

**SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN APLIKASI SENYAWA KOMPLEKS
MANGAN(II) DENGAN LIGAN 1,10 FENANTROLIN SEBAGAI *DYE*
SENSITIZER PADA *DYE SENSITIZED SOLAR CELLS* (DSSC)**

Skripsi

Oleh

NOVALISA PUTRI



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN APLIKASI SENYAWA KOMPLEKS MANGAN(II) DENGAN LIGAN 1,10-FENANTROLIN SEBAGAI DYE SENSITIZER PADA DYE SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC)

Oleh

NOVALISA PUTRI

Telah dilakukan sintesis senyawa kompleks Mn(II) dengan ligan 1,10-Fenantrolin. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hasil reaksi antara logam Mn(II) dengan ligan 1,10-Fenantrolin dilakukan dengan perbandingan mol 1:3, menghasilkan kristal berwarna kuning dengan rendemen sebesar 73,72%. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa senyawa kompleks mengalami pergeseran dari panjang gelombang senyawa pembentuknya sebesar 265 nm menjadi 271 nm setelah dikomplekskan dengan transisi $n \rightarrow \pi^*$. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR menunjukkan terbentuknya senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ditandai dengan adanya ikatan koordinasi antara Mn-N sebesar 416 cm^{-1} . Karakterisasi menggunakan TGA/DTA dilakukan pada rentang suhu 50-500°C, menunjukkan adanya kehilangan massa molekul H_2O sebesar 2,165% pada rentang suhu 65–100°C, dua molekul senyawa 1,10-Fenantrolin sebesar 57,18% pada rentang suhu 220°C–331°C, dan molekul Cl_2 sebesar 12,67% pada rentang suhu 331°C–448°C. Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) menunjukkan senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ memiliki bentuk morfologi seperti Kristal triklin. Karakterisasi menggunakan *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB) menunjukkan senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ memiliki momen magnet efektif (μ_{eff}) sebesar 5,67 BM bersifat paramagnetik. Hasil pengujian DSSC menghasilkan efisiensi sebesar 0,3% pada tegangan maksimum (V_{max}) sebesar 276,3 mV dan kuat arus maksimum (I_{max}) sebesar 1,0 mA.

Kata Kunci: Mangan(II), 1,10-Fenantrolin, senyawa kompleks, sensitizer, Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)

ABSTRACT

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND APPLICATION OF MANGANESE(II) COMPLEX WITH THE LIGAND 1,10- PHENANTROLINE AS DYE SENSITIZER IN DYE SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC)

By

NOVALISA PUTRI

Synthesis of complex compound Mn(II) with 1,10-Phenanthroline ligand has been performed. Synthesis of complex compound $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ reaction results between Manganese metal with ligand 1,10-Phenanthroline performed by a ratio of moles 1:3, producing yellow crystals with a yield of 73.72%. Characterization using UV-Vis spectrophotometer showed that the complex compound resulted a shift from the wavelength of its constituent compounds of 265 nm to 271 nm after being complexed with the $n \rightarrow \pi^*$ transition. Characterization using the FTIR spectrophotometer indicates the formation of complex compound $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ characterized by a coordination bond between Mn-N of 416 cm^{-1} . Characterization using TGA/DTA is carried out in the temperature range of 50-500°C, indicating a loss of H_2O molecular mass of 2.165% in the temperature range of 65-100°C, two molecules of 1,10-Phenanthroline compounds amounted to 57.18% in the temperature range of 220°C-331°C, and the Cl_2 molecule by 12.67% in the temperature range of 331°C-448°C. Characterization using Scanning Electron Microscopy (SEM) indicates the complex compound $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ has a morphological form such as triline crystals. Characterization using Magnetic Susceptibility Balance (MSB) indicates the complex compound $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ has an effective magnetic moment (μ_{eff}) of 5.67 BM with paramagnetic characteristic. DSSC test resulted in efficiency of 0.3% at maximum voltage (V_{max}) of 276.3 mV and maximum current strength (I_{max}) of 1.0 mA.

Key word: Manganese(II), 1,10-Phenanthroline, complex compound, sensitizer, Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)

**SINTESIS, KARAKTERISASI, DAN APLIKASI SENYAWA KOMPLEKS
MANGAN(II) DENGAN LIGAN 1,10-FENANTROLIN SEBAGAI DYE
SENSITIZER PADA DYE SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC)**

Oleh

NOVALISA PUTRI

**Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi : **SINTESIS, KARAKTERISASI DAN APLIKASI SENYAWA KOMPLEKS MANGAN(II) DENGAN LIGAN 1,10-FENANTROLIN SEBAGAI DYE SENSITIZER PADA DYE SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC)**

Nama Mahasiswa : **Novalisa Putri**

No. Pokok Mahasiswa : **1717011051**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Pembimbing I

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing II

Dr. Zipora Sembiring, M.Si.
NIP. 195901061986032001

Dr. Ni Luh Gede Ratna Jullasih, M.Si.
NIP. 197707132009122002

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA

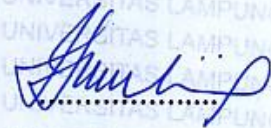
Mulyono, Ph.D
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Dr. Zipora Sembiring, M. Si.



Sekretaris

: Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si.



Penguji

Bukan Pembimbing : Diky Hidayat, S.Si., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, M.T.

NIP. 19740705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 05 Agustus 2021

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Novalisa Putri
NPM : 1717011051
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya berjudul "**Sintesis, Karakterisasi, dan Aplikasi Senyawa Kompleks Mangan(II) Dengan Ligan 1,10-Fenantrolin Sebagai *Dye Sensitizer* Pada *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)***" adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sadar dan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagai mestinya.

Bandar Lampung, 17 Agustus 2021

Yang menyatakan,



(Novalisa Putri)

NPM : 1717011051

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Novalisa Putri, lahir di Tangerang pada tanggal 5 November 1998. Penulis merupakan anak terakhir dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Abri Ginting dan Ibu Pengalamen Br Sinulingga.

Penulis mengawali pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Islam Alfiah Tangerang pada tahun 2004-2005. Kemudian melanjutkan pendidikannya di SDN Petukangan Utara 09 Pagi Jakarta pada tahun 2005-2011. Tahun 2011-2014 penulis melanjutkan pendidikannya pada jenjang pertama di SMP Negeri 48 Jakarta. Tahun 2014 penulis melanjutkan pendidikannya pada sekolah menengah atas di SMA Negeri 70 Jakarta. Tahun 2017 hingga penulisan skripsi ini, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang S1 di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Tahun 2017 penulis terdaftar sebagai mahasiswi S1 Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung, penulis aktif dalam kegiatan organisasi. Organisasi yang diikuti penulis yaitu Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) FMIPA Unila sebagai anggota bidang Sosial dan Masyarakat (SOSMAS) pada periode 2017 dan 2019.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat (Balittro) Bogor pada tahun 2020 dengan judul “Penentuan Kadar Pati Pada Tanaman Jahe Gajah (*Zingiber Officinale* Var. *Roscoe*) dan Jahe Emprit (*Zingiber Officinale* Var. *Rubrum*) Menggunakan Metode Titrimetri Dengan Natrium Tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)” dan pada tahun yang sama, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kecamatan Tanjung Priok, Kelurahan Sunter Jaya, Kota Jakarta Utara, Provinsi DKI Jakarta selama 40 hari pada periode Juli-Agustus. Penulis selama menjalani perkuliahan pernah menjadi Asisten Praktikum Kimia Anorganik I pada tahun 2021.

MOTTO

“Kuatkan dan teguhkanlah hatimu, janganlah takut dan jangan gemetar karena mereka, sebab TUHAN, Allahmu, Dialah yang berjalan menyertai engkau; Ia tidak akan membiarkan engkau dan tidak akan meninggalkan engkau”

(Ulangan 31 : 6)

“Hidup ini ibarat sebuah lukisan, maka untuk mendapatkan lukisan yang indah buatlah setiap hal dalam hidup menjadi berharga”

(Ibu)

“Everybody just has different steps in their life that they take to do what they should”

(Travis Scott)

“I think luck falls on not just the brave but also the ones who believe they belong there.”

(Novak Djokovic)

“Everyone has a price, the important thing is to find out what it is”

(Pablo Escobar)

PERSEMBAHAN

Kuucapkan Syukur dan Terima kasih kepada Tuhan Yesus Kristus yang selalu menyertaiku dalam setiap proses perkuliahanku, yang tidak pernah membiarkanku terjatuh karena TanganNya selalu menopangku dan selalu menjawab setiap doa yang kupanjatkan dalam hidupku.

Kepada Bapak dan Ibuku yang sangat aku cintai, yang sudah berjuang sampai saat ini untuk menguliahkanku dan memanjatkan doa setiap hari untuk anaknya. Semoga bapak dan ibu selalu diberikan umur yang panjang agar bisa melihat anaknya menjadi orang yang sukses dan dapat dibanggakan.

kupersembahkan sebuah karya sederhana ini untuk menjadi bukti bahwa setiap usaha dan kerja keras bapak dan ibu tidaklah sia-sia sehingga kudapatkan gelar
Novalisa Putri, S.Si.

Kepada abangku satu-satunya Esa Putra, terima kasih sudah menjadi abang terbaik yang sangat menyayangi adiknya, semoga segala harapan dan doa abang dikabulkan oleh Tuhan.

Kepada Sahabatku selama aku perkuliah (Aiga, Retta, Apri, Nikita, dan Grace) terima kasih sudah memberikan warna di dalam perkuliahanku, menjadi tempatku berkelu kesah saat lelah dalam perkuliah.

Last but not least, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for always being a giver and tryna give more than I receive, I wanna thank me for tryna do more right than wrong, I wanna thank me for just being me at all times.

Serta,
Almamater tercinta, Universitas Lampung

SANWACANA

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasihnya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Sintesis, Karakterisasi, dan Aplikasi Senyawa Kompleks Mangan(II) Dengan Ligan 1,10-Fenantrolin Sebagai *Dye Sensitizer* Pada *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC)**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada program studi Kimia FMIPA Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, saran, dan kritik yang telah diberikan berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Abri Ginting dan Ibu Pengalamen Br Sinulingga atas doa, kasih sayang, nasihat dan dukungan yang selama ini selalu diberikan kepada penulis. Semoga selalu diberikan kesehatan serta panjang umur oleh Tuhan Yang Maha Esa;
2. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M. Si., selaku Pembimbing Utama atas seluruh dedikasinya dalam memberikan bimbingan, saran dan kritik sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
3. Ibu Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M.Si., selaku Pembimbing Kedua atas seluruh dedikasinya dalam memberikan bimbingan, saran dan kritik sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
4. Bapak Diky Hidayat, S.Si., M.Sc., selaku Pembahas yang telah memberikan motivasi, kritik, dan saran yang membangun kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
5. Ibu Dr. Kamisah Delilawati P, M.Si., selaku Pembimbing Akademik penulis atas kesediaannya untuk memberikan nasihat dan bimbingannya;

6. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung;
7. Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono., M.T., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung;
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia Universitas Lampung yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu, pengalaman, dan motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah membalas kebaikan Bapak dan Ibu;
9. Kakak Esa Putra yang selalu memberikan nasihat dan semangat kepada penulis. Semoga selalu diberkati oleh Tuhan Yang Maha Esa;
10. Aura Dhayang, Mita Septiani dan Adita Sukma selaku partner dalam kerja praktik dan penelitian yang selalu memberikan canda tawa, menemani, membantu, menasihati, dan bekerja bersama-sama hingga penelitian dan skripsi ini dapat terselesaikan;
11. Philip Topan selaku teman terdekat yang selalu memberikan nasihat, dukungan dan semangat kepada penulis;
12. Aiga Sheira, Retta Girsang, Apri Dearn, Nikita Damayanti dan Grace Sondang selaku sahabat yang selalu mendengarkan keluh kesah, menemani semester-semester terberat, dan memberikan motivasi untuk penulis;
13. Risma Handayani dan Aisyah Tri Setyaningsih selaku teman sekelas terdekat yang selalu memberikan dukungan dan semangat dalam menjalani semester demi semester kepada penulis;
14. Fahira Khairani selaku teman pertama penulis di SMA yang selalu ada untuk penulis baik suka maupun duka, menerima kekurangan penulis dan sabar menghadapi penulis;
15. Alya Faraz, Alya Fano, Riffani Aliya, Afifah Pertiwi, dan Sonia Aprilya selaku teman “Ciledug” yang mau menerima penulis apa adanya, tidak pernah lelah mendengarkan cerita dan selalu ada sampai saat ini memberikan semangat kepada penulis;
16. Sarut (kucing) yang selalu menghibur dikala penat dalam kuliah online,

tugas, dan laporan. Mendengarkan cerita penulis serta menjadi obat dalam setiap kesedihan;

17. Seluruh rekan angkatan Kimia 2017 yang selalu memberikan semangat selama dalam perkuliahan.
18. Serta semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini. Penulis berharap semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan kalian.

Semoga ketulusan dan kebaikan Bapak, Ibu, serta rekan-rekan semua mendapat balasan dari Tuhan Yang Maha Esa. Masih banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk semua pembaca.

Bandar Lampung, 05 Agustus 2021

Penulis,

Novalisa Putri

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
I.PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Senyawa Kompleks	5
2.1.1 Pengertian Senyawa Kompleks	5
2.1.2 Teori Pembentukan Senyawa Kompleks	6
2.2 Mangan	7
2.3 Sifat Kimia Logam Mangan (Mn).....	8
2.4 Sifat Fisika Mangan.....	8
2.5 Ligan.....	8
2.6 1, 10-Fenantrolin	9
2.7 Panel Surya	10
2.8 Cara Kerja Panel Surya	11
2.9 Kelebihan dan Kekurangan Panel Surya	12
2.10 DSSC.....	13
2.11 Cara kerja DSSC	15
2.12 Kelebihan dan Kekurangan DSSC	17
2.13 Material DSSC	17
2.13.1 Substrat	17
2.13.2 Nanopori TiO ₂	18
2.13.3 <i>Dye</i>	19

2.13.4 Elektrolit.....	19
2.13.5 Katalis <i>Counter</i> Elektroda.....	19
2.14 <i>Magnetik Susceptibility Balance</i> (MSB).....	20
2.15 Spektrofotometri Uv-Vis.....	21
2.15.1 Pengertian Spektrofotometri Uv-Vis.....	21
2.15.2 Prinsip Kerja Spektrofotometer Uv-Vis.....	22
2.16 Spektrofotometri <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	22
2.16.1 Pengertian Spektrofotometri (FTIR).....	22
2.16.2 Prinsip Kerja Spektrofotometer (FTIR).....	24
2.17 <i>Thermogravimetric-Differential Thermal Analysis</i> (TGA/DTA).....	24
2.17.1 Pengertian TGA/DTA.....	24
2.17.2 Prinsip Kerja TGA/DTA.....	25
2.18. <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	25
2.18.1 Pengertian SEM.....	25
2.18.2 Prinsip Kerja SEM.....	26
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Waktu dan Tempat.....	27
3.2 Alat dan Bahan.....	27
3.3 Metode.....	28
3.3.1 Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II) Fenantrolin.....	28
3.3.2 Karakterisasi Senyawa Kompleks.....	28
3.3.3 Fabrikasi DSSC.....	30
3.3.4 Skema Alur Penelitian.....	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1 Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II) 1,10-Fenantrolin.....	36
4.2 Karakterisasi Senyawa Kompleks Hasil Sintesis.....	38
4.2.1 Karakterisasi Momen Magnetik Senyawa Kompleks.....	38
4.2.2 Karakterisasi Panjang Gelombang Senyawa Kompleks.....	40
4.2.3 Karakterisasi Gugus Fungsional Senyawa Kompleks.....	43
4.2.4 <i>Karakterisasi Thermogravimetric/Differential Thermal Analyzer</i> (TGA/DTA).....	45
4.2.5 Karakterisasi <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	46

4.3 Aplikasi Senyawa Kompleks pada <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC).....	47
4.3.1 Pembuatan Elektroda Kerja	48
4.3.2 Pembuatan Elektrolit Gel	48
4.3.3 Pembuatan Elektroda Pembanding	49
4.3.4 Pengukuran Arus dan Tegangan Rangkaian DSSC	49
V. KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	61
Lampiran 1. Perhitungan Persen Massa Senyawa Hasil Sintesis	61
Lampiran 2. Referensi Spektrum Spektrofotometer UV-Vis dan Infra Merah	63
Lampiran 3. Perhitungan Momen Magnetik Senyawa Hasil Sintesis	65
Lampiran 4. Perhitungan % Kehilangan Senyawa kompleks Hasil Sintesis...	67
Lampiran 5. PerhitunganTegangan, Arus dan Efisiensi DSSC	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Hubungan Panjang Gelombang dan Warna Senyawa.....	22
2. Pita Serapan Gugus Fungsi pada Spektrofotometer (FTIR).....	23
3. Hasil Momen Magnetik Senyawa Kompleks $[\text{Mn}(\textit{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	38
4. Data Spektrum Uv-Vis Senyawa Hasil Sintesis	41
5. Data Spektrum FTIR Senyawa Kompleks Hasil Sintesis	44
6. Perhitungan % Kehilangan Senyawa kompleks Hasil Sintesis	46
7. Data Pengukuran Kuat Arus (I_{max}), Tegangan (V_{max}), dan Efisiensi (η) yang dihasilkan dari DSSC.	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Reaksi Senyawa Kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	6
2. Pembentukan Senyawa Kompleks $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$	7
3. Struktur 1,10-Fenantrolin	10
4. PLTS <i>Rooftop</i>	11
5. Diagram Panel Surya	12
6. Struktur <i>Dye Sensitized Solar Cell</i>	14
7. Skema Kerja dari DSSC	15
8. Rangkaian Fabrikasi DSSC	32
9. Skema Alur Kerja Sintesis Senyawa kompleks Mn(II) Fenantrolin	34
10. Skema Alur Kerja Fabrikasi DSSC	35
11. Hasil Sintesis Senyawa Kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	37
12. Prediksi Hibridisasi Senyawa Kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	39
13. Struktur Senyawa Kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Hasil Sintesis	40
14. Spektrum Uv-Vis Senyawa Kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	41
15. Spektrum FTIR Senyawa Kompleks Hasil Sintesis	43
16. Termogram TGA/DTA Senyawa Kompleks Hasil Sintesis	45
17. Hasil <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	47
18. Elektroda Kerja	48

19. Hasil Pembuatan Elektrolit Gel	49
20. Elektroda Pembanding	49
21. Struktur <i>Sandwich</i> Rangkaian DSSC	50
22. Rangkaian Proses DSSC	50

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi di dunia masih didominasi oleh energi yang berasal dari fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara. Energi tersebut bersifat tidak dapat diperbaharui yang lama kelamaan akan menipis (Kusumandari, 2009).

Berkembangnya zaman dan teknologi telah ditemukan sumber energi alternatif salah satunya yaitu tenaga surya (*solar cell*). Pengembangan sel surya (*solar cell*) menjadi sebuah tuntutan ketika manusia dihadapkan pada berbagai kerusakan lingkungan akibat penggunaan bahan bakar fosil dan *global warming* (Gratzel, 2003). Para peneliti telah mengembangkan sel surya melalui beberapa generasi. Perkembangan sel surya diawali dengan diciptakannya sel surya sistem berlapis (*wafer*). Sel surya ini memiliki dua jenis sistem, jenis sistem pertama adalah sistem berlapis silikon tunggal yang menghasilkan efisiensi 16-17% dan jenis sistem kedua adalah sistem berlapis silikon poli kristal yang menghasilkan efisiensi 13-15%. Perkembangan selanjutnya adalah sel surya jenis lapis tipis (*thin film*) yang menghasilkan efisiensi 19,5%. Perkembangan selanjutnya adalah sel surya jenis polimer atau disebut juga dengan sel surya organik dan sel surya fotoelektrokimia (Cherepy *et al.*, 1997).

Perkembangan yang menarik dari teknologi sel surya saat ini salah satunya adalah sel surya yang dikembangkan oleh Gratzel. Sel surya sering juga disebut dengan sel Grätzel atau *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC)/Sel Surya berbasis Pewarna *Sensitizer* (SSPT). Pada dasarnya prinsip kerja DSSC merupakan suatu siklus transfer elektron oleh komponen-komponen DSSC (Gratzel, 2003). Pembuatan DSSC ini cukup mudah, alat yang digunakan sederhana dan bahan yang digunakan mudah didapat. Zat warna (*dye*) digunakan sebagai bahan penyerapan

cahaya pada DSSC dan pemisahan muatan dilakukan oleh semikonduktor yang memiliki celah pita besar. Semikonduktor bercelah pita besar yang sering digunakan adalah Titanium oksida (TiO_2) yang memiliki celah pita sebesar 3,2 eV. Untuk aplikasinya dalam DSSC, TiO_2 harus memiliki permukaan yang luas sehingga zat warna (*dye*) yang terserap lebih banyak dan hasilnya akan meningkatkan arus foton. Oleh sebab itu cara pelapisan TiO_2 merupakan salah satu faktor dalam peningkatan efisiensi DSSC (Joko *et al.*, 2010). Selain molekul zat warna (*dye*) komponen DSSC juga terdiri dari nanopori TiO_2 , katalis pada elektroda perlawanan dan kaca konduktif, elektrolit dan kaca substrat. Keunggulan dari DSSC adalah tidak memerlukan bahan dengan kemurnian tinggi sehingga biaya produksinya relatif rendah. Namun demikian, DSSC memiliki kelemahan yaitu stabilitasnya rendah karena penggunaan elektrolit cair yang mudah mengalami degradasi atau kebocoran (Huang *et al.*, 2007).

Zat warna (*dye*) yang digunakan pada DSSC sebagai *sensitizer* telah mengalami begitu banyak perkembangan. DSSC menggunakan *dye* kompleks rutenium pertama kali dilaporkan pada tahun 1991 oleh O'Regan dan Grätzel (O'Regan and Gratzel, 1991). DSSC menggunakan *dye* kompleks rutenium ini menghasilkan efisiensi konversi mencapai 7,1% namun, kompleks ini memiliki kelemahan antara lain, struktur pewarna rutenium rumit, mengandung tiga logam rutenium pusat, harganya yang mahal serta dapat menyebabkan kerusakan lingkungan maka dilakukan perkembangan selanjutnya mengenai *dye* pada DSSC. Rabbani *et al.*, 2018 telah mensintesis senyawa alami sebagai *dye* yang berasal dari kunyit. *Dye* dibuat dengan cara mengekstraksi kunyit lalu selanjutnya dilakukan proses maserasi. Pengujian DSSC dari *dye* kunyit menghasilkan efisiensi (η) paling tinggi sebesar sebesar 0.000134% dengan tegangan maksimum (V_{\max}) 48 mV dan kuat arus maksimum (I_{\max}) 2,9 mA, karena proses sintesisnya yang rumit, efisiensi yang dihasilkan masih kecil dan *dye* dari zat alami mudah mengalami kerusakan maka zat warna alami digantikan oleh senyawa basa Schiff. Sari (2019) telah melakukan sintesis senyawa basa Schiff dari salisilaldehida dan etilendiamina sebagai *dye sensitizer* pada kinerja DSSC. Pengujian DSSC ini menghasilkan efisiensi (η) paling tinggi yang dihasilkan sebesar 0,36% dengan tegangan maksimum (V_{\max}) 603 mV dan kuat arus maksimum (I_{\max}) 0,6 mA.

Kimiawan anorganik telah melakukan pengembangan penelitian mengenai *dye* dari bahan sintetik dan menunjukkan bahwa logam-logam transisi merupakan logam yang banyak dipelajari dan disintesis menjadi senyawa-senyawa kompleks yang menghasilkan warna yang unik (David and Raynor, 1965). Logam yang sering digunakan dalam sintesis senyawa kompleks adalah logam Mangan (Mn). Mangan dapat berada pada semua tingkat oksidasi, yaitu +2 sampai dengan +7 (Zumdahl and Zumdahl, 2007). Dalam penelitian ini akan digunakan senyawa mangan(II). Senyawa mangan(II) mempunyai *spin* tinggi menunjukkan sifat yang sangat stabil. Kestabilan mangan(II) dalam keadaan *spin* tinggi ditunjukkan oleh variasi kestabilan senyawa yang terbentuk. Sebagai contoh adalah $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ yang mempunyai warna merah muda (Mackay *et al.*, 2002).

Logam Mn dapat berikatan dengan ligan Fenantrolin (*phen*) membentuk senyawa oktahedral dengan rumus molekul $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Ligan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah ligan 1,10-Fenantrolin, ligan ini merupakan jenis ligan kuat yang menyediakan agen kelat untuk membentuk cincin tertutup dengan berbagai ion logam. Kemampuan pengompleks ligan 1,10-Fenantrolin telah banyak digunakan untuk mengembangkan senyawa kompleks (Pitié *et al.*, 1998).

Pada penelitian ini akan disintesis senyawa kompleks dari ion logam Mn(II) dengan 1,10-Fenantrolin yang bertujuan sebagai *dye* pada DSSC, karena senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ akan membentuk struktur lingkaran oktahedral sehingga lebih stabil maka diharapkan hasil efisiensi senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dapat lebih tinggi. Karakterisasi senyawa kompleks Mn(II) dengan pengompleks 1,10-Fenantrolin dilakukan dengan beberapa metode analisis. Pemutusan ikatan pada senyawa kompleks yang terbentuk dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis) untuk menentukan panjang gelombang daerah-daerah serapan ikatan antar atom, Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk menentukan gugus fungsi, dan *Thermogravimetric-Differential Thermal Analysis* (TGA/DTA) untuk menentukan sifat termal senyawa tersebut, *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk menentukan morfologi pada kristal yang terbentuk dan *Magnetik*

Susceptibility Balance (MSB) untuk menganalisis sifat kemagnetan dari senyawa kompleks. Senyawa kompleks hasil sintesis diaplikasikan sebagai *sensitizer* pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) berbasis semikonduktor TiO_2 untuk diukur kuat arus (mA), tegangan (mV), dan efisiensinya (%) menggunakan Multimeter Digital yang dihubungkan pada rangkaian DSSC.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang telah dilakukan ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh senyawa kompleks dari ion logam Mn(II) dengan ligan 1,10-Fenantrolin.
2. Mengetahui karakteristik dan sifat termal dari senyawa kompleks Mn(II) Fenantrolin menggunakan spektrofotometer *Ultra Violet-Visible* (UV-Vis), Spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *Thermogravimetric-Differential Thermal Analysis* (TGA/DTA), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Magnetik Susceptibility Balance* (MSB).
3. Mengetahui kinerja senyawa kompleks Mn(II) Fenantrolin sebagai *dye* pada DSSC dengan cara mengukur kuat arus maksimum (I_{\max}), tegangan maksimum (V_{\max}) dan efisiensi yang dihasilkan.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan perkembangan ilmu pengetahuan mengenai sintesis dan karakterisasi senyawa kompleks dari ion logam Mn(II) dengan ligan 1,10-Fenantrolin. Selain itu, informasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan dalam pengembangan aplikasi senyawa kompleks pada DSSC sebagai energi terbarukan yang sangat potensial di masa depan dengan biaya produksi rendah, mudah diproduksi, memiliki efisiensi tinggi, dan ramah lingkungan.

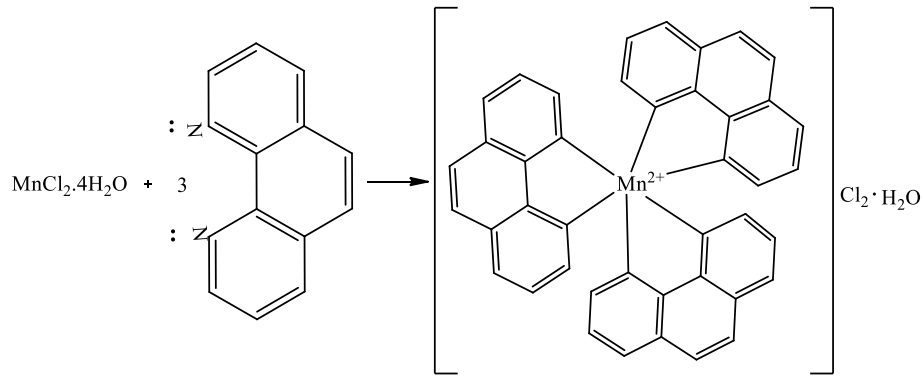
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Senyawa Kompleks

2.1.1 Pengertian Senyawa Kompleks

Suatu kompleks akan terbentuk antara suatu kation atau logam dengan beberapa molekul netral atau ion donor elektron. Kation atau logam tersebut berfungsi sebagai ion pusat sedangkan molekul netral atau ion donor elektron berfungsi sebagai gugus pengeliling atau sering disebut ligan. Ikatan kovalen koordinasi dalam senyawa kompleks ini terjadi karena donasi pasangan elektron dari ligan ke dalam orbital kosong ion pusat. Pada umumnya, ion pusat memiliki orbital-orbital *d* yang masih belum terisi penuh elektron sehingga dapat berfungsi sebagai akseptor pasangan elektron tersebut. Ciri ini menyebabkan beberapa sifat khas, meliputi warna yang unik, pembentukan senyawa paramagnetik, aktivitas katalitik, dan terutama memiliki kecenderungan besar untuk membentuk senyawa kompleks (Chang, 2005).

Logam Mn dapat berikatan dengan ligan Fenantrolin (*phen*) membentuk senyawa kompleks oktahedral dengan rumus molekul $[Mn(phen)_3]Cl_2 \cdot H_2O$. Ligan ini merupakan jenis ligan kuat yang menyediakan agen kelat untuk membentuk cincin tertutup dengan berbagai ion logam. Kompleks Mn(II) dengan ligan 1,10-Fenantrolin akan menghasilkan reaksi seperti pada Gambar 1:

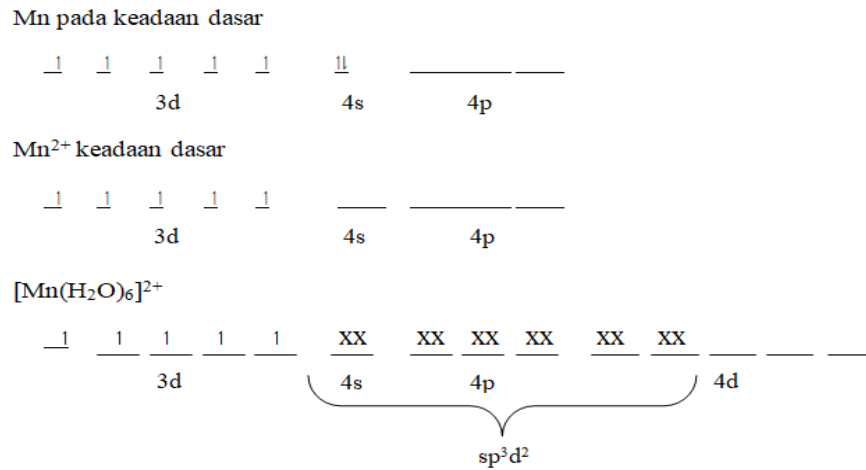


Gambar 1. Reaksi Senyawa Kompleks $[Mn(phen)_3]Cl_2 \cdot H_2O$

2.1.2 Teori Pembentukan Senyawa Kompleks

Terdapat tiga teori dalam pembentukan senyawa kompleks yaitu, teori ikatan valensi (*Valence Bond Theory*), teori medan kristal (*Crystal Field Theory*) dan teori orbital molekul (*Molecular Orbital Theory*). Teori ikatan valensi dikemukakan oleh Linus Pauling. Teori ini menyatakan jumlah orbital pada atom atau ion pusat sama dengan jumlah ligan sehingga menghasilkan ikatan kovalen kompleks antara ion pusat dan orbital ligan. Tumpang tindih antara orbital ion pusat dan orbital ligan yang menghasilkan ikatan kovalen yang kuat (Huheey *et al.*, 1993) sehingga menghasilkan hibridisasi membentuk orbital baru yang disebut orbital hibrida. Orbital hibrida mempunyai sifat yang berbeda dengan orbital ion pusat dan orbital ligan yang lama. Pembentukan orbital hibrida menunjukkan struktur ruang senyawa kompleks sebagai contoh pada ion kompleks $[Mn(H_2O)_6]^{2+}$, pembentukan ikatan hibrida membentuk orbital hibrida baru dapat dijelaskan pada Gambar 2.





Gambar 2. Pembentukan Senyawa Kompleks [Mn(H₂O)₆]²⁺ (Sumber : Putri, 2012).

Pada saat keadaan tereksitasi, Mn²⁺ berikatan dengan enam ligan H₂O membentuk [Mn(H₂O)₆]²⁺ yang mempunyai lima elektron yang tidak berpasangan. Senyawa kompleks [Mn(H₂O)₆]²⁺ disebut sebagai senyawa kompleks orbital luar (*outer orbital complex*) karena orbital yang ditempati oleh semua pasangan elektron bebas ligan adalah orbital *d* yang luar. Selain itu, [Mn(H₂O)₆]²⁺ disebut sebagai senyawa kompleks *spin* tinggi (*high spin*) karena terdapat elektron yang tidak berpasangan (Nuryanti, 2001).

2.2 Mangan

Mangan pertama kali ditemukan oleh Johann Gahn pada tahun 1774 kebangsaan Swedia. Mangan merupakan salah satu unsur dari logam transisi yang mempunyai nomor atom 25 dengan konfigurasi elektronnya adalah (Ar) 3d⁵ 4s². Logam mangan dalam keadaan murni berwarna putih seperti perak, sangat keras, tetapi mudah patah. Mangan dapat berada pada semua tingkat oksidasi, yaitu +2 sampai dengan +7 (Zum Dahl and Zum Dahl, 2007). Semua senyawa mangan(II) yang mempunyai *spin* tinggi menunjukkan sifat yang sangat stabil. Kestabilan mangan(II) dalam keadaan *spin* tinggi ditunjukkan oleh variasi kestabilan senyawa yang terbentuk. Sebagai contoh adalah [Mn(H₂O)₆]²⁺ yang mempunyai

warna merah muda (Mackay *et al.*, 2002). Kation mangan(II) berasal dari mangan(II) oksida membentuk garam-garam yang kurang berwarna. Jika senyawa tersebut mengandung air pada pengkristalannya, maka larutannya berwarna agak merah muda. Hal ini disebabkan oleh adanya ion heksaakuomanganat(II) yaitu $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ (Svehla, 1996). Titik leleh 58°C , dan mempunyai toksisitas yang rendah sehingga aman digunakan dalam penelitian (Svehla, 1996).

2.3 Sifat Kimia Logam Mangan (Mn)

1. Mangan merupakan logam keras, mudah retak, serta mudah teroksidasi.
2. Mangan memiliki nomor atom 25.
3. Mangan (Mn) memiliki elektron valensi +2, +3, +4, +6, dan +7.
4. Mangan yang elektron valensinya +2 mudah bereaksi dengan asam hidroklorit membentuk MnCl_2 .
5. Mangan elektron valensi +3 (manganit) bersifat tidak stabil dan mudah berubah menjadi elektron valensi +2 (Widowati *et al.*, 2008).

2.4 Sifat Fisika Mangan

1. Mangan (Mn) adalah logam berwarna abu –abu keputihan.
2. Mangan memiliki densitas $7,43 \text{ g/cm}^3$ pada 20°C .
3. Mangan melebur pada kira – kira 1250°C
4. Mangan murni bersifat amat reaktif dan dalam bentuk bubuk akan terbakar dengan oksigen.
5. Kadar mangan pada perairan alami sekitar $0,2 \text{ mg/liter}$ atau kurang. Kadar yang lebih besar dapat terjadi pada air tanah dalam dan pada danau yang dalam.

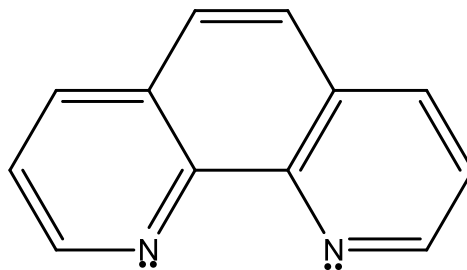
2.5 Ligan

Ligan adalah suatu ion atau molekul yang memiliki sepasang elektron atau lebih yang dapat disumbangkan. Ligan merupakan basa Lewis yang dapat terkoordinasi

pada ion logam atau sebagai asam Lewis membentuk senyawa kompleks. Ligan dapat berupa anion atau molekul netral (Saragih, 2011). Sebagian besar ligan adalah zat netral atau anionik tetapi kation, seperti kation tropilium juga dikenal. Ligan netral, seperti amonia, NH_3 , atau karbon monoksida, CO , dalam keadaan bebas pun merupakan molekul yang stabil, sementara ligan anionik, seperti Cl^- atau C_5H_5^- , distabilkan hanya jika dikoordinasikan ke atom logam pusat. Jumlah atom yang diikat pada atom pusat disebut dengan bilangan koordinasi (Saito, 1996). Urutan relatif kekuatan ligan adalah $\text{I}^- < \text{Br}^- < \text{S}^{2-} < \text{SCN}^- < \text{Cl}^- < \text{NO}_3^- < \text{F}^- < \text{OH}^- < \text{Ox}^{2-} < \text{H}_2\text{O} < \text{NCS}^- < \text{NH}_3 < \text{en} < \text{bipy} < \text{phen} < \text{NO}_2^- < \text{CN}^- < \text{CO}$. Urutan ligan-ligan berdasarkan kekuatannya disebut deret spektrokimia (*spectrochemical series*) atau deret *Fajans-Tsuchida* (Effendy, 2007). Ligan dengan satu atom donor elektron disebut ligan monodentat, dan yang memiliki lebih dari satu atom donor elektron disebut ligan polidentat, juga disebut ligan khelat (Saito, 1996). Fenantrolin adalah ligan khelat karena dapat membentuk senyawa kompleks dengan struktur lingkaran (Considine *et al.*, 1994) dan merupakan ligan khelat yang sangat kuat untuk macam-macam ion logam (Pitié *et al.*, 1998). Ligan 1,10-Fenantrolin dapat membentuk kompleks dengan berbagai atom logam dalam tingkat oksidasi formal yang rendah (Cotton and Wilkinson, 1989).

2.6 1, 10-Fenantrolin

Senyawa kompleks yang disintesis harus memiliki kestabilan yang tinggi. Salah satu senyawa kompleks yang stabil adalah senyawa kompleks khelat. Senyawa kompleks ini dibentuk dari ligan khelat, yaitu ligan yang memiliki lebih dari satu atom donor pasangan elektron. Salah satu ligan khelat adalah 1,10-Fenantrolin yang strukturnya ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur 1,10-Fenantrolin

Ligan 1,10-Fenantrolin dapat membentuk kompleks dengan berbagai atom logam dalam tingkat oksidasi formal yang rendah (Cotton and Wilkinson, 1989). 1,10-Fenantrolin dapat berikatan dengan logam transisi membentuk senyawa kompleks oktahedron $[M(\text{phen})_3]Cl_2 \cdot H_2O$. Fenantrolin dapat berfungsi sebagai ligan bidentat, hal ini disebabkan ligan fenantrolin merupakan ligan N-heterosiklik yang mempunyai dua atom donor N yang terikat pada cincin aromatisnya. Adanya cincin aromatis yang dimiliki oleh ligan tersebut akan meningkatkan kestabilan senyawa kompleks yang terbentuk. Keadaan ini terjadi karena cincin aromatis tersebut mempunyai orbital π yang masih mampu menerima elektron dari ion pusat sehingga terjadi ikatan balik dari ion pusat ke ligan, (M-L) (Dasna, 1993).

2.7 Panel Surya

Para peneliti telah menciptakan penerapan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia. Penerapan teknologi tenaga surya untuk kebutuhan listrik terutama daerah terpencil dapat dilakukan dengan berbagai macam sistem pembangkit listrik tenaga surya, seperti pembangkit listrik *hybrida* yaitu gabungan antara sumber energi surya dengan sumber energi lainnya, yang paling umum adalah penggabungan energi surya dengan energi mesin *diesel* atau sumber energi mikro-*hydro*. Sistem tenaga surya lainnya adalah “*Solar Home System*” (SHS), yang terdiri dari panel modul surya, baterai, alat pengontrol dan lampu, sistem ini dipasang pada masing-masing rumah dengan modul fotovoltaik dipasang di atas atap rumah. Sistem ini biasanya mempunyai modul fotovoltaik dengan kapasitas daya 50 Wp (*Watt Peak*) dimana

pada radiasi matahari rata-rata harian $4,5 \text{ Kwh/m}^2$ (Kilowatt jam/ m^2) akan menghasilkan energi kurang lebih 125 s/d 130 watt-jam. Sistem PLTS yang cukup besar penerapannya di Indonesia salah satunya adalah PLTS *Rooftop*.

PLTS *Rooftop* pada Gambar 4 diciptakan oleh PT. Surya Energi Indotama yang masih anak perusahaan dari PT. Len Industri (Persero). PLTS *Rooftop* memiliki prinsip sistem dibangun di atas atap gedung dan menghasilkan energi listrik pada siang hari kemudian energi yang dihasilkan langsung dialirkan ke jaringan listrik. Apabila energi yang dihasilkan lebih besar daripada pemakaian beban setempat maka kelebihan energi tersebut dapat disalurkan ke jaringan untuk mensuplai beban yang lain. Sistem ini sangat cocok untuk daerah perkotaan.

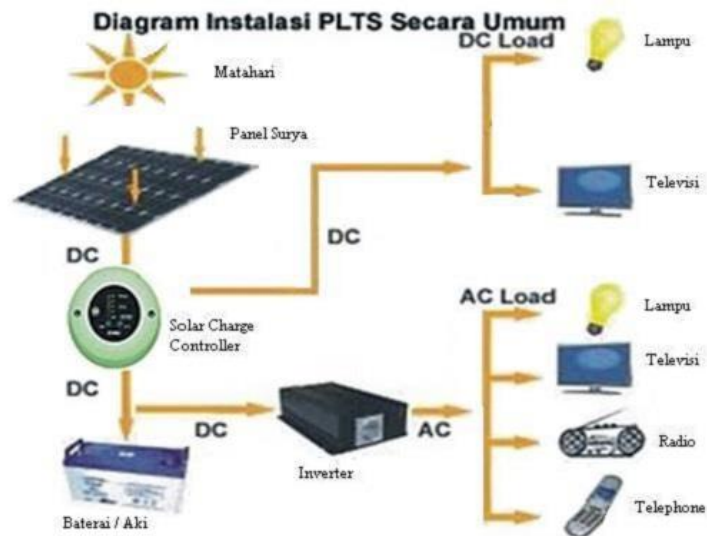


Gambar 4. PLTS *Rooftop*

2.8 Cara Kerja Panel Surya

Cara kerja dari pembangkit listrik jenis ini cukup sederhana dapat dilihat pada Gambar 5. Komponen utama dari sumber energi ini adalah sel fotovoltaik. Sel tersebut memiliki peranan untuk menangkap panas matahari yang kemudian akan diubah menjadi energi listrik. Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik yang lain, jenis pembangkit listrik ini diklaim lebih ramah lingkungan, murah dan hampir tidak memiliki polusi ataupun limbah. Komponen-komponen dari panel surya sendiri yaitu :

1. Panel surya / *solar cell*
2. *Charge controller*
3. Baterai
4. Inverter DC to AC



Gambar 5. Diagram Panel Surya

2.9 Kelebihan dan Kekurangan Panel Surya

Kelebihan dari pemakaian panel surya adalah sebagai berikut :

1. Tidak akan pernah habis

Energi matahari merupakan sumber energi terbarukan yang tidak akan pernah habis. Penggunaan energi surya juga dapat mencegah penggunaan bahan bakar fosil menjadi semakin menipis. Saat ini banyak sekali negara-negara maju yang menggunakan energi surya untuk menjadikannya energi listrik.

2. Ramah lingkungan

Penggunaan energi surya tidak akan menghasilkan emisi karbon sama seperti Bahan Bakar Mobil (BBM). Hal ini dapat mencegah pemanasan global yang dapat menyebabkan perubahan iklim tak menentu.

3. Hanya membutuhkan sedikit perawatan.

Setelah instalasi dan dioptimasi, panel surya dapat menciptakan listrik dengan luasan hanya beberapa milimeter dan tidak memerlukan perawatan yang berarti.

4. Bebas dari biaya perawatan.

5. Pemasangan sangat mudah.
6. Umur panel surya / *solar cell* panjang/ investasi jangka panjang.
7. Sangat cocok untuk daerah tropis seperti Indonesia.

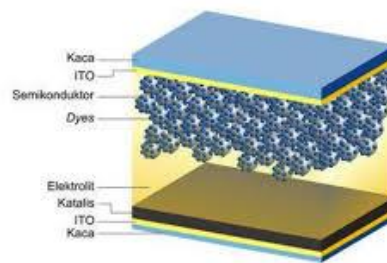
Kelemahan dari pemakaian panel surya adalah sebagai berikut :

1. Daya yang dihasilkan berkurang ketika mendung.
2. PLTS membutuhkan sinar matahari untuk bekerja. Ketika mendung ataupun pada malam hari keluaran energi panel surya pastinya kurang maksimal. Namun untuk menyasati hal ini banyak PLTS skala besar yang melacak keberadaan matahari untuk menjaga panel surya di sudut optimal sepanjang hari.
3. Besarnya biaya pembangunan panel surya.
4. Pembangkit listrik ini juga sangat membutuhkan biaya yang sangat besar per MW (Mega Watt). Oleh karena itu banyak sekali negara-negara yang memikirkan hal ini ketika akan membangunnya. Untuk satu rumah sederhana yang minimal mengeluarkan total watt sebesar 1000 watt memerlukan biaya pemasangan panel surya sebesar Rp 28.000.000.
5. Membutuhkan ruang yang besar
Semakin banyak listrik yang ingin dihasilkan, semakin banyak panel surya yang dibutuhkan, karena ingin mengumpulkan sinar matahari sebanyak mungkin.

2.10 DSSC

Dye-sensitized solar cell (DSSC) merupakan sel surya fotoelektrokimia, terutama terdiri dari *photoelectrode*, elektrolit, dan elektroda lawan. Titanium dioksida (TiO_2) telah menjadi semikonduktor disukai dalam berbagai studi, sayangnya karena *band gap* yang besar (3 hingga 3,2 eV), TiO_2 menyerap hanya bagian ultraviolet dari matahari sehingga memiliki efisiensi konversi yang rendah

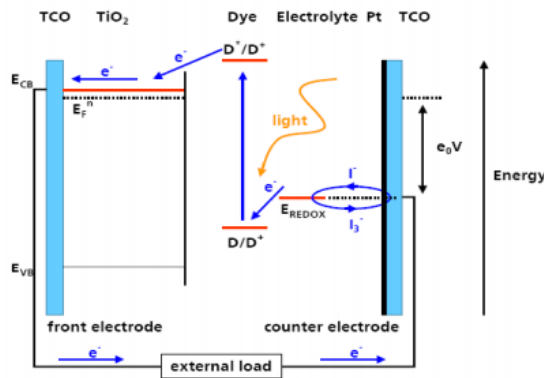
(Gratzel, 2001). *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC), sejak pertama kali ditemukan oleh Professor Michael Gratzel pada tahun 1991, telah menjadi satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia. DSSC disebut juga terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon. Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanopartikel TiO_2 , molekul *dye* yang teradsorpsi di permukaan TiO_2 , larutan elektrolit dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Struktur *Dye Sensitized Solar Cell* (Sumber: Sastrawan, 2006)

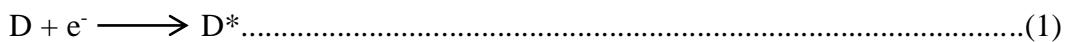
Bagian atas dan alas sel surya merupakan *glass* yang sudah dilapisi oleh TCO (*Transparent Conducting Oxide*) contohnya SnO_2 , yang berfungsi sebagai elektroda dan counter-elektroda. Bagian TCO counter-elektroda dilapisi katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu I^-/I_3^- (*iodide/triiodide*). Bagian permukaan elektroda dilapisi oleh nanopori TiO_2 yang mana *dye* teradsorpsi di pori TiO_2 . *Dye* yang umumnya digunakan yaitu jenis *ruthenium complex*.

2.11 Cara kerja DSSC

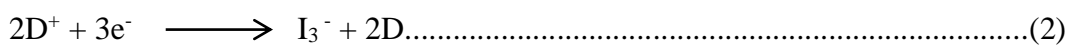


Gambar 7. Skema Kerja dari DSSC (Sumber : Sastrawan, 2006).

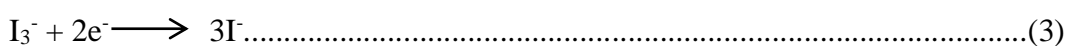
Skema kerja dari DSSC ditunjukkan pada Gambar 7. Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *ground state* (D) ke *excited state* (D*) terlihat pada persamaan 1.



Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju TiO₂ sehingga molekul *dye* teroksidasi (D⁺). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit (I⁻) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi terlihat pada persamaan 2.



Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju counter-elektroda melalui rangkaian eksternal. Dengan adanya katalis pada counter-elektroda, elektron diterima oleh elektrolit sehingga *hole* yang terbentuk pada elektrolit (I₃⁻), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk *iodide* (I⁻) terlihat pada persamaan 3.



Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi

konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik.

Kinerja dari DSSC ini dapat dievaluasi dengan mengetahui % efisiensinya (η) serta nilai *fill factor* (FF). *Fill factor* (FF) diperoleh dari perbandingan antara arus maksimum (I_{max}) dan tegangan maksimum (V_{max}) dengan arus rangkaian pendek (I_{sc}) dan rangkaian terbuka (V_{oc}) seperti pada persamaan (4). Arus rangkaian pendek dan rangkaian terbuka ini diperoleh dari kurva I berbanding dengan V yang didapat saat pengukuran arus dan tegangan dari DSSC dengan multimeter serta agar menghasilkan voltase maka diberi beban dengan menggunakan potensiometer dalam rangkaian. Daya maksimum (P_{max}) dapat dihitung dengan mengkalikan arus maksimum (I_{max}) dan tegangan maksimum (V_{max}) dengan nilai *fill factor* yang didapat seperti pada persamaan (5). Efisiensi sendiri merupakan perbandingan antara banyaknya energi sinar matahari yang mengenai pewarna dengan banyaknya energi yang diserap. Apabila nilai yang diperoleh semakin tinggi maka DSSC yang digunakan semakin bagus. Efisiensi dirumuskan seperti persamaan (6) (Gong dkk, 2012).

Fill Factor (FF) dapat dihitung dengan persamaan :

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \dots\dots\dots (4)$$

P_{max} dapat dihitung dengan memasukkan hasil dari persamaan (4) ke persamaan berikut :

$$P_{max} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \dots\dots\dots (5)$$

Efisiensi dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

η = Efisiensi

P_{max} = Daya maksimum

P_{in} = Daya sumber cahaya

FF = *Fill Factor*

V_{max} = Tegangan maksimum

V_{oc} = Rangkaian terbuka

Isc = Arus pendek

2.12 Kelebihan dan Kekurangan DSSC

Kelebihan dari *Dye Sensitized Solar Cells* adalah sebagai berikut :

1. Lebih Fleksible
Gratzel sel ini dilengkapi dengan pasangan redoks yang diletakkan dalam sebuah elektrolit (bisa berupa padat atau cairan). Komposisi penyusun solar sel seperti ini memungkinkan bahan baku pembuat Gratzel sel lebih fleksibel.
2. Metode pembuatan yang lebih sederhana.
3. Bahan mudah didapat.
4. Bahan yang dipakai murah
DSSC akan mampu memberi pengaruh besar dalam sepuluh tahun ke depan mengingat harga dan proses pembuatannya yang akan sangat murah.

Kekurangan dari *Dye Sensitized Solar Cells* adalah sebagai berikut :

- 1 . Efisiensi yang ditemukan masih kecil
DSSC yang ditemukan sejauh ini masih menghasilkan efisiensi yang kecil sebesar 0,08-1,0% dengan daya maksimum sekitar 78,672 mW/cm².
2. Usia aktif sel yang masih terlalu singkat.
3. Penggunaan elektrolit cair yang masih mudah terdegradasi.

2.13 Material DSSC

2.13.1 Substrat

Substrat yang digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat itu sendiri berfungsi sebagai badan dari sel surya dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir. Material yang umumnya digunakan yaitu *flourine-doped*

tin oxide ($\text{SnO}_2\text{:F}$ atau FTO) dan *indium tin oxide* ($\text{In}_2\text{O}_3\text{:Sn}$ atau ITO) hal ini dikarenakan dalam proses pelapisan material TiO_2 kepada substrat, diperlukan proses sintering pada temperatur 400-500°C. dan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami defect pada *range* temperatur tersebut.

2.13.2 Nanopori TiO_2

Penggunaan oksida semikonduktor dalam fotoelektrokimia dikarenakan kestabilannya menghadapi fotokorosi (Kalyanasundaram and Grätzel, 1998). Selain itu lebar pita energinya yang besar ($> 3\text{eV}$), dibutuhkan dalam DSSC untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. Selain semikonduktor TiO_2 , yang digunakan dalam penelitian ini, semikonduktor lain yang digunakan yaitu ZnO, CdSe, CdS, WO_3 , Fe_2O_3 , SnO_2 , Nb_2O_5 , dan Ta_2O_5 . Namun TiO_2 masih menjadi material yang sering digunakan karena efisiensi DSSC menggunakan TiO_2 masih belum tertandingi. Di alam umumnya TiO_2 mempunyai tiga fasa yaitu *rutile*, *anatase*, dan *brookite*. Fasa *rutile* dari TiO_2 adalah fasa yang umum dan merupakan fasa yang disintesis dari mineral ilmenite melalui proses *Becher*. Pada proses *Becher*, oksida besi yang terkandung dalam ilmenite dipisahkan dengan temperatur tinggi dan juga dengan bantuan asam sulfat atau klor sehingga menghasilkan TiO_2 *rutile* dengan kemurnian 91-93%. Titania pada fasa *anatase* umumnya stabil pada ukuran partikel kurang dari 11 nm, fasa *brookite* pada ukuran partikel 11 – 35 nm, dan fasa *rutile* diatas 35 nm (Zhang and Banfield, 2000).

TiO_2 yang digunakan untuk aplikasi pada DSSC umumnya berfasa *anatase* karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi. Selain itu TiO_2 dengan struktur nanopori yaitu ukuran pori dalam skala nano akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah *dye* yang terserap yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terserap.

2.13.3 Dye

Absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* yang teradsorpsi pada permukaan TiO_2 . *Dye* yang umumnya digunakan dan mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis *ruthenium complex*. Walaupun DSSC menggunakan *ruthenium complex* telah mencapai efisiensi yang cukup tinggi, namun *dye* jenis ini cukup sulit untuk disintesis dan *ruthenium complex* komersil berharga mahal. Alternatif lain yaitu penggunaan *dye* dari basa Schiff atau dengan menggunakan senyawa kompleks dari logam transisi yang dapat menghasilkan berbagai macam jenis warna.

2.13.4 Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada DSSC terdiri dari *iodine* (I^-) dan *triiodide* (I_3^-) sebagai pasangan redoks dalam pelarut. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC yaitu :

1. Potensial redoksnya secara termodinamika berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari *dye* untuk tegangan sel yang maksimal.
2. Tingginya kelarutan terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.
3. Pelarut mempunyai koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.
4. Tidak adanya karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit.
5. Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi.
6. Mempunyai reversibilitas tinggi.
7. Inert terhadap komponen lain pada DSSC.

2.13.5 Katalis Counter Elektroda

Katalis dibutuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada TCO. Platina, material yang umum digunakan sebagai katalis pada berbagai

aplikasi, juga sangat efisien dalam aplikasinya pada DSSC. Platina dideposisikan pada TCO dengan berbagai metoda yaitu elektrokimia, *sputtering*, *spin coating*, atau *pyrolysis*. Walaupun mempunyai kemampuan katalitik yang tinggi, platina merupakan material yang mahal. Sebagai alternatif, Kay and Gratzel (1996) mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan counter-elektroda karbon sebagai lapisan katalis (Kay and Grätzel, 1996). Karena luas permukaannya yang tinggi, counter-elektroda karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodide yang menyerupai elektroda platina.

2.14 Magnetik Susceptibility Balance (MSB)

Pengukuran besarnya momen magnet suatu senyawa kompleks dapat dilakukan dengan menggunakan *Magnetik Susceptibility Balance* (MSB). Ukuran sifat magnetik (μ_{eff}) dalam satuan Bohr Magneton (BM) (Sugiyarto, 2012). Secara teoritis rumus yang digunakan seperti persamaan 7:

$$X_g = \frac{C_{\text{balance}} \times l \times (R - R_0)}{10^9} \dots\dots\dots(7)$$

Semua besaran-besaran yang terlibat dalam pengukuran tersebut telah diketahui, sehingga X_m dapat dihitung menurut persamaan 8:

$$X_m = X_g \times M_r \dots\dots\dots(8)$$

Selanjutnya nilai momen magnetik (μ_{eff}), dihitung menurut persamaan 9:

$$\mu_{\text{eff}} = 2,828 \sqrt{X_m T} \text{ BM} \dots\dots\dots(9)$$

keterangan :

M_r = Massa molekul relatif sampel

T = Suhu (K)

Nilai X_m dan X_g pada rumus penentuan besarnya momen magnet dengan menggunakan *Magnetik Susceptibility Balance* (MSB) menunjukkan sifat kemagnetannya (Magway, 2005).

2.15 Spektrofotometri Uv-Vis

2.15.1 Pengertian Spektrofotometri Uv-Vis

Spektrum elektronik ion logam transisi dan kompleks diamati pada daerah sinar tampak dan ultraviolet (UV-Vis). Spektrum akan timbul pada saat elektron berpromosi dari tingkat energi yang lebih rendah menuju tingkat energi di atasnya (Lee, 1994). Pada umumnya senyawa kompleks logam transisi memiliki warna yang khas. Hal ini menunjukkan adanya absorpsi di daerah sinar tampak, elektron akan dieksitasi oleh cahaya tampak dari tingkat energi orbital molekular kompleks berisi elektron ke tingkat energi yang kosong/belum terisi penuh. Energi yang diserap senyawa kompleks adalah khas antara senyawa satu dengan senyawa lainnya mengikuti persamaan 10:

$$\Delta E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} \dots\dots\dots(10)$$

10)

Keterangan :

ΔE = energi (*Joule*)

h = tetapan Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s)

ν = bilangan gelombang (m^{-1})

c = kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m.s⁻¹)

λ = panjang gelombang maksimum (m)

Warna senyawa kompleks dapat dideteksi dengan mengukur panjang gelombang yang diserap oleh senyawa kompleks menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Yenita, 2012). Puncak-puncak serapan pada spektrum disebabkan oleh adanya berbagai transisi elektronik yang terjadi, yaitu transisi *d-d* atau transisi medan ligan yang panjang gelombang absorpsinya bergantung sekali pada pembelahan medan ligan dan transfer muatan. Hal ini terjadi apabila satu dari dua orbital memiliki karakter utama logam dan orbital lain memiliki karakter ligan. Transisi transfer muatan diklasifikasikan atas transfer muatan logam ke ligan [metal (M) to ligand (L) *charge-transfers* (MLCT)] dan Transfer Muatan dari Ligan ke Logam

[*ligand (L) to metal (M) charge-transfers (LMCT)*] (Saito, 1996). Hubungan warna-warna dan panjang gelombang disertai dengan warna komplementer yaitu warna dengan pandangan dua warna (spektrum) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan Panjang Gelombang dan Warna Senyawa

Panjang Gelombang (nm)	Warna	Warna Komplementer
400 – 435	Ungu	Hijau kekuningan
435 – 480	Biru	Kuning
480 – 490	Biru kehijauan	Jingga
490 – 500	Hijau kebiruan	Merah
500 – 560	Hijau	Ungu kemerahan
595 – 610	Jingga	Biru Kehijauan
610 – 680	Merah	Hijau kebiruan
680 – 700	Ungu kemerahan	Hijau

Sumber: Khopkar, 1990.

2.15.2 Prinsip Kerja Spektrofotometer Uv-Vis

Salah satu syarat senyawa dianalisis dengan spektrofotometer adalah karena senyawa tersebut mengandung gugus kromofor. Kromofor adalah gugus fungsional yang mengabsorpsi radiasi ultraviolet dan tampak, jika diikat oleh gugus ausokrom. Hampir semua kromofor mempunyai ikatan rangkap berkonjugasi (diena (-C=C-C=C-), dienon (-C=C-C=O-), benzena dan lain-lain. Ausokrom adalah gugus fungsional yang mempunyai elektron bebas, seperti -OH, NH₂, NO₂, -X (Harmita, 2006).

2.16 Spektrofotometri *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

2.16.1 Pengertian Spektrofotometri (FTIR)

FTIR merupakan singkatan dari *Fourier Transform Infra Red*, adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari absorbansi, emisi, fotokonduktivitas atau Raman *Scattering* dari sampel padat, cair, dan gas. Karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. FTIR juga digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan

anorganik serta analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada bilangan gelombang tertentu (Hindrayawati and Alimudin, 2010).

Serapan yang terjadi di daerah $3500-200\text{ cm}^{-1}$ terutama disebabkan oleh vibrasi yang mungkin terjadi pada ligan koordinasi. Banyak informasi berharga tentang struktur dan ikatan dari penafsiran spektrum inframerah yaitu vibrasi logam-ligan terjadi antara $4000-200\text{ cm}^{-1}$. Spektrum inframerah akan memberikan informasi tentang pergeseran frekuensi getaran yang diakibatkan oleh kompleksasi ligan serta ada tidaknya pita-pita inframerah tertentu yang digunakan untuk mengetahui informasi struktural suatu senyawa (Clyde and Selbin, 1985).

Spektrum inframerah senyawa kompleks sudah banyak dipelajari. Banyak peneliti menganalisis puncak-puncak tertentu pada spektrum inframerah yang diduga berasal dari ikatan koordinasi ion pusat dengan ligan. Beberapa referensi menyatakan bahwa puncak $4000-200\text{ cm}^{-1}$ berasal dari ikatan koordinasi baik murni maupun bergabung dengan puncak ligan. Puncak serapan dari ikatan koordinasi ini mempunyai hubungan dengan kekuatan ikatan koordinasi sehingga diduga besar mempunyai hubungan dengan kestabilan termodinamika senyawa kompleks. Spektrum IR senyawa yang berbeda memiliki gugus fungsi yang berbeda sehingga serapan IR yang dihasilkan berbeda, sebagai contoh dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pita Serapan Gugus Fungsi pada Spektrofotometer (FTIR)

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
$\nu(\text{M-N})$	400-600
$\nu(\text{N-H})$	660-900
$\nu(\text{C-N})$	1020-1220
$\nu(\text{N=N})$	1400-100
$\nu(\text{C=N})$	1600-1660
$\nu(\text{C=O})$	1710-1720
$\nu(\text{C-H})$	3000-3100
$\nu(\text{O-H})$	3100-3700

Sumber: Khopkar, 1990.

2.16.2 Prinsip Kerja Spektrofotometer (FTIR)

Spektrofotometer (FTIR) menggunakan sistem optik dengan laser yang berfungsi sebagai sumber radiasi yang kemudian diinterferensikan oleh radiasi infra merah agar sinyal radiasi yang diterima oleh detektor memiliki kualitas yang baik dan bersifat utuh (Giwangkara, 2006). Prinsip kerja FTIR berupa *infrared* yang melewati celah ke sampel, dimana celah tersebut berfungsi mengontrol jumlah energi yang disampaikan kepada sampel kemudian, beberapa *infrared* diserap oleh sampel dan yang lainnya ditransmisikan melalui permukaan sampel sehingga sinar *infrared* lolos ke detektor dan sinyal yang terukur kemudian dikirim ke komputer (Nicolet, 2001).

2.17 *Thermogravimetric-Differential Thermal Analysis* (TGA/DTA)

2.17.1 Pengertian TGA/DTA

Thermogravimetric-Differential Thermal Analysis (TGA/DTA). Analisis termal adalah pengukuran sifat fisika dan kimia sebagai fungsi temperatur. Dalam praktiknya, analisis termal ini meliputi entalpi, kapasitas panas, massa, dan koefisien ekspansi termal. Terdapat dua teknik utama dalam analisis yaitu *Thermogravimetric Analyzer* (TGA) dan *Differential Thermal Analyzer* (DTA). *Thermogravimetric Analyzer* (TGA) adalah metode analisis yang secara otomatis mencatat perubahan berat sampel sebagai fungsi temperatur atau waktu pada atmosfer yang terkontrol. Pengukuran digunakan khususnya untuk menentukan komposisi suatu bahan atau cuplikan dan untuk memperkirakan kestabilan termal pada suhu di atas 1000°C. Proses kehilangan massa terjadi karena adanya proses dekomposisi yaitu pemutusan ikatan kimia, evaporasi, reduksi sampel yang terjadi akibat interaksi bahan dengan pereduksi dan desorpsi. Kenaikan massa disebabkan oleh proses oksidasi yaitu interaksi bahan dengan suasana pengoksidasi dan absorpsi. Teknik ini biasa digunakan untuk mengetahui kemurnian sampel, perilaku dekomposisi, degradasi termal, reaksi kimia yang melibatkan perubahan berat materi akibat adsorpsi, desorpsi dan kinetika kimia.

Data yang dihasilkan berupa kurva berat terhadap waktu maupun temperatur (Prasetyoko *et al.*, 2016).

Differential Thermal Analyzer (DTA) yang mengukur perbedaan temperatur (T) antara sampel dan material pembanding inert sebagai fungsi temperatur. Oleh karena itu, DTA mendeteksi perubahan pada kandungan panasnya. Data yang dihasilkan berupa kurva temperatur sampel terhadap waktu atau temperatur dan kurva temperatur *reference* terhadap waktu atau temperatur. Spektrum termal ini dikenal dengan termogram (Susilowati, 2002).

2.17.2 Prinsip Kerja TGA/DTA

Adapun prinsip kerja DTA yaitu sebagai berikut: Mengukur perbedaan temperatur antara sampel dan referensi yang dihubungkan secara berlawanan dengan termokopel (Harsanti, 2010). Material dipanaskan dengan suhu tinggi pada TGA/DTA dan mengalami reaksi dekomposisi dimana reaksi ini dipengaruhi oleh efek spesi lain, rasio ukuran, dan volume serta komposisi materi (Hamdila, 2012). Prinsip analisis dari DTA ini yaitu mengukur perbedaan suhu sampel dengan suhu acuan, dimana jika dalam pengamatan suhu acuan lebih besar dari pada suhu sampel maka ΔT negatif, sedangkan jika suhu acuan lebih kecil dari pada suhu sampel maka ΔT positif, dan jika suhu acuan sama dengan suhu sampel berarti tidak terjadi perubahan dan ditunjukkan berupa garis lurus (Tiurlan *et al.*, 2009).

2.18. *Scanning Electron Microscope* (SEM)

2.18.1 Pengertian SEM

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk mengamati permukaan objek solid secara langsung. SEM memiliki perbesaran 10 – 3.000.000 kali, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi

yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Prasetyo, 2011).

2.18.2 Prinsip Kerja SEM

Prinsip kerja dari SEM adalah sebagai berikut :

- a. Elektron gun menghasilkan elektron *beam* dari filamen. Umumnya *electron gun* yang digunakan adalah *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan tungsten yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Anoda kemudian akan membentuk gaya yang dapat menarik elektron melaju menuju ke anoda.
- b. Lensa magnetik memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
- c. Sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
- d. Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron, baik *Secondary Electron (SE)* atau *Back Scattered Electron (BSE)* dari permukaan sampel dan akan dideteksi oleh detektor dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor *Cathode Ray Tube (CRT)*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2020 sampai Mei 2021, di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung. Analisis menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Biologi FMIPA Universitas Lampung, FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik FMIPA Institut Teknologi Bandung, DTA/TGA dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan di PT. Cipta Mikro Material(CMM) serpong, serta analisis menggunakan *Magnetik Susceptibility Balance* (MSB) dilakukan di Laboratorium Anorganik FMIPA Institut Teknologi Bandung.

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat-alat gelas diantaranya: satu set peralatan refluks, kaca arloji, neraca analitik Kern & Son GMBH ABT 220-4M, spatula, pipet volumetrik 1 mL, gelas kimia 100 mL, gelas kimia 50 mL, gelas kimia 10 mL, gelas ukur 25 mL, gelas ukur 10 mL, Labu ukur 10 mL, corong gelas, spatula kaca, pipet tetes Iwaki dan Pyrex, *magnetic stirrer* Stuart CB 161, seperangkat alat refluks, labu leher tiga, *hot plate* Behr-Labor Technich, termometer, desikator, pH universal, multimeter digital Zotek ZT111, *scotch* (3M) *tape*, batang gelas, *furnace* Heraeus Hanau Type KR 170E, dan instrumen Spektrofotometer UV-Vis Tipe Carry 50, FT-IR Tipe Cary 630, *Magnetic Susceptibility Balance* 10169, DTA/TGA dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi : $\text{Mn}(\text{Cl}_2)4\text{H}_2\text{O}$, 1,10-Fenantrolin, etanol p.a Merck, akuabides, dua buah substrat kaca *Indium Tin Oxide* (ITO) sebagai (ITO A dan ITO B), serbuk TiO_2 (Merck), *Polyethylene Glycol* (PEG), asetonitril, Kalium Iodida (KI), Alumunium foil, Iodin (I_2), kertas tisu, dan kertas saring.

3.3 Metode

3.3.1 Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II) Fenantrolin

Kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ disintesis dengan cara mencampurkan ion logam Mn^{2+} dan ligan *phen* dengan perbandingan mol [1 : 3] (Perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 1). Sebanyak 0,196 gram $\text{Mn}(\text{Cl}_2)4\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan ke dalam 30 mL akuades dalam erlenmeyer, kemudian ditambahkan 1,10-Fenantrolin sebanyak 0,540 gram yang telah dilarutkan dalam 20 mL etanol. Kedua larutan tersebut kemudian dicampurkan lalu diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* sambil direfluks selama 2 jam dengan suhu $78\text{-}79^\circ\text{C}$ menggunakan hot plate. Campuran yang telah direfluks selanjutnya didinginkan menggunakan es batu untuk mempercepat pembentukan endapan. Endapan lalu didiamkan selama 18 jam, kemudian endapan disaring dengan kertas saring dan dicuci dengan akuabides dingin. Selanjutnya, endapan dikeringkan dalam desikator hingga terbentuk kristal. Kristal yang terbentuk kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik hingga diperoleh berat konstan.

3.3.2 Karakterisasi Senyawa Kompleks

3.3.2.1 *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB)

Pengukuran momen magnetik dilakukan dengan menggunakan timbangan magnetik model *Gouy* atau *Magnetic Susceptibility Balance Auto Sherwood Scientific* 10169 (MSB). Pengukuran momen magnetik dilakukan pada suhu ruangan. Alat MSB ditempatkan di atas permukaan yang datar dan alat ukur

sedemikian rupa sehingga petunjuk R menampilkan nilai 0.

Tombol on pada alat MSB ditekan dan alat didiamkan dalam keadaan nyala selama 10 menit. Tabung kosong dan kering ditimbang dalam satuan gram dengan neraca analitik dan dilakukan pengukuran kerentanan magnet dinyatakan sebagai Ro. Padatan sampel senyawa kompleks kemudian dimasukkan ke dalam tabung Gouy dengan ketinggian 1,5 – 2 cm. Tabung Gouy yang telah diisi sampel dimasukkan ke dalam alat MSB dan dicatat tinggi sampel, kemudian dimasukkan data berat sampel yang ada dalam tabung Gouy.

3.3.2.2 Spektrofotometer Uv-Vis

Perekaman spektrum elektronik larutan menggunakan instrumen Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 2400 PC Series pada panjang gelombang 200-800 nm. Larutan standar dari kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ disiapkan kemudian diisi pada kuvet. Larutan blanko etanol disiapkan untuk kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ yang diisi pada kuvet. Spektrum elektronik direkam pada panjang gelombang 200-600 nm untuk kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ kemudian, dilakukan pengukuran pada larutan blanko. Kurva lalu dibuat hubungan antara absorbansi berbanding dengan konsentrasi.

3.3.2.3 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Pengukuran spektrum inframerah dilakukan menggunakan instrument Spektrofotometer (FTIR). Sampel di *scanning* pada daerah panjang gelombang 4000-400 cm^{-1} . dengan Spektrofotometer FTIR Shimadzu Prestige 21.

3.3.2.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

Karakterisasi dengan menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi senyawa kompleks. Sampel berupa serbuk ditempelkan pada sampel holder yang terbuat dari karbon berperekat. Sampel dilapisi dengan Au dan diletakkan pada plat

sampel alat SEM tipe JEOL-JSM-6510LA dan direkatkan dengan isolasi penghantar listrik. Setelah itu sampel diamati dengan perbesaran 1000 kali sampai 3000 kali. Pengamatan ukuran kompleks disesuaikan dengan morfologinya dan dilakukan pada beberapa gambar yang mewakili.

3.3.2.5 Differential Thermal Analysis / Thermogravimetry Analysis (DTA/TGA)

Mula-mula tabung yang telah berisi sampel yaitu senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dengan variasi suhu dan konsentrasi tertentu dimasukan termokoppel. Sampel kemudian dipanaskan dengan laju tertentu. Karakterisasi DTA-TGA dilakukan dengan pemanasan dari suhu 50-500°C dengan kenaikan temperatur 10°C/menit. Hasil perhitungan ΔT sebagai fungsi temperatur merupakan indikasi perolehan atau kehilangan energi dan perubahan berat dari sampel yang diteliti. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat termal dari senyawa kompleks yang diukur.

3.3.3 Fabrikasi DSSC

3.3.3.1 Pembuatan pasta TiO_2

Sebanyak 0,5 gr bubuk TiO_2 ditimbang kemudian digerus, diayak, dan dimasukkan ke dalam gelas kimia. Sebanyak 2 mL etanol ditambahkan dan distirer selama 15 menit. Pasta TiO_2 yang telah terbentuk dicampurkan dengan 0,25 gram senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ kemudian distirer selama 15 menit hingga zat warna merata. Campuran pasta TiO_2 dan senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ kemudian disimpan dalam botol tertutup untuk digunakan (Julianti, 2019).

3.3.3.2 Pembuatan Elektrolit Gel Polimer

Preparasi elektrolit semipadat (gel polimer) mengacu kepada Pancaningtyas dan Akhlus (2010) dengan konsentrasi Poli Etilen Glikol (PEG) 0,1 M. Pertama dibuat larutan elektrolit dari (KI 0,5 M dan I₂ 0,05 M) dengan cara mengambil sebanyak 0,498 gram KI dilarutkan ke dalam 6 mL asetonitril dalam gelas kimia. Sebanyak 0,076 gram I₂ dan 6 mL asetonitril dimasukkan pada gelas kimia lain, lalu diaduk hingga homogen. Larutan pada kedua gelas tersebut dicampur dan diaduk hingga homogen. Sebanyak 2,4 gram PEG dimasukkan dalam larutan elektrolit yang telah dibuat, dan diaduk hingga membentuk gel. Penggunaan PEG akan membuat elektrolit tidak mudah menguap dan lebih stabil saat digunakan pada DSSC (Julianti, 2019).

3.3.3.3 Deposisi TiO₂ pada Substrat Kaca Berkonduksi

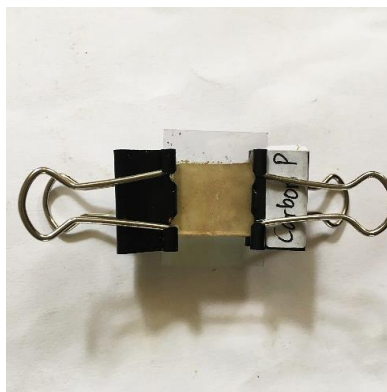
Kaca *Indium Tin Oxide* (ITO A) sepanjang 2 x 2 cm dilakukan pencucian dengan menggunakan etanol sebelum dilapisi. Tepi substrat sepanjang 0,5 cm dan 0,5 cm dari tepi diberi isolasi merk *Scotch 3M* untuk mengontrol ketebalan lapisan. Pasta TiO₂ diletakan pada tepi substrat, kemudian diratakan dengan batang pengaduk setelah itu dilakukan pengeringan di udara terbuka. Setelah kering isolasi dilepas dan dilakukan pemanasan dalam *furnace* pada suhu 200°C selama 15 menit (Julianti, 2019).

3.3.3.4 Pembuatan Elektroda Pembanding

Kaca *Indium Tin Oxide* (ITO B) yang sudah diberi isolasi *Scotch 3M* kemudian dibakar dengan api lilin sampai terbentuk lapisan karbon. Bagian tepi kaca digosok menggunakan kertas tisu membuat batas agar luasan karbon 1 cm x 1 cm (Julianti, 2019).

3.3.3.5 Pembuatan Lapisan *Sandwich* DSSC

Langkah pertama dalam perakitan sel surya adalah mempersiapkan satu pasang kaca ITO (ITO A dan ITO B) yang telah dibersihkan. Pada kaca ITO A yang berukuran 2 x 2 cm dibentuk area tempat campuran TiO_2 dengan senyawa kompleks dideposisikan dengan bantuan selotip pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 1 x 1 cm. Pasta campuran TiO_2 dengan senyawa kompleks dideposisikan di atas area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Lapisan lalu dikeringkan selama 10 menit setelah itu, kaca ITO A yang terlapisi pasta TiO_2 dan senyawa kompleks di-*furnace* pada temperatur sekitar 200°C selama 10 menit. Larutan elektrolit gel polimer 0,1 M kemudian ditetaskan diatas permukaan kaca yang terdapat campuran pasta TiO_2 dengan senyawa kompleks, bagian ini sebagai *photoanode*. Selanjutnya kaca disandwich dengan elektroda pembanding (Kaca ITO B) yang dideposisi dengan karbon dari pembakaran dengan api lilin. Kaca lalu dijepit dengan *clipbinder* agar tidak bergerak dan DSSC siap diuji. Rangkaian dapat dilihat pada Gambar 8 (Julianti, 2019).



Gambar 8. Rangkaian Fabrikasi DSSC

3.3.3.6 Pengujian DDSC

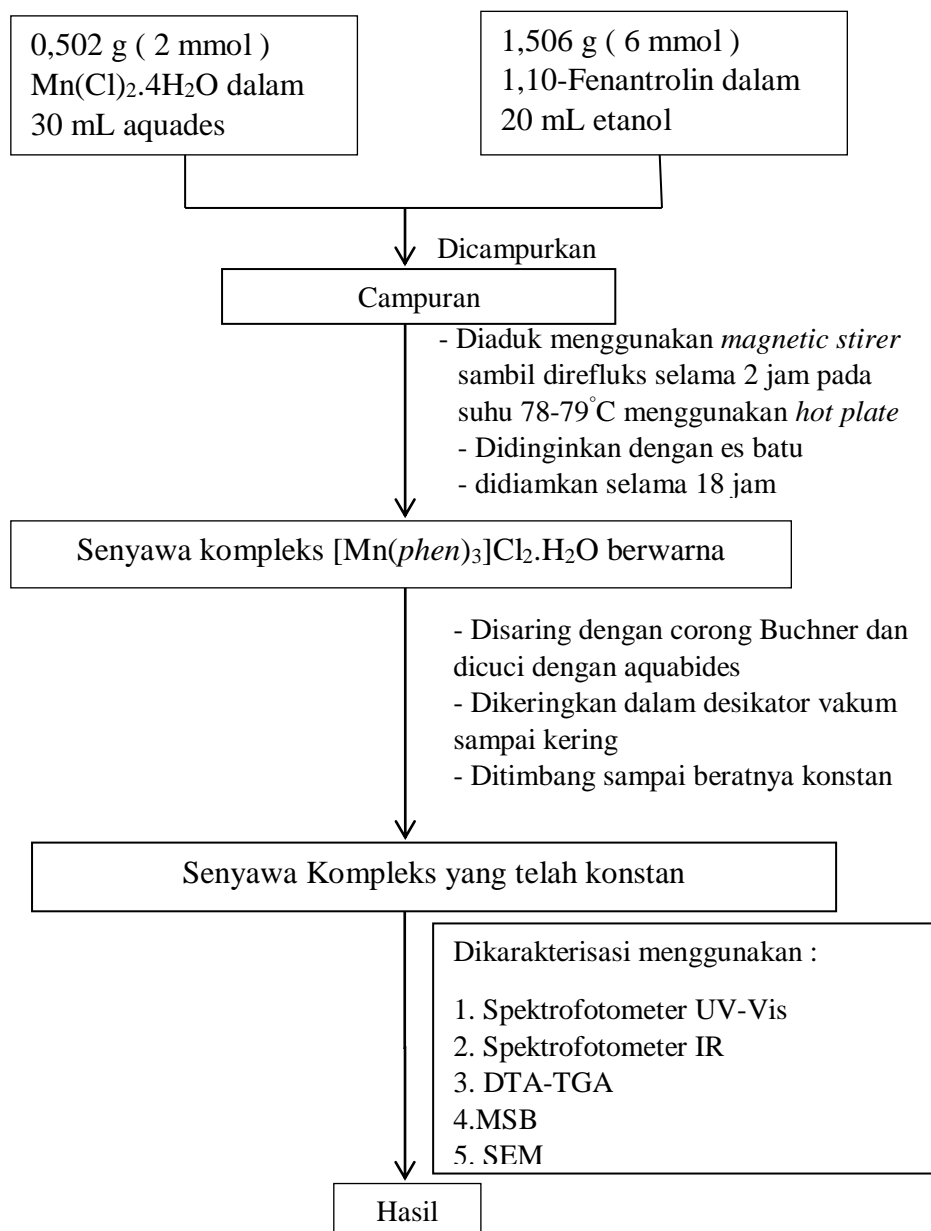
Sel surya yang telah dirangkai selanjutnya dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus yang terukur dari sel surya dengan menggunakan multimeter digital merk Zotek ZT111. Pengukuran arus dan

tegangan DSSC dilakukan dengan menghubungkan kabel multimeter digital yang telah diberi penjepit buaya pada rangkaian DSSC. *Probe* merah pada multimeter dihubungkan dengan elektroda pembanding (kutub positif) dan probe hitam pada elektroda kerja (kutub negatif). Sumber cahaya yang digunakan yaitu cahaya matahari langsung pada saat penyinaran di siang hari (Julianti, 2019).

3.3.4 Skema Alur Penelitian

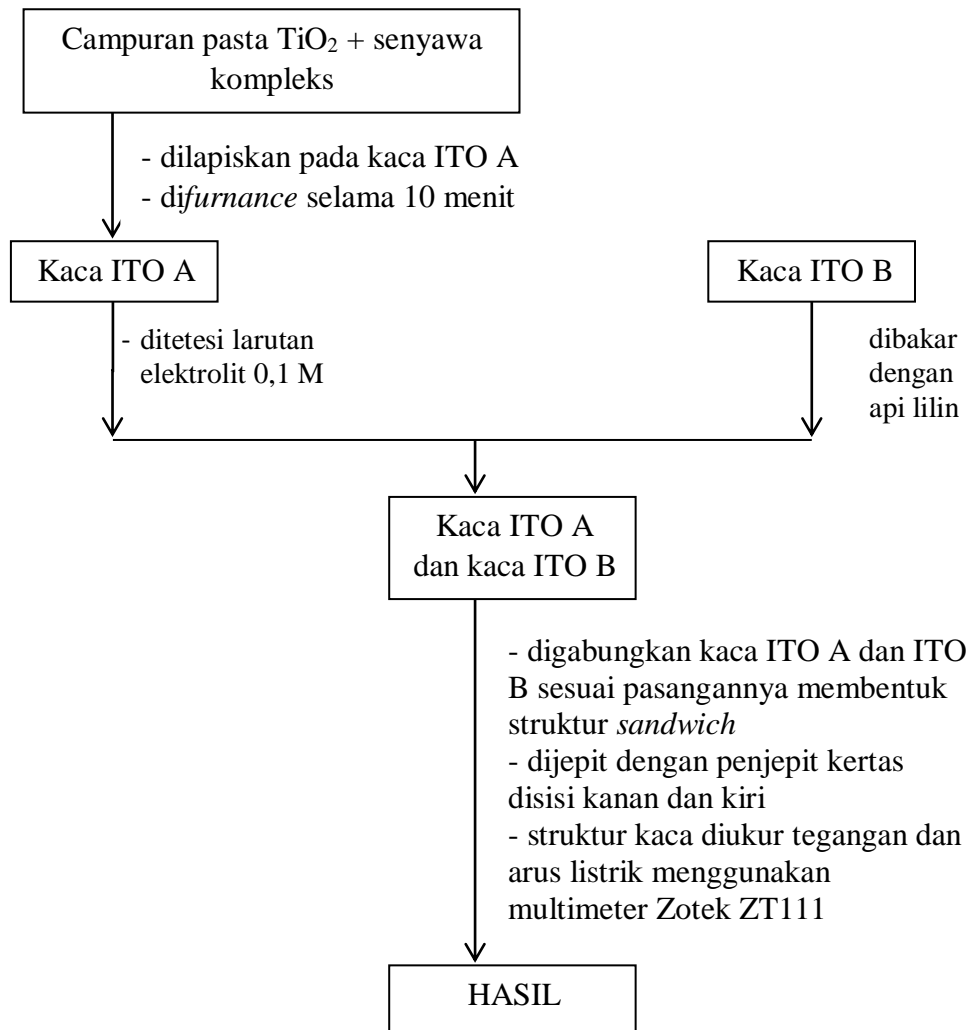
Secara keseluruhan, skema alur kerja penelitian dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.

3.3.4.1 Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II) Fenantrolin



Gambar 9. Skema Alur Kerja Sintesis Senyawa kompleks Mn(II) Fenantrolin

3.3.4.2 Fabrikasi DSSC



Gambar 10. Skema Alur Kerja Fabrikasi DSSC

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ menghasilkan kristal berwarna kuning sebanyak 0,1622 gram dengan rendemen 73,72%.
2. Hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hasil sintesis mengalami pergeseran hipsokromik dengan panjang gelombang sebesar 271 nm.
3. Hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR menunjukkan senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ telah berhasil disintesis yang ditandai dengan munculnya puncak serapan ikatan antara logam dan ligan yang ditunjukkan oleh puncak pada daerah 416 cm^{-1} .
4. Hasil analisis menggunakan TGA/DTA pada senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hasil sintesis menunjukkan pengurangan massa molekul H_2O sebesar 2,165% pada rentang suhu $65\text{--}100^\circ\text{C}$, dua mol senyawa 1,10-Fenantrolin sebesar 57,18% pada rentang suhu $220^\circ\text{C}\text{--}331^\circ\text{C}$, dan molekul Cl_2 sebesar 12,67% pada rentang suhu $331^\circ\text{C}\text{--}448^\circ\text{C}$.
5. Hasil analisis morfologi senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ hasil sintesis menunjukkan morfologi seperti sistem kristal triklin dengan ukuran sebesar $10\text{--}30 \mu\text{m}$.
6. Hasil sintesis senyawa kompleks $[\text{Mn}(\text{phen})_3]\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ memiliki momen magnet sebesar 5,67 *Bohr Magneton* (BM).
7. Pengujian DSSC menghasilkan efisiensi (η) sekitar 0,3% dengan tegangan maksimum (V_{max}) 276,3 mV dan kuat arus maksimum (I_{max}) 1,0 mA yang

menunjukkan bahwa senyawa kompleks ini dapat digunakan sebagai *dye sensitizer* dalam DSSC.

5.2 Saran

1. Dilakukan pengukuran DSSC dengan serangkaian alat yang lebih lengkap untuk mendapatkan data yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abebe, A., G. Bayissa, A. Sendek, and M. Kibret. 2018. "Cobalt(II) Complexes with 1,10-Phenanthroline Alone and Mixed with Cytoside: Synthesis and Antibacterial Activities." *Ethiop. J. Sci. & Technol.* **11**: 79–96.
- Atkins, P., T. Overton, J. Rourke, M. Weller, and F. Armstrong. 2010. *Shriver and Atkins' Inorganic Chemistry Fifth Edition*. W. H. Freeman and Company. New York.
- Chang, R. 2005. *Chemistry*. Jhon Wiley & Sons Ltd. England.
- Cherepy, N.J., G.P. Smestad, M. Grätzel, and J.Z. Zhang. 1997. Ultrafast Electron Injection: Implications for a Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye-sensitized TiO₂ Nanocrystalline Electrode. *The Journal of Physical Chemistry B*. 9342–9351.
- Considine, M.C and G.D.Considine. 1994. *Van Reinhold Encyclopedia of Chemistry* (4th Edition). Van Nostrand Reinhold Company. New York.
- Cotton, F.A., G.Wilkinson, C.A.Murillo, and M. Bochmann. 1989. *Kimia Anorganik Dasar* (Sahati Suharto, Terjemahan). Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Clyde, D.M and J. Selbin. 1985. *Theoretical Inorganic Chemistry* (Second Edition). New East-West Press. Delhi.
- David, M.A and J.B. Raynor. 1965. *Advanced Practical Inorganic Chemistry*. Jhon Wiley & Sons. London.
- Damayanti, R., H. Hardeli, dan H. Sanjaya. 2014. Preparasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea Batatas L.*). *Jurnal Sainstek*. **2**: 148-157.
- Dharmayanti, A and F. Martak. 2015. Sintesis Senyawa Aktif Kompleks Mangan(II) Dengan Ligan 2(4-Nitrofenil)-4,5-Difenil-1H-Imidazol. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. **4**: 2337–3520.

- Effendy. 2007. *Kimia Koordinasi*. Bayumedia Publishing. Jawa Timur.
- Giwangkara, S.E. 2006. *Aplikasi Logika Syaraf Fuzzy pada Analisis Sidik Jari Minyak Bumi Menggunakan FTIR*. (skripsi). Sekolah Tinggi Energi dan Mineral. Cepu - Jawa Tengah.
- Gratzel, M. 2001. Photoelectrochemical Cells. *Nature* 2001 414: 338–344.
- Gratzel, M. 2003. Dye-Sensitized Solar Cell. *Journal of Photochemistry and Photobiology*. **4**: 145–153.
- Gudasi, K. B., S. A. Patil., R.S. Vadavi., R. V. Shenoy and M. S. Patil. 2006. “Sintesis dan Karakterisasi Kompleks Kobalt(II) Dengan Pirazinamida.” *Journal Serb. Chem. Soc.* **71**(5): 529–42.
- Hamdila, J. 2012. *Pengaruh Variasi Massa Terhadap Karakteristik Fungsionalitas dan Termal Komposit MgO-SiO₂ Berbasis Silika Sekam Pada Sebagai Katalis*. (skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Harmita. 2006. *Analisis Kuantitatif Bahan Baku dan Sediaan Farmasi*. (skripsi). Departemen Farmasi FMIPA Universitas Indonesia. Jakarta.
- Harsanti, D. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Boron Karbida dari Asam Borat, Asam Sitrat dan Karbon Aktif. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*. **11**: 29–40.
- Hindrayawati, N and Alimudin. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi Dengan Menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH). *Jurnal Kimia Mulawarman*. **7**: 75–77.
- Huang, G.J., J.B.Wang, X.L. Zhong, G.C.Zhou, and H.L.Yan. 2007. Synthesis, structure, and room-temperature ferromagnetism of Ni-doped ZnO nanoparticles. *Journal of Materials Science*. **42**: 6464–6468.
- Huheey J.E., E.A. Keiter, and R.L. Keiter. 1993. *Inorganic Chemistry, Principles of Structure and Reactivity (Fourth edition)*. Harper Collins College. New York.
- Joko, S., G. Gunawan and H. Abdul. 2010. Pembuatan dan Penentuan Nilai Efisiensi Sel Surya Berpewarna Tersensitisasi dengan Senyawa Antosianin dari Buah Manggis (*Garcinia mangostana L.*) sebagai Pewarna

- Pensensitisasi. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*. **13**: 88–94.
- Jolly, W. L. 1991. *Modern Inorganic Chemistry (Vol. II)*. McGraw-Hill, Inc. Berkeley.
- Julianti, T. 2019. *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Basa Schiff dari Salisilaldehida dan Etilendiamina Sebagai Sensitizer dengan Variasi Elektrolit Gel dalam Kinerja Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Kalyanasundaram, K and M. Grätzel. 1998. Applications of Functionalized Transition Metal Complexes in Photonic and Optoelectronic Devices. *Coordination Chemistry Reviews*. **177**: 347–414.
- Kay, A and M. Grätzel. 1996. Low Cost Photovoltaic Modules Based on Dye Sensitized Nanocrystalline Titanium Dioxide and Carbon Powder. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. **44**: 99–117.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Kusumandari. 2009. *Meningkatkan Efisiensi Sel Surya Organik (SSO) Berbahan Klorofil-A (Bahan Alami dengan Heterojunction TiO₂ Semikonduktor)*. (skripsi). Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Lee, J.D. 1994. *Concise Inorganic Chemistry* (Fourth edition). Chapman and Hall. London.
- Lee, J. D. 1977. *Concise Inorganic Chemistry (Vol. IV)*. Chapman & Hall. New York.
- Li, M.X., C.L. Chen, D. Zhang, J.Y. Niu, and B.S.Ji. 2010. Mn(II), Co(II) and Zn(II) Complexes with Heterocyclic Substituted Thiosemicarbazones: Synthesis, Characterization, X-ray Crystal Structures and Antitumor Comparison. *Eur. J. Med. Chem.* **45**: 3169–3177.
- Li, W., B. Liu, Y. Wua, S. Zhua, Q. Zhang and W. Zhu. 2013. Organic Sensitizers Incorporating 3,4-Etylenedioxythiophene as The Conjugated Photovoltaic Performance. *Dye and Pigment* **99**. **01**: 176–184.
- Louise, I.S; S. Nabila, And K.H. Sugiyarto. 2019. “Complex of Tris(Phenanthroline)Cobalt(II) Trifluoroacetate: Characterisation and

Powder XRD Analysis.” *Orient. J. Chem.* **35**(5): 1500–1507.

MacKay K.M., R.A. MacKay, and W. Henderson. 2002. *Introduction to Modern Inorganic Chemistry* (Sixth edition). Nelson Thomes Ltd, Delta Place. United Kingdom.

Magway. 2005. *Magnetik Susceptibility Balance : Instructional Manual*. Sherwood Scientific LTD. England.

Male, Y.T., H. Tehubijuluw and P.M. Pelata. 2013. Synthesis of Binuclear Complex Compound of {[Fe(L)(NCS)₂]₂oks} (L= 1,10-Phenantrolin and 2,2’-Bipyridine). *Journal of Ind. J. Chem.* **1**: 15–22.

Nicolet, T. 2001. *Introduction to FTIR Spectrometry*. Thermo Nicolet Inc. USA.

Nuryanti, L. 2001. *Sintesis Senyawa Koordinasi Mn(II)-2,2’Bipiridin dalam Ruang Interlamelar Monmorilonit. (skirpsi)*. Departemen Kimia Fakultas MIPA Universitas Airlangga. Surabaya.

O’Regan, B and M Gratzel. 1991. “A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films.” *Nature*. **353**: 737–740.

Pavia, D. L., G.M. Lampman and G.S. Kris. 2001. *Introduction to Spectroscopy: A Guide for Students or Organic Chemistry*. Harcourt College. Philadelphia.

Pitié, M., B. Donnadiou, and B. Meunier. 1998. Preparation of the New Bis(phenanthroline) Ligand “Clip-Phen” and Evaluation of the Nuclease Activity of the Corresponding Copper Complex. *Inorg. Chemistry*. **14**: 3486–3489.

Pranata, A.E., R.D., Sugiarto., H. Juwono and Suprpto. 2018. Pengaruh Gangguan Campuran Ion As³⁺ dan Ion Mn²⁺ pada Analisa Besi (II) dengan Pengomplek Fenantrolin Secara Spektrofotometer Uv-Vis. *Akta Kimindo*. **3**: 203–221.

Prasetyoko, D., H. Fansuri, Y.L Ni’mah, and A. Fadlan. 2016. Karakterisasi Struktur Padatan, Edisi Pertama. *Jurnal Deepublish Yogyakarta*. **2**. 300–360.

Putri, N. E. 2012. *Sintesis dan Karakterisasi Material Magnetik Berbasis Senyawa Kompleks Inti Ganda Mangan(II) dengan 2,2’-Bipiridin Menggunakan Ligan Jembatan Oksalat*. (skripsi). Fakultas Sains dan

Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya.

- Rabbani F.M., Y.R.Tayubi and A. Setiawan. 2018. "Karakteristik Kelistrikan Dye-Sensitized Solar Cells dengan Menggunakan Tiga Jenis Semikonduktor TiO₂." *Prosiding Seminar Nasional Fisika (SINAFI)*. 336–337.
- Ren, H.J., D.H Sun., Z.F Cui., H Yang., And G.Y Hong. 2011. "Synthesis and Characterization of Ternary Terbium Luminescence Complexes with Phthalic Acid and 1, 10-Phenanthroline." *Materials Science Forum*, **663–665**: 211–14.
- Saito, T. 1996. *Buku Teks Anorganik Online* (Ismunandar, Terjemahan). Permission of Ismunandar Shoten. Tokyo.
- Sari, P. N. 2019. *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa basa Schiff dari (4-dimetilaminobenzaldehida dan Anilina) Sebagai Dye Sensitizer pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Variasi Elektrolit Gel* (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Sastrawan, R. 2006. *Photovoltaic Modules of Dye Solar Cells*. University of Freiburg.
- Sastrohamidjojo. 2001. *Spektroskopi*. Liberty. Yogyakarta.
- Setyawati, H., 2007. *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Koordinasi Inti Ganda Besi(III)-Fenantrolin Menggunakan Ligan Jembatan CNS-* (skripsi). Universitas Airlangga. Surabaya.
- Sugiyarto, K. H. 2012. *Dasar-dasar Kimia Anorganik Transisi*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometer UV-VIS dan Spektrofotometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. AURA. Lampung.
- Sunaryo. 2007. Optimasi Hasil Percobaan Yang Mengandung Data Pencilan (Studi Kasus Stabilitas Antosianin Buah Buni, Antidesma Bunius). *Jurnal Undergraduate Theses in: Department of Statistic Sepuluh November Institute of Technology*.
- Susilowati, E. 2002. *Differential Thermal Analysis (DTA) Tinjauan Teori dan Aplikasi*. Laboratorium Pusat Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Svehla, G. 1996. *Vogel's Qualitative Inorganic Analysis* (Seventh ed). Longman.

London.

- Tiurlan, F., A. Evi, S. Ade, and Hutajuluh. 2009. Pemanfaatan Alfa Hidroksi Karboksilat (AHA) dari Ekstraks Belimbing Wuluh untuk Skincare. *Jurnal Riset Industri*, **III**: 64–74.
- Tosonian, S., C.J. Ruiz., A. Rios., E. Frias., and J.F. Eichler. 2013. “Synthesis, Characterization, and Stability of Iron (III) Complex Ions Possessing Phenanthroline-Based Ligands.” *Open Journal of Inorganic Chemistry*. **3**: 7–13.
- Widowati, W., A. Sastiono, R.W. Rosari and R.J. Rumampuk. 2008. *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. MIPA. Yogyakarta.
- Zhang, H and J.F. Banfield. 2000. Understanding Polymorphic Phase Transformation Behavior during Growth of Nanocrystalline Aggregates: Insights from TiO₂. *J Phys Chem B*, **104**: 3481.
- Zumdahl, S.S and S.A. Zumdahl. 2007. *Chemistry* (Seventh ed). Houghton Mifflin Company. New York.