

**PREPARASI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)
MENGUNAKAN POLI TANIN HASIL SINTESIS SEBAGAI
ZAT WARNA UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI SEL
SURYA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains



Oleh :

**RESI GUSMAR LINA
NIM/TM. 17036031/2017**

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

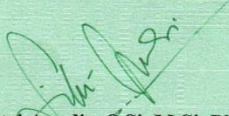
PERSETUJUAN SKRIPSI

PREPARASI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)* MENGGUNAKAN POLI TANIN HASIL SINTESIS SEBAGAI ZAT WARNA UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI SEL SURYA

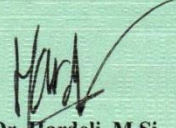
Nama : Resi Gusmar Lina
NIM : 17036031
Program Studi : Kimia (NK)
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2021

Mengetahui:
Ketua Jurusan


Fitri Amelia, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19800819 200912 2 002

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing


Dr. Hardeli, M.Si
NIP. 19640113 199103 1 001

PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

Nama : Resi Gusmar Lina
NIM : 17036031
Program Studi : Kimia (NK)
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PREPARASI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)* MENGGUNAKAN POLI TANIN HASIL SINTESIS SEBAGAI ZAT WARNA UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI SEL SURYA

Dinyatakan Lulus Setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Agustus 2021

Tim Penguji

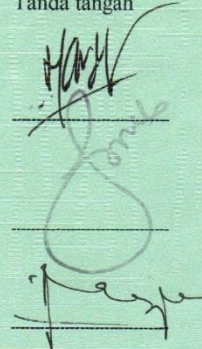
Nama

Tanda tangan

Ketua : Dr. Hardeli, M.Si

Anggota : Dr. rer. nat. Jon Efendi, M.Si

Anggota : Edi Nasra, S.Si, M.Si



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

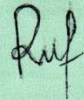
Nama : Resi Gusmar Lina
NIM : 17036031
Tempat/Tanggal lahir : Tanjung Aur/ 15 April 1999
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : **Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* Menggunakan Poli Tanin Hasil Sintesis Sebagai Zat Warna untuk Meningkatkan Efisiensi Sel Surya**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi

Padang, Agustus 2021
Yang menyatakan



Resi Gusmar Lina
NIM : 17036031

Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Poli Tanin Hasil Sintesis Sebagai Zat Warna Untuk Meningkatkan Efisiensi Sel Surya

RESI GUSMAR LINA

ABSTRAK

Sel surya merupakan seperangkat alat yang dapat mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan sel surya berbasis zat warna yang mampu menyerap foton dari cahaya matahari yang akan dikonversi menjadi energi listrik. Pada penelitian ini zat warna yang digunakan pada DSSC yaitu Tanin. Tanin merupakan senyawa polifenol yang mempunyai ikatan *phi* terkonjugasi yang dapat mengabsorpsi foton dari cahaya matahari. Polimerisasi tanin (poli-tanin) dilakukan untuk memperbanyak ikatan rangkap *phi* agar dapat menyerap lebih banyak foton dari sinar matahari dan mampu meningkatkan konversi energi listrik dan efisiensi sel surya DSSC .

Pada penelitian ini dilakukan preparasi komponen penyusun DSSC dan sintesis zat warna poli tanin yang digunakan pada DSSC dengan cara mempolimerisasi tanin. Pada polimerisasi tanin inisiator yang digunakan yaitu KOH dengan variasi 1%, 1,5%, 2%, 3%, 4%, 5% dan *Glutaraldehyde* sebagai agen pengikat silang (*crosslinking agent*) dengan variasi yang digunakan 0,5 mL, 1,5 mL, 2,5 mL, 3,5 mL, 4,5 mL. Pendopingan TiO₂ dengan logam Fe sebagai fotokatalis bertujuan untuk menurunkan *band-gap* dari Titanium Dioksida dan membantu kinerjanya pada reaksi sel surya DSSC.

Sel surya dirangkai membentuk *sandwich* yang kemudian di uji tegangan yang dihasilkan menggunakan multimeter digital. Pengukuran voltase dari DSSC bertujuan untuk mengetahui efisiensi yang dihasilkan sel surya DSSC. Zat warna yang digunakan (poli-tanin) pada DSSC dikarakterisasi menggunakan instrumen FTIR dan pengujian densitas serta viskositas poli tanin yang dihasilkan. Instrumen FTIR memperlihatkan pita serapan pada 2942,46 cm⁻¹ yang muncul karena reaksi tanin dengan formaldehid selama proses polimerisasi, poli- tanin dengan efisiensi DSSC optimum memiliki densitas dan viskositas yaitu 1,17 g/cm³ dan 11,70 Poise. TiO₂ yang didoping logam Fe telah dikarakterisasi melalui instrumen UV-DRS yang telah berhasil menurunkan *band- gap* dari Titanium Dioksida dari 3,27 eV menjadi 3,05 eV. Efisiensi yang dihasilkan sel surya merupakan presentase kemampuan dari sel surya DSSC untuk menghasilkan energi listrik dari voltase yang dihasilkan. Efisiensi optimum dari Sel surya DSSC yang dirangkai yaitu sebesar 7,01% pada variasi inisiator KOH 2% dan volume agen pengikat silang 2,5 mL.

Kata Kunci : DSSC, Polimerisasi, TiO₂, Poli- tanin, Inisiator, *Crosslinker*.

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Preparation Using Synthetic Poly Tannins As Dyes To Improve Solar Cell Efficiency

RESI GUSMAR LINA

ABSTRACT

Solar cells are a set of tools that can convert sunlight energy into electrical energy. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a dye-based solar cell that is able to absorb photons from sunlight which will be converted into electrical energy. In this study, the dye used in DSSC is tannin. Tannins are polyphenolic compounds that have conjugated *phi* bonds that can absorb photons from sunlight. Polymerization of tannins (poly-tannins) was carried out to increase the *phi* double bonds in order to absorb more photons from sunlight and to increase the conversion of electrical energy and efficiency of DSSC solar cells.

In this research, preparation of the components of DSSC and synthesis of poly tannin dye used in DSSC was carried out by polymerizing tannins. In the tannin polymerization the initiator used is KOH with variations of 1%, 1.5%, 2%, 3%, 4%, 5% and Glutaraldehyde as a crosslinking agent with variations used 0.5 mL, 1, 5 mL, 2.5 mL, 3.5 mL, 4.5 mL. TiO₂ doping with Fe metal as a photocatalyst aims to reduce the band-gap of Titanium Dioxide and help its performance in the DSSC solar cell reaction.

The solar cells are assembled to form a sandwich which is then tested for the resulting voltage using a digital multimeter. Voltage measurement from DSSC aims to determine the efficiency of DSSC solar cells. The dyes used (poly-tannins) in DSSC were characterized using FTIR instruments and testing the density and viscosity of the resulting poly tannins. The FTIR instrument showed an absorption band at 2942.46 cm⁻¹ which appeared due to the reaction of tannins with formaldehyde during the polymerization process, polytannins with optimum DSSC efficiency had a density and viscosity of 1.17 g/cm³ and 11.70 Poise. TiO₂ doped with Fe has been characterized by means of UV-DRS instrument which has succeeded in reducing the band gap of Titanium Dioxide from 3.27 eV to 3.05 eV. The efficiency produced by solar cells is a percentage of the ability of DSSC solar cells to generate electrical energy from the generated voltage. The optimum efficiency of the assembled DSSC solar cells is 7.01% at a variation of 2% KOH initiator and a crosslinking agent volume of 2.5 mL.

Keywords : DSSC, Polymerization, TiO₂, Polytannins, Initiator, Crosslinker

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia- Nya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Poli Tanin Hasil Sintesis Sebagai Zat Warna Untuk Meningkatkan Efisiensi Sel Surya**”. Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi salah satu syarat memperoleh Gelar Sarjana Sains pada program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Dalam penulisan skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, petunjuk, masukan, arahan, dan bantuan yang diberikan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Hardeli, M.Si selaku dosen pembimbing sekaligus pembimbing akademik penulis yang telah membimbing dan memberikan arahan dalam pembuatan skripsi ini.
2. Bapak Dr. rer. nat. Jon Efendi, M.Si. selaku dosen penguji pada skripsi ini.
3. Bapak Edi Nasra, S.Si, M.Si. selaku dosen penguji pada skripsi ini.
4. Ibu Fitri Amelia, S.Si, M. Si, Ph.D. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D selaku Ketua Prodi Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
6. Laboran Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.

Penulis harapkan masukan, kritik dan saran dari semua pihak yang membangun untuk skripsi ini. Atas perhatiannya penulis ucapkan terimakasih.

Padang, Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	7
C. Batasan Masalah	8
D. Rumusan Masalah	8
E. Tujuan Penelitian	9
F. Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
A. Sel Surya	10
B. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)	11
1. Material penyusun DSSC	12
2. Prinsip kerja <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	15
3. Efisiensi DSSC	18
C. Titanium Dioksida	20
D. Metode Sol- Gel	21
E. Tanin	23
F. Polimerisasi Tanin	24
G. Instrumen yang Digunakan	26
BAB III METODE PENELITIAN	28
A. Jenis Penelitian, Waktu dan Tempat	28
B. Variabel Penelitian	28
C. Alat dan Bahan	28
D. Metode Penelitian	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
A. <i>Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)</i>	34
B. Karakterisasi <i>Dye</i>	37
C. Karakterisasi TiO_2/Fe	41
D. Efisiensi DSSC.....	42
BAB V PENUTUP.....	46
A. Kesimpulan	46
B. Saran.....	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN.....	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema kerja DSSC (Hardeli et al., 2013).....	16
Gambar 2. Kurva I – V DSSC (Supriyanto & Suryana, n.d.)	18
Gambar 3. TiO ₂ dalam berbagai fasa(Haris et al., 2019)	21
Gambar 4. Polimerisasi Tanin (Saud et al., 2019)	25
Gambar 5. Rangkaian sel surya DSSC.....	Error! Bookmark not defined. 34
Gambar 6. Spektra FTIR dari tanin murni dan poli-tanin	38
Gambar 7. Grafik nilai <i>band-gap</i> TiO ₂ dan TiO ₂ doping Fe	Error! Bookmark not defined. 41
Gambar 8. Pengaruh variasi konsentrasi inisiator KOH terhadap efisiensi sel surya DSSC.....	Error! Bookmark not defined. 44
Gambar 9. Pengaruh variasi volume agen pengikat silang terhadap efisiensi sel surya DSSC.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Interpretasi Data FTIR	38
Tabel 2. Data Pengujian Densitas dan Viskositas Tanin dan Poli- tanin	40
Tabel 3. Data <i>band-gap</i> TiO ₂ dan TiO ₂ doping Fe	41
Tabel 4. Hasil Pengukuran tegangan, hambatan dan efisiensi dari DSSC terhadap variasi konsentrasi inisiator KOH.	43
Tabel 5. Hasil Pengukuran tegangan, hambatan dan efisiensi dari DSSC terhadap variasi volume agen pengikat silang	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Prosedur Kerja Secara Keseluruhan.....	51
Lampiran 2. Polimerisasi Zat Warna	52
Lampiran 3. Persiapan Substrat ITO.....	53
Lampiran 4. Preparasi Pasta TiO_2/Fe	54
Lampiran 5. Pelapisan Pasta TiO_2/Fe	55
Lampiran 6. Preparasi Elektrolit Semi Padat	56
Lampiran 7. Preparasi Counter Electrode	57
Lampiran 8. Data FTIR tanin.....	58
Lampiran 9. Data FTIR poli- tanin (polimerisasi tanin).....	59
Lampiran 10. Data UV-DRS $\text{TiO}_2\text{-Fe}$	60
Lampiran 11. Gambar Prosedur Kerja.....	62
Lampiran 12. Data Hasil Pengujian DSSC.....	65
Lampiran 13. Perhitungan Efisiensi DSSC.....	68
Lampiran 14. Perhitungan Densitas dan Viskositas Tanin dan Poli- tanin.....	72

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi mempunyai peranan yang sangat penting karena sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari, sebagian besar energi yang digunakan berasal dari bahan bakar minyak atau energi fosil. Energi fosil adalah energi yang tidak dapat diperbaharui dan akan berkurang jika digunakan dalam jangka waktu yang panjang sehingga dapat menyebabkan krisis energi dikemudian hari yang berujung pada kelangkaan (Kholiq, 2015). Oleh karena itu, penelitian mengenai sumber energi yang dapat diperbarui terus berkembang sampai saat ini salah satu contohnya yaitu sel surya/*solar cell* untuk membantu menghasilkan sumber energi listrik dengan menyerap energi foton dari cahaya matahari. Pemanfaatan energi cahaya matahari yang masih sedikit membuat sel surya/*solar cell* dapat digunakan sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang dapat menghasilkan energi listrik.

Sel surya dapat dihasilkan dari sinar matahari dengan cara mengkonversi radiasi matahari atau cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya ditemukan pertama kalinya pada tahun 1991 oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan. Sel surya berdasarkan bahan pembuatannya yaitu sel surya berbahan dasar silikon dan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). *Dye Sensitized Solar Cell* merupakan sel surya yang berbasis zat warna yang terus dikembangkan dan dimodifikasi agar dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan. DSSC muncul dan hadir seiring perkembangan nanoteknologi yang terus berkembang pesat dan maju seiring berkembangnya zaman

sehingga DSSC mempunyai peranan tersendiri dalam kehidupan sehari-hari. Sel surya berbasis zat warna atau *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* sendiri ialah sel surya yang menggunakan fotoelektrokimia (Hardeli et al., 2013)

Dye sensitized solar cell (DSSC) yaitu serangkaian sel surya yang dapat mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik yang terdiri atas semikonduktor TiO_2 yang diaplikasikan pada kaca berkonduksi dan kemudian direndam dalam zat warna/dye sebagai *sensitizer* pada DSSC. Struktur dari DSSC berbentuk *sandwich*/berlapis yang terdiri dari semikonduktor nanokristal TiO_2 - zat warna/dye (elektroda kerja) dan karbon/Pt (elektroda lawan) yang keduanya diletakkan pada kaca berkonduksi dan larutan elektrolit yang berfungsi untuk menjaga agar reaksi redoks sel tetap berlangsung (Pangestuti et al., 2008). DSSC merupakan formula yang terus dikembangkan sampai saat ini, hal ini bertujuan untuk menghasilkan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan biaya yang relatif lebih murah.

DSSC menggunakan zat warna sebagai penyerap foton dari sinar tampak atau energi matahari. Zat warna yang dapat dimanfaatkan menjadi *dye* pada DSSC dapat berasal dari zat warna organik/alami dan sintetis. Zat warna atau pigmen yang dapat digunakan pada DSSC yaitu seperti pigmen antosianin, karotenoid, klorofil, betanin dan tanin. Syarat suatu zat warna dapat dijadikan sebagai *dye* pada DSSC yaitu dapat mengabsorpsi cahaya disekitar sinar tampak, sehingga dapat membantu performa dari kinerja sel surya DSSC. Pada penelitian ini *dye* yang digunakan pada DSSC yaitu tanin.

Tanin yaitu senyawa polifenol yang mudah dipolimerisasi dengan berat molekul yang tinggi. Tanin larut dalam pelarut air, alkohol, hidroalkohol dan gliserol, namun tidak dapat larut dalam petroleum eter, benzena dan eter. Tanin dapat terdekomposisi pada temperatur 210°C , terbakar pada suhu 526°C dengan titik nyala pada suhu 210°C , (Danarto et al., 2011). Tanin terbagi menjadi dua golongan yaitu tanin terkondensasi dan tanin terhidrolisis. Asam tanat merupakan salah satu bagian dari tanin terhidrolisis (gallotanin)(Çakar & Özacar, 2016). Tanin cenderung lebih mudah dipolimerisasi menjadi suatu polimer, karena sebagian besar tanin bersifat amorf dan tidak memiliki titik leleh. Tanin berwarna putih kekuning- kuningan hingga coklat terang tergantung dari sumbernya (Irianty & Yenti, 2014). Tanin mempunyai ikatan rangkap yang terkonjugasi yang dapat berfungsi untuk mengabsorpsi foton dari cahaya matahari yang akan dikonversi menjadi energi listrik.

Polimer adalah makro molekul yang tersusun dari monomer- monomer yang berulang. Polimerisasi *dye* yang digunakan pada penelitian ini yaitu tanin, tanin pada penelitian sebelumnya telah dipolimerisasi dan digunakan sebagai zat perekat dan biosorben logam berat. Pada penelitian ini polimerisasi tanin merupakan polimerisasi kondensasi, karena tanin mengandung gugus fenol yang reaktif dengan formaldehyde yang menghasilkan produk kondensasi (Danarto et al., 2011) selain itu juga menggunakan agen pengikat silang dalam proses polimerisasinya. Polimerisasi berikatan silang adalah polimer yang terbentuk karena adanya ikatan antar rantai polimer satu dengan lainnya pada rantai utamanya. Pada polimerisasi tanin agen pengikat silang yang digunakan yaitu *glutaraldehyde* atau *furfuryl alcohol* (Saud et

al., 2019). Pada penelitian ini untuk polimerisasi zat warna yang akan digunakan dipolimerisasi menggunakan agen pengikat silang (*crosslinking agent*) *glutaraldehyde* untuk menghasilkan poli tanin (pT) yang akan digunakan sebagai zat warna pada sel surya DSSC. (Siburian, R. A. F., Simbolon, T. R., Sebayang, K., Simanjuntak, C., Marpaung, H., Wirjosentono, B., n.d.).

Pada proses polimerisasi, terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi polimerisasi diantaranya yaitu konsentrasi inisiator, waktu reaksi polimerisasi, suhu, konsentrasi monomer, konsentrasi agen pengikat silang, surfaktan dan jumlah volume agen pengikat silang. Konsentrasi dari inisiator dapat mempengaruhi proses polimerisasi, dimana semakin tinggi konsentrasi inisiator yang digunakan maka monomer dari polimer yang dihasilkan semakin banyak, hal ini dikarenakan larutan lebih bersifat basa (Sahiner et al., 2016).

Menurut penelitian (Helmiyanti, 2009) saat konsentrasi inisiator yang digunakan semakin meningkat dan radikal bebas yang terbentuk semakin banyak, maka tumbukan radikal inisiator dengan monomer semakin cepat masuk ke misel dan telah terjadi polimerisasi secara sempurna. Inisiator pada polimerisasi mempunyai peranan yg sangat penting dikarenakan selain dapat mempercepat proses polimerisasi juga dapat mempengaruhi proses propagasi pada rantai polimer yang menyebabkan meningkatnya berat molekul polimer. KOH dan NaOH dapat digunakan sebagai inisiator pada proses polimerisasi. KOH dipilih sebagai inisiator karena dapat mempercepat proses polimerisasi, mudah didapatkan dan harganya yang relatif lebih murah (Rahayu et al., 2019).

Waktu polimerisasi dapat mempengaruhi reaksi polimerisasi karena semakin lama proses polimerisasi dilakukan maka semakin lama tumbukan yang terjadi antara monomer dengan agen pengikat silang silang sehingga polimerisasi yang dihasilkan semakin banyak. Suhu yang digunakan pada proses polimerisasi dapat mempengaruhi laju reaksi selama proses polimerisasi karena semakin tinggi suhu maka reaksi dapat berlangsung semakin cepat. Konsentrasi dari monomer yang digunakan dapat mempengaruhi polimerisasi yaitu semakin besar konsentrasi monomer yang digunakan semakin banyak polimer yang terbentuk dan laju reaksi semakin cepat.

Konsentrasi agen pengikat silang dalam polimerisasi dapat mempengaruhi reaksi polimerisasi karena jika semakin banyak agen pengikat silang yang digunakan semakin banyak radikal bebas yang terbentuk sehingga agen pengikat silang dapat mengikat monomer-monomer polimer lebih banyak (Marsha, 2020). Faktor yang juga mempengaruhi reaksi polimerisasi yaitu konsentrasi surfaktan. Pengaruh surfaktan terhadap reaksi polimerisasi yaitu jika konsentrasi surfaktan yang digunakan semakin tinggi maka misel yang dihasilkan semakin banyak sehingga polimerisasi bisa berlangsung dengan baik dan polimer emulsi dapat lebih stabil (Putri, 2008).

Jumlah volume agen pengikat silang juga dapat mempengaruhi reaksi polimerisasi, dimana semakin banyak volume agen pengikat silang yang digunakan atau dimasukkan pada proses polimerisasi maka semakin banyak radikal bebas yang terbentuk. Radikal bebas inilah yang kemudian akan mengikat monomer- monomer yang akan terikat silang dengan agen pengikat silang pada proses polimerisasi yang semakin banyak (Wivanius & Budianto, n.d.).

DSSC menggunakan semikonduktor anorganik dalam menangkap foton dari cahaya matahari. TiO_2 merupakan semikonduktor lapisan tipis yang digunakan pada DSSC yang hanya dapat menyerap spektrum cahaya tampak sekitar 5% dari seluruh spektrum cahaya matahari pada spektrum UV (200 nm – 400 nm) (Hardeli et al., 2020). Penggunaan zat warna pada DSSC ini bertujuan untuk membantu kinerja TiO_2 dalam mengabsorpsi cahaya selama proses DSSC berlangsung. Zat warna yang banyak digunakan pada DSSC harus mempunyai serapan yang baik di sekitar daerah sinar tampak agar dapat diperoleh konversi energi matahari yang optimal dari sel surya DSSC.

Doping adalah salah satu metode yang digunakan dalam mencampurkan logam transisi atau non logam kedalam TiO_2 . Hal ini bertujuan untuk membantu kinerja TiO_2 dalam menggeser penyerapan TiO_2 pada tingkat energi yang lebih rendah (Haris et al., 2019). Pada penelitian ini TiO_2 yang digunakan didoping dengan logam Fe (TiO_2/Fe), hal ini dikarenakan logam Fe mempunyai *band-gap* lebih kecil dari pada TiO_2 sehingga dapat digunakan sebagai dopan TiO_2 .

Efisiensi yang dihasilkan dari sel surya silikon yang telah mencapai efisiensi sekitar 17-25%. Kekurangan dari sel surya silikon yang relatif lebih mahal pada proses pembuatan dan perakitannya, cenderung lebih rumit, serta tidak ramah lingkungan membuat para peneliti terus mengembangkan DSSC yang dinilai lebih efisien dan ramah lingkungan. Pada DSSC molekul dari zat warna/*dye* yang digunakan akan mengabsorpsi cahaya matahari sehingga elektron dari molekul zat warna akan mengalami eksitasi. Molekul zat warna/*dye* yang telah mengalami

eksitasi tersebut, elektronnya akan terinjeksi ke TiO_2 sebagai semikonduktor lapisan tipis nanokristal anorganik yang mempunyai *band-gap* yang lebar. Titanium Dioksida (TiO_2) ialah salah satu semikonduktor anorganik yang sering digunakan pada sel surya DSSC (Hardeli et al., 2013). Salah satu alasan kenapa masih banyak peneliti yang terus mengembangkan DSSC berbasis zat warna ini yaitu, untuk menghasilkan sel surya yang mempunyai efisiensi yang tinggi dengan biaya yang relatif lebih murah.

B. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang ini maka dapat diidentifikasi beberapa masalah diantaranya yaitu :

1. Pemakaian sumber energi secara terus menerus dapat mengakibatkan krisis energi.
2. Sel surya dapat digunakan untuk menghasilkan sumber energi terbarukan berupa energi listrik.
3. *Dye Sensitized Solar Cell* merupakan sel surya berbasis zat warna yang dapat mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik.
4. Tanin dapat digunakan sebagai zat warna alami dalam *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) salah satunya yaitu dengan cara polimerisasi.
5. Konsentrasi inisiator, waktu reaksi polimerisasi, suhu, volume agen pengikat silang, konsentrasi monomer, konsentrasi agen pengikat silang, dan surfaktan dapat mempengaruhi reaksi polimerisasi.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih fokus maka terdapat beberapa batasan masalah pada penelitian ini, diantaranya yaitu :

1. Variasi konsentrasi inisiator yang digunakan pada reaksi polimerisasi tanin ini yaitu 1%, 1,5 %, 2%, 3%, 4%, 5%.
2. Volume agen pengikat silang *Glutaraldehyde* (GA) yang digunakan pada polimerisasi tanin yaitu 0,5 mL, 1,5 mL, 2,5 mL, 3,5 mL, 4,5 mL.

D. Rumusan Masalah

Pada latar belakang penelitian ini dapat dirumuskan masalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi inisiator pada proses polimerisasi tanin terhadap efisiensi yang dihasilkan sel surya DSSC.
2. Bagaimana pengaruh variasi volume *crosslinker* (*Glutaraldehyde*) yang digunakan pada proses polimerisasi tanin terhadap efisiensi yang dihasilkan sel surya DSSC.
3. Bagaimana pengaruh pendopongan TiO_2 dengan logam Fe terhadap *band-gap* TiO_2 untuk meningkatkan kinerja TiO_2 pada sel surya DSSC.

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Untuk mengetahui konsentrasi maksimum inisiator pada proses polimerisasi tanin dan efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya DSSC.
2. Untuk mengetahui volume maksimum *crosslinker* yang digunakan pada proses polimerisasi tanin dan efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya DSSC.
3. Untuk mengetahui *band-gap* TiO_2 setelah didoping dengan logam Fe (TiO_2/Fe) untuk membantu kinerja TiO_2 pada sel surya DSSC.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk :

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi inisiator pada proses polimerisasi terhadap poli tanin dan efisiensi yang dihasilkan oleh sel surya DSSC.
2. Mengetahui pengaruh volume *crosslinker* yang digunakan pada proses polimerisasi terhadap poli tanin dan efisiensi yang dihasilkan untuk sel surya DSSC.
3. Dapat digunakan sebagai referensi pada penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sel Surya

Kebutuhan energi dalam kehidupan sehari-hari terus bertambah dari tahun ke tahun, sehingga manusia terus mencari sumber energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut. Hal ini, mengingat sumber energi seperti energi fosil sudah banyak digunakan dan jika tidak di kendalikan dapat menyebabkan kelangkaan karena energi ini tidak dapat diperbaharui. Meningkatnya permintaan akan bahan bakar minyak menyebabkan beberapa dampak terhadap lingkungan, salah satunya yaitu efek rumah kaca.

Penggunaan bahan bakar yang berlebihan juga dapat menyebabkan polusi udara dan air. Sisa pembakaran dari bahan bakar yang berupa karbon telah menyumbang pencemaran lingkungan sekitar 9-26% terhadap efek global rumah kaca. Kemajuan yang signifikan telah dilakukan dengan mengembangkan teknologi agar sumber energi dapat diperbaharui, seperti sel surya bahan bakar (*fuel cell*) dan *biofuel cell* (Maryani, Devi, Gunawan, 2012)

Sel surya ialah suatu rangkaian alat yang dapat merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Sudah banyak penelitian tentang sel surya ini dilakukan oleh peneliti dan telah melewati berbagai generasi. Sel surya berdasarkan bahan pembuatannya terdiri atas dua jenis, yaitu sel surya yang berasal dari bahan dasar silikon, namun karena biaya yang mahal pada proses pembuatannya para peneliti terus mengembangkan agar biaya yang dikeluarkan lebih efisien. Kedua yaitu

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) yang telah memberikan solusi dari sel surya silikon yang lebih ramah lingkungan (Damayanti & Sanjaya, Hary, 2014).

DSSC yaitu sel surya yang berbasis pada zat warna. Pada DSSC menggunakan zat warna yang bersumber dari zat warna alami dan sintetis/buatan. Kompleks ruthenium merupakan zat warna sintetis yang telah banyak digunakan sampai sekarang, namun karena kelemahan dari zat warna sintetis ini yaitu harganya yang relatif mahal dan dapat menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan seperti menghasilkan emisi gas karbon maka penggunaannya sudah mulai dikurangi. Untuk zat warna alami yang dapat digunakan pada sel surya berasal dari tumbuhan yaitu dari daun, batang, bunga, kulit, buah dan akar (Pangestuti et al., 2008)

B. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) yaitu sel surya generasi ketiga yang ditemukan pertama kali oleh Michael Graetzel (O'regan dan Graetzel,1991). Kehadiran sel surya DSSC telah memberikan solusi energi terbarukan yang tidak mencemari lingkungan, dengan biaya yang dibutuhkan rendah. Sebuah sel surya terdiri dari dari sebuah fotoanoda yang terbuat dari kaca yaitu TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang kemudian dilapisi film tipis semikonduktor yang mempunyai *band-gap* yang lebar seperti Titanium Dioksida (TiO_2), ZnO , SnO , Nb_2O_5 , dan selanjutnya diaplikasikan dengan berbagai metoda tertentu diantaranya yaitu *doctor blade*, *screen printing*, *elektrodepositon* dan *spin coating*, *tape casting*, *dip coating*, *liquid phase deposition (LPD)*, *metal organic chemical vapour deposition (MOCVD)* dan *Mix- Solvent- thermal method*.

Kaca TCO dilapisi logam platina atau karbon yang berperan sebagai elektroda lawan atau *counter electrode*. Kemudian, dari kedua elektroda tersebut kemudian diaplikasikan larutan elektrolit yang mempunyai fungsi untuk membantu agar transport elektron selama reaksi sel tetap berlangsung (Dahyunir Dahlan & Aziz, 2016)

DSSC menggunakan zat warna yang berfungsi untuk menangkap foton dari sinar tampak yang berbasis fotoelektrokimia. Pada DSSC ini, molekul zat warna/*dye* melakukan proses absorpsi cahaya, dimana molekul *dye* sebagai penyerap cahaya matahari yang menyebabkan elektronnya tereksitasi. Semikonduktor yang banyak digunakan untuk DSSC yaitu yang mempunyai *band-gap* yang lebar, salah satunya yaitu Titanium dioksida (TiO_2). TiO_2 ini mempunyai keunggulan yaitu tidak beracun, inert, dan relatif lebih mudah sehingga lebih aman digunakan dalam mengaplikasikannya (Hardeli et al., 2013).

1. Material penyusun DSSC

a. Substrat

Transparent Conductive Oxide (TCO) merupakan substrat yang sering digunakan pada sel surya yaitu karena memiliki sifat khusus yang memenuhi syarat sehingga bisa digunakan pada DSSC seperti transparansi tinggi, resistensi rendah dan pita yang lebar. TCO terdiri dari berbagai jenis *flourene thin oxide* (FTO), *indium tin oxide* (ITO), dan *aluminium zinc oxide* (AZO). Dalam dunia industri serta laboratoium, TCO yang banyak digunakan adalah ITO karena transmisinya tinggi 80- 90% akan tetapi karena kelangkaan indium menyebabkan biaya material lebih mahal. FTO pada

suhu tinggi stabilitasnya baik dan biayanya lebih murah dari pada ITO sedangkan untuk tranmitansinya lebih rendah dari ITO dan tergantung pada ketebalannya (Whitcher et al., 2013)

Perbedaan lain antara FTO dan ITO adalah FTO terbuat dari SnO_2 sedangkan ITO campuran antara SnO_2 dan In_2O_3 . ITO merupakan kaca konduktif yang mempunyai konduktivitas sebesar 567 S/m dan memiliki sifat optis dapat meneruskan cahaya.

b. Elektroda

Titanium Dioksida (TiO_2) ialah semikonduktor yang digunakan dalam DSSC dengan nilai *band-gap* lebar, tidak beracun, bersifat inert, harga lebih murah dan dengan sifat optik nya yang baik. TiO_2 disintesis dengan variasi tertentu seperti koloid, lapisan tipis, serbuk nano dan pengaplikasian lingkungan mulai dari deorization hingga purifikasi air dan udara. TiO_2 pada DSSC berfungsi sebagai fotokatalis dan fotovoltaiik seperti DSSC.

TiO_2 digunakan dengan karakteristik dari lapisan tipis TiO_2 yang digunakan tergantung pada teknik preparasi saat proses pembuatan pasta karena dapat mempengaruhi kinerja dari DSSC. Sebagai fotoelektroda sifat optik yang baik pada TiO_2 dan mempunyai permukaan yang luas sehingga baik digunakan dalam menyerap *dye*, karena tingkat energi dari material TiO_2 harus sesuai dengan *dye* yang tereksitasi, maka harus mudah dipreparasi, stabil, memiliki kemampuan membawa muatan yang baik, harga yang terjangkau, dan tidak mencemari lingkungan.

Dyesol dan Solaronix telah memproduksi pasta TiO_2 karena merupakan pusat penelitian dunia yang dengan khusus meneliti tentang sel surya. Pasta TiO_2 untuk sel surya temperatur rendah terlebih dahulu dilakukan karakterisasi untuk mengetahui dan menghindari adanya gumpalan partikel yang akibat dari hilangnya binder organik (Mariya Al Qibtiyaa , Lia Mulianib, 1991).

c. Elektrolit

Elektrolit merupakan larutan yang berfungsi untuk mengganti elektron zat warna yang tereksitasi yang disebabkan karena adanya reaksi redoks selain itu elektrolit dapat menerima elektron pada sisi counter elektroda. Selain zat warna, larutan elektrolit berpengaruh terhadap efisiensi DSSC yang dihasilkan. Elektrolit yang sering digunakan adalah pelarut anorganik, yaitu I^-/I_3^- . Elektrolit semi padat digunakan karena mempunyai beberapa kelebihan seperti konduktivitas ionnya yang tinggi pada temperatur konstan serta mempunyai kestabilan yang baik dalam rentang waktu yang panjang (Damayanti & Sanjaya, Hary, 2014).

d. Elektroda Lawan (*Counter Electrode*)

Elektroda lawan pada sel surya berfungsi sebagai katalis. Katalis pada sel surya berperan untuk membantu agar laju reaksi dapat berlangsung lebih cepat saat proses reduksi triiodida pada TCO. Platina (Pt) merupakan salah satu katalis yang banyak digunakan sebagai elektroda lawan pada sel surya dan juga sangat efisien digunakan pada DSSC, namun platina ialah logam yang mahal. Oleh karena itu sebagai alternatifnya Kay & Gratzel telah mendesain DSSC dengan menggunakan

Counter-elektroda karbon sebagai katalis pengganti platina, karbon memiliki permukaan yang luas, memiliki kereaktifan mereduksi I_3^- yang menyerupai kemampuan elektroda platina (Kumara & Drs. Gontjang Prajitno, 2012).

e. Zat warna

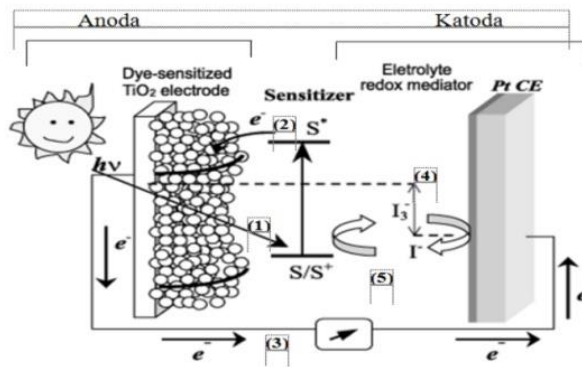
Zat warna pada DSSC berfungsi untuk menangkap foton dari sinar tampak. *Dye* yang digunakan dalam sel surya sudah beralih kepada zat warna yang tidak mencemari lingkungan dan mempunyai kelimpahan di alam yaitu dari tumbuhan, yang dapat bersumber dari akar, batang, biji, buah, daun menjadi pilihan alternatif sebagai zat warna pada DSSC. Zat yang terkandung pada tumbuhan seperti klorofil, kurkumin, antosianin, betakaroten, tanin, lainnya pada tumbuhan dapat digunakan sebagai zat warna/*sensitizer* pada DSSC (Dahyunir Dahlan & Aziz, 2016).

2. Prinsip kerja *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Prinsip kerja dari *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) yaitu reaksi dari tranferelektron. Molekul zat warna menyerap foton dari sinar matahari dan menyebabkan terjadinya eksitasi elektron dari molekul zat warna. Elektron dari keadaan tereksitasi akan terinjeksi ke pita konduksi pada semikonduktor sehingga molekul *dye* akan mengalami reaksi oksidasi. Elektrolit (I^-) mendonorkan elektron pada molekul zat warna dan kembali kedalam keadaan awal (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh zat warna yang teroksidasi.

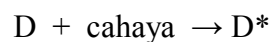
Melalui rangkaian eksternal elektron yang tereksitasi tersebut bergerak menuju elektroda TCO kemudian mengalir menuju elektroda lawan *counter*

electrode, namun pada counter-elektroda terdapat katalis, kemudian elektron diterima oleh elektrolit. Elektron tersebut akan berekombinasi dengan hole yang terbentuk pada elektrolit (I_3^-) akibat elektron yang didonorkan pada proses sebelumnya membentuk iodide (I^-). Iodide berperan dalam donor elektron bagi zat warna yang teroksidasi, proses yang terjadi pada siklus sel surya yaitu proses pembawaan elektron. Proses siklus sel ini membantu dalam proses pengubahan langsung dari cahaya matahari yang menghasilkan energi listrik (Prasetyowati, 2012)

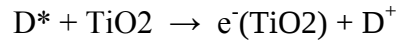


Gambar 1. Skema kerja DSSC (Hardeli et al., 2013)

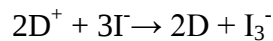
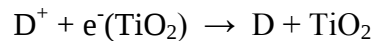
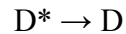
Prinsip kerja sel surya berbasis zat warna yaitu suatu elektroda yang ada pada DSSC ditimpa oleh foton dari cahaya matahari, maka cahaya matahari diserap oleh molekul zat warna yang telah dilapiskan pada film tipis semikonduktor TiO₂, yang menyebabkan elektron pada molekul zat warna tereksitasi dari level HOMO ke LUMO.



Elektron pada molekul zat warna yang tereksitasi akan menuju dalam pita konduksi (CB), elektron tersebut akan melewati partikel nanokristal dari TiO_2 menuju lapisan konduktif dari kaca transparan ITO (*indium tin oxide*) dan molekul zat warna akan mengalami reaksi oksidasi.



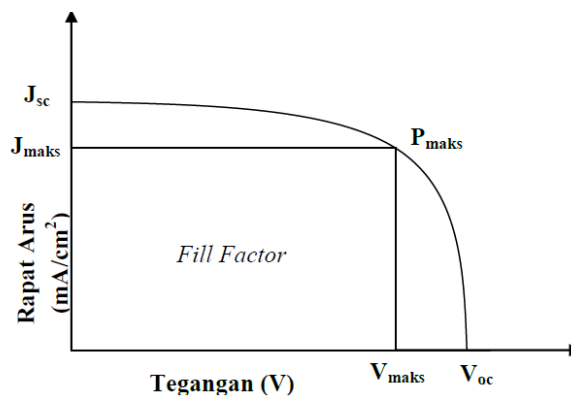
Elektron tersebut akan dibawa menuju elektroda lawan (*counter electrode*) yang telah dilapisi karbon melewati rangkaian luar. Elektron akan kembali masuk ke dalam sel dan akan bereaksi dengan elektrolit yang digunakan dengan mereduksi sebuah donor yang teroksidasi (I^+). Molekul zat warna/*dye* yang teroksidasi menerima elektron dari larutan elektron yang mengalami reduksi sehingga *dye* akan kembali menjadi molekul. Proses siklus sel pada sel surya yang berperan sebagai mediator elektron yaitu larutan elektrolit yang digunakan.



Tingkat energi konduksi yang berbeda dari semikonduktor nanokristal TiO_2 dengan potensial dari pasangan elektrolit redoks dari ($\text{I}^- / \text{I}_3^-$) telah menghasilkan tegangan. Banyaknya foton yang terlibat pada reaksi sel surya, intensitas penyinaran dan kinerja dari *dye* akan berdampak pada arus yang dihasilkan pada DSSC.

3. Efisiensi DSSC

Efisiensi yang dihasilkan dari DSSC yang dibuat dapat diketahui menggunakan kurva dua dimensi (x,y). Kurva dua dimensi yaitu kurva hubungan antara kerapatan arus dengan tegangan. Titik perpotongan kerapatan arus dengan tegangan yang memiliki nilai yang besar akan memunculkan nilai efisiensi dari sel surya.



Gambar 2. Kurva I – V DSSC (Supriyanto & Suryana, n.d.)

Dari kurva yang dihasilkan pada kurva I-V DSSC dapat diketahui open circuit (V_{oc}), rapat arus short circuit (J_{sc}), tegangan maksimumnya, fill factor serta arus maksimum. Namun saat keadaan short circuit (i_{sc}) sel surya mampu menghasilkan arus maksimum. Pada keadaan saat open circuit (V_{oc}) tidak ada arus yang mengalir sehingga tegangan maksimum dan ini disebut tegangan open circuit.

Rapat arus short circuit (J_{sc}) yaitu perbandingan antara arus short circuit dengan (I_{sc}) dimensi perangkat.

$$J_{sc} = \frac{I_{sc}}{A}$$

Kerapatan arus maksimum yaitu perbandingan dari arus maksimum (I_{maks}) dengan dimensi perangkat.

$$J_{maks} = \frac{I_{maks}}{A}$$

Fill factor (FF) adalah ukuran banyaknya dari kinerja suatu sel surya dan merupakan ukuran luar persegi kurva J-V.

$$FF = \frac{V_{maks}J_{maks}}{V_{oc}J_{sc}}$$

Dimana :

FF = Fill Factor

J_{maks} = rapat arus maksimum (mA/cm²)

V_{max} = tegangan maksimum (mV)

J_{sc} = rapat arus yang dihasilkan pada keadaan short circuit (mA/cm²)

V_{oc} = tegangan input (mV)

Daya maksimum sel surya dapat diketahui melalui persamaan

$$P_{maks} = V_{oc}.J_{sc}.FF$$

Efisiensi (η) yaitu rasio dari daya keluar (P_{out}) terhadap daya masuk (P_{in}).

Pada persamaan diatas maka dapat diuraikan sebagai berikut dengan menggunakan insiden fluks cahaya (I_0) yang melibatkan hubungan antara arus singkat (I_{sc})

Tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), fill factor dan rapat arus short circuit

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{J_{sc}V_{oc}FF}{I_0} \times 100\% \quad (\text{Supriyanto \& Suryana, n.d.})$$

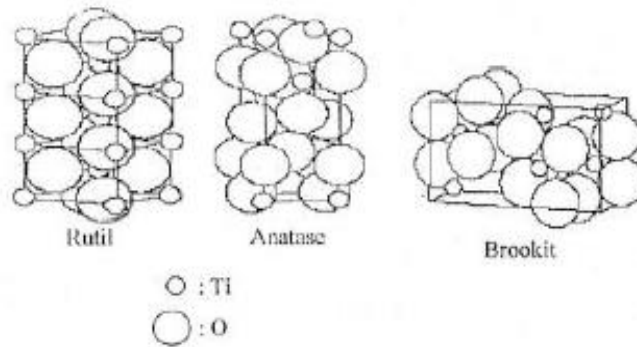
$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\%$$

dimana η ialah nilai efesiensi sel surya, $P_{\max}$ ialah daya dari sumber yang dihasilkan oleh DSSC, P_{in} merupakan sumber cahaya yang digunakan pada DSSC. Daya maksimum yang diberikan oleh hubungan : $P_{\max} = V_{\max} \cdot I_{\max}$, $V_{\max}$ adalah tegangan maksimum yang dihasilkan DSSC dan $I_{\max}$ arus maksimum yang dihasilkan, sedangkan P_{in} bersumber dari cahaya yang digunakan (W/m^2) (Hardeli et al., 2020)

C. Titanium Dioksida

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan semi konduktor (Unal et al., 2019) yang banyak digunakan dalam *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) yang merupakan jenis material metal oksida yang digunakan sebagai fotoanoda pada DSSC karena dapat memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap kestabilan efisiesi yang dihasilkan pada sel surya. Pada proses transport elektron didalam pori- pori nanopartikel TiO_2 yang berlangsung secara acak dapat menimbulkan proses rekomendasi muatan (elektron-hole) didalamnya sehingga kinerja sel surya menjadi menurun. Untuk mengatasi masalah ini sudah dilakukan rekayasa fotoanoda dengan tujuan untuk membuat transport muatan lebih efisien karena penting untuk meningkatkan kinerja sel surya.

Beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan transport elektron dan mencegah terjadinya rekomendasi muatan yaitu dengan cara memodifikasi permukaan TiO_2 dengan mendoping material logam ataupun non logam .



Gambar 3. TiO_2 dalam berbagai fasa (Haris et al., 2019)

Titanium dioksida (TiO_2) murni mempunyai *band-gap* sekitar 3,2 eV. Doping logam transisi dan non logam pada TiO_2 dapat dimodifikasi struktur elektroniknya dan secara efektif mampu menggeser penyerapannya pada tingkat energi yang lebih rendah (Haris et al., 2019).

D. Metode Sol- Gel

Metode sol-gel yaitu metode yang digunakan dari berbagai metode yang bisa digunakan pada pembuatan lapisan film tipis untuk zat padatan, seperti pada substrat kaca yang digunakan untuk sel surya. Pada metode sol-gel pembuatan lapisan tipis melibatkan terjadinya proses hidrolisis dan kondensasi. Metode sol-gel digunakan dalam mensintesis TiO_2 dan didoping dengan logam atau non logam. Kelebihan dari metode gel ini yaitu dapat menghasilkan material dengan tingkat kehomogenan yang tinggi dengan komposisi material yang bisa dikontrol sesuai keinginan karena proses reaksinya yang berlangsung lambat.

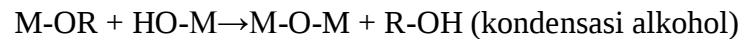
Tahap – tahap dalam metode sol- gel adalah :

1. Hidrolisis

Pada tahap hidrolisis perbandingan dari banyaknya air dan jenis katalis hidrolisis yang dipakai merupakan faktor berpengaruh pada proses hidrolisis. Rasio pelarut / prekursor yang tinggi akan meningkatkan reaksi hidrolisis sehingga waktu gelasi lebih sedikit. Katalis jenis asam atau basa dapat digunakan pada proses hidrolisis tetapi tanpa penambahan katalis proses hidrolisis pun tetap bisa terjadi.

2. Kondensasi

Tahap ini terjadi proses perubahan fasa dari sol menjadi gel. Ligan hidroksil terlibat pada reaksi kondensasi untuk menghasilkan polimer dengan ikatan M-O-M. Reaksi kondensasi menghasilkan senyawa sampingan yaitu air dan alkohol dengan reaksi yang terjadi yaitu sebagai berikut:



3. Pematangan

Pada proses pematangan ini gel yang terbentuk akan dimatangkan dan menyebabkan terbentuknya jaringan gel yang lebih kaku dan menyusut dalam larutan. Proses pematangan dikenal juga dengan istilah *aging*.

4. Pengerinan

Pengerinan merupakan tahap akhir dari metode sol-gel dimana proses yang terjadi yaitu proses menguapnya larutan dan cairan yang tidak diperlukan dalam

reaksi ini. Pada proses pengeringan ini dihasilkan suatu struktur sol-gel yang memiliki permukaan yang luas sehingga baik digunakan dalam sel surya.

Metode sol-gel banyak digunakan pada pembuatan lapisan tipis dikarenakan memiliki beberapa keuntungan diantaranya seperti, biayanya yang lebih terjangkau, komposisi yang dihasilkan lebih homogen, tidak dibutuhkan ruangan dengan kevakuman yang tinggi, bisa mengontrol ketebalan lapisan sesuai kebutuhan dan struktur mikronya cukup baik, sehingga metode ini sering dipakai untuk preparasi lapisan tipis (Cheng et al., 2004).

E. Tanin

Tanin merupakan senyawa polifenol (Yin, 2016) yang dapat larut dalam air yang merupakan bagian penting dari metabolit sekunder dan memiliki berat molekul berkisar antara 500- 20000 Dalton. Sejak zaman dahulu tanin dapat digunakan dalam menyamak kulit dari kulit binatang. Tanin merupakan salah satu sejenis polifenol yang dapat diekstrak dari tumbuhan tertentu seperti dari batang, kulit kayu, buah-buahan, daun, dan kayu. Tanin telah banyak dimodifikasi sebagai adsorben untuk logam dari air limbah. Tanin terbagi menjadi 4 kelompok utama: Gallotanin, ellagitanin, kompleks dan tanin kondensasi (Çakar & Özacar, 2016).

Tanin dapat bersumber dari tumbuhan hijau mulai dari tumbuhan tingkat tinggi sampai tingkat rendah dengan jumlah dan kualitas tertentu. Tanin adalah tergolong senyawa polifenol yang kompleks, karena terdapat gugus fenol didalamnya, maka tanin dapat bereaksi dengan formaldehyde (polimerisasi kondensasi) (Danarto et al., 2011). Tanin memiliki berat molekul yang tinggi dan mudah dioksidasi

menjadi suatu polimer. Warna tanin bervariasi tergantung pada sumber tanin tersebut ada yang berwarna putih kekuning–kuningan sampai berwarna cokelat terang. Tanin berbentuk serbuk, memiliki rasa sepat, dan berbau khas. Tanin akan berubah warna apabila terkena cahaya langsung atau dibiarkan diudara terbuka (Irianty & Yenti, 2014). Tanin terdiri dari 3 gugus fungsi utama penyusunnya yaitu OH (fenol), C=O (karbonil), C-H (aromatik) (Fangidae et al., 2020)

F. Polimerisasi Tanin

Tanin merupakan senyawa polifenol yang mempunyai berat molekul tinggi dan mempunyai gugus hidroksil dan gugus lainnya (seperti karboksil). Pemanfaatan tanin sebagai *dye* pada DSSC masih sedikit. Tanin berdasarkan kelompok polimernya dapat dibagi 2 yaitu :

1. Hydrolysable tannin

Hydrolysable tannin adalah tanin yang mudah dihidrolisis dalam suasana asam dan merupakan turunan asam galat.

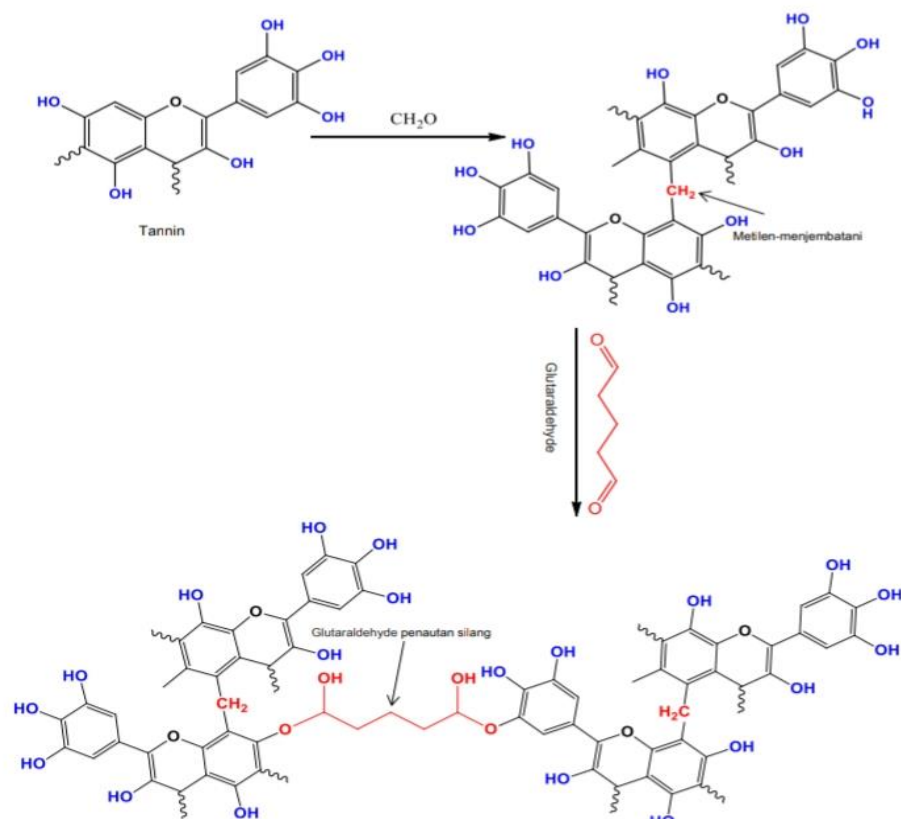
2. Condensed tannin

Condensed tannin yaitu polimer polyflavonoid.

Polimerisasi tanin merupakan polimerisasi kondensasi. Tanin mengandung gugus fenol didalamnya, dan jika direaksikan dengan formaldehide tanin akan terkondensasi, karena gugus fenol pada tanin sangat reaktif dengan formaldehide dan mampu membentuk produk kondensasi (Danarto et al., 2011).

Polimerisasi ini menggunakan agen pengikat silang (*crosslinking agent*) dalam menghasilkan poli tanin (pT). Hal ini bertujuan untuk memperbanyak ikatan

phi yang terdapat pada tanin melalui proses polimerisasi ini, selain itu agen pengikat silang sangat membantu dalam mengikat silang monomer- monomer tanin pada proses polimerisasi.



Gambar 4. Polimerisasi Tanin (Saud et al., 2019)

Polimerisasi pengikat silang dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu seperti jenis dan konsentrasi agen pengikat silang, media emulsi, konsentrasi monomer, waktu, suhu polimerisasi, inisiator, surfaktan, dan jumlah volume agen pengikat silang (Wivanius & Budianto, n.d.)

G. Instrumen yang Digunakan

1. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Pada penelitian ini FTIR digunakan untuk mengkarakterisasi zat warna pada DSSC yaitu untuk menganalisa gugus fungsi yang terdapat pada tanin dan poli tanin yang diperoleh dari proses polimerisasi tanin. Analisa FTIR dilakukan dengan melihat spektrum- spektrum yang khas dari gugus fungsi yang terkandung dalam senyawa tanin pada tanin murni dan poli tanin (Damayanti & Sanjaya, Hary, 2014)

2. *UV- DRS*

UV- DRS merupakan instrumen yang digunakan dalam melihat *band- gap* dari senyawa TiO_2 yang didoping dengan logam Fe. Energi *band-gap* dapat diketahui dengan mengkonversi besaran %R kedalam faktor Kubelka- Munk ($F(R)$). Metode Kubelka- Munk ini dapat digunakan untuk mencari *band-gap* (E_g) yaitu :

$$E_g = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

Energi celah pita dapat diperoleh dari grafik pada hubungan antara hv (eV) vs $(F(R')hv)^{1/2}$. E_g merupakan energi *band-gap* (eV), h yaitu ketetapan planck ($6,626 \times 10^{-34}$ Js), c merupakan kecepatan cahaya ($1,872452 \times 10^{36}$) dan λ yaitu panjang gelombang (nm). Energi *band-gap* dari semikonduktor yaitu besarnya hv pada saat $(F(R')hv)^{1/2} = 0$, yang dapat dihasilkan dari persamaan regresi linier kurva tersebut (Sanjaya et al., 2018).

3. Multimeter

Multimeter merupakan alat yang digunakan dalam pengukuran arus *short circuit* (I_{sc}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) jika dihubungkan langsung dengan DSSC. Selain itu multimeter digunakan juga untuk mengetahui dan mencari sisi konduktif pada substrat. Pada penelitian ini sel surya DSSC yang telah dirangkai dilakukan pengujian arus dan tegangan yang dihasilkan dan dapat diukur melalui multimeter ini.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Konsentrasi maksimum inisiator KOH pada proses polimerisasi tanin yaitu 2% dengan efisiensi sel surya yaitu 7,01%.
2. Volume maksimum agen pengikat silang (*Glutaraldehyde*) pada proses polimerisasi tanin yaitu 2,5 mL dengan efisiensi sel surya 7,01%.
3. TiO_2 setelah didoping logam Fe memiliki *band-gap* sebesar 3,05 eV.

B. Saran

Penelitian ini selanjutnya diperlukan karakterisasi FTIR pada setiap variasi penambahan volume *crosslinker* (agen pengikat silang) agar dapat mengetahui pergeseran pita serapan pada setiap variasi penambahan volume *crosslinker*. Selain itu juga diperlukan dopan lain yang lebih efektif untuk menurunkan E_g dari TiO_2 .

DAFTAR PUSTAKA

- Çakar, S., & Özacar, M. (2016). Fe-Tannic Acid Complex Dye as Photo Sensitizer for NU. SAA. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2016.03.031>
- Cheng, X. L., Zhao, H., Huo, L. H., Gao, S., & Zhao, J. G. (2004). ZnO nanoparticulate thin film: Preparation, characterization and gas-sensing property. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 102(2), 248–252. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.04.080>
- Dahyunir Dahlan, T. S. L., & Aziz, H. (2016). *Sensitiser Dye Alami Daun Pandan , Akar Kunyit*. 8(1), 1–8.
- Damayanti, R., & Sanjaya, Hary, H. (2014). *Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (Dssc) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi*. VI(2), 148–157.
- Danarto, Y. C., Prihananto, S. A., & Pamungkas, Z. A. (2011). *Pemanfaatan Tanin dari Kulit Kayu Bakau sebagai Pengganti Gugus Fenol pada Resin Fenol Formaldehid*. 1–5.
- Darmapatni, K. A. G., Basori, A., & Suaniti, N. made. (2016). Pengembangan Metode Gc-Ms Untuk. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 18(3), 255–270.
- Eldha Sampepana, E. R. (2010). Analisa Sifat Fisikokimia Tanin Kulit Akasia Mangium untuk Bahan Baku Perekat. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, Vol 4 No 8.
- Fangidae, T. S., Morus, T., Bage, P., Anggorowati, A. A., & Sudaryanto, Y. (2020). Study of Malachite Green Adsorption using Tannin-Based Adsorbent (TBA) from Mangrove Bark (*Rhizophora mucronata*). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan,”* 14–15.
- Handayani, S., Gunawan, G., & Haris, A. (2013). Pengaruh Pasta ZnO dengan Penambahan Dish Detergent dan PVA pada Kaca Konduktif terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell dari Ekstrak Bunga Rosela (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 16(3), 90–96. <https://doi.org/10.14710/jksa.16.3.90-96>
- Hardeli, H., Sanjaya, H., A, N. F., & Lasmi, Y. (2020). *Zn Electrodeposition of Titanium Dioxide for the Application of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) with Extracts of Natural Dyes That Were Co-pigmented with Salicylic Acid*. 10(ICoBioSE 2019), 376–383.
- Hardeli, Suwardani, Fernando, T., Maulidis, & Ridwan, S. (2013). Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO 2 Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*,