

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

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains



**Oleh:
YOLLANDA PRISSILA PUTRI
NIM.18036100/2018**

**PROGRAM STUDI KIMIA
DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini

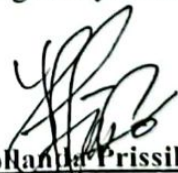
Nama : Yollanda Prissila Putri
NIM : 18036100
Tempat/Tanggal Lahir : Sikakap/ 16 Desember 1999
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)
Menggunakan Poli Kuersetin Sebagai Zat Warna Untuk
Meningkatkan 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 ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali 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, 26 Agustus 2022
Yang Menyatakan


Yollanda Prissila Putri
NIM : 18036100

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Yollanda Prissila Putri
TM/NIM : 2018/18036100
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

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

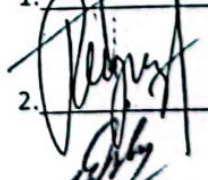
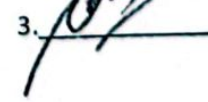
Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi
Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 26 Agustus 2022

Tim Penguji

No	Jabatan	Nama
1	Ketua	Dr. Hardeli, M.Si
2	Anggota	Prof. Dr. Rahadian Z, S.Pd., M.Si
3	Anggota	Dr.rer.nat. Deski Beri, S.Si, M.Si

Tanda Tangan

1. 
2. 
3. 

PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Poli
Kuersetin Sebagai Zat Warna Untuk Meningkatkan Efisiensi Sel
Surya
Nama : Yollanda Prissila Putri
NIM : 18036100
Program Studi : Kimia
Departemen : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 26 Agustus 2022

Disetujui Oleh:

Kepala Departemen Kimia



Budhi Oktavia, S.Si, M.Si, Ph.D
NIP. 19721024 199803 1 001

Dosen Pembimbing



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

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

ABSTRAK

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan salah satu jenis sel surya generasi ketiga berbasis zat warna yang berfungsi sebagai penyerap foton. Modifikasi penelitian dilakukan pada zat warna kuersetin untuk memperbanyak ikatan rangkap dan semikonduktor yang digunakan dilakukan dengan cara doping $\text{TiO}_2 - \text{ZnO}$. Doping dapat menurunkan energy gap yang menyebabkan meningkatnya konduktivitas TiO_2 . $\text{TiO}_2 - \text{ZnO}$ dikarakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-DRS, sedangkan karakterisasi zat warna menggunakan FTIR. Pengujian DSSC dilakukan perlakuan variasi konsentrasi monomer, variasi konsentrasi inisiator dan variasi volume *crosslinker*. Preparasi lapisan $\text{TiO}_2 - \text{ZnO}$ menggunakan metode *doctor blade* pada kaca ITO dan zat warna direndam pada poli kuersetin. Rangkaian DSSC disusun membentuk *sandwich* yang saling berhadapan antara elektroda kerja dan *counter electrode*. Elektroda tersebut dijepit kemudian ditetesi dengan larutan elektrolit semi padat. Nilai efisiensi DSSC dapat di uji dari hasil pengukuran dan hambatan tegangan dengan reactor sinar UV daya 24 watt/m^2 menggunakan multimeter digital. Hasil karakterisasi zat warna poli kuersttin menunjukkan pada $\text{TiO}_2 - \text{ZnO}$ mengalami penurunan energy gap sebesar 3,2 eV menjadi 3,02 eV. Efisiensi tertinggi dihasilkan pada konsentrasi monomer 2,5 gram sebesar 11,8% dan konsenstrasi inisiator 1% yang menghasilkan efesiensi tertinggi yaitu 14,5%. Pada crosslinker efisiensi tertinggi dihasilkan pada volume 2,5 ml dengan efesiensi sebesar 11,3%.

Kata Kunci : DSSC, poli kuersetin, $\text{TiO}_2 - \text{ZnO}$, doping, polimerisasi

PREPARATION OF DYE-SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) USING POLY QUERCETINE AS A DYE TO IMPROVE SOLAR CELL EFFICIENCY

ABSTRACT

Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC) is a type of dye-based third-generation solar cell that functions as a photon absorber. Modification of the research was carried out on quercetin dye to increase double bonds and the semiconductor used was done by doping TiO₂ - ZnO. Doping can reduce the energy gap which causes an increase in the conductivity of TiO₂. Doping can reduce the energy gap which causes an increase in the conductivity of TiO₂. TiO₂ - ZnO was characterized using UV-DRS Spectrophotometer, while the dyestuff was characterized using FTIR. The DSSC test was carried out by treating variations in monomer concentrations, variations in initiator concentrations, and variations in crosslinker volume. TiO₂ - ZnO layer preparation using the doctor blade method on ITO glass and dye immersed in poly quercetin. The electrode is clamped and then dripped with a semi-solid electrolyte solution. The DSSC efficiency value can be tested from the measurement results and voltage resistance with a UV light reactor with a power of 24 watt/m² using a digital multimeter. The results of the characterization of poly quercetin dye showed that TiO₂ - ZnO decreased the energy gap by 3.2 eV to 3.02 eV. The highest efficiency was produced at the monomer concentration of 2.5 grams of 11.8% and the initiator concentration of 1% which resulted in the highest efficiency of 14.5%. In crosslinker, the highest efficiency is produced at a volume of 2.5 ml with an efficiency of 11.3%.

Keywords: DSSC, poly quercetin, TiO₂ - ZnO, doping, polymerization

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat, karunia serta hidayah-Nya yang telah memberi kekuatan dan kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“Preparasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) Menggunakan Poli Kuersetin Sebagai Zat Warna Untuk Meningkatkan Efisiensi Sel Surya”**. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi syarat mata kuliah Seminar Hasil pada Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, petunjuk, arahan serta masukan yang berharga dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. Dr. Hardeli, M.Si selaku penasehat akademik sekaligus pembimbing penelitian yang telah memberikan arahan serta bimbingan hingga selesainya penulisan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Rahadian Z, S.Pd., M.Si dan Dr. rer. nat. Deski Beri, M.Si selaku penguji pada ujian skripsi.
3. Budhi Oktavia, M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Kimia dan selaku Ketua Program Studi Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
4. Dosen pengajar serta seluruh tenaga akademik maupun non akademik di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Padang.
5. Teman-teman Jurusan Kimia tahun 2018 yang telah memberikan masukan dan dorongan kepada penulis dalam pembuatan Skripsi.

6. Orang tua dan keluarga tercinta atas dukungan untuk penulis.
7. Semua pihak yang telah memberikan bantuan kepada penulis dalam menyusun skripsi ini.

Untuk kesempurnaan skripsi ini, dengan kerendahan hati penulis sangat mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis ucapkan terima kasih.

Padang, Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I	1
PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah	6
C. Batasan Masalah.....	7
D. Rumusan Masalah	7
E. Tujuan Penelitian.....	8
F. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II	9
TINJAUAN PUSTAKA.....	9
A. Sel Surya.....	9
B. <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC).....	10
C. Kuersetin	16
D. Polimerisasi	17
E. Titanium Dioksida (TiO ₂).....	22
F. Metoda Sol-Gel	23
G. Instrumen Yang Digunakan.....	25
1. Fourier Transform Infrared (FTIR).....	25
2. Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)	25
3. Multimeter.....	26
BAB III.....	27
METODE PENELITIAN	27
A. Waktu dan Tempat	27
B. Variabel Penelitian	27
C. Alat dan Bahan	27
D. Prosedur Penelitian.....	28
1. Proses Polimerisasi	28

2. Pengujian Zat Warna.....	30
3. Persiapan dan Pembersihan Kaca ITO.....	30
4. Sintesis TiO_2 doping ZnO	31
5. Pelapisan TiO_2 –ZnO pada Kaca ITO	31
6. Persiapan Elektrolit Semi Padat.....	31
7. Preparasi <i>Counter</i> Elektroda	32
8. Perakitan DSSC	32
9. Pengujian Arus Listrik Sel Surya	33
BAB IV.....	34
PEMBAHASAN	34
A. Preparasi Dye (Zat Warna).....	34
B. Preparasi TiO_2 doping ZnO	35
C. Preparasi Lapisan TiO_2 – ZnO dan electrode counter	36
D. Perakitan DSSC	37
E. Karakterisasi Zat Warna dengan FTIR.....	38
F. Penentuan Viskositas Zat Warna.....	39
G. Karakterisasi TiO_2 – ZnO dengan Spektrofotometer UV-DRS	40
H. Perhitungan Efisiensi DSSC	42
I. Pengukuran Kurva IV (Tegangan dan Arus Listrik)	47
BAB V.....	51
KESIMPULAN DAN SARAN	51
A. Kesimpulan.....	51
B. Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN	57

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Interpretasi Spektra FTIR Kuersetin dan Poli Kuersetin	39
Tabel 2. Data Hasil Viskositas Kuersetin dan Poli Kuersetin.....	39
Tabel 3. Nilai <i>band gap</i> dari TiO ₂ dan TiO ₂ – ZnO	41
Tabel 4. Hasil pengukuran tegangan, hambatan dan efesiensi dari DSSC terhadap variasi konsentrasi monomer Kuersetin	43
Tabel 5. Hasil pengukuran tegangan, hambatan dan efesiensi dari DSSC terhadap variasi konsentrasi inisiator NaOH	45
Tabel 6. Hasil pengukuran tegangan, hambatan dan efesiensi dari DSSC terhadap variasi volume agen pengikat silang (glutaraldehyde)	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Komponen DSSC (Astuti, 2018).....	11
Gambar 2. Skema Kerja DSSC (Hardeli, dkk. 2013).	14
Gambar 3. Struktur kuersetin (Siswarni MZ, dkk. 2017).	17
Gambar 4. Contoh reaksi polimerisasi ikat silang kuersetin (Sahiner, 2014).	20
Gambar 5. Struktur (a) anatase, (b) rutil dan (c) brookite.....	23
Gambar 6. Skema Proses Sol Gel (Ullatil, S. G., & Periyat, 2017).	24
Gambar 7. Rangkaian DSSC.....	37
Gambar 8. Spektrum FTIR kuersetin murni dan PGR.....	38
Gambar 9. Volume crosslinker terhadap viskositas Kuersetin dan Poli Kuersetin.....	40
Gambar 10. Nilai Energi Gap	41
Gambar 11. Pengaruh polimerisasi monomer kuersetin terhadap efisiensi DSSC	44
Gambar 12. Pengaruh konsentrasi inisiator Kuersetin Terhadap Efisiensi DSSC	45
Gambar 13. Pengaruh konsentrasi crosslinker terhadap efisiensi DSSC	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Prosedur Kerja Secara Keseluruhan.....	57
Lampiran 2. Polimerisasi Dye (Zat Warna) dari Kuersetin	58
Lampiran 3. Persiapan dan Pembersihan Kaca ITO	59
Lampiran 4. Sintesis TiO ₂ doping ZnO.....	60
Lampiran 5. Pelapisan TiO ₂ doping ZnO pada Kaca ITO.....	61
Lampiran 6. Pelapisan Elektrolit Semi Padat.....	62
Lampiran 7. Preparasi Counter Elektroda.....	63
Lampiran 8. Perakitan DSSC	64
Lampiran 9. Perhitungan efesiensi DSSC.....	65
Lampiran 10. Perhitungan Densitas dan Derajat Polimerisasi.....	70
Lampiran 11. Gambar prosedur kerja	72
Lampiran 12. Data Hasil Pengujian DSSC	74
Lampiran 13. Perhitungan Kurva <i>IV</i>	78

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang banyak memanfaatkan energi. Energi yang digunakan berasal dari bahan bakar minyak atau energi fosil. Pertumbuhan konsumsi energi di Indonesia mencapai 7 % pertahun, dengan 95 % konsumsi energi berasal dari bahan bakar fosil (Subandi dan Slamet Hani, 2015). Hal ini menyebabkan pemakaian bahan bakar fosil untuk penggunaan pembangkit listrik dalam jangka waktu yang panjang menimbulkan kelangkaan (Anggara, I.W.G.A., dkk. 2014). Ketersediaan sumber energi didunia makin lama semakin menipis, oleh karena itu dibutuhkan alternatif lain untuk dijadikan sumber energi.

Sumber energi alternatif yang belum dimanfaatkan secara optimal yaitu cahaya matahari. Matahari bersinar 10 hingga 12 jam sehari dengan intensitas tinggi yaitu 4,8 kWh/m²/hari. Energi matahari merupakan sumber energi yang dapat dipakai terus menerus. Energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan *solar cell* atau lebih dikenal dengan sel surya (Thakur, D., *et al.*, 2016). Sel surya konvensional terbuat dari bahan silikon yang jika dikembangkan tergolong mahal, ini disebabkan oleh proses produksi membutuhkan teknologi yang canggih sehingga dibutuhkan pengembangan alternatif solar cell.

Seiring perkembangan teknologi yaitu pada tahun 1991, Michael Gratzel dan Brian O'Regan menemukan sel surya *Dye Sensitized Solar Cell* dengan menggunakan bahan organik. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) adalah sel surya generasi ketiga yang menggunakan dye sensitized dari bahan organik yang

ditemukan. Efisiensi DSSC relatif rendah dibandingkan sel surya generasi yang pertama. Sel surya ini akan mempengaruhi arus listrik yang dihasilkan dan ditentukan dari efisiensi beserta fill factor dari sel surya tersebut (Taqwa, K. Z dan Bambang, 2015).

Tujuan penggunaan DSSC ini yaitu dapat menghasilkan energi terbarukan yang ramah terhadap lingkungan dengan biaya relatif murah, karena itulah sangat dianjurkan menggunakan sel surya berbahan organik. *Dye Sensitized Solar Cell* merupakan serangkaian sel surya yang tersusun dari iodine elektroda dan counter elektroda. *Dye Sensitized Solar Cell* terbuat dari kaca yang dilapisi material konduktif dan transparan, biasanya menggunakan *indium tin oxide* (ITO) atau *flourine tin oxide* (FTO) (Purwanto *et al.*, 2012). DSSC berbentuk berlapis/sandwich yang tersusun dari semikonduktor nanopartikel. Semikonduktor kemudian dilapisi oleh molekul zat pewarna (*dye*) sensitasi, dimana penggunaan zat warna bertujuan untuk membantu TiO_2 menyerap cahaya dalam proses DSSC. Zat warna yang digunakan harus mempunyai daya serap yang baik di sekitar daerah sinar tampak agar diperoleh konversi energi matahari yang optimal dari sel surya DSSC.

Pada DSSC molekul zat warna/*dye* berfungsi sebagai elektroda kerja yang menangkap foton cahaya dan semikonduktor bertindak sebagai penyerap dan meneruskan foton menjadi elektron, dimana untuk meningkatkan daya serap dari semikonduktor dilakukan modifikasi dengan metode doping. Doping merupakan metode yang digunakan untuk meningkatkan performa lapisan tipis ITO dengan mencampurkan logam transisi atau non logam kedalam TiO_2 . Doping berperan dalam memperkecil lebar celah pita, sehingga dapat mengeksitasi elektron dari

pita valensi ke pita konduksi menjadi semakin kecil. Logam yang digunakan pada penelitian ini yaitu ZnO (Seng Oksida), dimana dengan adanya penambahan pita baru ZnO pada celah pita ITO akan mengakibatkan energi foton berkurang pada eksitasi elektron terhadap pita konduksi dari pita valensi sehingga menghasilkan konduktivitas elektron yang lebih tinggi. *Counter* elektroda yang digunakan adalah zat yang tidak mudah bereaksi (*inert*) berupa karbon dan platinum (Pt) yang diletakkan pada kaca berkonduksi dan larutan elektrolit yang berfungsi untuk menjaga supaya reaksi oksidasi reduksi sel pada TCO tetap berlangsung.

Prinsip kerja DSSC yaitu dengan mengkonversi cahaya menjadi energi listrik. Zat warna pada DSSC berfungsi dalam mengabsorpsi foton dari sinar matahari dan memiliki peran terhadap efisiensi yang dihasilkan. Zat warna dapat dimanfaatkan sebagai dye, pada DSSC dye dapat berasal dari zat warna organik/alami dan sintetis. Pada zat warna sintetis, telah dihasilkan lebih kurang 10% namun dikarenakan harga dari zat warna sintetis ini yang mahal dan dapat menimbulkan efek toksisitas terhadap lingkungan, sedangkan zat warna organik hanya membutuhkan biaya yang murah dan ramah terhadap lingkungan, namun memiliki efisiensi yang relatif rendah dibandingkan dengan zat warna sintetis (Caligero, G., *et al.*, 2015). Modifikasi dilakukan terhadap zat warna agar dapat meningkatkan efisiensi DSSC dengan mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik (Zainul, R., dkk. 2015).

Zat warna alami yang dapat digunakan pada DSSC antara lain antosianin, carotene, tanin, klorofil, dan flavonoid. Zat warna organik biasanya berasal dari bagian tumbuhan dan tersedia dalam bentuk biji bijian, dedaunan, buah, dan kulit buah. Zat warna tersebut dapat dijadikan sebagai dye untuk mengabsorpsi cahaya

dan meningkatkan kinerja DSSC. *Dye* yang digunakan pada DSSC penelitian ini yaitu kuersetin.

Kuarsetin (3,5,7 – trihydroxy – 2 – (3,4 – dihydroxyphenyl) – 4 Hcromen – 4 – one adalah golongan senyawa flavonoid yang banyak terkandung pada sebagian besar tumbuhan dan dapat diperoleh dari berbagai jenis buah dan sayuran (Latos-Brozio, M., & Anna, 2019). Kuersetin bewarna kuning dengan titik lebur sebesar 316⁰C, memiliki massa molar sebesar 302.235 g/mol, densitas 1.799 g/cm³. Kuersetin larut dalam etanol dan dimetil sulfoksida dengan data berturut – turut 4.0 mg/ml, 37⁰C ; 150 mg/ml, 25⁰C serta sukar dalam air (0.01 mg/ml, 25⁰C). Pada penelitian (Arora, E. K., *et al.*, 2017) menyatakan bahwa kandungan kuarsetin tertinggi terdapat pada bawang merah dengan kandungan ($\pm$ 33 mg/gram). Kuersetin mempunyai ikatan rangkap terkonjugasi yang berfungsi sebagai penyerap cahaya matahari. Ikatan rangkap terkonjugasi yang banyak akan menyebabkan energi matahari yang terserap juga semakin banyak (Hardeli, dkk. 2013). Penambahan ikatan rangkap terkonjugasi bisa dilakukan dengan cara polimerisasi.

Polimerisasi adalah molekul besar yang tersusun dari monomer- monomer yang berulang. Polimerisasi *dye* yang digunakan pada penelitian ini yaitu kuersetin menggunakan polimerisasi kondensasi, karena menggunakan agen pengikat silang pada saat proses polimerisasi. Polimerisasi ikatan silang adalah polimer yang terbentuk dari ikatan antar rantai polimer dengan rantai utama (Sunqrot, S., *et al.*, 2019). Rantai akan membentuk ikatan, dimana semakin bertambah seiring bertambah monomer sehingga membentuk rantai ikatan yang panjang (Sihombing, R. P., dkk. 2020). Polimerisasi menggunakan cara agen

pengikat silang (*crosslinking agent*) untuk menghasilkan poli kuersetin. Polimerisasi bertujuan supaya ikatan rangkap yang terbentuk dari monomer – monomer yang dihasilkan semakin banyak sehingga dapat mengabsorpsi foton dari cahaya matahari dan menghasilkan efisensi yang lebih tinggi (Latos-Brozio, M., & Anna, 2019).

Proses polimerisasi ikat silang dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya konsentrasi *crosslinker* , monomer, inisiator, suhu, massa surfaktan dan waktu saat polimerisasi serta konsentrasi dari agen pengikat silang tersebut. Konsentrasi *crosslinker* dalam polimerisasi dapat mempengaruhi reaksi polimerisasi tersebut, dimana semakin banyak agen pengikat silang yang digunakan maka akan menghasilkan monomer yang semakin banyak pula dan berikatan dengan gugus OH sehingga terbentuk ikatan polimer yang semakin kuat (Distanima, S., dkk. 2018).

Konsentrasi monomer akan mempengaruhi reaksi konversi, dimana konsentrasi monomer yang besar menyebabkan laju reaksi yang terjadi akan berlangsung dengan cepat dan polimerisasi yang dihasilkan juga banyak (Marsha dan Hardeli, 2020). Laju polimerisasi semakin meningkat dengan meningkatnya konsentrasi dari surfaktan dan inisiator (Helmiyati, dkk. 2009). Polimerisasi juga dipengaruhi oleh suhu, peningkatan suhu menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah monomer yang berikatan dengan agen pengikat silang (Suka, I. G., dkk. 2007). Waktu merupakan faktor lain yang mempengaruhi reaksi polimerisasi. Waktu polimerisasi akan mempengaruhi produk polimerisasi, ini dikarenakan lamanya waktu polimerisasi menyebabkan semakin lama kontak yang terjadi antara agen pengikat silang dan monomer sehingga produk polimerisasi semakin

banyak (Wivanius, N., & Budianto, 2015). Poli kuersetin yang terbentuk akan diidentifikasi dengan FTIR, UV-Vis DRS dan penentuan efesiensi DSSC.

Berdasarkan latar belakang penulis tertarik meneliti pengaruh konsentrasi monomer, konsentrasi inisiator dan volume *crosslinker* pada proses polimerisasi kuersetin untuk meningkatkan efesiensi sel surya DSSC. Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan efesiensi yang baik dan bisa dimanfaatkan sebagai alternatif energi listrik untuk masa mendatang.

B. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang masalah ini, maka dapat diidentifikasi adanya permasalahan sebagai berikut:

1. Penggunaan kuersetin sebagai zat warna masih relatif kurang stabil sehingga efesiensi dari DSSC menggunakan zat warna kuersetin masih rendah, maka permasalahan ini diperbaiki dengan metode DSSC untuk mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik.
2. Reaksi konversi dipengaruhi dengan semakin meningkatnya konsentrasi monomer sehingga laju reaksi semakin cepat dan polimerisasi yang dihasilkan semakin banyak.
3. Konsentrasi inisiator berbanding lurus dengan jumlah polimerisasi sehingga semakin tinggi konsentrasi inisiator maka semakin banyak polimer yang terbentuk.
4. Volume *crosslinker* yang banyak dapat mempengaruhi banyaknya jumlah radikal yang terbentuk sehingga polimer yang dihasilkan dari monomer juga semakin banyak dan mampu meningkatkan daya serap kuersetin.

5. Daya serap kuersetin memakai polimerisasi sebagai *dye* pada DSSC dilakukan modifikasi dengan metode doping untuk meningkatkan performa lapisan tipis ITO dengan mencampurkan logam (ZnO) kedalam TiO_2 .

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus, maka perlu dilakukan beberapa batasan masalah:

1. Variasi konsentrasi monomer yang digunakan pada polimerisasi yaitu 2 gram, 2,5 gram dan 3 gram.
2. Variasi konsentrasi inisiator yang digunakan pada polimerisasi ini adalah 1% ; 2% dan 3%.
3. Variasi volume *crosslinker* pada reaksi polimerisasi ini yaitu 1,5 ml, 2,5 ml dan 3,5 ml.
4. Daya serap kuersetin memakai polimerisasi sebagai *dye* dari DSSC dapat meningkat dibantu dengan metode doping $\text{TiO}_2 - \text{ZnO}$.

D. Rumusan Masalah

Pada latar belakang penelitian ini dapat dirumuskan masalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi monomer pada polimerisasi kuersetin terhadap efisiensi sel surya DSSC ?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi inisiator pada polimerisasi kuersetin terhadap efisiensi sel surya DSSC ?
3. Bagaimana pengaruh variasi volume *crosslinker* pada polimerisasi kuersetin terhadap efisiensi sel surya DSSC ?
4. Bagaimana pengaruh TiO_2 doping ZnO terhadap efisiensi sel surya

DSSC ?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan diadakan penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi monomer pada polimerisasi kuersetin terhadap efisiensi sel surya DSSC yang dihasilkan.
2. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi inisiator pada polimerisasi kuersetin terhadap efisiensi sel surya DSSC yang dihasilkan.
3. Untuk mengetahui pengaruh volume *crosslinker* pada polimerisasi kuersetin terhadap efisiensi sel surya DSSC yang dihasilkan.
4. Untuk mengetahui pengaruh TiO_2 doping ZnO terhadap efisiensi sel surya DSSC yang dihasilkan.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk :

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi monomer pada proses polimerisasi kuersetin terhadap efisiensi sel surya DSSC yang dihasilkan.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi inisiator pada proses polimerisasi kuersetin terhadap efisiensi sel surya DSSC yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh volume *crosslinker* pada proses polimerisasi kuersetin terhadap efisiensi sel surya DSSC yang dihasilkan.
4. Mengetahui pengaruh TiO_2 doping ZnO terhadap efisiensi sel surya DSSC yang dihasilkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sel Surya

Kebutuhan energi terus meningkat dengan mencapai tingkat pertumbuhan sebesar 1,8% pertahun selama beberapa dekade terakhir. Penggunaan sumber daya bahan bakar fosil seperti minyak, gas alam, dan batu bara serta kerusakan lingkungan dan kesehatan manusia yang disebabkan oleh hasil pembakaran dari sumber energi tersebut. Sumber energi yang menurun mengharuskan manusia untuk mencari suatu alternatif yang dapat menjadi sumber energi yang terbarukan (Fadlioni, dkk. 2018). Pembakaran bahan fosil yang terjadi secara terus menerus dengan skala besar akan menyebabkan emisi gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global dan apabila penggunaan energi tidak dikendalikan akan menimbulkan kelangkaan, sebab sumber energi tersebut tidak dapat diperbaharui. Cara mengatasi krisis energi dan lingkungan yang bersih untuk generasi mendatang, maka diperlukan pengembangan sumber daya energi terbarukan khususnya energi surya yang menjadi sumber energi alternatif dalam mengatasi ketergantungan kebutuhan energi terhadap bahan bakar fosil (Kumar, R., *et al.*, 2017).

Sel surya merupakan serangkaian alat yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Perkembangan tentang sel surya telah banyak dilakukan oleh peneliti dan telah melalui berbagai generasi. Pada generasi pertama, sel surya dikembangkan menggunakan bahan dasar silikon kristal tunggal dan wafer silikon polikristalin dengan efisiensi yang sangat tinggi, namun

membutuhkan biaya fabrikasi yang cukup mahal disebabkan proses fabrikasinya yang juga membutuhkan teknologi rumit dan temperatur yang tinggi sehingga menentukan pengembangan pada proses tersebut (Muharam, A., dkk. 2018).

Sel surya generasi kedua yaitu sel surya berbahan dasar lapisan tipis. Lapis tipis yang banyak digunakan yaitu Silikon Amorf, *Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS) *Cadmium Telluride* (CdTe). Sel surya ini menunjukkan nilai efesiensi yang cukup baik, namun penggunaan Cadmium menimbulkan bahaya terhadap lingkungan (Lee, T. Y., *et al.*, 2007). Sel surya lainnya adalah *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) yang berperan dalam mengabsorpsi cahaya menggunakan zat warna untuk mendapatkan efesiensi yang tinggi. Zat warna yang umum digunakan adalah Kompleks ruthenium yang merupakan zat warna sintesis namun harganya yang relatif mahal. Alternatif dalam penggunaan zat warna alami yaitu material pembuatannya tergolong murah, memiliki efesiensi tinggi dan tidak berbahaya terhadap lingkungan (Maulina, A., dkk. 2014).

B. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

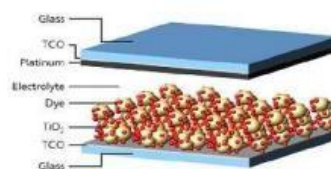
1. Pengertian *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) merupakan pengembangan sel surya yang ditemukan oleh Michael Graetzel (O'regan dan Graetzel) pada tahun 1991. DSSC memberikan alternatif dalam mengatasi energi terbarukan. DSSC yaitu salah satu perangkat fotoelektrokimia yang menyerap cahaya matahari dengan adanya dye tersensitasi dan akan mengubah cahaya yang teradsorpsi menjadi energi listrik. Metode ini menjadi solusi karena dapat dilakukan dengan sederhana, tidak membutuhkan ruang vakum saat proses

deposisi logam dan material pada proses pembuatannya juga tergolong murah serta telah dapat mencapai efesiensi yang cukup tinggi (Muharam, A., dkk. 2018). DSSC memiliki beberapa komponen yaitu substrat film tipis (*Thin layer*), semikonduktor, elektroda lawan, elektrolit dan zat warna (Sulaiman, A.S., *et al.*, 2018).

2. Komponen DSSC

Sel DSSC terbuat dari bahan substrat kaca berupa TCO (*Transparent Conductive Oxide*) sebagai elektroda lawan, yang kemudian dilapisi film tipis semikonduktor. Bahan semikonduktor berupa material yang mempunyai band-gap yang lebar serta lebih dominan terhadap senyawa oksida seperti TiO_2 , ZnO , SnO_2 , dan Nb_2O_5 (Grätzel, 2001). Umumnya elektroda lawan terdiri dari susunan kristal kecil (nanokristal). Nanokristalin TiO_2 berperan sebagai fotoanoda yang berfungsi menjadi material semikonduktor. Zat warna (*dye*) digunakan sebagai sensitizer atau penangkap cahaya matahari, dengan berbentuk dye organik. Elektrolit berperan sebagai redoks yang terdiri dari ion iodide dan triiodida (I_2^- dan I_3^-) dalam pelarut (Nugraha, W., dkk. 2015). Variasi pada TiO_2 dan lama perendaman terhadap zat warna merupakan faktor yang dapat mempengaruhi efesiensi DSSC (Mauriani, R. N., *et al.*, 2020). Berikut gambar komponen yang digunakan pada DSSC :



Gambar 1. Komponen DSSC (Astuti, 2018).

A. Substrat

Substrat TCO (*Transparent Conductive Oxide*) digunakan untuk

membawa dan mengangkut muatan. Bahan transparan dapat berupa bahan polimer atau kaca, yang kemudian salah satu sisinya dilapisi dengan media konduktif. Substrat berfungsi sebagai fotoanoda pada oksida semikonduktor dan memungkinkan pengendapan katalis. Material substrat sebagai badan dari sel surya, sedangkan lapisan konduktif berperan sebagai tempat muatan mengalir. Media konduktif harus memiliki resistensi yang rendah untuk mengurangi efek pada kinerja sel DSSC (Aslam, A., *et al.*, 2020). TCO yang baik digunakan dalam DSSC yaitu ITO (*Indium Tin Oxide*) dan FTO (*Flouride Tin Oxide*). Namun pada penelitian kaca yang digunakan adalah ITO, sebab transparansi dan konduktivitas listrik yang lebih tinggi.

B. Semikonduktor

Semikonduktor merupakan suatu bahan yang memiliki sifat konduktivitas listrik yang berada antar konduktor dan isolator. Semikonduktor yang digunakan pada penelitian ini adalah semikonduktor Titanium Dioksida (TiO_2) dengan sifat kimianya stabil dalam keadaan ekstrim dan akan lebih stabil jika dalam keadaan di bawah iradiasi. Bahan semikonduktor dapat menghantarkan listrik dikarenakan memiliki band gap (jarak pita) tidak terlalu besar sehingga elektron mampu tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi dan menyebabkan bahan tersebut dapat menghantarkan listrik. TiO_2 memiliki keunggulan dibandingkan dengan semikonduktor lainnya karena bersifat inert, mudah diperoleh dan aman digunakan.

C. Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada DSSC yaitu pasangan redoks pada iodide dan triiodida (I_2^- dan I_3^-). Setiap elektrolit harus memenuhi syarat diantaranya dapat menunjukkan stabilitas termal kimia, optical, electrochemical dan mampu mencegah degradasi zat warna. Elektrolit juga harus memiliki spektrum penyerapan (adsorpsi) yang tidak tumpang tindih dengan dye dan cahaya tampak (Kumar, D. K., *et al.*, 2020).

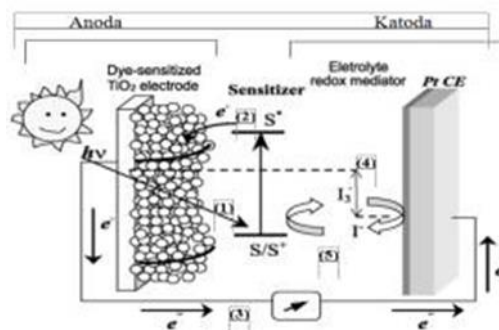
D. Elektroda lawan

Elektroda lawan atau dikenal juga dengan *Counter Electrode* (CE), yang terdiri dari lapisan tipis pada substrat TCO. Elektrolit sebelumnya tereduksi akan berdifusi menuju CE, dimana reaksi reduksi terjadi antara elektron eksternal dan elektrolit. Kinetika reaksi dapat meningkat pada sistem ini maka elektroda counter berperan sebagai katalis dan untuk memastikan berlangsungnya suatu aktivitas pada iodide dan triiodida (I_2^- dan I_3^-) dalam redoks. *Counter Electrode* yang sering digunakan adalah platina (Pt). Platina menjadi tidak stabil dengan adanya elektrolit iodida saat dilapisi dengan deposisi uap dan menjadi mahal. Alternatif lain untuk mengatasinya digunakan katalis karbon (Goncalves, L. M., *et al.*, 2008). Berdasarkan penelitian Chadijah, sumber karbon pada elektroda pembanding yang memiliki efisiensi tertinggi adalah karbon dari jelaga api lilin (Chadijah, S., dkk. 2016).

E. Zat warna (*dye*)

Zat warna (*dye*) pada DSSC berperan sebagai penangkap foton dari cahaya matahari. Dye ini dapat digunakan sebab memiliki sifat yang ramah terhadap lingkungan serta keberadaannya yang melimpah di alam berupa tumbuhan, yang berasal dari akar, batang, biji, buah, daun. Hal ini menjadi alternatif terhadap pilihan sebagai zat warna pada DSSC. Zat yang terdapat pada tumbuhan diantaranya yaitu klorofil, kurkumin, antosianin, betakaroten, tanin, flavonoid dan lainnya pada tumbuhan dapat diimplementasikan sebagai sensitiser (Kumara, M. S. W., dkk. 2012).

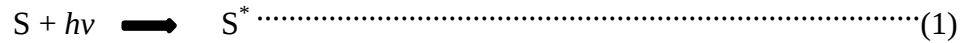
3. Prinsip Kerja DSSC



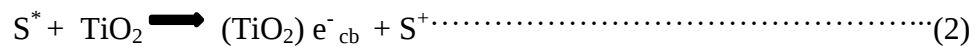
Gambar 2. Skema Kerja DSSC (Hardeli, dkk. 2013).

Prinsip kerja dari DSSC ialah terjadinya reaksi transfer elektron. Molekul zat warna menyerap foton dari cahaya matahari, sehingga mengakibatkan terjadinya eksitasi elektron terhadap molekul zat warna tersebut. Elektron awalnya dalam keadaan tereksitasi akan terinjeksi ke pita konduksi pada semikonduktor, inilah yang menyebabkan molekul *dye* mengalami reaksi oksidasi. Elektrolit (I⁻) mendonorkan elektron pada molekul zat warna tersebut dan kembali pada keadaan awal atau dikenal juga dengan *ground*

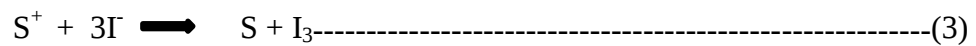
state (S), selanjutnya S tereksitasi (*excited state*) menjadi S^* . Dengan persamaan reaksi :



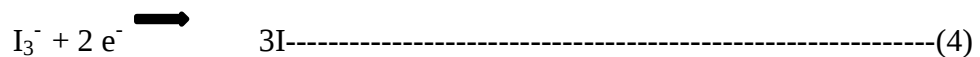
Fotoelektron akan keluar dan di injeksi menuju pita konduksi (e_{cb}) TiO_2 sehingga dye berada dalam keadaan teroksidasi. Persamaannya adalah :



Tahap selanjutnya, elektron yang telah melewati elektroda counter akan ditangkap oleh elektrolit (I^-) sehingga dye akan kembali pada *ground state* dan menggantikan elektron yang hilang pada dye. Triiodide akan terbentuk kembali saat iodide menyuplai elektron dye menjadi teroksidasi. Persamaan reaksinya adalah:



Kemudian reaksi dibantu dengan katalis pada elektroda counter, setelah itu elektron masuk dan diterima oleh elektrolit. Hole terbentuk pada I_3^- . Persamaan reaksinya antara lain :



Tahap terakhir, dye (S) kembali menyerap foton dan terbentuk siklus transpor elektron dengan pasangan elektrolit I^- / I_3^- . Pada siklus tersebut energi cahaya dapat langsung dikonversi menjadi energi listrik (Hardeli, Suwardani, Riky, Fernando T, Maulidis, & Ridwan, 2013).

4. Efisiensi DSSC

Efisiensi sel surya dideskripsikan sebagai daya dari sumber yang dihasilkan (P_{max}) dibagi dengan sumber cahaya yang digunakan, dilambangkan dengan (P_{in}) dan dapat ditentukan dengan alat Lux meter untuk menghitung intensitas cahaya. Maka efisiensi DSSC dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

η adalah efisiensi DSSC

P_{max} adalah daya dari sumber yang dihasilkan oleh DSSC

P_{in} adalah daya dari sumber cahaya yang digunakan

Jika dihubungkan, maka daya maksimum yang dihasilkan dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

V_{max} merupakan tegangan maksimum dibagi luas permukaan daerah substrat

I_{max} merupakan arus maksimum dibagi luas permukaan daerah substrat.

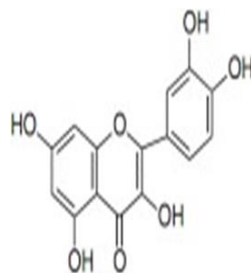
Sumber dari P_{in} dihasilkan oleh matahari, dimana intensitas yang dihasilkan sekitar 1000 W/m^2 atau 0.1 W/cm^2 (Damayanti, R., dkk. 2014).

C. Kuersetin

Berdasarkan tata nama International Union of Pure and Applied Chemist

(IUPAC) kuersetin juga dikenal (3,5,7 – trihydroxy – 2 – (3,4 – dihydroxyphenyl) – 4 Hcromen – 4 – one (Siswarni MZ, Yusrina, I. P., & Rizka Rinda, 2017). Kuersetin merupakan salah satu senyawa flavonoid yang berasal dari tumbuhan dan dapat diperoleh dari berbagai jenis buah dan sayuran (Materska, 2008). Kuersetin memiliki kisaran berat molekul 302,23 Dalton. Kuersetin termasuk kedalam senyawa flavonoid jenis flavonol dan flavon , dimana tergolong dalam family myrtaceae (Bukhari, 2017). Flavanol dapat dibuat dengan memberikan penempatan yang berbeda terhadap turunan kelompok fenolik -OH dan gula (glikon) (Siswarni MZ, dkk. 2017). Flavanol umumnya ditemukan dalam bentuk glikosida yang mana senyawa ini merupakan aglikon dari molekul rutin (Jusuf, 2010). Kuersetin tersedia dalam bentuk glikosida dengan aglikon yang terkonjugasi pada gugus gula seperti glukosa dan rutinosa (Guo, Y., *et al.*, 2015).

Struktur kuersetin memiliki lima gugus hidroksi (-OH) yang menyebabkan senyawa kuersetin memiliki kepolaran yang tinggi dan berfungsi untuk menentukan aktivitas biologis dengan kemungkinan adanya turunan yang terbentuk. Turunan kuersetin yaitu glikosida dan eter (Materska, 2008).



Gambar 3. Struktur kuersetin (Siswarni MZ, dkk. 2017).

D. Polimerisasi

Kata polimer berasal dari Yunani yaitu *Poly* yang artinya banyak dan *meros* artinya bagian, dengan kata lain polimer ialah senyawa gabungan yang terdiri dari

beberapa monomer (Siburian, R. A. F., dkk. 2007). Polimer terbentuk karena adanya ikatan antar rantai polimer satu dengan lainnya pada rantai utamanya. Rantai akan membentuk ikatan, dimana semakin bertambah seiring dengan bertambahnya monomer sehingga membentuk rantai ikatan yang panjang (Sihombing, R. P., dkk. 2020).

Polimer adalah molekul besar yang tersusun dari monomer- monomer berulang. Berdasarkan mekanismenya polimer dibagi menjadi dua yaitu polimer sintesis dan polimer alam. Polimer sintesis ialah suatu polimer yang dibuat manusia melalui reaksi kimia dan dikenal dengan polimerasi. Polimer alam merupakan polimer yang disintesis oleh alam dan ditemukan pada tumbuhan. Contoh polimer alam yaitu polifenol, dimana molekul dari senyawa ini memiliki fenol dan dapat dikelompokkan menjadi asam fenolik, flavonoid, tanin, dan lainnya.

Polimerisasi pada penelitian ini yaitu kelompok flavonoid, dimana *dye* yang digunakan adalah kuersetin . Polimerisasi kuersetin dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain polimerasi kuersetin enzimatik, polimerasi kuersetin menggunakan agen pengikat silang, fotopolimerasi kuersetin, dan polimerasi kuersetin dengan dikatalis asam. Polimerisasi kuersetin dilakukan dengan menggunakan agen pengikat silang (*crosslinking agent*) untuk menghasilkan poli kuersetin. Seorang ilmuwan bernama Sahiner memberi usul dalam melakukan polimerasi pada suatu senyawa dengan agen pengikat silang, dimana L- α -lesitin digunakan sebagai surfaktan, sikloheksana sebagai fase organik, dan TPMGDE bertindak sebagai agen pengikat silang. Pengikat silang epokis fungsional berupa Glutaraldehyde (GA) dan Gliserol Diglisidil Ether (GDE) memiliki bahan

biokompatibel yang berfungsi dalam menghubungkan monomer monomer golongan flavonoid. Gugus epoksi pada GA mudah bereaksi dengan gugus fenol OH dalam flavonoid untuk menghasilkan sebuah partikel polimer. Polimer yang terbentuk dapat mendukung pelebaran celah pita dan mengikat silang monomer – monomer kuersetin pada saat terjadinya proses polimerisasi. Reaksi inilah menyebabkan perubahan warna pada kuersetin, dimana ketika masih monomer warna kuersetin adalah kuning sedangkan ketika kuersetin dalam bentuk polimer bewarna hitam (Latos-Brozio, M., & Anna, 2019).

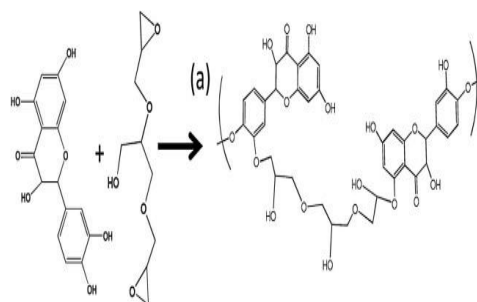
Proses polimerisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya konsentrasi monomer, inisiator, suhu, massa surfaktan dan waktu saat polimerisasi serta konsentrasi dari agen pengikat silang tersebut. Konsentrasi *crosslinker* dalam polimerisasi dapat mempengaruhi reaksi polimerisasi tersebut, dimana semakin banyak agen pengikat silang yang digunakan maka akan menghasilkan monomer yang semakin banyak pula dan berikatan dengan gugus OH sehingga terbentuk ikatan polimer yang semakin kuat (Distanima, S., dkk. 2018). Oleh sebab itu dilakukan variasi konsentrasi pada *crosslinker* untuk menentukan konsentrasi optimum pada proses polimerisasi yaitu 1,5 ml, 2,5 ml dan 3,5 ml.

Konsentrasi monomer akan mempengaruhi reaksi konversi, dimana konsentrasi monomer yang besar menyebabkan laju reaksi yang terjadi akan berlangsung dengan cepat dan polimerisasi yang dihasilkan juga banyak. Variasi konsentrasi yang dilakukan yaitu 2 gram, 2,5 gram dan 3 gram untuk menentukan konsentrasi optimum pada monomer tersebut. Faktor selanjutnya pada reaksi polimerisasi yaitu konsentrasi inisiator. Inisiator yang digunakan pada penelitian ini adalah NaOH. Inisiator berperan dalam membentuk radikal bebas

dimana radikal bebas inilah yang akan bereaksi dengan monomer untuk membentuk monomer radikal. Setiap inisiator akan bereaksi dengan radikal dimana semakin tinggi konsentrasi inisiator maka semakin banyak radikal yang terbentuk sehingga menimbulkan tumbukan antara radikal inisiator dengan monomer yang semakin cepat (Hardeli, H., *et al.*, 2020). Berdasarkan hal tersebut, dilakukan variasi konsentrasi untuk menentukan konsentrasi optimum inisiator yaitu 1%, 2% dan 3%.

Polimerisasi juga dipengaruhi oleh surfaktan. Penambahan surfaktan berfungsi sebagai pembentukan agregat (misel). Massa surfaktan yang tinggi mempengaruhi jumlah misel yang terbentuk semakin banyak sehingga monomer yang terkonversi menjadi polimer juga meningkat (Helmiyati, dkk. 2009). Polimerisasi juga dipengaruhi oleh suhu dimana peningkatan suhu menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah monomer yang berikatan dengan agen pengikat silang (Suka, I. G., dkk. 2007).

Faktor lain yang mempengaruhi reaksi polimerisasi adalah waktu. Waktu polimerisasi akan mempengaruhi produk polimerisasi, ini dikarenakan lamanya waktu reaksi pada polimerisasi menyebabkan semakin lama pula kontak yang terjadi antara agen pengikat silang dan monomer sehingga produk polimerisasi semakin banyak (Wivanius, N., & Budianto, 2015)



Gambar 4. Contoh reaksi polimerisasi ikat silang kuersetin (Sahiner, 2014).

Namun, polimerisasi memiliki sifat ketergantungan terhadap daya reduksi dari polimer. Hal ini dapat ditentukan dengan mengetahui berat molekul dari kuersetin menggunakan teknik viskometri untuk melihat viskositas intrinsiknya tersebut.

Penentuan viskositas instrinsik dapat dilakukan dengan membandingkan nilai sebelum dan sesudah proses polimerisasi. Alat yang digunakan adalah viscometer Ostwald dan untuk menentukan viskositas menggunakan persamaan b viskositas spesifik, yaitu sebagai berikut :

$$\eta_{sp} = \frac{t - t_0}{t_0} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana η_{sp} adalah viskositas spesifik, t adalah waktu laju alir sampel dan t_0 adalah waktu laju alir aquadest. Persamaan viskositas ini selanjutnya dapat dihitung dengan mengekstrapolasi grafik η_{sp}/c versus c pada konsentrasi yang sama dengan nol. Setelah mengetahui hasil viskositas intrinsik kemudian viskositas dari larutan polimer yang dihasilkan dapat diketahui berat molekul dengan menggunakan persamaan Mark-Hawing.

$$\eta = KM^a \dots\dots\dots(8)$$

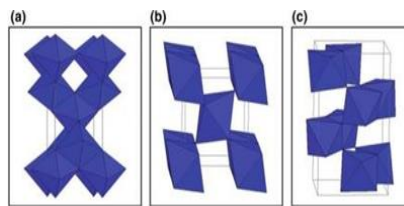
persamaan Mark-Hawing merupakan suatu persamaan yang terjadi dengan adanya hubungna atau korelasi viskositas polimer (η) terhadap berat molekul (M). sedangkan nilai K merupakan nilai ketetapan sesuai dengan pelarut yang digunakan. Nilai a adalah nilai tetapan Mark-Hawing dan indeks persamaan berkisar antara 0,56 sampai 0,9. Metode ini disebut juga dengan metode Viskometri (Wibowo dan Dharmawan, 2018).

E. Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium Oksida merupakan semikonduktor yang umum digunakan dalam DSSC dan berupa jenis material metal oksida yang digunakan sebagai fotoanoda pada DSSC karena memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap kestabilan efisiensi pada sel surya. TiO_2 memiliki energi bandgap yang lebar (3,2 eV) dan transmisi optik yang baik serta berstruktur nanopori yang dapat menaikkan kinerja pada sistem. Bandgap inilah yang akan menaikkan jumlah dye teradsorpsi dan menjadikan jumlah cahaya yang terserap juga meningkat (Kumara, M. S. W., & Prajitno, 2012). Efisiensi akan dengan meningkat dengan meningkatnya jumlah cahaya yang terserap.

Upaya yang dilakukan untuk meningkatkan daya serap dari semikonduktor yaitu melakukan modifikasi pada permukaan TiO_2 dengan mendoping logam. Doping merupakan metode yang digunakan untuk meningkatkan performa lapisan tipis ITO dengan mencampurkan logam transisi kedalam TiO_2 . Doping berperan dalam memperkecil lebar celah pita sehingga dapat mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi menjadi semakin kecil. Logam yang digunakan untuk mendoping pada penelitian ini yaitu ZnO karena menurut (Fatiatun, 2015), ZnO merupakan senyawa yang tidak beracun, mudah diperoleh, tahan terhadap radiasi, dan stabilitas termal yang tinggi. ZnO memiliki lebar celah pita sebesar 3,27 eV pada suhu 300K (Lupan, O., dkk. 2009), dengan adanya penambahan pita baru ZnO pada celah pita ITO akan mengakibatkan berkurangnya energi foton yang dibutuhkan untuk eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga menghasilkan konduktivitas elektron yang lebih tinggi.

Bahan titanium dioksida yaitu berupa polimorf dengan memiliki tiga modifikasi kristalografi diantaranya *anatase*, *rutile* dan *brookite*. Modifikasi yang dikenal sebagai *anatase* (tertragonal, $a = 3.782 \text{ \AA}$, $c = 9.502 \text{ \AA}$), *rutile* (tertragonal, $a = b = 4.854 \text{ \AA}$, $c = 2.953 \text{ \AA}$) dan *brookite* (tertragonal, $a = 5.436 \text{ \AA}$, $b = 9.166 \text{ \AA}$, $c = 5.153 \text{ \AA}$). Perbedaan struktur kristal dan struktur elektronik terhadap semua fase TiO_2 (Etacheri, V., *et al.*, 2015). Seperti gambar berikut :

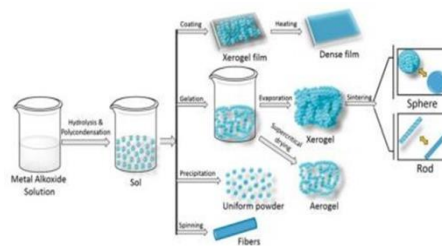


Gambar 5. Struktur (a) anatase, (b) rutile dan (c) brookite (Ullatil, S. G., & Periyat, 2017).

Dari ketiga modifikasi kristalografi yang paling umum digunakan pada DSSC yaitu anatase, karena struktur kristal anatase berupa tetragonal yang terdiri dari rantai oktahedron TiO_6 yang terdistorsi sehingga menghasilkan sel satuan yang mengandung delapan atom O dan empat atom Ti (Roose, Bart., *et al.*, 2015).

F. Metoda Sol-Gel

Metode Sol-Gel yaitu suatu metode yang digunakan dalam mensintesis partikel TiO_2 menjadi nanopartikel. Proses ini memanfaatkan larutan sebagai medianya sehingga termasuk salah satu metode basah (Wet Method). Metode ini mengalami perubahan fase menjadi sol yang merupakan suatu koloid yang memiliki padatan tersuspensi dalam larutannya sedangkan gel merupakan suatu jaringan partikel yang bentuknya berupa padatan dan cairan (Rahmi, 2018).



Gambar 6. Skema Proses Sol Gel (Ullatil, S. G., & Periyat, 2017).

Tahap – tahap dalam metode sol gel antara lain adalah :

1) Hidrolisis

Reaksi antara air dengan senyawa alkoksida prekursor menyebabkan gugus hidroksil (-OH) mengganti gugus alkoksi (-OR). Perbandingan antara air dan jenis katalis yang digunakan sangat mempengaruhi, dimana semakin banyak jumlah pelarut maka dapat menaikkan reaksi hidrolisis dan mempercepat laju waktu gelasi.

2) Kodensasi

Pada tahap ini, terjadi proses perubahan sol menjadi gel. Reaksi ini melibatkan ligan hidroksil dalam mensintesis polimer, dengan ikatan M-O-M dan menghasilkan produk samping air dan alkohol dengan persamaan reaksi :



3) Pematangan (*Aging*)

Pada tahap ini gel yang terbentuk dari tahap kondensasi dimatangkan sehingga jaringan dari gel akan kaku dan menyusut dalam larutan.

4) Pengeringan (*Drying*)

Pengeringan atau drying merupakan tahapan terakhir pada metode sol gel

yang dilakukan dengan cara penguapan dan bertujuan untuk menghilangkan larutan yang tidak diperlukan lagi. Pada proses ini menghasilkan luas permukaan yang tinggi terhadap struktur sol-gel.

Metode sol gel memiliki keunggulan yaitu dapat berlangsung pada suhu rendah, dapat mengontrol pembentukan pori serta distribusi ukuran pori dan menghasilkan partikel yang berukuran nano dari bahan organik maupun bahan anorganik sehingga dapat menghasilkan lapisan yang nantinya homogen dan murni (Arganata, M. I., & Murwani, 2017).

G. Instrumen Yang Digunakan

1. Fourier Transform Infrared (FTIR)

Pada penelitian *Fourier Transform Infrared* (FTIR) digunakan sebagai suatu cara untuk mengkarakterisasi zat warna pada DSSC dengan mengidentifikasi dan menganalisa gugus fungsi yang terdapat pada kuersetin dan poli kuersetin yang akan diperoleh dari polimerisasi kuersetin. Analisis dilakukan dengan melihat spektrum spektrum yang khas dari gugus fungsi yang terdapat poli kuersetin (Damayanti, R., dkk. 2014).

2. Ultra Violet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS)

Karakterisasi UV-Vis DRS berperan untuk mengetahui energi celah pita atau *band gap* sampel. Energi *band gap* (E_g) dapat ditentukan dengan cara mengkonversi besaran %R, kemudian memuatnya dalam faktor Kubelka – Munk ($F(R)$), yaitu dengan rumus :

$$E_g = hv = \frac{hc}{\lambda} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

E_g merupakan energi *band gap* (eV)

h merupakan konstanta Planck ($6,626 \times 10^{-34}$)

c merupakan kecepatan cahaya (3×10^8)

λ merupakan panjang gelombang (nm)

Energi celah pita dapat diperoleh dari grafik pada hubungan $h\nu(\text{eV})$ vs $F(R'\infty) h\nu)^{1/2}$. E_g dari semikonduktor yang memiliki besar $h\nu$ pada saat $F(R'\infty) h\nu)^{1/2} = 0$, yang dihasilkan dari persamaan regresi linier kurva tersebut (Sanjaya, H., dkk. 2017).

3. Multimeter

Multimeter digital digunakan untuk mengukur tegangan AC dan DC serta arus listrik yang dihasilkan. Karakterisasi yang ditentukan dari tegangan (V), arus (I), resisten (R) dan resistivitas (ρ) dari lapisan tipis. Resistensi berbanding lurus dengan tegangan, tetapi akan berbanding terbalik dengan arus sedangkan resistivitas terhadap ketebalan lapisan tipis (Misbachudin, M. C., dkk. 2014).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Konsentrasi optimum monomer kuersetin pada proses polimerisasi yang menghasilkan efesiensi tertinggi yaitu pada konsentrasi 2,5 gram dan efesiensinya adalah 11,8%.
2. Konsentrasi optimum inisiator NaOH yang menghasilkan efesiensi tertinggi adalah konsentrasi 1% dengan nilai efesiensi 14,5%.
3. Volume optimum *crosslinker* pada proses polimerisasi yang menghasilkan efesiensi tertinggi yaitu 2,5 ml dengan nilai efesiensi 11,3%.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, disarankan :

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk melakukan karakterisasi menggunakan MS sehingga dapat diketahui berat molekul sampel yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, I.W.G.A., I.N.S. Kumara., & Giriantari, I. A. D. (2014). Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1,9 KW di Universitas Udayana Bukit Jimbaran. *Spektrum*, 1(1), 118–122.
- Arganata, M. I., & Murwani, I. K. (2017). Pergeseran 2θ pada Pola Difraksi Sinar-X $\text{Mg}_1 \times \text{Ni}_x \text{F}_{1,985}(\text{OH})_{0,015}$ Akibat Variasi x . *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 6(2), 1–3. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v6i2.27649>
- Arora, E. K., Vibha, S., Anil, K., Ananya, M., Dilsheen, K. S., Sijo, A., Deepa, K. Hilmani, G., Lunthanglien, B. C., Nakul, S., Nitika, G., & J. (2017). Phytochemical Analysis and Evaluation of Antioxidant Potential of Ethanol Extract of *Allium cepa* and Ultra-High Homoeopathic Dilutions Available in the Market: A Comparative Study. *Indian Journal of Research in Homoeopathy*, 11(2), 88. https://doi.org/10.4103/ijrh.ijrh_13_17
- Aslam, A., Mehmood, U., Arshad, M. H., Ishfaq, A., Zaheer, J., Khan, A. U. H., & Sufyan, M. (2020). Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs) as a Potential Photovoltaic Technology for the Self-Powered Internet of Things (IoTs) Applications. *Solar Energy*, 207, 874–892. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.07.029>
- Astuti, K. Y. (2018). Pembentukan Nanopartikel TiO_2 dengan Metode Bervariasi. *JIEOM*, 1(1), 27–31.
- Bukhari. (2017). Pendekatan Ilmu Fisika dan Matematika dalam Memahami Konsep Reaksi Oksidasi-Reduksi (Redoks). *Dedikasi*, 1(2), 252–256.
- Caligero, G., Antonino, B., Gaetano, D. M., Aldo, D. C., & Francesco, B. (2015). Vegetable-Based Dye-Sensitized Solar Cells. *Chemical Society Reviews*, 44(10), 3244–3294. <https://doi.org/10.1039/c4cs00309h>
- Chadijah, S., Dahlan, D., & Harmadi, H. (2016). Pembuatan Counter Electrode Karbon Untuk Aplikasi Elektroda Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC). 8(2), 78–86.
- Damayanti, R., Hardeli., & Sanjaya, H. (2014). Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomea batatas* L.). *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 6(2), 148–157.
- Distanima, S., Rahayu, F., & Zalfa, T. H. G. (2018). Bead Gel dari Karagenan-Carboxymethylcellulose dengan Crosslinking Glutaraldehyd Sebagai Controlled Release Urea. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan,”* 1–7.
- Etacheri, V., Valentin, C., & Schneider, J. (2015). Visible-Light Activation of TiO_2 Photocatalysis: *Advances in Theory and Experiments*. 25, 1–29. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2015.08.003>
- Fadlioni, Isyanto, H., & B. (2018). Bypass Diodes Untuk Meningkatkan Kinerja Panel Surya. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 8(5), 2703–2708. <https://doi.org/10.11591/IJECE.V8I5.PP2703-2708>
- Fatiatun. (2015). Pengaruh Suhu Deposisi terhadap Sifat Fisis Film Tipis Seng Oksida Doping Galium Oksida dengan Metode DC Magnetron Sputtering.