

**PENGARUH SUHU DAN KONSENTRASI MONOMER PADA
POLIMERISASI ASAM TANAT SEBAGAI ZAT WARNA
TERHADAP EFISIENSIDYE *SENSITIZED SOLAR CELL*
(DSSC)**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



**Oleh:
DWI AGUSTINI
16036057/2016**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2020**

PERSETUJUAN SKRIPSI

**PENGARUH SUHU DAN KONSENTRASI MONOMER PADA
POLIMERISASI ASAM TANAT SEBAGAI ZAT WARNA TERHADAP
EFISIENSI DYE SENSITIZED SOLAR SEL (DSSC)**

Nama : Dwi Agustini
NIM : 16036058
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Mei 2020

Mengetahui:
Ketua Jurusan



Alizar, S. Pd, M. Sc, Ph. D
NIP. 19700902 1998011 002

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing



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

PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

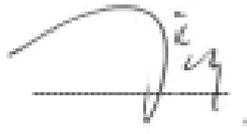
Nama : Dwi Agustini
NIM : 16036057
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PENGARUH SUHU DAN KONSENTRASI MONOMER PADA POLIMERISASI ASAM TANAT SEBAGAI ZAT WARNA TERHADAP EFISIENSI DYE SENSITIZED SOLAR SEL (DSSC)

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

Padang, Mei 2020

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Dr. Hardeli, M.Si	
Anggota	: Drs. Bshrizal, M.Si	
Anggota	: Budhi Oktavia, M.Si, Ph. D	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Dwi Agustini
NIM : 16036057
Tempat/Tanggal lahir : Argamakmur / 15 Agustus 1998
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : **Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Monomer pada Polimerisasi Asam Tanat sebagai Zat Warna Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Sel (DSSC)**

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. 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, Mei 2020
Yang menyatakan



Dwi Agustini
NIM : 16036057

Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Monomer pada Polimerisasi Asam Tanat sebagai Zat Warna Terhadap Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Dwi Agustini

ABSTRAK

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan sel surya dengan zat warna sebagai penyerap foton dari cahaya matahari. Penelitian terkait DSSC masih terus berlanjut guna mencari komponen DSSC yang menghasilkan efisiensi yang tinggi, namun mudah dan murah diproduksi. Efisiensi DSSC salah satunya dipengaruhi oleh banyaknya ikatan π - π^* pada zat warna. Ikatan π - π^* akan menyerap foton cahaya matahari dan mengalirkan elektron ke rangkaian sel surya.

Salah satu metode yang dapat digunakan guna memperbanyak ikatan π - π^* polimerisasi. Polimerisasi merupakan reaksi gabungan beberapa monomer dengan susunan ulang tertentu. Monomer yang dipolimerisasi adalah asam tanat yang merupakan senyawa organik yang memiliki sekitar 20 ikatan π - π^* . Poli-asam tanat yang dihasilkan, kemudian digunakan sebagai zat warna pada rangkaian DSSC. DSSC yang telah dirakit diuji tegangan dan hambatannya dengan menggunakan multimeter digital. Zat warna yang telah dipolimerisasi dikarakterisasi menggunakan UV-Vis, FTIR dan dihitung berat molekul rata-rata polimer menggunakan metode viskositas.

Hasil analisa UV-Vis menunjukkan bahwa terjadinya pergeseran batokhromik pada zat warna yang telah dipolimerisasi. Efek batokhromik akan mengakibatkan semakin banyaknya foton yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Spektrum FTIR digunakan untuk mengkonfirmasi terbentuknya poli-asam tanat. Pada spektrum poli-asam tanat terdapat gugus eter yang terbentuk akibat ikatan asam tanat dengan pengikat silang. Efisiensi DSSC dengan zat warna yang dipolimerisasi didapatkan lebih tinggi dibandingkan zat warna yang tidak dipolimerisasi, yaitu 8,9%.

Kata kunci : DSSC, Polimerisasi, Asam Tanat, Titanium Dioksida.

Effect of Temperature and Concentration of Monomers on Polymerization of Tannic Acid as a Dyestuff on the Efficiency of Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)

Dwi Agustini

ABSTRACT

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) is a solar cell with a dye as an absorbent of photons from sunlight. Research related to DSSC is still ongoing to find DSSC components that produce high efficiency, but are easy and inexpensive to produce. DSSC efficiency is influenced by the number of π - π * bonds in the dyes. The π - π * bond will absorb photons of sunlight and flow electrons into a series of solar cells.

One method that can be used to multiply π - π * polymerization bonds. Polymerization is a combined reaction of several monomers with certain rearrangements. The polymerized monomer is tannic acid which is an organic compound that has about 20 π - π * bonds. The tannic acid produced is then used as a dye in the DSSC circuit. Assembled DSSCs are tested for voltage and resistance using a digital multimeter. The polymerized dyes were characterized using UV-Vis, FTIR and the average molecular weight of the polymer was calculated using the viscosity method.

The results of the UV-Vis analysis showed that the bathochromic shift occurred in the polymerized dye. The bathochromic effect will cause more photons to be converted into electrical energy. The FTIR spectrum is used to confirm the formation of poly-tannic acid. In the poly-tannic spectrum there are ether groups formed by the bonding of tannic acids with crosslinkers. The efficiency of DSSC with polymerized dyes was higher than that of non-polymerized dyes, which was 8.9%.

Keywords: DSSC, Polymerization, Tannic Acid, Titanium Dioxide.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Monomer pada Polimerisasi Asam Tanat sebagai Zat Warna terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*”**. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi mata kuliah Tugas Akhir 2 di Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan, dorongan dan semangat kepada:

1. Bapak Dr. Hardeli, M.Si., selaku Pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak Drs. Bahrizal, M.Si., selaku Pembimbing Akademik dan dosen pembahas.
3. Bapak Budhi Oktavia, S.Si, M.Si., Ph.D., dan Bapak Umar Kalmar Nizar, S.Si., M.Si., Ph.D., atas masukannya pada ujian seminar proposal.
4. Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis dalam menyelesaikan proposal ini.
5. Ibu Okta Suryani, S.Pd., M.Si., Ph.D., dan Ibu Sri Benti Atikah, M.Si., selaku dosen yang membantu berdiskusi tentang asam tanat dan senyawa lainnya.
6. Bapak Alizar, M.Si., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.
7. Bapak Umar Kalmar Nizar, M.Si., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Kimia NK Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

8. Teman-teman yang telah membantu dalam pembuatan proposal ini.
9. Semua pihak terkait yang turut berkontribusi dalam proposal ini.

Semoga rahmat dan kasih sayang Allah SWT selalu tercurah pada kita semua serta usaha dan kerja kita bernilai ibadah di hadapan Allah SWT, Amin Ya Rabbal 'Alamin. Penulis menyadari bahwa proposal ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan masukan dan saran dari pembaca agar proposal ini bermanfaat dikemudian harinya.

Padang, April 2020

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi masalah.....	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat penelitian.....	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
A. Sel Surya.....	6
B. DSSC	7
1. Komponen DSSC	7
2. Mekanisme Kerja DSSC	11
3. Efisiensi DSSC	12
C. Tanin.....	13
1. Asam Tanat	13
D. Polimerisasi	15
1. Berat Molekul Rata-rata Polimer dan Derajat Polimerisasi	16
G. Instrumen Karakterisasi	19
1. Spektrofotometer UV-Vis	19
2. FTIR (Fourier Transform Infrared).....	19
3. Multimeter	21
BAB III	22
METODOLOGI PENELITIAN.....	22
A. Waktu dan Tempat Penelitian	22
B. Variabel Penelitian.....	22
C. Alat dan Bahan	22

1. Alat.....	22
2. Bahan	22
D. Cara Kerja.....	23
1. Preparasi Zat Warna.....	23
2. Preparasi Elektrolit	23
3. Preparasi Pasta TiO ₂	23
4. Preparasi Elektroda Lawan	24
5. Perakitan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)	24
6. Pengujian	24
BAB IV	26
HASIL DAN PEMBAHASA.....	26
A. Preparasi Zat Warna Poli-Asam Tanat	26
B. Karakterisasi Poli-Asam Tanat dengan UV-Vis dan FTIR	30
C. Efisiensi Sel.....	35
D. BM Poli-asam tanat	38
KEPUSTAKAAN	42
LAMPIRAN.....	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1 Jenis-jenis sel surya.....	6
2 Struktur Dye Sensitize Solar Cell (DSSC).....	7
3 Fasa anatase titanium dioksida.....	9
4 Skema kerja dari DSSC.....	11
5 Struktur inti tanin	13
6 Struktur asam tanat.....	14
7 Contoh reaksi polimerisasi ikat silang asam tanat	18
8 Gambar grafik hasil uji spektrofotometer UV-Vis asam tanat dengan pelarut air	19
9 Hasil FTIR asam tanat, poli asam tanat dengan pengikat silang TMPGDE dan GDE.....	21
10 Perkiraan reaksi asam tanat dengan TMPGDE.....	27
11 Hasil UV-Vis asam tanat dan poli-asam tanat	32
12 Perbandingan spektrum FTIR asam tanat dan poli-asam tanat dengan konsentrasi monomer 2,0 g pada variasi suhu	34
13 Perbandingan spektrum FTIR asam tanat dan poli-asam tanat dengan konsentrasi monomer 2,5 g pada variasi suhu	34
14 Perbandingan spektrum FTIR asam tanat dan poli-asam tanat dengan konsentrasi monomer 2,5 g pada variasi suhu	34
15 Ilusi ikatan kelat yang terjadi antara TiO ₂ dengan asam tanat	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1 Diagram Alir Prosedur Kerja Secara Keseluruhan	46
2 Preparasi Zat Warna.....	46
3 Preparasi Elektrolit.....	47
4 Preparasi Pasta TiO ₂	47
5 Preparasi Elektroda Lawan	47
6 Perakitan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC).....	47
7 Hasil Pengamatan.....	48
8 Hasil Pengujian DSSC	49
9 Perhitungan efisiensi sel.....	52
11 Perhitungan viskositas.....	55
12 Hasil FTIR asam tanat dan poli-asam tanat	56
13 Hasil UV-Vis asam tanat dan poli-asam tanat	61

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1 Spektrum FTIR.....	20
2 Tabel variasi variabel	22
3 Hasil UV-Vis asam tanat dan poli-asam tanat	31
4. Interpretasi Data FTIR untuk asam tanat	33
5 Hasil Pengukuran Tegangan, Hambatan, dan efisiensi sel	52
6 Bilangan gelombang Poli-asam tanat yang muncul pada spectrum FTIR .	56

DAFTAR GRAFIK

Grafik	Halaman
1 Massa Poli-asam tanat yang dihasilkan dengan konsentrasi monomer awal 2,0 gram dalam variasi suhu reaksi polimerisasi.....	28
2 Massa Poli-asam tanat yang dihasilkan dengan konsentrasi monomer awal 2,5 gram dalam variasi suhu reaksi polimerisasi.....	29
3 Massa Poli-asam tanat yang dihasilkan dengan konsentrasi monomer awal 3,0 gram dalam variasi suhu reaksi polimerisasi.....	29
4 Efisiensi sel pada konsentrasi monomer 2,0 g dan variasi suhu polimerisasi....	35
5 Efisiensi sel pada konsentrasi monomer 2,5 g dan variasi suhu polimerisasi....	36
6 Efisiensi sel pada konsentrasi monomer 3,0 g dan variasi suhu polimerisasi....	36
7 Efisiensi sel dalam setiap variasi yang dilakukan	37

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan konsumsi energi yang tinggi. Pertumbuhan konsumsi energi di Indonesia mencapai 7 % pertahun, dengan 95 % konsumsi energi berasal dari bahan bakar fosil (Hani 2015). Ketersediaan bahan bakar fosil di bumi semaki menipis dengan kebutuhan pakai yang semakin meningkat setiap tahunnya. Sangat diperlukannya pengembangan energi baru terbarukan guna menyelamatkan sumber energi.

Salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan adalah energi matahari. Energi radiasi matahari yang diterima oleh bumi berkisar 2×10^{17} Watt setiap harinya, dimana pancaran panas matahari perjam setara dengan pembakaran satu miliar ton batu bara (Sari, Azafilmi, and Sukanta 2017). Sel surya akan mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik (Kumara and Prajitno 2012). Prinsip kerja DSSC adalah dengan mengkonveksi energi foton menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik (Hani 2015). Beberapa kelebihan DSSC diantaranya adalah tidak memerlukan bahan dengan kemurnian yang tinggi, serta biaya dan energi produksi yang relatif rendah (Pradana and Sunsanti 2013).

Komponen penyusun DSSC ialah substrat kaca tipis, nanokristal semikonduktor, zat warna, elektroda lawan, dan elektrolit (Nugraha and Susanti 2015). Zat warna yang digunakan pada DSSC dapat berupa zat warna organik dan sintetik. Zat warna sintetik pada umumnya mnghasilkan efisiensi sekitar 10%, namun harganya relatif mahal dan memiliki efek toksisitas terhadap lingkungan, sedangkan zat warna organik memiliki biaya dan energi produksi yang relatif murah, namun efisiensi DSSC yang dihasilkan masih rendah (Marco et al. 2014).

Oleh karena itu, modifikasi zat warna dilakukan untuk meningkatkan efisiensi DSSC dalam mengkonveksi energi matahari (Zainul et al. 2013).

Zat warna organik yang dapat digunakan pada DSSC, diantaranya adalah antosianin yang telah dikopigmentasi dengan efisiensi 4,14 % (Nurul et al. 2019), beta karotene 0,003 % (Diantoro et al. 2019), klorofil 0,1249 % (Syafinar et al. 2015), kurkumin 0,07 % (Sinha, De, and Ayaz 2018), dan tanin 1,32 % (Sa'adah 2010). Rendahnya efisiensi yang dihasilkan disebabkan oleh zat warna yang tidak stabil (Nurul et al. 2019), kandungan senyawa yang sedikit pada ekstrak tanaman (Rahayu et al. 2001), dan lainnya.

Senyawa turunan tanin adalah asam tanat. Asam tanat (tanin terkondensasi) merupakan senyawa stabil yang akan memberikan warna kuning keemasan pada tanaman (Afandi 2016) dan mengalami penyerapan radiasi pada panjang gelombang yang lebih besar dari 217 nm (Koirewoa, Fatimawali, and Wiyono 2012). Senyawa yang memiliki sistem aromatik terkonjugasi dapat mengeksitasi elektron atau photon dari sinar matahari (Bij et al. 1981).

Banyaknya ikatan rangkap terkonjugasi dan tersubstitusinya autokrom pada kromofom akan mempengaruhi banyaknya sinar matahari yang dapat dikonversi menjadi energi listrik (Rajour et al. 2015). Salah satu cara penambahan ikatan terkonjugasi dan substitusi autokrom adalah proses polimerisasi. Polimerisasi merupakan reaksi pembentukan polimer dengan susunan ulang tertentu (Block, Cowd, and Walker 1972). Asam tanat dapat dipolimerisasi melalui reaksi ikatan silang dengan Trimethylolpropane Triglycidyl Ether (TMPGDE). Residu asam tanat akan berikatan dengan TMPGDE menghasilkan eter dan lebih banyak gugus OH linier (Sahiner, Sagbas, and Aktas 2015).

Polimerisasi asam tanat, termasuk polimerisasi kondensasi yang dipengaruhi oleh konsentrasi monomer, pengikat silang, waktu reaksi, dan suhu. Konsentrasi monomer asam tanat divariasikan untuk melihat pengaruh konsentrasi monomer pada pembentukan poli-asam tanat. Semakin tinggi konsentrasi monomer, maka difusi monomer pada daerah aktif matriks polimer akan semakin meningkat, namun konsentrasi monomer yang tinggi juga akan meningkatkan terbentuknya homopolimer yang akan menghalangi difusi monomer pada substrat (Irwan Ginting Suka, Wasinton Simanjuntak 2007).

Faktor lain yang mempengaruhi reaksi polimerisasi adalah suhu. Peningkatan suhu akan menyebabkan peningkatan jumlah monomer yang berikatan pada agen pengikat silang (Irwan Ginting Suka, Wasinton Simanjuntak 2007). Asam tanat merupakan senyawa organik yang dapat terurai pada suhu $98,89^{\circ}$ – $101,67^{\circ}$ C (Sri Irianty and Yenti 2014). Oleh karena itu, penelitian kali memvariasikan suhu reaksi polimerisasi asam tanat untuk melihat suhu optimal pembentukan poli-asam tanat. Poli-asam tanat yang terbentuk akan diidentifikasi dengan spektrofotometer UV-Vis, FTIR, dan penentuan berat molekul polimer berdasarkan viskositasnya, serta pengujian DSSC dengan multimeter.

Berdasarkan uraian di atas penulis tertarik meneliti pengaruh suhu dan konsentrasi monomer pada polimerisasi asam tanat terhadap efisiensi DSSC. Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan efisiensi DSSC yang baik dari suhu dan konsentrasi monomer asam tanat, serta dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik alternatif pada masa mendatang.

B. Identifikasi masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut:

1. Polimerisasi asam tanat dilakukan untuk mendapatkan ikatan rangkap yang lebih banyak pada zat warna sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi DSSC
2. Pengaruh jumlah monomer asam tanat yang dipolimerisasi pada zat warna yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi DSSC
3. Pengaruh suhu proses polimerisasi zat warna yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi DSSC.

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Asam tanat dipolimerisasi dengan pengikat silang *Trimethylolpropane Triglycidyl Ether* (TMPGDE)
2. Variasi konsentrasi asam tanat yang digunakan adalah 2,0, 2,5, dan 3,0 gram.
3. Variasi suhu proses polimerisasi adalah 30°, 50°, 70°, dan 100° C.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang penelitian ini, maka penulis dapat merumuskan masalah, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh polimerisasi asam tanat sebagai zat warna terhadap efisiensi DSSC?
2. Bagaimana pengaruh jumlah monomer asam tanat yang dipolimerisasi pada zat warna DSSC?
3. Bagaimana pengaruh suhu proses polimerisasi zat warna DSSC?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan pengaruh konsentrasi monomer asam tanat yang polimerisasi
2. Menentukan pengaruh suhu pada proses polimerisasi asam tanat
3. Menentukan pengaruh suhu dan konsentrasi monomer pada polimerisasi asam tanat terhadap efisiensi DSSC.

F. Manfaat penelitian

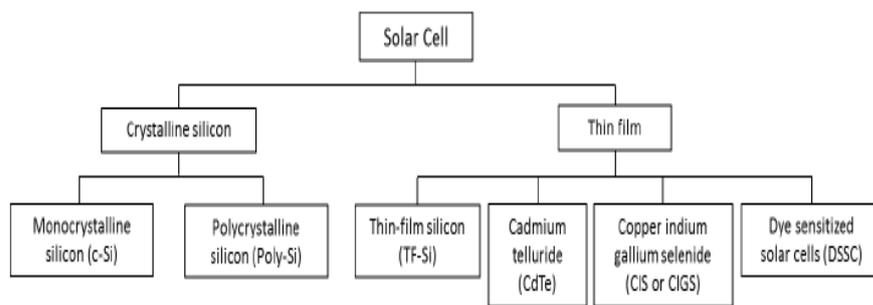
Penelitian ini diharapkan dapat:

1. Menambah ilmu pengetahuan tentang polimerisasi asam tanat
2. Menambah ilmu pengetahuan terkait zat warna pada DSSC
3. Menambah ilmu pengetahuan di bidang DSSC untuk menghasilkan arus listrik optimal dari DSSC
4. Menambah ilmu pengetahuan di bidang sel surya
5. Menambah ilmu pengetahuan di bidang energi terbarukan
6. Membantu sebagai referensi penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Sel Surya

Sel surya atau sel fotovoltaik merupakan salah satu energi terbarukan yang akan mengkonversi foton dengan panjang gelombang tertentu untuk menghasilkan energi listrik. Sel surya dibagi menjadi dua kelompok yaitu: *crystallin silicon* dan *thin film*.



Gambar 1 Jenis-jenis sel surya

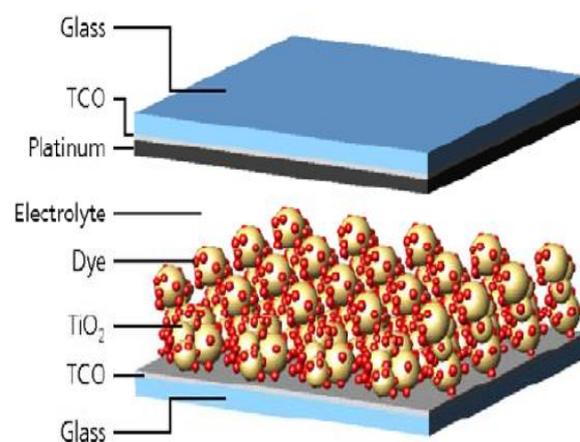
Penelitian tentang sel surya terus berlanjut, hingga saat ini terdapat empat generasi sel surya. Sel surya generasi pertama memiliki efisiensi 10-20 %, namun biaya dan energi produksi yang dibutuhkan relative tinggi. Pengembangan sel surya generasi kedua diharapkan dapat menutupi kelemahan sel surya generasi pertama, yaitu biaya produksi yang relatif lebih murah, namun efisiensi yang dihasilkan sekitar 10-15 % dan masih membutuhkan energi produksi yang relatif tinggi. Pada sel surya generasi ketiga, biaya dan energi produksi dapat diturunkan, namun efisiensi yang dihasilkan masih rendah, yaitu 10-12 %. Perkembangan sel surya hingga sekarang masih dalam tahap mencari komponen yang memiliki harga relatif murah sehingga mudah diproduksi dan efisiensi yang tinggi (Rajour et al. 2015).

B. DSSC

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan perangkat elektrokimia yang menggunakan molekul zat warna penyerap cahaya yang teradsorpsi pada nanopartikel semikonduktor untuk menghasilkan listrik dari cahaya matahari (Nurul et al. 2019). DSSC dikembangkan oleh O'Regan dan Gratzel pada 1991 (Grätzel 2003). Komponen penyusun DSSC terdiri atas substat film tipis (*Thin layer*), semikonduktor, elektroda lawan, elektrolit, dan zat warna (Sulaiman et al. 2018). Perkembang DSSC telah menghasilkan DSSC dengan efisiensi 14% pada 2018 .

1. Komponen DSSC

Setiap komponen DSSC memiliki fungsi tersendiri. Berbagai penelitian dengan modifikasi komponen DSSC telah dilakukan untuk mencapai efisiensi yang tinggi. DSSC dengan komponen yang memiliki efisiensi tinggi, biaya dan energi produksi rendah masih dalam tahap penelitian. Berikut komponen yang digunakan pada DSSC:



Gambar 2 Struktur Dye Sensitize Solar Cell (DSSC)
(Damayanti, Hardeli, and Sanjaya 2014)

a) Film Lapis Tipis

Lapisan film tipis (*thin film*) merupakan substrat bersifat konduktif yang berfungsi sebagai badan dari sel surya dan tempat muatan mengalir. *Thin film* yang digunakan biasanya adalah TCO (*Transparent Conductive Oxide*) (Kumara and Prajitno 2012). TCO yang sering digunakan dipilih berdasarkan konduktivitasnya dan yang sering digunakan, antara lain Indium Tin Oxide (ITO), aluminium zinc oxide (AZO) dan fluorene thin oxide (FTO). Berdasarkan penelitian Khoirudin, ITO memiliki transmitansi yang tinggi, resistivitasnya rendah, dan mengalami *defect* dalam proses sintering pada suhu 150°C. ITO terdiri dari campuran dari SnO₂ dan In₂O₃ dengan perbandingan Sn:In sekitar 5:96. (Khoiruddin 2012). ITO memiliki transparansi 80-85 %, sehingga dapat digolongkan material transparan (Nurul et al. 2019). Pada penelitian kali ini, digunakannya substrat film lapis tipis TCO yang dilapisi dengan menggunakan ITO.

b) Elektroda

Elektroda adalah semikonduktor yang menyediakan daerah permukaan untuk menyerap dan mengumpulkan cahaya dan sebagai penerima elektron dari zat warna yang tereksitasi (Nurul et al. 2019). Material semikonduktor yang digunakan dalam sel surya harus memiliki celah pita yang sesuai dengan energi matahari yang diserap oleh zat warna sehingga menghasilkan sel surya dengan efisiensi tinggi. Semikonduktor yang sering digunakan adalah TiO₂ karena memiliki energi *bandgap* yang lebar (3,2 eV) dan transmisi optik yang baik. TiO₂ yang berstruktur nanopori dapat menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah zat warna yang teradsorpsi yang implikasinya akan menaikkan

jumlah cahaya yang terserap (Kumara and Prajitno 2012). TiO_2 mempunyai tiga fasa. Fasa anatase adalah fase stabil dengan ukuran partikel kurang dari 11 nm, sehingga baik digunakan pada DSSC.



Gambar 3 Fasa anatase titanium dioksida (Nurul et al. 2019)

Struktur nanokristal dan juga luas permukaan yang tinggi adalah faktor yang penting untuk meningkatkan densitas dan transfer elektron (Yulianto et al. 2010). Modifikasi elektroda terus dikembangkan untuk mendapatkan elektroda dengan celah pita yang kecil. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah pendoppingan logam Cu pada TiO_2 dengan metode sol gel. Dopping logam Cu dapat meningkatkan efisiensi DSSC lebih tinggi dibandingkan dopping dengan logam Sn dan Fe. Logam Cu dinilai lebih sulit teroksidasi saat telah disisipkan ke TiO_2 dibandingkan dengan logam Fe (Rajour et al. 2015). Penelitian

c) Elektroda Pemanding

Elektroda pemanding berfungsi sebagai transpor elektron dari sirkuit luar perangkat DSSC kembali ke elektrolit dan berfungsi membawa arus sesuai lebar setiap sel surya. Elektroda pemanding harus memiliki aktivitas katalitik dan konduktivitas yang tinggi. Material yang umum digunakan adalah platina (Pt), emas atau karbon. Pt adalah katalis unggul untuk reduksi triiodida (I_3^-), namun

merupakan logam dengan biaya mahal. Karbon dipakai sebagai elektroda pembanding alternatif dari Pt, karena mudah didapatkan di alam, murah, memiliki konduktivitas yang memadai dan tahan terhadap panas pada DSSC (Chadijah, Dahlan, and Harmadi 2017). Karbon termasuk senyawa amorph dan memiliki kemampuan menyerap yang tinggi (Astuti 2012). Berdasarkan penelitian Chadijah, sumber karbon pada elektroda pembanding yang memiliki efisiensi tertinggi adalah karbon dari jelaga api lilin (Chadijah et al. 2017).

d) Elektrolit

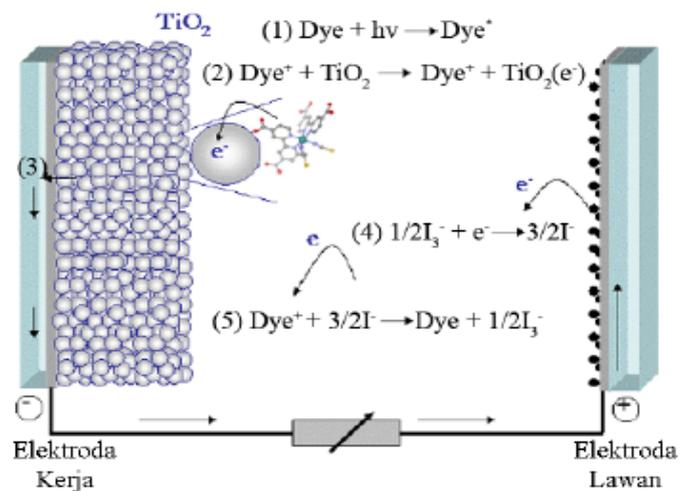
Elektrolit berfungsi sebagai pengganti elektron karena penyerapan cahaya oleh zat warna (Khoiruddin 2012). Elektrolit yang sering digunakan adalah pasangan elektrolit Iodida (I^-) dan triiodida (I_3^-) karena sifatnya yang stabil dan mempunyai *reversibility* yang baik (Wang et al. 2007). Efisiensi konversi foton menjadi arus listrik pada DSSC dengan elektrolit cair adalah sebesar 11% (Grätzel 2003). Selain itu, elektrolit redoks hanya mengandalkan pasokan iodin dari kristal cair ionik yang menggunakan iodida sebagai anionnya (Lin, Chen, and Chen 2011).

e) Zat pewarna

Zat warna adalah senyawa penangkap foton dari matahari, kemudian diabsorpsi pada permukaan molekul TiO_2 . Proses fotosintesis di tumbuhan membuktikan bahwa senyawa pada tumbuhan dapat digunakan sebagai penangkap foton pada DSSC. Zat warna yang bisa digunakan adalah pewarna alami dan pewarna sintesis. DSSC dengan zat warna sintetik *ruthenium complex* telah mencapai efisiensi 10%, namun ketersediaan dan harganya yang mahal dan sulit disintesa membuat adanya alternatif lain pengganti dengan zat warna dari

tumbuhan (Maddu, Zuhri, and . 2010). Zat warna dari bahan alam sangat murah, mudah dipreparasi serta ramah lingkungan jika dibanding dengan jenis zat warna sintesis, seperti *ruthenium complex* (Jin et al. 2012). Beberapa zat warna organik yang telah digunakan pada DSSC adalah senyawa antosianin (Nurul et al. 2019), klorofil (Syafinar et al. 2015), beta karotein (Diantoro et al. 2019; Khoiruddin 2012), dan tanin (Afandi 2016).

2. Mekanisme Kerja DSSC



Gambar 4 Skema kerja dari DSSC
(Hardeli, Suwardani, Riky, Fernando T, Maulidis 2013)

Prinsip kerja dari DSSC adalah eksitasi elektron pada molekul zat warna, kemudian terinjeksi menuju pita konduksi titania sehingga molekul zat warna teroksidasi. Elektrolit (I^-) memberikan elektron pada molekul zat warna sehingga kembali ke keadaan awal (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh zat warna yang teroksidasi. Elektron yang tereksitasi tersebut bergerak ke TCO, kemudian menuju elektroda pembanding melalui rangkaian eksternal. Katalis pada elektroda pembanding akan membantu penerimaan elektron oleh elektrolit. Elektron tersebut akan berekombinasi dengan hole yang

terbentuk pada elektrolit (I^{3-}) akibat donor elektron pada proses sebelumnya membentuk iodide (I). Iodide digunakan sebagai donor elektron bagi zat warna yang teroksidasi membentuk suatu siklus transport elektron. Siklus ini memungkinkan terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik (Prasetyowati 2012; Prasetyowati, Katriani, and Ningtias 2016).

3. Efisiensi DSSC

Kinerja sel surya dilihat berdasarkan efisiensi konversi energi cahaya ke listrik. Nilai efisiensi sel surya dihitung melalui nilai voltase dan kuat arus pada saat pengukuran. Faktor-faktor yang diukur adalah arus rangkaian pendek, tegangan rangkaian buka, arus maksimal, tegangan maksimal, faktor pengisian, luas permukaan, dan efisiensi (Ignasias 2018).

$$I_{max} = V_{max} R_{max}$$

$$A = P \times L$$

$$\eta = \frac{I_{Max} V_{max}}{P_{in} A} \times 100 \%$$

Keterangan:

I_{max} = arus maksimal (A)

V_{max} = tegangan maksimal (V)

R_{max} = hambatan maksimum (Ω)

P = panjang permukaan TiO_2 (m)

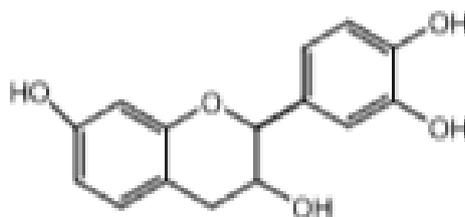
L = lebar permukaan TiO_2 (m)

A = luas permukaan (m^2)

η = efisiensi sel

C. Tanin

Tanin merupakan suatu grup fenolik polimer yang ditemukan di kulit kayu, daun, buah, dan akar (Hagerman et al. 1998). Sebagai salah satu tipe dari senyawa metabolit sekunder, tanin mempunyai karakteristik, yaitu senyawa oligomer dengan satuan struktur yang bermacam-macam dengan, gugus fenol bebas, berat molekul antara 500 sampai 20.000, larut dalam air dengan pengecualian beberapa struktur yang mempunyai berat molekul besar, mampu berikatan dengan protein dan terbentuk kompleks tanin-protein yang larut dan tidak larut (Salimei et al. 1994).



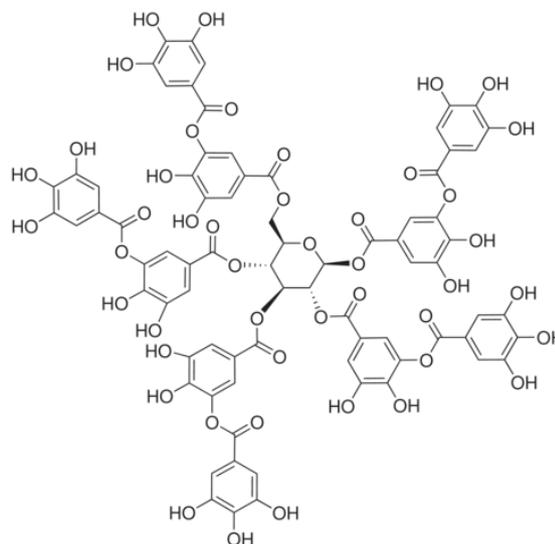
Gambar 5 Struktur inti tannin

Tanin terhidrolisis merupakan molekul dengan poliol sebagai pusatnya. Tanin terhidrolisis adalah pecahnya karbohidrat dan asam fenolik oleh asam lemah atau basa lemah (Hagerman et al. 1998). Gugus hidroksi pada karbohidrat sebagian atau semuanya teresterifikasi dengan gugus karboksil pada asam galat (gallotanin) atau asam ellagat (ellagitanin) (Salimei et al. 1994).

1. Asam Tanat

Secara struktural asam tanat adalah suatu senyawa fenol yang memiliki berat molekul besar, terdiri dari gugus hidroksi dan beberapa gugus karboksil untuk membentuk kompleks kuat yang efektif dengan protein dan beberapa makromolekul (Bij et al. 1981). Beberapa asam galat yang berikatan dengan satu molekul glukosa dikenal dengan nama asam tanat ($C_{76}H_{52}O_{46}$). Asam tanat

memiliki glukosa pusat dan 10 gugus asam galat yang saling menempel (Sagbas, Aktas, and Sahiner 2015). Struktur asam tanat sebagai berikut:



Gambar 6 Struktur asam tanat
(Çakar and Özacar 2018)

Sifat fisik asam tanat berupa polimer amorf, berwarna putih kekuningan, mempunyai bau spesifik, dapat larut dalam air, gliserol, dan sangat larut dalam alkohol, aseton. Asam tanat tidak larut dalam benzen, kloroform, eter dan petroleum eter, karbon disulfida, karbon tetraklorida (cohen, 1978). Sifat kimia dari asam tanat adalah berwarna coklat jika terkena cahaya, dengan albumin, tepung, gelatin, alkaloid dan garam metalik memberikan endapan yang tidak larut.

Senyawa asam tanat mengandung sistem aromatik yang terkonjugasi dan menunjukkan pita serapan yang kuat pada daerah ultraviolet dan tampak (Bij et al. 1981). Sistem konjugasi terdapat pada atom yang memiliki orbital-p secara paralel. Dengan penambahan ikatan ganda, sistem tersebut akan menyerap foton dari panjang gelombang yang lebih panjang. Senyawa dengan ikatan rangkap terkonjugasi seperti asam tanat akan mengalami penyerapan radiasi pada panjang gelombang yang lebih besar dari 217 nm (Koirewoa et al. 2012).

Asam tanat adalah pewarna alami yang telah ada di tanaman, terutama kayu dan dapat digunakan sebagai pemberi warna pada serat selulosa, seperti kapas yang sering dikombinasikan dengan logam penghambatan korosi yang akan bereaksi dengan senyawa korosi membentuk senyawa yang lebih stabil.

D. Polimerisasi

Polimerisasi adalah reaksi pembentukan polimer dengan susunan ulang tertentu (Block et al. 1972; Block, Cowd, and Walker 1977). Polimer adalah senyawa gabungan beberapa monomer (Rikson et al. 2017). Reaksi polimerisasi dibedakan menjadi dua, yaitu adisi yang melibatkan radikal bebas untuk menghasilkan polimer dan kondensasi yang merupakan reaksi antar gugus fungsi dari monomer (Rikson et al. 2017).

Polimer kondensasi terbentuk dari penggabungan molekul monomer yang saling bereaksi melalui dua gugus reaktif masing-masing dengan melepaskan molekul kecil lainnya. Setiap monomer harus mempunyai lebih dari satu gugus reaktif (tak serjenis atau sejenis) dan beraksi dengan gugus tak sejenis pada monomer lainnya. Monomer yang memiliki dua gugus reaktif tak sejenis, akan bereaksi secara intramolekul dan membentuk senyawa siklis sebagai reaksi samping. Proses polimerisasi kondensasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu konsentrasi pengikat silang, konsentrasi monomer, suhu, pelarut, dan waktu reaksi. Semakin tinggi konsentrasi monomer, maka difusi monomer pada daerah matriks polimer akan semakin tinggi, namun konsentrasi monomer yang tinggi akan meningkatkan terbentuknya homopolimer yang menghalangi difusi monomer dalam substrat polimer (Irwan Ginting Suka, Wasinton Simanjuntak 2007). Proses polimerisasi dengan kelebihan salah satu gugus fungsi dari

monomer ataupun pengikat silang akan menghasilkan polimer dengan berat molekul tidak (Rikson et al. 2017). Suhu proses polimerisasi akan mempengaruhi laju reaksi, suhu akan berbanding lurus dengan banyak polimer yang dihasilkan (Irwan Ginting Suka, Wasinton Simanjuntak 2007).

1. Berat Molekul Rata-rata Polimer dan Derajat Polimerisasi

Pada umumnya, berat molekul polimer dapat dinyatakan dalam beberapa bentuk, salah satunya adalah massa molekul rata-rata viskositas (Viscosity average molar mass) (M_v) dan dapat ditentukan dengan metode pengukuran viskositas. Metode ini mengukur viskositas dengan cara membandingkan waktu alir pelarut dan larutan polimer pada berbagai kepekatan atau konsentrasi. Penentuan berat molekul dengan metode viskositas adalah lebih cepat, lebih mudah, dan perhitungannya sederhana (Purnavita et al. 2015).

Metode viskosimetri dinilai lebih mudah dikerjakan dan pengolahan data yang tidak rumit (Irwan Ginting Suka, Wasinton Simanjuntak 2007). Metode viskosimetri akan diperoleh nilai berat molekul rata-rata viskos. Pengukuran dengan metode viskosimetri membutuhkan waktu yang sangat cepat, sederhana dan memiliki mobilitas tinggi (Wibowo et al. 2018). Nilai viskositas intrinsik dapat dicari berdasarkan persamaan Huggin;

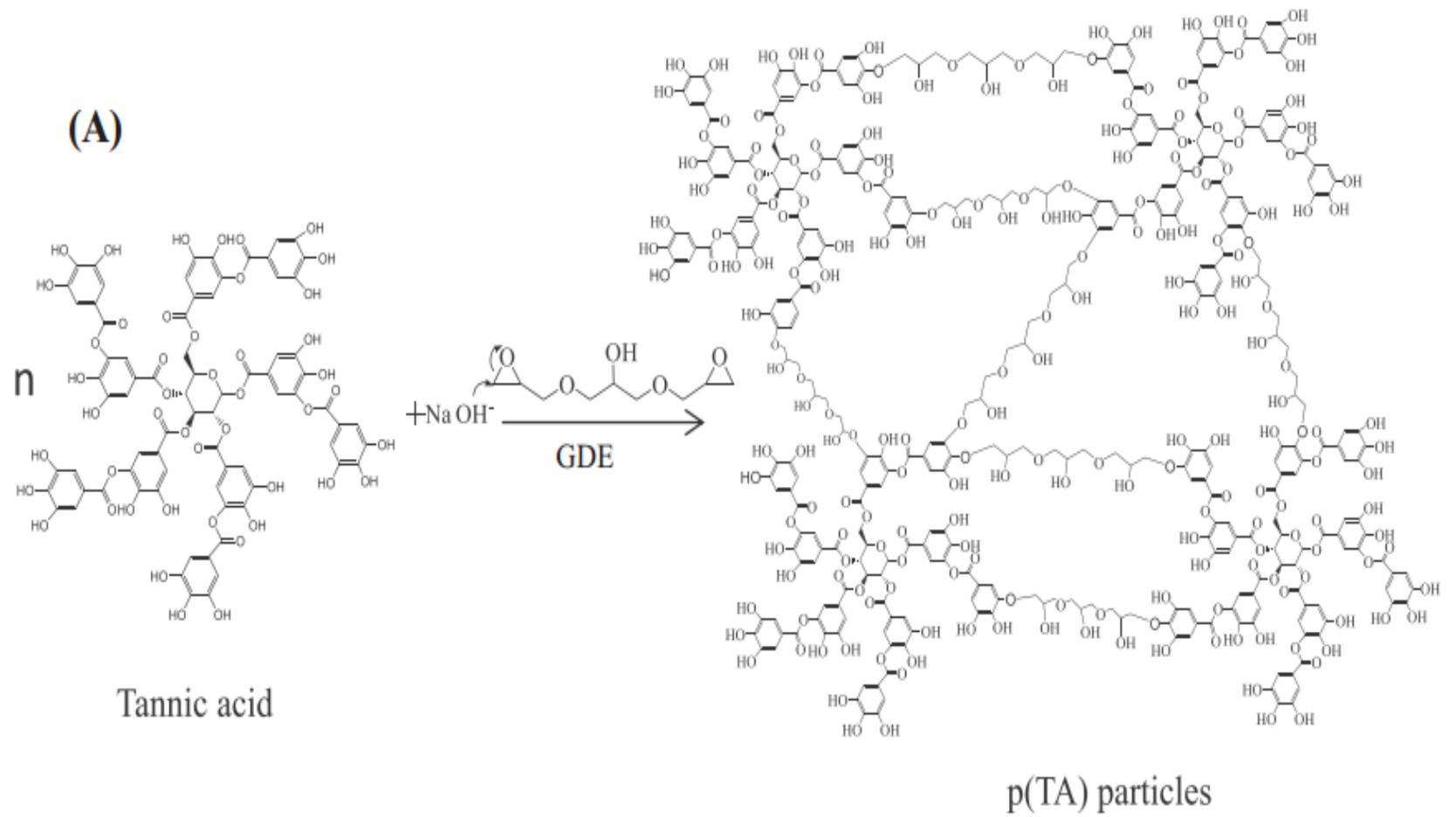
$$\frac{\eta_{sp}}{C} = [\eta] + kH [\eta]^2 C$$

Di mana, η_{sp} adalah viskositas spesifik, kH adalah konstanta Huggin (0,3), C adalah konsentrasi larutan dan $[\eta]^2$ adalah viskositas intrinsik. Persamaan Mark-Hawing membuat korelasi antara viskositas intrinsik (η) terhadap berat molekul (M_v) dalam bentuk garis lurus dengan nilai K dan a adalah tetapan Mark-Hawing.

$$[\eta] = KM^\alpha$$

dengan $[\eta]$ adalah viskositas, K merupakan ketetapan Mark-Houwink yang memiliki nilai sesuai dengan pelarut yang digunakan, α adalah faktor koreksi dengan nilai 0,6-0,9 ($K= 9,8 \times 10^{-3}$ dan $\alpha= 0,9$ untuk pelarut aquades), dan M adalah berat rata-rata polimer (Habibah, Nasution, and Muis 2013). Derajat polimerisasi adalah jumlah monomer yang berikatan pada polimerisasi. Semakin besar nilai berat molekul polimer, maka jumlah monomer yang berikatan juga semakin banyak. Penentuan derajat polimerisasi dapat dilakukan dengan cara membandingkan antara berat molekul yang diperoleh dengan berat molekul unit strukturnya (Irwan Ginting Suka, Wasinton Simanjuntak 2007).

$$DP = \frac{\text{berat molekul polimer}}{\text{berat molekul monomer}}$$

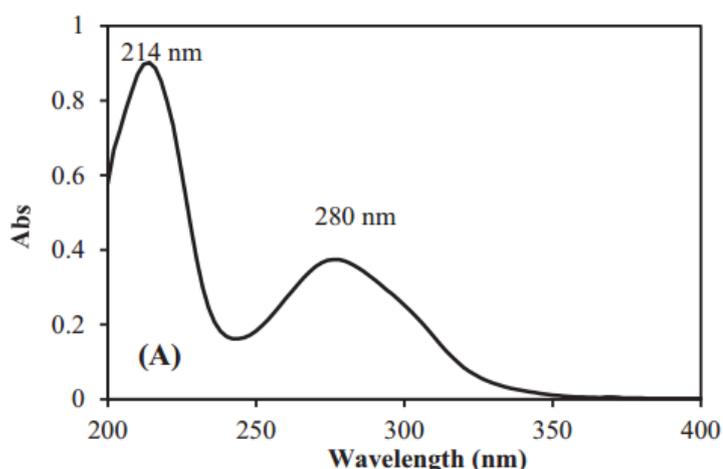


Gambar 7 Contoh reaksi polimerisasi ikat silang asam tanat
(Sagbas et al. 2015)

G. Instrumen Karakterisasi

1. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis merupakan suatu instrumen yang dapat mengukur absorbansi suatu spesi kimia pada panjang gelombang UV sampai cahaya tampak. Pada penelitian ini, spektrometer UV-Vis digunakan untuk menganalisis luas daerah absorbansi poli asam tanat. Analisa spektrometer UV-Vis digunakan secara luas untuk mengamati hasil polimerisasi suatu zat warna karena polimerisasi dapat menyebabkan efek hiperkromik dan batokromik, yaitu pergeseran absorbansi ke panjang gelombang lebih tinggi yang dapat diamat (Trouillas et al. 2016). Panjang gelombang yang digunakan, yaitu 200-800 nm, karena asam mempunyai daerah absorbansi sekitar 214 nm (Sahiner et al. 2015).



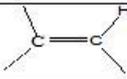
Gambar 8 Gambar grafik hasil uji spektrofotometer UV-Vis asam tanat dengan pelarut air (Sahiner et al. 2015)

2. FTIR (Fourier Transform Infrared)

FTIR merupakan salah satu instrument yang digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa dan menganalisis campuran dari sampel yang dianalisis tanpa merusak sampel. Daerah inframerah pada spektrum

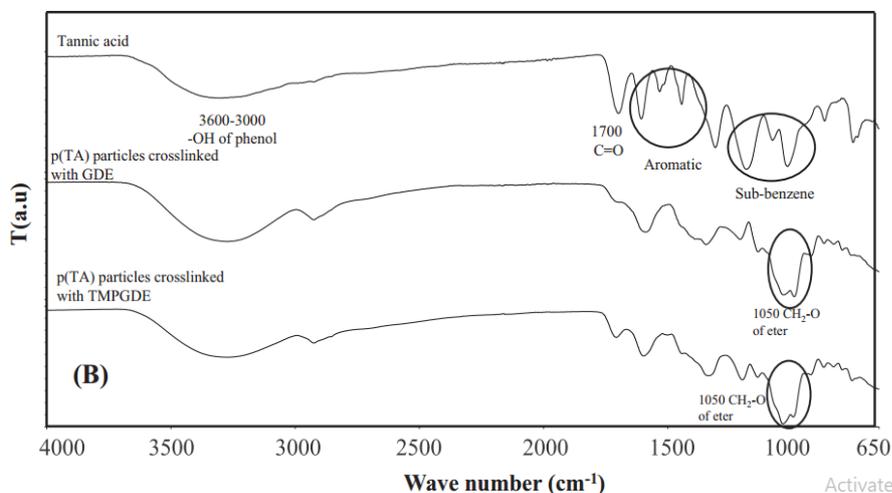
gelombang elektromagnetik dimulai dari panjang gelombang 14000 cm^{-1} hingga 10^{-1} . Berdasarkan panjang gelombang tersebut daerah inframerah dibagi menjadi tiga daerah, yaitu IR dekat ($14000\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$) yang peka terhadap vibrasi *overtone*, IR sedang ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) berkaitan dengan transisi energi vibrasi dari molekul yang memberikan informasi mengenai gugus-gugus fungsi dalam molekul tersebut, dan IR jauh ($400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$) untuk menganalisis molekul yang mengandung atom-atom berat seperti senyawa anorganik (Lin et al. 2019).

Tabel 1 Spektrum FTIR
(Skoog, 1998)

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah frekuensi (cm^{-1})	Intensitas
C - H	Alkana	2850 - 2970 1340 - 1470	Kuat Kuat
C - H	Alkena 	3010 - 3095 675 - 995	Sedang Kuat
C - H	Alkuna 	3300	Kuat
C - H	Cincin Aromatik	3010 - 3100 690 - 900	Sedang Kuat
O - H	Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol	3590 - 3650 3200 - 3600	Berubah-ubah Berubah-ubah, terkadang melebar
	monomer asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat	3500 - 3650 2500 - 2700	Sedang Melebar
N - H	Amina, Amida	3300 - 3500	Sedang
C=C	Alkena	1610 - 1680	Berubah-ubah
C=C	Cincin Aromatik	1500 - 1600	Berubah-ubah
C≡C	Alkuna	2100 - 2260	Berubah-ubah
C - N	Amina, Amida	1180 - 1360	Kuat
C≡N	Nitril	2210 - 2280	Kuat
C - O	Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester	1050 - 1300	Kuat
C=O	Aldehid, Keton, Asam Karboksilat, Ester	1690 - 1760	Kuat
NO ₂	Senyawa Nitro	1500 - 1570 1300 - 1370	Kuat Kuat

Berdasarkan penelitian sebelumnya, gugus fungsi yang diidentifikasi dari spektrum FTIR asam tanat dan poli asam tanat, yaitu gugus O-H dari fenol pada panjang gelombang $3300\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ dengan puncak lebar, gugus C=O muncul

pada panjang gelombang 1700 cm^{-1} , gugus eter $\text{CH}_2\text{-O}$ muncul pada panjang gelombang 1050 cm^{-1} .



Gambar 9 Hasil FTIR asam tanat, poli asam tanat dengan pengikat silang TMPGDE dan GDE (Sahiner et al. 2015)

3. Multimeter

Multimeter digital digunakan pengujian tegangan dan arus yang terukur terhadap DSSC yang telah dirangkai. Multimeter juga dapat digunakan untuk mencari sisi konduktif pada substrat (Nurul et al. 2019). Sel surya yang telah dirangkai dilakukan pengujian tegangan dan hambatannya menggunakan multimeter digital merk Sanwa. Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya matahari langsung pada saat penyinaran cerah (Prasetyowati 2012).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Efisiensi DSSC dengan zat warna poli-asam lebih tinggi dibandingkan asam tanat, yaitu 8,984% banding 1,35%.
2. Efisiensi DSSC yang paling tinggi dari variasi monomer 2,0; 2,5; dan 3,0 g adalah 2,5 g.
3. Efisiensi DSSC yang paling tinggi didapatkan pada variasi suhu 30, 50, 70, dan 100° C adalah 50°C.
4. Efisiensi sel paling tinggi, yaitu 8,984% didapatkan dari zat warna yang dipolimerisasi dengan konsentrasi monomer 2,5 g dan suhu polimerisasi 50°C.
5. BM dan derajat polimerisasi poli-asam tanat 2,5 g-50° C berdasarkan hasil perhitungan adalah 32.610,1568 dan 19,182.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan beberapa hal sebagai berikut :

1. Penggunaan kaca ITO sebaiknya digantikan dengan kaca FTO menghindari terjadinya kenaikan hambatan kaca akibat perlakuan pemanasan atau lainnya yang akan berpengaruh terhadap efisiensi DSSC.

2. Pada polimerisasi, sebaiknya digunakan lesitin padatan sehingga lebih mudah larut dalam pelarut heksana.
3. Penggunaan heksana sebagai pelarut sebaiknya diganti dengan sikloheksana yang memiliki kepolaran lebih tinggi, sehingga lesitin lebih mudah dilarutkan.
4. Sebaiknya dilakukan variasi suhu pada rentang 50-70°C guna mencari suhu optimal yang lebih akurat.
5. Sebaiknya diuji ikatan yang terjadi antara zat warna dan semikonduktor yang digunakan.

KEPUSTAKAAN

- Afandi, Irwan. 2016. "studi awal fabrikasi dye sensitized solar cell (dssc) dengan menggunakan ekstrak buah dan menggunakan ekstrak buah dan daun sirsak (annona uricata l.) Sebagai fotosensitizer."
- Agnestika, Zoya. 2015. "Pengaruh Suhu Dan Konsentrasi Terhadap Kecepatan Reaksi." (April).
- Astuti, Rukmini Dwi. 2012. "Dssc (Dye Sensitized Solar Cell) Dengan Senyawa Antosianin Dari Kulit Terong Ungu (Solanum Melongena L) Sebagai Photosensitized."
- Bij, Klaas E., Csaba Horváth, Wayne R. Melander, and Avi Nahum. 1981. "Surface Silanols in Silica-Bonded Hydrocarbonaceous Stationary Phases II. Irregular Retention Behavior and Effect of Silanol Masking." *Journal of Chromatography A* 203:65–84.
- Block, H., M. A. Cowd, and S. M. Walker. 1972. "Copolymerization of Phenylethyne with Maleic Anhydride." *Polymer* 13(11):549–51.
- Block, H., M. A. Cowd, and S. M. Walker. 1977. "Conductivities of Poly (N-Vinyl Carbazoles) Containing Cation-Radicals." 18(1):781–85.
- Çakar, Soner and Mahmut Özacar. 2018. "The PH Dependent Tannic Acid and Fe-Tannic Acid Complex Dye for Dye Sensitized Solar Cell Applications." *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry.*
- Chadijah, Siti, Dahyunir Dahlan, and Harmadi Harmadi. 2017. "Pembuatan Counter Electrode Karbon Untuk Aplikasi Elektroda Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC)." *Jurnal Ilmu Fisika / Universitas Andalas* 8(2):78–86.
- Damayanti, Retno, Hardeli, and Hary Sanjaya. 2014. "Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (Ipomea Batatas L.)." *Jurnal Sains Dan Teknologi* 6(2):148–57.
- Diantoro, Markus, Thathit Suprayogi, Ahmad Taufiq, and Abdulloh Fuad. 2019. "ScienceDirect The Effect of PANI Fraction on Photo Anode Based on TiO₂ -PANI / ITO DSSC with β -Carotene as Dye Sensitizer on Its Structure , Absorbance , and Efficiency." *Materials Today: Proceedings* 17:1197–1209.
- FR, Putri. 2019. "Dekomposisi Senyawa Organik Dalam Limbah Daging Dan Tulang Dengan Metode Conductive Drying." 19–30.
- Grätzel, Michael. 2003. "Dye-Sensitized Solar Cells Michael." *Photochemistry and Photobiologi* 4:145–53.
- Gunawan, Lestari Pangestuti Diah, and Abdul Haris. 2008. "Pembuatan Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Dengan Sensitizer." 11(3):70–77.
- Habibah, Rudnin, Darwin Yunus Nasution, and Yugia Muis. 2013. "Penentuan Berat Molekul Dan Derajat Polimerisasi Alpha-Selulosa Yang Berasal Dari Alang-Alang (Imperata Cylindrica) Dengan Metode Viskositas." *Jurnal Saintia Kimia* 1(2).
- Hagerman, Ann E., Ken M. Riedl, G. Alexander Jones, Kara N. Sovik, Nicole T. Ritchard, Paul W. Hartzfeld, and Thomas L. Riechel. 1998. "High Molecular Weight Plant Polyphenolics (Tannins) as Biological Antioxidants." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46(5):1887–92.
- Hani, Slamet. 2015. "Pembangkit Listrik Energi Matahari Sebagai Penggerak Pompa Air Dengan Menggunakan Solar Cell." 7(2):157–63.
- Hardeli, Suwardani, Riky, Fernando T, Maulidis, Silvia Ridwan. 2013. "Dye