 0,00016786 Ωm pada pencelupan 1 kali. Hasil uji XRD ZnO/Ag 9% menunjukkan struktur kristal *wurtzite hexagonal*. Pada pengujian spektrofotometer UV-DR, ZnO/Ag 9% memiliki *band gap* 3,00 eV dan hasil ini menunjukkan penurunan. Akan tetapi, saat dilapiskan pada substrat ITO dengan variasi pencelupan 1 kali, 3 kali dan 5 kali didapatkan *band gap* secara berurutan 3.09 eV, 3.10 eV dan 3.12 eV. Pada pengujian SEM dengan variasi pencelupan didapatkan ketebalan secara berturut-turut 3.15 μm , 5.40 μm dan 6.63 μm . Berdasarkan hasil yang diperoleh, semakin banyak jumlah pencelupan lapisan tipis maka resistivitas, *band gap*, dan ketebalan semakin meningkat. Berdasarkan data, lapisan tipis untuk aplikasi DSSC sebagai elektroda kerja semakin banyak jumlah pencelupan maka efisiensi akan semakin menurun.

Kata kunci : *Sol-gel*, lapisan tipis, *dip coating*, DSSC

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat limpahan Rahmat dan Karunia-nya sehingga penulis dapat menyusun skripsi ini dengan judul “Pembuatan Lapisan Tipis ZnO Doping *Silver* Dengan Metode *Dip Coating* Untuk Aplikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, arahan, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak, baik secara moril ataupun secara materil. Oleh sebab itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Yohandri, M.Si., Ph.D selaku pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu, memberikan arahan, bimbingan, dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ramli, M.Si., selaku Penguji I yang telah banyak memberikan masukan dan motivasi kepada penulis.
3. Bapak Harry Sanjaya, S.Si., M.Si., selaku Penguji II yang telah banyak memberikan masukan dan motivasi kepada penulis.
4. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika.
5. Ibu Syafriani, M.Si., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Fisika FMIPA UNP.
6. Seluruh pengajar dan staff Jurusan Fisika yang telah membekali penulis dengan berbagai ilmu dan pengetahuan serta motivasi selama masa perkuliahan.

7. Seluruh staff administrasi dan laboran Jurusan Fisika yang telah membekali penulis dengan berbagai ilmu dan pengetahuan selama masa perkuliahan.
8. Kedua orang tua dan semua anggota keluarga atas pengertian yang besar, motivasi serta doa yang tulus diberikan kepada penulis selama proses penelitian.
9. Rekan-rekan satu tim penelitian atas kerjasama, bantuan, motivasi, dan semangatnya dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Rekan-rekan mahasiswa jurusan Fisika FMIPA UNP khususnya angkatan 2017 yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis untuk mewujudkan dan menyelesaikan studi yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Untuk itu diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca semua.

Padang, 8 November 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan masalah.....	5
C. Batasan masalah	6
D. Tujuan penelitian	6
E. Manfaat penelitian.....	6
BAB II KAJIAN TEORI.....	7
A. <i>Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)</i>	7
B. <i>Sol gel dan Zinc Okside (ZnO) doping silver (Ag)</i>	11
C. Lapisan tipis	15
D. <i>Dip Coating</i>	16
E. <i>Scanning Electrone Microscope (SEM)</i>	17
F. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	19
G. <i>Four Point Probe (FPP)</i>	20
H. Spektrofotometer UV-DR	23
I. Penelitian relevan	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
A. Jenis penelitian	27
B. Waktu dan tempat penelitian.....	27
C. Data dan variabel penelitian.....	27
D. Pelaksanaan penelitian	28
E. Alat karakterisasi penelitian.....	32
F. Alat dan bahan penelitian.....	33
G. Teknik pengumpulan data	34
H. Teknik analisis data.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
A. Hasil Penelitian	36

B. Pembahasan.....	43
BAB V PENUTUP.....	46
A. Kesimpulan	46
B. Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. DSSC (Lanjewar, 2016).....	7
2. Bentuk kisi dari tipe ZnO (Morokoc dan Özgür, 2009).....	12
3. Teknik <i>dip coating</i> (Kuriah, 2018)	17
4. Berkas elektron mengenai permukaan (Abdullah, 2009).....	18
5. Gelombang datang dan pantul (Sutanto, 2012).....	19
6. Skema <i>probe</i> FPP (Murti, 2017)	21
7. FPP (Toifur, 2014)	21
8. Diagram prosedur penelitian	28
9. Prosedur pembuatan lapisan tipis untuk DSSC.....	29
10 . Pola XRD ZnO/Ag 9%.....	37
11. Kurva <i>band gap</i> lapis tipis ZnO/Ag 9% : (a) 1 kali pencelupan, (b) 3 kali pencelupan, dan (c) 5 kali pencelupan.	38
12. Ketebalan lapisan tipis ZnO/Ag : (a) 1× pencelupan,	39
13. Grafik hubungan ketebalan dengan resistansi.....	40
14. Grafik hubungan resistivitas dengan ketebalan.....	42
15. DSSC dengan variasi elektroda kerja variasi pencelupan.....	42

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Parameter pada proses <i>sol-gel</i>	11
2. Sifat fisik ZnO.....	13
3. Tegangan dan arus keluaran pada variasi jumlah pencelupan	36
4. Ukuran kristal ZnO/Ag 9% pada pengujian XRD	40
5. <i>Band gap</i> variasi pencelupan pada lapisan tipis.....	41
6. Ketebalan lapisan tipis	41
7. Tegangan pengujian DSSC variasi pencelupan pada pembuatan	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. XRD	50
2. Spektrofotometer UV-DR	35
3. SEM	64
4. Dokumentasi	65

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi dapat diperbarui secara berulang tanpa ada batasan bahan bakar disebut dengan energi terbarukan. Energi terbarukan diharapkan dapat menggantikan energi fosil atau konvensional. Dalam meningkatkan energi terbarukan, pemerintah Indonesia mendukung dan mengeluarkan Peraturan Pemerintah (PP) No.79 Tahun 2014 yang berisi tentang kebijakan energi nasional. Pada peraturan tersebut pemerintah menargetkan pada tahun 2025 ketergantungan terhadap sumber energi fosil diperkirakan berkurang sekitar 31% (Setyono, 2019). Pembangkit listrik alternatif yang sudah ada di Indonesia diantaranya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTB) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Beberapa energi terbarukan menggunakan tenaga biomassa yang memanfaatkan bahan-bahan yang berasal dari limbah seperti limbah makhluk hidup, sampah anorganik dan organik. Sampah anorganik dikonversi menjadi energi listrik melalui *insinerasi*. Organik dapat dikonversi dengan *insinerasi* maupun *methanisasi* (Setyono, 2019). Selain itu, PLTU memanfaatkan uap air untuk fluida kerja yang juga termasuk dari energi terbarukan. Keuntungan menggunakan PLTU dapat digunakan dengan skala besar dengan menggunakan bahan bakar berbentuk padat dan cair. PLTU yang menggunakan bahan bakar berbentuk padat yang mengandung kalori dan menghasilkan uap dengan melalui proses di boiler (Hamzah, 2019).

Selanjutnya, PLTS memanfaatkan sumber energi cahaya matahari. PLTS terbagi menjadi dua bagian yaitu sistem berdiri sendiri (*stand alone*) dan sistem terkoneksi (*utility grid*) dengan jaringan pengguna (Efendi, 2012). *Stand alone* hanya menerima energi radiasi matahari dengan mensuplai tegangan AC atau DC. Akan tetapi, *utility grid* pada saat kelebihan energi listrik akan ditampung oleh jaringan pengguna (Efendi, 2012). Sel surya memiliki beberapa generasi secara berturut-turut yaitu PLTS berbahan silikon dengan *wafer silikon*, sel surya berbasis lapisan tipis, dan DSSC. Salah satu generasi sel surya yang menarik untuk dikembangkan yaitu *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

DSSC adalah sel surya yang menggunakan prinsip kerja fotoelektrokimia. DSSC ditemukan pada tahun 1991 oleh Michael Gratzel. DSSC menggunakan bahan yang mudah ditemukan salah satunya zat pewarna dari ekstrak tumbuhan (Hardani, 2019). DSSC yang telah dikembangkan masih memiliki efisiensi lebih rendah dari efisiensi sel surya generasi pertama (Hardeli, 2013). Adapun faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi seperti jenis substrat, semikonduktor, *sensitizer*, elektrolit, dan elektroda lawan. Salah satu faktor yang mempengaruhi yaitu semikonduktor (Harianto, 2018). Semikonduktor yang sering digunakan dalam aplikasi DSSC yaitu TiO_2 . Namun, semikonduktor yang dapat menggantikan TiO_2 yaitu ZnO . ZnO memiliki *band gap* 3,37 eV serta memiliki energi ikat 60 MeV sehingga dapat mengikat energi lebih banyak. ZnO memiliki nilai resistivitas dengan rentang $10^{-4} - 10^{12} \Omega\text{cm}$ (Havani, 2019). Pada sinar cahaya tampak (400-800 nm) ZnO akan lebih mudah tereksitasi dan ZnO akan lebih konduktif (Sutanto, 2015). Akan tetapi, apabila diberi doping pada ZnO dapat merubah sifat fisik optik maupun daya hantar listrik yang akan menjadi

lebih baik. Salah satu material doping agar performa ZnO lebih baik adalah *Silver* (Ag). Ag tergolong dalam logam transisi yang sangat baik digunakan pada radiasi matahari. Sehingga jumlah elektron akan meningkat dan tidak terjadi *recombine* antara *electron-hole* sehingga aktivitas fotokatalitiknya meningkat (Anggita, 2020). *Silver* sangat baik digunakan untuk material doping ZnO karena Ag dapat mengurangi *band gap* pada ZnO, mengurangi terjadinya rekombinasi dan dapat meningkatkan fotokatalitik (Thongsuriwong, 2012).

Akan tetapi, ada faktor lain yang dapat mempengaruhi efisiensi DSSC yaitu metode pelapisan elektroda kerja lapisan tipis sebagai fabrikasi DSSC. Struktur morfologi yang tidak merata dan terdapat retak maupun batas butir pada lapisan tipis maka elektron tersebut bekerja tidak maksimal. *Grain boundary* (batas butir) berpengaruh terhadap proses difusi elektron untuk berpindah tempat pada elektroda. Sehingga elektroda tidak bekerja secara maksimal dan elektron yang sampai pada elektroda hanya sedikit (Pang, 2006). Pembuatan lapisan tipis bertujuan untuk memiliki permukaan yang homogen dan merata dengan meminimalkan ketidak meratanya pada suatu lapisan. Maka dari itu, metode yang telah dikembangkan masih belum memiliki struktur yang merata dan belum homogen (Zhao, 2008).

Pada penelitian DSSC sudah dikembangkan beberapa penelitian terdahulu. Pada tahun 2016, Lanjewar telah melakukan penelitian peningkatan kinerja DSSC dengan *sol gel*. Semikonduktor ZnO didoping perak (Ag) dan ZnO murni dengan metode *spin coating* dengan menunjukkan efisiensi 2.02%. Pada penelitian tersebut terdapat gumpalan dilihat dengan SEM sehingga penelitian Lawenjar masih belum memiliki struktur yang halus dan merata. Untuk katalis menggunakan

platina yang memiliki harga lebih mahal. Dilanjutkan pada tahun 2017, Aprilia membuat lapisan tipis untuk DSSC menggunakan ZnO yang didoping *aluminium* dengan metode *self assembly* dan menghasilkan efisiensi 0,68%. Pada penelitian Aprilia memiliki efisiensi yang rendah. Selain itu ZnO doping Al terjadi *self attraction* sehingga *nanorod* tidak teratur. *Nanorod* yang tidak teratur tidak cocok untuk DSSC maka perlunya penelitian lanjut (Aprilia, 2017).

Pada tahun 2018, Yayah Kuriah membuat lapisan tipis menggunakan ZnO tanpa doping dengan metode *dip coating* dengan variasi pencelupan sebanyak dua dan empat kali. Pada penelitian tersebut menggunakan susbtrat *Indium Tin Oxide* (ITO). Sehingga menunjukkan hasil pengujian XRD dengan variasi pencelupan bersifat *amorf*. Selanjutnya penelitian tahun 2019, Motlan membuat lapisan tipis untuk DSSC menggunakan lapisan tipis ZnO tanpa didoping. Zat warna yang digunakan dari pewarna bunga kembang sepatu. Pada penelitian Motlan memiliki *band gap* 3,14 eV dan memiliki efisiensi 0,2427%. Pada penelitian tersebut menggunakan teknik *spin coating* dengan memvariasikan kecepatan putar sampai 1200 rpm. Pada penelitian ini masih menunjukkan nilai efisiensi rendah dan bentuk struktur yang belum merata. Pada tahun 2020, Anla membuat lapisan tipis ZnO doping *aluminium* dengan metode *Liquid Phase Deposition* (LPD) dan menghasilkan efisiensi tertinggi 1,51%. Pada penelitian yang telah dikembangkan masih memiliki efisiensi rendah.

Pada penelitian tersebut dapat dilakukan pengembangan metode pembuatan lapisan tipis. Pada penelitian ini pembuatan lapisan tipis untuk DSSC menggunakan metode *dip coating*. Metode *dip coating* merupakan teknik pelapisan lapisan tipis dengan mencelupkan substrat kedalam wadah yang berisi

larutan. Substrat diturunkan pada kecepatan yang ditentukan kemudian dicelupkan dan ditarik secara vertikal (Yohandri, 2019). Keunggulan dari metode ini berbiaya murah, memiliki tingkat ketelitian yang tinggi dan tidak merusak lingkungan (Mukhsinin, 2019). Larutan akan menempel pada substrat dengan sempurna ketika ditarik ke atas secara vertikal saat kecepatan konstan. Larutan akan turun kebawah yang diakibatkan gaya gravitasi bumi (Sanjaya, 2013). Pada saat penarikan dapat mempengaruhi ketebalan lapisan yang menempel pada substrat (Kuriah, 2018). Karena adanya pengaruh gaya gravitasi bumi ketika saat penarikan secara vertikal akan lebih mudah dalam pembuatan lapisan tipis yang lebih merata dan homogen pada substrat. Saat melakukan penarikan substrat, larutan yang terdeposisi akan mengalami penguapan. Larutan yang menempel pada substrat sebagian menguap dan sebagian lagi akan terendap (Mardhiyah, 2020).

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan, peneliti telah melakukan penelitian dengan judul **“Pembuatan Lapisan Tipis ZnO Doping Silver Dengan Metode Dip Coating Untuk Aplikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)”**. Penelitian ini menyelidiki pengaruh variasi jumlah pencelupan lapisan tipis ZnO doping Ag terhadap resistivitas dan *band gap* dari jumlah pencelupan dan pengaruhnya pada efisiensi DSSC.

B. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang penulis dapat merumuskan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh variasi jumlah pencelupan 1 kali, 3 kali dan 5 kali dengan metode *dip coating* terhadap resistivitas dan *band gap* lapisan tipis ZnO doping Ag serta pengaruhnya pada efisiensi DSSC ?

C. Batasan masalah

- a. Jumlah pencelupan sebanyak 1 kali, 3 kali, dan 5 kali pada substrat untuk aplikasi DSSC.
- b. Pemberian doping 9% pada *sol* ZnO.

D. Tujuan penelitian

- a. Menyelidiki pengaruh dari variasi jumlah pencelupan substrat terhadap resistivitas dan *band gap* lapisan tipis ZnO doping Ag dengan metode *dip coating* untuk aplikasi DSSC.
- b. Menyelidiki pengaruh variasi pencelupan substrat dengan metode *dip coating* terhadap efisiensi dari DSSC.

E. Manfaat penelitian

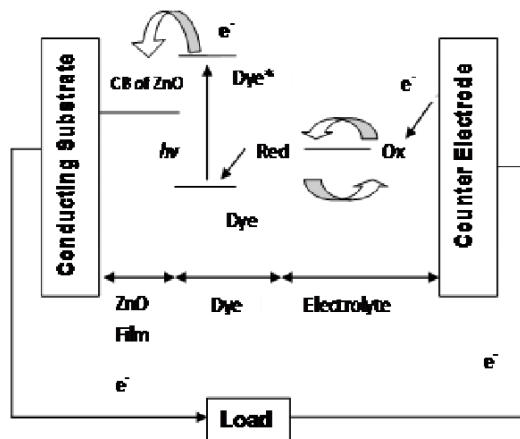
- a. Penelitian ini digunakan untuk studi pengaruh jumlah variasi celup 1 kali, 3 kali dan 5 kali terhadap resistivitas dan *band gap* lapisan tipis dengan metode *dip coating* untuk aplikasi DSSC.
- b. Penelitian ini dapat digunakan sebagai solusi dari peningkatan performa DSSC sebagai energi terbarukan.
- c. Penelitian ini dapat digunakan sebagai penelitian lanjut untuk penelitian kedepannya.

BAB II KAJIAN TEORI

A. *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*

Sel surya ramah lingkungan, berbiaya murah, dan berbasis fotoelektrokimia disebut dengan DSSC. DSSC pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel pada tahun 1991 dengan divais fotovoltaiik. DSSC merupakan sel surya generasi ke tiga dari beberapa tipe sel surya yang telah ada sebelumnya. DSSC memiliki berbahan murah, pemasangan tidak rumit, dan ramah lingkungan. Sumber energi DSSC memanfaatkan cahaya matahari yang memiliki energi foton sebagai reaksi kimia atau fotokatalisis (Sutanto, 2015:3).

Untuk meningkatkan efisiensi DSSC beberapa penelitian telah melakukan beberapa cara pengembangan. Komponen DSSC menggunakan fabrikasi lapisan tipis dengan tujuan pemasangan lebih mudah, hemat biaya dan ramah lingkungan. Terlihat pada Gambar 1 prinsip kerja DSSC dengan menggunakan susunan lapisan substrat, lapisan oksida, larutan *dye*, elektrolit dan katalis.



Gambar 1. DSSC (Lanjewar, 2016)

Pada Gambar 1 susunan setiap lapisan sangat berpengaruh terhadap kerja DSSC. Maka dari itu dapat di jelaskan prinsip kerja DSSC dan susunan dari setiap lapisan beserta fungsinya sebagai berikut :

1. Prinsip kerja DSSC

Pada DSSC memiliki prinsip kerja yang sederhana dengan mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Adapun prinsip dari kerja DSSC secara sederhana sebagai berikut:

- a. Apabila cahaya matahari atau foton mengenai permukaan substrat, foton akan diteruskan ke *dye* yang akan menyerap cahaya matahari.
- b. Setelah diserap oleh *dye*, elektron tereksitasi ke pita konduksi yaitu pada lapisan ZnO. Molekul pada *dye* akan teroksidasi sehingga *hole* terbentuk. Pada larutan elektrolit *Iodine* akan mentransfer elektron untuk mengisi *hole* pada *dye*.
- c. Elektron yang tereksitasi pada lapisan ZnO akan ditransfer ke elektroda lawan dengan rangkain luar. Elektroda lawan salah satunya dapat dilapisi dengan *platinum* atau karbon yang berfungsi sebagai katalis pada reaksi tersebut.
- d. Selanjutnya pada larutan elektrolit *Triiodide* akan menerima elektron dari elektroda lawan yang telah diberi katalis. Sehingga siklus tersebut akan berulang saat disinari oleh cahaya matahari.

2. Susunan lapisan DSSC

Pada DSSC memiliki susunan yang tidak terlalu rumit dari sel surya generasi sebelumnya. Secara ringkas susunan pada DSSC dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Substrat elektroda kerja

Elektroda kerja merupakan suatu lapisan kaca konduktif terletak paling atas. Kaca ini lebih transparan yang bertindak sebagai katoda untuk mengalirkan elektron. Ketika foton mengenai substrat akan diteruskan ke zat pewarna. Kaca konduktif yang dapat digunakan diantaranya kaca FTO, ITO, dan AZO.

b. Lapisan nanokristal logam oksida

Lapisan oksida merupakan lapisan yang dibuat menggunakan metode *sol gel* yang akan dilapiskan ke elektroda kerja. Fungsi dari lapisan oksida merupakan sebagai semikonduktor untuk menerima elektron dari *dye* yang tereksitasi.

c. Lapisan *dye*

Lapisan *dye* atau pewarna berfungsi sebagai penyerap foton energi matahari. Zat pewarna dapat menggunakan bahan alami dari ekstrak tumbuh-tumbuhan seperti ekstrak ubi ungu, kembang sepatu, kulit jengkol, *raspberry*, dan ekstrak tumbuh-tumbuhan lainnya.

d. Larutan elektrolit

Larutan elektrolit digunakan untuk menggantikan elektron yang hilang setelah tereksitasi. Larutan elektrolit dapat menggunakan *Kalium Iodida* (KI) dan *Iodine* (I_2). Larutan elektrolit sangat berpengaruh dalam rangkaian DSSC yang dapat digunakan sebagai injeksi dari rangkai tersebut.

e. Elektroda *counter*

Elektroda *counter* merupakan anoda pada rangkaian DSSC. Elektroda *counter* berfungsi sebagai katalis pada rangkaian DSSC. Elektroda menggunakan beberapa bahan material seperti *platinum*, *graphen*, dan karbon.

Pada pembuatan DSSC dengan lapisan tipis dapat menggunakan beberapa metode seperti *Sputtering*, *Chemical Solution Deposition (CSD)*, dan *Pulsed Laser Deposition (PLD)*. Akan tetapi, metode tersebut tergolong mahal. Adapun metode sederhana pembuatan lapisan tipis yaitu *doctor balde*, *spin coating*, *screen coating*, *spray coating* dan *dip coating* (Sutanto, 2012). Metode pelapisan juga berpengaruh terhadap efisiensi DSSC. Untuk mengukur performa dari kinerja dari DSSC dengan menghitung nilai efisiensi menggunakan Persamaan (2). Pada Persamaan (1) merupakan pengukuran kuantitatif dari suatu kualitas dari DSSC yang merupakan *Fill Faktor (FF)* (Surono, 2014).

$$FF = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (1)$$

$$\eta (\%) = \left[\frac{V_{oc} \times I_{sc}}{P_{in}} \right] \times FF\% \quad (2)$$

Dimana V_{max} merupakan tegangan maksimal DSSC (V), I_{max} arus listrik yang terukur (mA), η efisiensi dari DSSC, nilai *Fill Faktor (FF)* berdasarkan dengan literatur (Muharam, 2018) I_{sc} tegangan singkat, V_{oc} tegangan rangkain terbuka dan P_{in} daya pada sumber cahaya yang digunakan. Pada daya input dengan sumber cahaya matahari di wilayah Indonesia barat memiliki daya sebesar 450 mW/cm² (Prasatya, 2013).

B. *Sol gel dan Zinc Okside (ZnO) doping silver (Ag)*

Pada pelapisan substrat dari sintesis dapat menggunakan metode *sol gel* sebagaimana digunakan dalam penelitian yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Sol-gel*

Pembentukan senyawa organik pada suhu tingkat rendah dengan mengalami perubahan dari fasa koloid (*sol*) menjadi cair (*gel*) disebut dengan *sol-gel*. Ada beberapa yang dapat mempengaruhi *sol-gel* antara lain katalis, jenis pelarut, dan konsentrasi (Muslim, 2017). Metode *sol gel* menggunakan prinsip viskositas. Viskositas dapat mempengaruhi menempelnya suatu zat kimia pada substrat. Metode *sol gel* memiliki kelebihan seperti dapat bereaksi pada suhu rendah, proses mudah, homogen, kemurnian yang baik, dan dapat digunakan berbagai aplikasi (Eddy, 2016: 83). Pada *sol gel* melalui proses *hidrolisis*, *kondensasi*, *ageing* dan *drying* yang digunakan untuk meningkatkan viskositas dari material tersebut (Liza, 2018). Adapun parameter-parameter yang digunakan dalam pembuatan *sol gel* seperti pada Tabel 1.

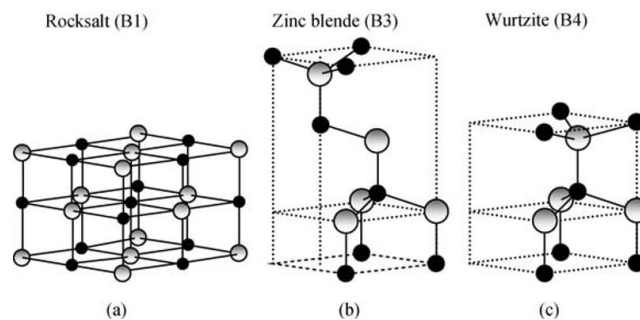
Tabel 1. Parameter pada proses *sol-gel* (Widodo, 2010)

Tahapan proses	Tujuan proses	Parameter proses
Larutan Kimia	Pembentukan <i>gel</i>	Pelarut, Temperatur, <i>precursor</i> dan konsentrasi <i>precursor</i>
<i>Aging</i>	Perubahan gel merubah sifat dengan didiamkan	Lingkungan, temperatur, dan waktu
<i>Drying</i> (Pengeringan)	Untuk menghilangkan air pada <i>gel</i>	Metode yang digunakan saat pengeringan, temperatur dan waktu
Kalsinasi	Untuk mengubah sifat fisika maupun kimia dalam padatan dengan densifikasi dan kristalisasi	Waktu dan tempertur

2. Zinc Okside (ZnO)

ZnO merupakan suatu material semikonduktor tipe n dengan golongan II-VI dengan memiliki *band gap* 3,37 eV. ZnO sesuai dengan panjang gelombang pendek pada optoelektrik dengan efisiensi energi ikat 60 MeV.

ZnO memiliki nilai panjang gelombang eksitasi pada cahaya tampak 400-800 nm (Wang, 2004). ZnO sangat mudah bereaksi dengan senyawa kimia lain. ZnO merupakan senyawa anorganik dengan memiliki ikatan kimia lebih dominan ikatan ion dari pada ikatan kovalen. Kelarutan yang dimiliki ZnO $1,6 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$ dengan kelarutan rendah pada air dan akan terurai pada suhu 1975°C (Sutanto, 2015). Material ZnO ramah lingkungan yang dapat diaplikasikan pada sel surya, optoelektronik, sensor, transduser, dan fotokatalis (Wang, 2004). Pada Gambar 2 ZnO memiliki beberapa tipe seperti *Wurtzite*, *Zinc blende* dan *Rocksalt* dilihat dari segi struktur kristal.



Gambar 2. Bentuk kisi dari tipe ZnO (Morokoc dan Özgür, 2009)

Wurite memiliki tekanan yang lebih normal, *zink blende* dapat dibentuk pada substrat yang berbentuk kubik dan *rocksalt* hanya bisa dibentuk pada suhu tinggi (Morokoc, 2009). Pada penelitian DSSC umumnya menggunakan ZnO dengan tipe *wuritze* karena memiliki kestabilan yang tinggi. Pada Gambar 2 tipe ZnO memiliki ciri khas yang berbeda yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Wurtzite* yang terbentuk pada kondisi normal, termal yang stabil dan memiliki sel satuan *hexagonal*.
- b. *Zinc blande* terbentuk dari substrat kubik dengan bilangan koordinasi pada struktur adalah empat. Struktur yang dimodel pada tipe *zinc blande* ini berpusat pada permukaan dibentuk oleh anion dan kation dengan saling bergantian (Callister, 2007).
- c. *Rocksalt* terbentuk dari tekanan tinggi dimana struktur *rocksalt* memiliki enam koordinasi untuk anion dan kation. Struktur pada *rocksalt* di modelkan pada susunan anion dengan berpusat permukaan satu kation terletak pada pusat kubus (Sutanto, 2015).

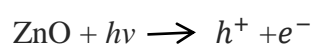
ZnO memiliki keunggulan sifat fisik yang dari zat lainnya serta ZnO memiliki fotokatalis yang lebih tinggi. ZnO yang berbentuk bubuk akan melebur pada suhu 1975°C. Selain itu, terlihat karakteristik ZnO memiliki nilai ikat eksitasi 60 MeV yang meningkatkan kesifatan optik yang lebih baik seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisik ZnO (Sutanto, 2015)

Sifat	Nilai
Struktur kristal	<i>Wurtzite</i> (stabil 300 K) <i>Zinc blande</i> <i>Rocksalt</i>
Parameter kisi	0,32495 nm
C_0	0,52069 nm
C_0/a_0	1,60
Kerapatan	5,606 g/cm ³
Titik lebur	1975°C
Konduktivitas termal	0,6. 1-1,2
Koefisien linear ekspansi (/°C)	$a_0 = 6,5 \cdot 10^{-6}$ $c_0 = 3,0 \cdot 10^{-6}$
Konstanta dielektrik relatif	8,656
Indeks bias	2,008. 2,029

<i>Band gap</i>	3,3 eV , direct
Kosentrasi pembawa intrinsik (per cm^3)	$10^{16} - 10^{20}$
Energi ikat eksitasi	60 meV
Massa efektif elektorn	0,24
Mobilitas elektron (T=300 K)	$200 cm^2/Vs$
Massa efektif <i>hole</i>	0,59
Mobilitas hole (T=300K)	$5-50 cm^2/Vs$
<i>Typical impurites</i>	H, Al, In, Ga
<i>Typical defect</i>	<i>zinc interstitial, oxygen vacancies, zinc vancacies , complexes</i>

Material ZnO merupakan bahan yang ramah lingkungan, transparansi yang baik, mobilitas elektron tinggi dan memiliki kestabilan kimiawi yang lebih baik. ZnO lebih baik dari material TiO₂ di karenakan luas permukaan ZnO lebih luas dan lebih banyak molekul yang ditargetkan dan terabsorpsi untuk meningkatkan kualitas dari aplikasi ZnO (Sutanto, 2015). Oleh sebab itu, *band gap* pada ZnO sedikit besar maka cahaya matahari (foton) yang datang akan lebih banyak diserap. ZnO transparan terhadap sinar tampak yang memiliki panjang gelombang 400-700 nm. Ketika absropsi sinar ultraviolet <400 nm maka elektron akan berpindah dari pita valensi kepita konduksi dengan reaksi kimia sebagai berikut:



Pasangan h^+ dan e^- akan berekombinasi kembali dan ada yang mempertahankan sampai mencapai permukaan partikel. Beberapa tipe ZnO yang lebih utama digunakan serta lebih stabil pada suhu kamar dan tekanan yaitu *wurzite hexagonal*. *Wurzite* memiliki dua sub kisi Zn^{2+} dan O^{2-} yang akan bergantian membentuk bidang dasar. Konstanta kisi *hexagonal* ZnO pada α memiliki nilai $3,25\text{\AA}$ dan c sebesar $5,2\text{\AA}$. Rasio dari c/α 1,6 sehingga nilai ini cocok dan mendekati dengan nilai *hexagonal* 1,633 (Sutanto, 2015). Maka dari itu, ZnO memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut :

- a. Akan bereaksi dengan *hydrogen sulphide* untuk menghasilkan *sulphide*.
 - b. Melebur menjadi oksigen dan uap *zink* pada suhu 1975°C .
 - c. Tingkat kelarutan ZnO tidak larut dalam air, larut dalam *isopropanol* dan lebih terurai pada kebanyakan jenis asam.
 - d. Apabila bereaksi dengan bubuk *aluminium* dan *magnesium* ketika dipanaskan akan terjadi ledakan (Sutanto, 2015).
3. *Zinc Okside (ZnO)* doping *silver (Ag)*

Pada proses menambahkan zat kimia lain pada zat utama yang digunakan disebut dengan doping. Ag memiliki nomor atom 47 yang dikonfigurasi akan cenderung melepaskan elektron. Untuk meningkatkan kualitas dari DSSC dari material ZnO perlu dilakukan pendopingan dengan tujuan meningkatkan sifat optis serta memiliki *band gap* yang baik. Salah satu upaya untuk meningkatkan konduksi dari ZnO dengan mendoping *silver*. Karena Ag bersifat konduktor dan memiliki fotokatalis yang baik. Pembuatan lapisan tipis ZnO yang didoping Ag dengan memvariasikan persentase Ag yang akan diberikan pada *sol* ZnO bertujuan untuk membuktikan sifat optis ketika memvariasikan persen Ag (Sutanto, 2015). Saat semikonduktor ZnO menghasilkan pita valensi dengan Ag akan bertindak sebagai fotokatalis yang baik. Oleh sebab itu, fotokatalis akan meningkat dan dapat menghambat *recombine* elektron *hole* (Amornpitoksuk, 2012).

C. Lapisan Tipis

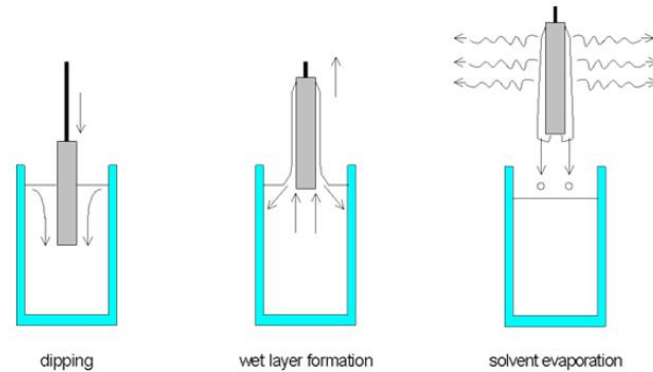
Suatu material yang memiliki ukuran nanometer atau maksimal dengan ukuran $10\ \mu\text{m}$ digunakan melapisi substrat dengan proses ion, molekul dan atom disebut dengan lapisan tipis (Sutanto, 2012). Maka dari itu untuk membuat lapisan

tipis diperlukan proses deposisi agar mendapatkan lapisan tipis yang berkualitas. Teknik deposisi lapisan tipis terbagi dua macam yaitu teknik deposisi secara fisika dan teknik deposisi secara kimia. Adapun teknik secara fisika terdiri dari *Sputtering* dan *Pulsed Laser Deposition* (PLD). Selanjutnya teknik deposisi lapisan tipis secara kimia yaitu *Chemical Vapour Deposition* (CVD), *Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition* (PEVCD) dan *Chemical Solution Deposition* (CSD) (Sutanto, 2012). Teknik yang sering digunakan teknik pelapisan lapisan tipis diantaranya dengan *spray coating*, *doctor blade*, dan *spin coating* (Sutanto, 2012). Pembuatan lapisan tipis untuk meningkatkan kinerja DSSC sebagai elektroda. Penelitian yang telah dikembangkan menggunakan semikonduktor berbagai material seperti TiO_2 , ZnO , SnO_2 , Nb_2O_5 , dan BiVO_4 . Lapisan tipis memiliki ciri-ciri khusus seperti permukaan seragam, suhu yang stabil, daya antar molekul saling menguatkan, dan memiliki struktur kristal yang baik (Zhao, 2008).

D. Dip coating

Dip coating merupakan teknik pelapisan lapisan tipis dengan mencelupkan substrat kedalam larutan secara vertikal. Pada Gambar 3 larutan yang menempel pada kaca akan menempel dengan sempurna dan ditarik ke atas secara vertikal dengan kecepatan konstan. Sehingga larutan akan turun kebawah yang diakibatkan gaya gravitasi bumi (Kuriyah, 2018). Saat penarikan dapat mempengaruhi ketebalan larutan yang menempel pada substrat. Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan saat melakukan perendaman yaitu dengan memperhatikan kecepatan tarikan, suhu, waktu perendaman, jumlah pencelupan dan konsentrasi pada larutan (Puetz, 2004). Seperti Gambar 3 larutan pada substrat

sebagian larutan yang menempel juga dapat menguap dan sebahagian lagi akan mengendap (Mardhiyah, 2020).



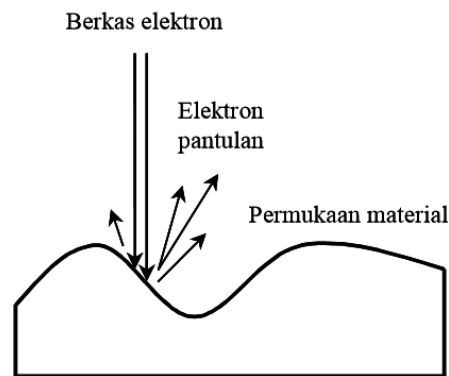
Gambar 3. Teknik *dip coating* (Kuriyah, 2018)

Saat melakukan penarikan substrat setelah dicelupkan diperlukan ketelitian lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena kecepatan dan ketepatan saat penarikan dapat mempengaruhi struktur lapisan tersebut. Saat proses pencelupan substrat harus stabil atau tidak ada gangguan lain seperti bergesernya saat dilakukan pencelupan atau saat penarikan dari larutan. Bila melakukan pencelupan dengan beberapa kali setiap pencelupan memiliki ketebalan lapisan yang berbeda (Yohandri, 2019). Larutan yang menempel pada substrat ketika akan ditarik larutan yang menempel pada substrat akan mengalir kebawah karena gaya gravitasi bumi. Sebagian larutan akan menguap dan terjadi reaksi kondensasi (Saputra, 2012).

E. Scanning Electrone Microscope (SEM)

Alat karakterisasi material berupa mikroskop elektron dengan memanfaatkan berkas elektron sehingga terlihat struktur permukaan material secara jelas disebut dengan SEM. Ketika permukaan material yang ditembakkan oleh berkas elektron dan berkas elektron tersebut akan memantul lagi. Sehingga menghasilkan elektron

sekunder yang menyebar ke semua arah dengan memiliki intensitas rendah dan intensitas tinggi (Abdullah, 2009). Ketika detektor SEM menerima intensitas yang tinggi akan menampilkan struktur dari permukaan substrat dengan gambaran daerah landai dan daerah kemiringan seperti Gambar 4.



Gambar 4. Berkas elektron mengenai permukaan (Abdullah, 2009)

Maka dari itu, untuk mendapatkan hasil yang lebih jelas dari struktur sampel yang dianalisa sampel yang di uji harus memiliki permukaan material memiliki sifat pemantulan yang baik. Sehingga dapat melepaskan elektron sekunder setelah dilakukan penembakan elektron pada permukaan. SEM menggunakan prinsip De Broglie seperti Persamaan (3). Jika semakin panjang gelombang yang digunakan maka akan semakin tinggi resolusi mikroskop. Sehingga akan kelihatan lebih jelas struktur material yang di tampilkan (Abdullah, 2009).

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (3)$$

Dimana λ merupakan panjang gelombang, h konstanta Planck dan p momentum elektron. Momentum elektron ditentukan dengan energi kinetik seperti Persamaan (4).

$$K = \frac{p^2}{2m} \quad (4)$$

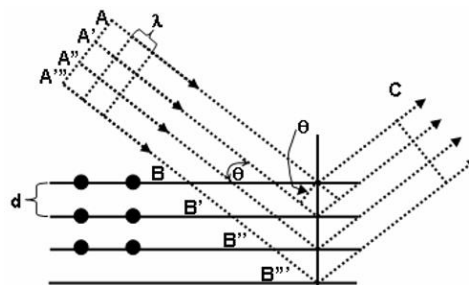
Pada prinsip SEM ketika elektron keluar dari filamen panas dipercepat pada potensial tinggi V . Maka dari itu percepatan elektron memiliki energi kinetik $K=eV$. Sehingga momentum elektron $p=\sqrt{2 m e V}$ dengan panjang gelombang De Broglie $\lambda = h/\sqrt{2 m e V}$ (Abdullah, 2009).

F. X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan alat karakterisasi material yang sering digunakan untuk menentukan bentuk dan ukuran dari struktur kristal pada suatu material. XRD menggunakan prinsip hukum Bragg's seperti Persamaan (5).

$$2 d \sin \Theta = n \lambda \quad (5)$$

Dimana d merupakan jarak antar kisi kristal, Θ sudut difraksi, n orde difraksi dan λ panjang gelombang yang dihasilkan oleh sinar X. Bunyi hukum Bragg's yaitu *"keadaan difraksi akan terjadi ketika terjadi perbedaan lintasan antara sinar datang dan sinar pantul yang berbeda dengan integer dari panjang gelombang"*. Pada Gambar 5 semua berkas sinar akan dipantulkan berbentuk fasa yang akan membentuk interferensi konstruktif. Berdasarkan hasil uji XRD dapat dilakukan memplot posisi angular dan intensitas dari resultan puncak-puncak berkas yang terdifraksi akan menghasilkan suatu pola (Sutanto, 2012).



Gambar 5. Gelombang datang dan pantul (Sutanto, 2012)

XRD digunakan untuk mendapatkan informasi seperti posisi puncak difraksi, intensitas relatif puncak digunakan untuk posisi atom, dan memberikan gambaran tentang ukuran kristalit (Munasir, 2012). Untuk menentukan kualitas dari suatu kristal material terlebih dahulu menentukan ukuran kristal dengan Persamaan (6) yang disebut dengan persamaan Scherer.

$$D = \frac{0,9\lambda}{B \cos \theta} \quad (6)$$

Dimana D merupakan ukuran kristal, λ panjang gelombang difraksi sinar-x (0,15406 nm), θ sudut difraksi *Bragg*, dan B nilai *FWHM* pada satuan radian.

G. Four Point Probe (FPP)

Resistansi merupakan suatu hambatan yang dapat mengurangi mengalirnya elektron. Resistansi berbanding lurus dengan tegangan akan tetapi bernading terbalik dengan arus yang mengalir. Untuk menentukan resistansi dapat menggunakan Persamaan (7)

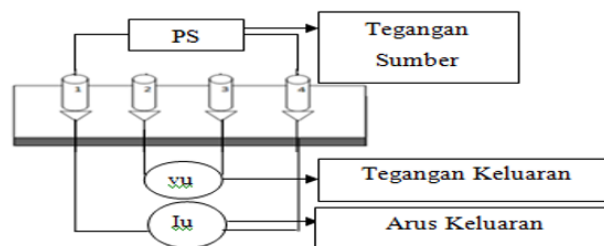
$$R = \frac{V}{I} \quad (7)$$

Dimana R merupakan resistansi (Ω), V tegangan (V), dan Arus (ampere). Resistivitas merupakan bahan yang dapat menghambat mengalirnya arus maupun tegangan. Resistivitas dapat menentukan kualitas bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik (Safitri, 2014). Untuk menentukan resistivitas suatu bahan dapat menggunakan Persamaan (8).

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (8)$$

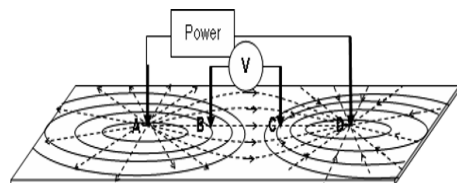
Dari persamaan (8) alat yang dapat digunakan dalam menentukan resistivitas suatu bahan yaitu FPP. FPP merupakan alat yang digunakan sebagai pengukuran resistivitas suatu bahan yang akan diuji (Raharja, 2019). FPP pertama kali

ditemukan untuk mengukur resistansi pada bumi yang dilakukan oleh Weibel pada tahun 1916. Mengikuti dengan perkembangan zaman perkembangan FPP semakin pesat. Sehingga dapat digunakan untuk mengukur resistivitas pada lapisan tipis (Safitri, 2014). Pada Gambar 6 FPP memiliki 4 *probe* (titik) ditempelkan di atas permukaan lapisan tipis dengan memiliki rentang jarak antar *probe* sama (Murti, 2017).



Gambar 6. Skema *probe* FPP (Murti, 2017)

Tegangan dialirkan pada *probe* kemudian diterima oleh lapisan tipis. Ketika lapisan tipis menerima tegangan, antara *probe* 1 dan 4 merupakan untuk mengukur arus keluaran. Pada *probe* 2 dan 3 digunakan untuk mengukur tegangan keluaran. Untuk pengukuran lapisan tipis mirip pada penelitian Toifur tahun 2014 seperti pada Gambar 7 dimana penelitian tersebut dilakukan pengukuran dengan jarak yang sama untuk setiap *probe*.



Gambar 7. FPP (Toifur, 2014)

Pada perumusan pada pengukuran 4 titik mirip dengan pengukuran 2 titik dimana arus yang mengalir pada lapisan membentuk lingkaran dan mengalir kesemua lapisan berdasarkan ketebalan seperti Persamaan (9)

$$A = 2\pi r t \quad (9)$$

Sehingga Persamaan (10) menjadi :

$$dV = -\rho I \frac{dr}{2\pi r t} \quad (10)$$

Pada pengukuran 4 titik seperti Gambar 8 *probe* A ke B yaitu X_{AB} sehingga *probe* A ke C yaitu X_{AC} . Sehingga dari Persamaan (10) garis integrasi X_{AB} menuju X_{AC} . Untuk beda potensial *probe* B dan C bersumber dari arus positif pada titik A sehingga didapatkan Persamaan (11).

$$V_{BC+} = -\rho I \int_{X_{AB}}^{X_{AC}} \frac{dr}{2\pi r t} = -\frac{\rho I}{2\pi r t} [\ln X_{AC} - \ln X_{AB}] \quad (11)$$

Untuk tegangan antara B dan C bersumber arus negatif pada titik D dengan memiliki jarak $\ln X_{BD}$ dan jarak C ke D \ln yaitu X_{CD}

$$V_{BC-} = -\rho(-I) \int_{X_{BD}}^{X_{CD}} \frac{dr}{2\pi r t} = \frac{\rho I}{2\pi r t} [\ln X_{CD} - \ln X_{BD}] \quad (12)$$

Sehingga dengan penjumlahan V_{BC+} dan V_{BC-} didapatkan beda potensial antara B dan C.

$$V_{BC} = V_{BC+} + V_{BC-} = -\frac{\rho I}{2\pi r t} \ln \left(\frac{X_{AC}}{X_{AB}} \times \frac{X_{BD}}{X_{CD}} \right) \quad (13)$$

Jarak antar *probe* sama maka jarak tersebut disimbolkan s . $X_{AB} = X_{CD} = s$ dan $X_{AC} = X_{BD} = 2s$ maka dari itu didapatkan Persamaan (14)

$$V_{BC} = -\frac{\rho I}{\pi t} \ln 2 \quad (14)$$

Sehingga didapatkan persamaan resistivitas seperti Persamaan (15)

$$\rho = \frac{V}{I} \frac{\pi t}{\ln 2} \text{ atau } \rho = \frac{V}{I} C t \quad (15)$$

Dimana ρ merupakan resistivitas bahan (Ωm), V beda potensial bahan (V), I arus listrik yang terukur (mA), dan t merupakan ketebalan lapisan tipis (ηm). Pada $\frac{\pi t}{\ln 2}$ merupakan faktor koreksi geomteri dengan ukuran persegi. Sehingga dapat ditentukan konduktivitas lapisan tipis dengan tergantung dari nilai resistivitas seperti Persamaan (16).

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (16)$$

Dimana σ merupakan nilai konduktivitas lapisan tipis dan ρ nilai resistivitas dari lapisan tipis. Pada lapisan tipis ketika memiliki nilai resistivitas lebih kecil maka tingkat konduktivitasnya lebih baik dan begitu sebaliknya.

H. Spektrofotometer UV-DR

Spektrofotometer UV-DR merupakan alat untuk menentukan *band gap* pada lapisan tipis. *Band gap* adalah celah energi yang terketak diantara pita konduksi dan pita valensi. Pada *band gap* sangat berpengaruh dalam kinerja *electron* dan *hole*. Semakin besar *band gap* maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk memindahkan elektron (Lestari, 2012). Untuk menentukan *band gap* salah satu rumusan yang dapat digunakan yaitu dengan rumusan *Kubelka-Munk*. Pengukuran dengan spektrofotometer berasal dari refleksikan dari sampel. Sehingga didapat refleksi yang terukur seperti Persamaan (17).

$$R(h\nu) = \frac{R(h\nu)(s\text{ampel})}{R(h\nu)(s\text{tandar})} \quad (17)$$

Sehingga rumusan tersebut dapat digunakan untuk mengetahui persamaan *Kubelka Munk* seperti Persamaan (18).

$$F(R(h\nu)) = \frac{(1-R(h\nu))^2}{2R(h\nu)} \quad (18)$$

Maka dari itu Persamaan (2) berhubungan dengan α koefesien absorbansi) dan s (koefesien hamburan reflaktansi difusi), sehingga $F(R(h\nu))$ adalah α/s seperti Persamaan (19).

$$F(R(h\nu)) = \frac{\alpha}{s} = \frac{(1-R(h\nu))^2}{2R(h\nu)} \quad (19)$$

Spektrum spektrofotometer UV-DR memiliki hubungan antara α/s dengan panjang gelombang atau absorbansi (A) dengan panjang gelombang (λ) seperti Persamaan (20) (Ting, 2000).

$$\alpha = A (E - E_g)^\gamma \quad (20)$$

A merupakan tetapan yang bergantung dengan sifat material, E energi foton, E_g celah pita energi dan γ jenis transisi. Sehingga Persamaan (20) menjadi Persamaan (21).

$$F(R(h\nu)) = \frac{A (E - E_g)^\gamma}{s} \quad (21)$$

Untuk transisi tidak langsung memiliki nilai γ yaitu 0,5 dengan Persamaan (22).

$$F(R(h\nu))^{0,5} = \left(\frac{A}{s}\right)^{0,5} (E - E_g) \quad (22)$$

Sedangkan untuk nilai $h\nu$ dapat ditentukan dengan Persamaan (23).

$$E_g = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (23)$$

Dimana E_g merupakan *band gap* (eV), h konstanta Plank ($6,624 \times 10^{-34}$ Js), c kecepatan cahaya (3×10^8 m/s) dan λ panjang gelombang (nm). Maka dari itu didapatkan Persamaan (24).

$$F(R(h\nu))^{0,5} = \left(\frac{A}{s}\right)^{0,5} (h\nu - E_g) \quad (24)$$

Untuk menentukan *band gap* dapat ditentukan dengan grafik hubungan antara $h\nu$ dengan $F(R(h\nu))^{1/2}$ dimana *band gap* merupakan nilai $h\nu$ pada saat $F(R(h\nu))^{1/2}$ sama dengan 0 dari persamaan linear kurva.

I. Penelitian relevan

Dalam melakukan penelitian perlunya tinjauan literatur. Literatur yang digunakan terdiri dari literatur utama dan literatur pendukung. Penelitian relevan sebagai pedoman dalam penelitian sebagaimana dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Penelitian tahun 2016 oleh Mangesh Lanjewar dan Jignasa V. Gobel

Pada penelitian Lanjewar tahun 2016, melakukan penelitian tentang peningkatan kinerja DSSC ZnO doping Ag dengan perbandingan ZnO murni menggunakan metode *spin coating*. Pada penelitian Lanjewar memiliki efisiensi 2,02% dengan variasi %Ag. Tipe ZnO yang digunakan pada penelitian Lanjewar yaitu ZnO *wuritze*. Efisiensi tertinggi menunjukkan pada doping Ag 10% dengan *band gap* dari 3,28 eV menjadi 2,65 eV (Lanjewar, 2016). Pada penelitian ini ketika di uji dengan SEM pada substrat memiliki struktur yang belum merata dan masih terdapat gumpalan-gumpalan kecil. Sehingga aliran elektron belum bekerja secara maksimal. Pada katalis menggunakan *platinum* yang memiliki harga mahal.

b. Penelitian tahun 2018 oleh Yayah Kuriah dan Iwan Sugihartono

Pada penelitian Kuriah Yayah dan Iwan Sugi Hartono melakukan studi lapisan tipis dari *sol gel* ZnO murni yang menggunakan metode *dip coating*. Pada penelitian Yayah memvariasikan jumlah celup dua kali dan empat kali celup. Pada penelitian ini memahami struktur ZnO murni tanpa doping. Yayah melakukan studi kristal yang terbentuk pada pengujian XRD. Pada penelitian Yayah hanya pembuatan film tipis dengan variasi celup pada ZnO murni. Pada penelitian ini

lapisan tipis ZnO murni pencelupan dua kali dan empat kali tidak menunjukkan puncak tajam pada pengujian XRD. Yayah menyimpulkan bahwa deposisi pada lapisan tipis ZnO pada substrat merupakan *amorf* (Kuriah, 2018). Pada penelitian ini tidak ada terbentuk struktur ZnO ketika dilakukan pengujian XRD dan belum membuat aplikasi dari lapisan tipis yang telah dibuat.

c. Penelitian tahun 2018 oleh Iwantono, Bulita, Awitdrus, dan Zulkarnain

Pada penelitian Iwantono menyelidiki pengaruh *silver* dan *aluminium* terhadap sifat optik dan efisiensi dari DSSC. Pada penelitian Iwantono membuat *sol gel* ZnO doping *aluminium* dan *silver* dengan konsentrasi yang berbeda. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode *spin coating*. Penelitian tersebut didapatkan doping terbaik dengan menggunakan J-V meter pada ZnO doping *aluminium* dan *silver* konsentrasi 15mM. Akan tetapi, pada penelitian tersebut memiliki efisiensi 0,51% maka dari itu perlunya penelitian lebih lanjut.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Lapisan tipis ZnO/Ag 9% melalui proses *sol-gel* dideposisi dengan metode *dip coating* menunjukkan nilai optimum resistivitas 0,00016786 Ωm dan *band gap* 3,09 eV pada pencelupan 1 kali. Semakin banyak jumlah pencelupan maka nilai resistivitas dan *band gap* akan semakin meningkat.
2. Pembuatan lapisan tipis sebagai elektroda kerja pada DSSC dengan memvariasikan pencelupan semakin banyak jumlah pencelupan maka efisiensi pada DSSC akan semakin menurun. Hal ini tidak menunjukkan peningkatan efisiensi dari DSSC.

B. Saran

Pada penelitian ini, peneliti memberi saran untuk peneliti selanjutnya untuk mengembangkan penggunaan *dye*, elektrolit dan katalis yang digunakan untuk mencapai efisiensi yang lebih baik. Pada penelitian ini, lebih mengutamakan pada pengembangan lapisan tipis elektroda kerja pada DSSC.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin dan Khairurrijal. 2009. *Review:Karakterisasi Nanometerial*. Jurnal Nanosains dan Nanoteknologi. Vol.2. No.1
- Amornpitoksuk, P. Suwanboon. S. Sangkanu. S. Sukhoom. A. Muensit. N. Baltrusaitis J. 2012, *Synthesis, Characterization, Photocatalytic and Antibacterial Activities of Ag-Doped ZnO Powders Modified with A Diblock Copolymer*, Vol. 219 hal. 158-164
- Anggita, Sheilla Rully. 2020. *Deposisi ZnO Doping Ag pada Subtrat Aluminium Foil untuk Degradasi Methylene Blue*. Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika, Vol.8, No.01
- Ainurraziqin, Moh. Irfan, Sudarlin, dan Pedy Artsanti. 2018. *Kajian Teoritis Pengaruh Gugus Trifenilamindan Sianoasetat pada Sianidin Sebagai Senyawa Dye Sel Surya Tersensitasi (DSSC)*. Indonesian Journal of Materials Chemistry. Vol.1, No.1
- Ardianto, Rino. 2015. *Uji Kinerja Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Lapisan Capacitive Touchscreen Sebagai Substart dan Ekstrak Klorofil Nannocholoropsis Sp. Sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Ketebalan Pasta TiO₂*. Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem. Vol.3, No.3, Hal. 325-337
- Appriilia, Annisa, Dkk. 2017. *Pengaruh Dopan Al Terhadap Struktur dan Morfologi ZnO Nano-rod dan Penggunaanya Sebagai Fotoanoda pada Sel Surya DSSC*. Prosiding Snips.
- Eddy, Dkk. 2016. *Sintesis Siliki Metode Sol-Gel Sebagai Penyangga Fotokatalis TiO₂ Terhadap Penurunan Kadar Kromium dan Besi*. Jurnal Sains Materi Indonesia. Vol.17. No.2
- Effendi, Asnal. 2012. *Pembangkit Listrik Sel Surya pada Daerah Pedesaan*. Teknik Elektro, ITP: Padang. Vol.1. No.1
- Grenn, Martin A.1982. *Solar Cell Operating Principles Technology and System Application*. Prenticell Hall, Inc Evylewood Cliffs N,J.
- Callister, William D. 2007, *Materials Science And Engineering An Introduction*,

John Wiley and Sons

- Hamzah, La Aka. 2019. *Analisa Pengaruh Produksi Energi Listrik Terhadap Konsumsi Bahan Bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) NII tanasa*. Jurnal Fokus Elektroda, Vol.04. No.02
- Hanavi, Davi Putri, dkk. 2019. *Sintesis ZnO serbuk dan penggunaannya sebagai fotoanoda pada sel surya*. Jurnal material dan Energi Indonesia. Vol.9, No.01
- Hardani. 2019. *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Teori dan Aplikasinya*. Surakarta: UNS
- Hardeli. 2013. *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami*. Jurnal Kimia. Prosiding simirata UNILA
- Hardi, Anla Fet, Dahyunir Dahlan. 2020. *Pengaruh Doping Al Pada ZnO Menggunakan Metode LPD Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. Jurnal Fisika Unand. Vol.9. No.3
- Iwantono, dkk. 2018. *Pengaruh Penambahan Perak Terhadap Sifat Optik dan Efisiensi Sel Surya DSSC Tesensitasi Dye Berbasis Nanostruktur ZnO*. Prosiding Seminar Fisika Nasional Universitas Riau.
- Karim, Slamet, Pardoyo, dan Agus Subagiyo. 2016. *Sintesis dan Karakterisasi TiO₂ Terdoping Nitrogen (N-Doped TiO₂) dengan Metode Sol-Gel*. Jurnal Kimia Sain dan Aplikasi, Vol.19, No.2
- Kuriah, Yayah dan Iwan Sugihartono. 2018. *Studi Deposisi Lapisan Tipis ZnO Menggunakan Teknik Dip Coating*. Ejournal. Vol 3., No 1
- Lanjewar, Mangesh dan Jignasa V Gobel. 2016. *Encehanced Performanced of Ag Doped ZnO Thin Film DSSCs Prepared By Sol Gel Spin Coating*. Chemical Engineering Departement
- Lestari, D, Wisnu, S, Eko, B.S. 2012. *Preparasi Nanokomposit ZnO/TiO₂ Dengan Sonokimia serta Uji Aktivitasnya untuk Fotodegradasi Fenol*. Indo. Jurnal Chemisstry. Sci. 1 (1).
- Liza, Yulia Monaa, dkk. 2018. *Sol Gel: Principle and thechnique*. Physical Chemistry Laboratory
- Mardhiyah, Inandita, Yohandri. 2020. *Development of a Dip Coating Tool for*

- Thin Layer Growers Based on The Raspberry Pi 3*. Pillar of Physics. Vol.13, No.2
- Mayenti, Yusnita Pitri, dkk. 2021. *Pengaruh Agen Pengikat Silang dan Waktu Polimerisasi Poli Asam Tanat pada Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*.
- Morkoc, Hadis, umitozgur. 2009. *Zinc Oxide : Fundamentals, Materials and Device Technology*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA : Weinheim
- Motlan, Lelyana, Nurdin. 2019. *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Film Tipis ZnO dengan Variasi Kecepatan Putaran Berbahan Dye Bunga Kembang Sepatu*. Jurnal Fisika 7 (2): 13-17
- Muharam, Adrianto, dkk. 2018. *Fabrikasi Sel Surya Tersintasi Dye (Dye sensitized Solar Cell) Dengan Variasi Lapisan Scattering*. Jurnal material dan energi Indonesia. Vol.8, No.2. Hal. 13-20
- Mukhsinin, Ahmad, Nehru, M Ficky Afrianto.2019. *Rancangan Bangun Alat Pembuat Lapisan Tipis Metode Dip Coating Berbasis Ardiuno*. Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajaran Vol.3. No.2
- Munasir, dkk. 2012. *Uji XRD dan XRF pada Bahan Meneral (Batuan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (CaCO₃ dan SiO₂)*. Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya. Vol.2, No.1
- Murti, Fitria, Ramli dan Yeni Darvina. 2017. *Analisis Sifat Listrik Lapisan Tipis Fe₃O₄ yang Dipreparasi dari Pasir Besi Pantai Tiram Kabupaten Padang Pariaman Sumatera barat dengan Metode Sol-Gel Spin Coating*. Pillar of Physics. Vol. 10.
- Muslim, Ikhwanul, Wulan Safrihatini dan Witri Aini. 2017. *Pengaruh Katalis pada Proses Pembentukan partikel nano silika sebagai material hidrofobik*. Jurnal kimia dan pendidikan kimia. Vol.2, No.3
- Ningsih, Warda Kasuma Sherly, Umar Kalmar Nizar dan Utari Novitria. 2017. *Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO Doped Cu²⁺ Melalui Metoda Sol gel*. Eksakta. Vol. 18, No.2.
- Nugraha, Yoga Tri., dkk. 2021. *Perancangan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell dalam Pemanfaatan Energi Radiasi Matahari sebagai Renewable Energy*. JESC. Vol. 4, No. 2, Hal. 95-104

- Pang, Y. Paul Wynblatt. 2006. *Effects of Nb-doping and Segregation on the Grain Boundary Plane Distribution in TiO₂*. Journal of the American Ceramic Society, vol. 89.
- Prasatya, Akbar Nur, Diah Susanti. 2013. *Pengaruh Temperatur Kalsinasi pada Kaca FTO yang di Coating ZnO Terhadap Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) yang Menggunakan Dye dari Buah Terung Belanda (Solanum betaceum)*. Jurnal Teknik POMITS, Vol.2. No.2.
- Puetz. and Aegerter M. 2004. *Sol-Gel Technologies for GlassProducers and Users*, Springer US.
- Raharja, Elang Arief, dkk. 2019. *Pengukuran Resistivitas pada Pelat Konduktor Tipis Menggunakan Metode Four Point Probe*. E-Proceeding of engineering. Vol 6, No.2.
- Safitri, Juwita, Meqorry Yusfi, dan Astuti. 2014. *Rancang Bangun Alat Ukur Resistivitas pada Lapisan Tipis Menggunakan Metode 4 Probe Berbasis ATmega8535 dengan Tampilan LCD Karakter 2×16*. Jurnal Fisika Unand. Vol.3, No.2.
- Saputra, Rian, Intan. dkk. 2012. *Pelapisan Baja dengan Nanosilika Secara Elektroforesis untuk Perlindungan Tahan Korosi*. Jurnal Teknik PMITS. Vol.1 No.1 hal: 1-3
- Sanjaya, Hary, dkk. 2013. *Pembuatan Lapisan Tipis TiO₂ pada Plat Kaca dengan Metoda Dip Coating dan Uji Aktivitas Fotokatalisnya pada Air Gambut*. Ejournal. Vo.7. No.1
- Setyono, Jawoto Sih, dkk. 2019. *Potensi Pengembangan Energi Baru dan Energi Terbarukan di Kota Semarang*. Jurnal Riptek Vol.13. No.2. Hal 177-186
- Siyoto, Sandu.M, Ali Sodik. 2015. *Dasar Metodologi Penelitian*. Literasi Media Publishing: Yogyakarta
- Sutanto, Heri dan Iis, Nurhasanah. 2012. *Teknologi Lapisan Tipis dan Aplikasinya*. Semarang: UNDIP
- Sutanto, Heri, Iis Nurhasanah, dan Eko Hidayanto. 2015. *Sintesis Lapisan Tipis Seng Oksida Doping Perak (ZnO:Ag) dan Aplikasinya untuk Pendegradasi Polutan Organik Air*. Berkala Fisika. Vol.18. No.4
- Sutanto, Heri dan Singgih Wibowo. 2015. *Semikonduktor Fotokatalis Seng*

Oksida dan Titania. Semarang: UNDIP

- Surono, Tri Agustya dan Heri, Sutanto. 2014. *Sifat Optik Zinck Oxide (ZnO) yang Dideposisi Diatas Subtrat Kaca Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition (CSD) dan Aplikasinya untuk Degradasi Zat Warna Methylene Blue*. Youngster Physics Journal. Vol 1. No.1
- Thongsuriwong, K, P. Amornpitoksuk and S. Suwanboon. 2012. *Photocatalytic and antibacterial activities of Ag-doped ZnO thin films prepared by a sol-gel dip-coating method*. J sol-gel Sci technol. 62:304-312.
- Ting, C. & Chen, S., 2000. Structural evolution and optical properties of TiO₂ thin films prepared by thermal oxidation of sputtered Ti films, Journal of Applied Physics, 88: 4628 - 4633.
- Toifur, M. 2014. *Memahami Resistivitas Berbagai Jenis Probe Arus-Tegangan*. DIY. Yogyakarta.
- Ummah, Dina Wirdatul dan Hary Sanjaya. 2019. *Pembuatan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Subtrat Kaca GMR dan Ekstrak Kulit Buah Manggis (Garcinia Mangostana L) Sebagai Dye Sensitizer*. Chemistry journal of State University of Padang. Vol.8, No.1.
- Wang, Z.L., 2004, *Zinc Oxide Nanostructures: Growth, Properties and Applications*, J. Physics: Condensed Matter, 16, R829– R858
- Widodo, Slamet. 2010. *Teknologi Sol Gel pada Pembuatan Nano Kristalin Metal Oksida untuk Sensor Aplikasi Gas*. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses
- Yohandri. 2019. *Development of a Digital Dip Coating System Based Microcontroller*. Eksakta. Vol.20. No.2
- Yulika, Deni, Kusumandari, dan Risa Suryana. 2014. *Pelapisan TiO₂ di atas FTO dengan Slip Casting dan Spin Coating untuk Aplikasi DSSC*. Vol.53, No. XVII
- Zhao, Lei. Qing Jiang, and Jianshe Lian. 2008. *Visible-light photocatalytic activity of nitrogen-doped TiO₂ thin film prepared by pulsed laser deposition*. Ministry of Education. Materials Science and Engineering, Jilin University, China.