

**SINTESIS, KARAKTERISASI DAN APLIKASI SENYAWA KOMPLEKS
Mn(II)-CONGO RED SEBAGAI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)**

(Skripsi)

Oleh

**Afra Nabila Saputri
NPM 1817011034**



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

SINTESIS, KARAKTERISASI DAN APLIKASI SENYAWA KOMPLEKS Mn(II)-CONGO RED SEBAGAI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Oleh

AFRA NABILA SAPUTRI

Telah dilakukan sintesis, karakterisasi dan aplikasi senyawa kompleks Mn(II) dengan ligan *congo red* sebagai *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan efisiensi senyawa kompleks sebagai *dye sensitizer* dalam *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Sintesis senyawa kompleks dilakukan dengan merefluks campuran Mn(II) dengan ligan *congo red* ($C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$) pada suhu 96-100 °C selama 2 jam, menghasilkan padatan berwarna merah tua sebanyak 1,8390 gram dengan rendemen sebesar 80,41%. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer Uv-Vis dilakukan pada panjang gelombang 200-800 nm, menghasilkan empat serapan yang muncul yaitu pada panjang gelombang 239 nm, 331 nm, 502 nm, dan 563 nm yang menunjukkan adanya benzena, kromofor dan adanya ikatan (M-N) atau ikatan koordinasi antara ligan *congo red* dengan ion logam Mn(II) pada senyawa kompleks. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer IR dilakukan pada bilangan gelombang 500-4000 cm^{-1} , menunjukkan telah terbentuknya ikatan antara logam mangan dengan NH dari ligan *congo red* pada bilangan gelombang 435,91 cm^{-1} . Karakterisasi menggunakan *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB) menunjukkan momen magnet senyawa kompleks sebesar 5,60 Bohr Magneton (BM), bersifat paramagnetik dan senyawa kompleks berbentuk oktahedral. Pengujian DSSC dengan luas permukaan kaca 4 cm^2 menggunakan multimeter digital menghasilkan efisiensi (η) sebesar 2,22% dengan tegangan 275,4 mV dan kuat arus 8 mA.

Kata Kunci : senyawa kompleks Mn(II), *congo red*, aplikasi dssc

ABSTRACT

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND APPLICATION OF Mn(II)- CONGO RED COMPLEX AS DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

By

AFRA NABILA SAPUTRI

Synthesis, characterization and application of Mn(II) complex compounds with congo red ligands as Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) have been carried out. This research was conducted to obtain the efficiency of complex compounds as dye sensitizers in Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). The synthesis of complex compounds was carried out by refluxing a mixture of Mn(II) with congo red ligand ($C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$) at a temperature of 96-100 °C for 2 hours, producing a dark red solid of 1.8390 grams with a yield of 80.41%. Characterization using a UV-Vis spectrophotometer was carried out at a wavelength of 200-800 nm, resulting in four absorptions that appeared at wavelengths of 239 nm, 331 nm, 502 nm, and 563 nm which indicated the presence of benzene, chromophore and the presence of bonds (M-N) or coordination bonds between congo red ligands with metal ions Mn(II) in complex compounds. Characterization using an IR spectrophotometer was carried out at a wave number of 500-4000 cm^{-1} , indicating that a bond has formed between manganese metal and NH from the congo red ligand at a wave number of 435.91 cm^{-1} . Characterization using Magnetic Susceptibility Balance (MSB) showed that the magnetic moment of the complex compound was 5.60 Bohr Magneton (BM), which was paramagnetic and the complex compound was octahedral. DSSC testing with a glass surface area of 4 cm^2 using a digital multimeter resulted in an efficiency (η) of 2.22% with a voltage of 275.4 mV and a current of 8 mA.

Key words : Mn(II) complex compound, *congo red*, dssc application

**SINTESIS, KARAKTERISASI DAN APLIKASI SENYAWA KOMPLEKS
Mn(II)-CONGO RED SEBAGAI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)**

Oleh

AFRA NABILA SAPUTRI

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **SINTESIS, KARAKTERISASI DAN
APLIKASI SENYAWA KOMPLEKS Mn(II)-
CONGO RED SEBAGAI DYE SENSITIZED
SOLAR CELL (DSSC)**

Nama Mahasiswa : **Afra Nabila Saputri**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011034

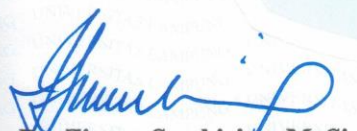
Program Studi : S1 Kimia

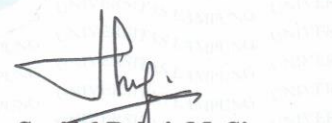
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Pembimbing I

Pembimbing II


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


Syaiful Bahri, M. Si.
NIP. 197308252000031001

2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung


Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

Ketua

: Dr. Zipora Sembiring, M. Si.



Sekretaris

: Syaiful Bahri, M. Si.



Penguji

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



2. **Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 Oktober 2022

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Afra Nabila Saputri
Nomor Pokok Mahasiswa : 18170110834
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul "**Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasi Senyawa Kompleks Mn(II)-congo red sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)**" adalah benar karya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai dengan kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

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

Bandar Lampung, 10 Oktober 2022
Yang Menyatakan



Afra Nabila Saputri
1817011034

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap **Afra Nabila Saputri**, lahir di Bandar Lampung, pada 02 Januari 2000 dan merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putri dari Bapak Joko Pramono dan Ibu Meli Darwati. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jl. Wartawan, Kelurahan Gunung Sulah, Kecamatan Way Halim, Kota Bandar Lampung, Lampung.

Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Dwi Tunggal, Bandar Lampung pada tahun 2005 dan lulus pada Tahun 2006, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 1 Sawah Lama, pada tahun 2006. Pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 01 Bandar Lampung dan lulus pada tahun 2015, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas di SMAN 10 Bandar Lampung dan selesai pada tahun 2018. Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Universitas Lampung, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi mulai sebagai kader muda Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) bidang Sosial Masyarakat (SOSMAS) periode 2019, anggota inti Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) bidang Sosial Masyarakat (SOSMAS) periode 2020, dan anggota TOEFL Chemistry English Club (CEC) periode 2020-2021. Penulis pernah mengikuti kegiatan sosial seperti Karya Wisata Ilmiah (KWI) BEM-FMIPA Unila di Desa Tanjung Tirto Kecamatan Way Bungur dan Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN)

Periode II tahun 2021 pada bulan Agustus sampai September 2021 selama 40 hari di Desa Way Tataan Kecamatan Teluk Betung Timur Kota Bandar Lampung. Pada Bulan Februari sampai Maret 2021, penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Bukit Asam Tbk. Pelabuhan Tarahan. Pada bulan Maret 2022 sampai Agustus 2022 penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung yang diberi Judul “**Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasi Senyawa Kompleks Mn(II)-congo red sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)**”.

MOTTO



*“In the Name of Allah, the Most Gracious, the Most Merciful
The Most Beneficent (Allah)! Has taught (you mankind) the
Qur`an (by His Mercy). He created man. He taught him
eloquent speech.” (Q.S. Ar-Rahman: 1-4)*

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan
kesanggupannya.” (Al-Baqarah: 286)*

*“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan
(Q.S Al-Insyirah: 6)*

*“Karunia Allah yang paling lengkap adalah kehidupan
yang didasarkan pada ilmu pengetahuan.”
(Ali bin Abi Thalib)*

*“Orang yang kuat bukan mereka yang selalu menang.
Melainkan mereka yang tetap tegar ketika mereka jatuh.”
(Kahlil Gibran)*

SANWACANA

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang selalu kita nantikan syafaat-Nya di Yaumul Akhir nanti. Aamiin ya rabbal alamin sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasi Senyawa Kompleks Mn(II)-congo red sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)”**.

Penulis menyadari bahwa dalam proses pengerjaan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari kesulitan dan rintangan yang penulis hadapi. Namun itu semua bisa terlewati berkat rahmat dan ridho Allah SWT serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tuaku tercinta, Ayahanda Joko Pramono dan Ibunda Meli Darwati yang selalu mendo'akan, mendengarkan keluh kesah, memberikan semangat, motivasi, nasihat dan dukungan. Semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan, rezeki, serta kenikmatan dunia dan akhirat pada kalian. Aamiin Allahumma aamiin.
2. Adik-ku Claudia Belenica yang telah memberikan masukan, semangat, serta dukungan kepada penulis;
3. Mbah, Kakek, Mamak dan Nenek yang memberikan dukungan, do'a dan juga untuk segala cinta dan kasih sayang;
4. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung.

5. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.Si., selaku pembimbing utama yang telah sabar membimbing dan memberi ilmu, nasihat, semangat, saran, motivasi dan bimbingan serta saran dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
6. Bapak Syaiful Bahri, M. Si., selaku pembimbing dua yang telah membimbing, memberikan ilmu, semangat, motivasi, kritik dan saran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Ibu Dr. Ni Luh Gede Ratna Juliasih, M. Si., selaku pembahas yang telah memberikan, kritik, saran, dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
8. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., selaku dosen pembimbing akademik yang memberikan semangat dan arahan kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
9. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung
10. Bapak dan Ibu Dosen, laboran, staff, dan karyawan Kimia, FMIPA Universitas Lampung yang telah mendidik serta memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat kepada Penulis selama kuliah dan semoga ilmu yang diberikan membawa keberkahan.
11. Sahabat-sahabat terbaik Alivia, Aryani, Aluni, Eliza, dan Indra. Terima kasih atas kerjasama dalam keceriaan, kesedihan, semangat, dukungan, motivasi, kebersamaan, nasihat kepada penulis serta selalu setia mendengarkan keluhan kesah selama perkuliahan.
12. Teman seperbimbingan Alivia Natasya Putri, Atika Nisrina dan Ninid Widya Sari Lubis. Terima kasih atas kerja sama, dan dukungan hingga penelitian ini berjalan dengan lancar sampai akhir.
13. Himaki 2020, terimakasih atas segala kerjasama selama ini, semoga sukses selalu kedepannya.
14. Keluarga besar Kimia 2018. Terimakasih atas segala pertemanan dan kekeluargaannya selama ini. Semoga kita semua bisa menjadi orang yang sukses di masa depan serta berguna bagi keluarga, nusa, dan bangsa, aamiin..

15. *Bangtan Sonyeondan*. Terimakasih telah memberikan semangat, dukungan dan motivasi kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
16. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Terimakasih.

Semoga Allah SWT membalas segala amal kebaikan kalian. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, Penulis memohon maaf atas segala kekurangan tersebut dan berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi siapapun yang membaca, khususnya rekan-rekan mahasiswa kimia.

Bandar Lampung, 10 Oktober 2022
Penulis,

Afra Nabila Saputri

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| DAFTAR ISI | i |
| DAFTAR TABEL | iii |
| DAFTAR GAMBAR | iv |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.3. Manfaat Penelitian | 4 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1. Sintesis Senyawa Kompleks | 5 |
| 2.1.1. Metode Solvotermal | 5 |
| 2.1.2. Refluks..... | 6 |
| 2.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks | 8 |
| 2.2.1. Spektrofotometer UV-Vis | 8 |
| 2.2.2. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) | 10 |
| 2.2.3. <i>Magnetic Susceptibility Balance</i> (MSB)..... | 12 |
| 2.3. Mangan (Mn) | 15 |
| 2.4. <i>Congo Red</i> | 16 |
| 2.5. <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)..... | 17 |
| 2.5.1. Prinsip Kerja DSSC | 17 |
| 2.5.2. Material DSSC..... | 19 |
| III. METODE PENELITIAN | 23 |
| 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian | 23 |
| 3.2. Alat dan Bahan..... | 23 |
| 3.3. Prosedur Penelitian | 24 |
| 3.3.1. Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> | 24 |
| 3.3.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> | 24 |
| 3.3.3. Pembuatan <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC) | 26 |
| 3.3.4. Skema Alur Penelitian | 28 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN | 30 |
| 4.1. Sintesis Senyawa Kompleks | 30 |

| | |
|--|----|
| 4.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks Hasil Sintesis | 31 |
| 4.3. Aplikasi Senyawa Kompleks pada <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> | 38 |
| V. SIMPULAN DAN SARAN | 42 |
| 5.1. Simpulan | 42 |
| 5.2. Saran..... | 42 |
| DAFTAR PUSTAKA | 43 |
| LAMPIRAN | 49 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|---|---------|
| 1. Data Panjang Gelombang Logam Mangan, Ligan <i>Naphtol Blue Black</i> Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis..... | 9 |
| 2. Data Panjang Gelombang Logam Kobalt, Ligan <i>Congo Red</i> dan Senyawa Kompleks Co(II)- <i>congo red</i> Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis..... | 10 |
| 3. Data Panjang Gelombang Ligan <i>Congo Red</i> dan Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> | 33 |
| 4. Data Bilangan Gelombang dari Ligan <i>Congo Red</i> , Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> Hasil Sintesis dan Referensi..... | 35 |
| 5. Data Hasil Analisis MSB Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> | 36 |
| 6. Data Pengukuran Rangkaian DSSC | 41 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 1. Spektrum FTIR Ligan <i>Congo Red</i> dan Senyawa Kompleks Co(II)- <i>congo red</i> | 11 |
| 2. Diagram Pembentukan Ni(II)- <i>congo red</i> | 13 |
| 3. Diagram Pembentukan Mn(II)- <i>naphtol blue black</i> | 14 |
| 4. Logam Mangan. | 15 |
| 5. Struktur <i>Congo Red</i> | 17 |
| 6. Skema Kerja dari DSSC..... | 18 |
| 7. Skema Alur Kerja Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> | 28 |
| 8. Skema Alur Kerja Pembuatan <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC) | 29 |
| 9. Hasil Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> | 31 |
| 10. Spektrum UV- <i>Vis Congo red</i> | 32 |
| 11. Spektrum UV- <i>Vis</i> Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> | 32 |
| 12. Tipe Transisi Elektron | 33 |
| 13. Gabungan Spektrum IR <i>Congo Red</i> dan Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> | 35 |
| 14. Diagram Pembentukan Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> | 37 |
| 15. Prediksi Struktur Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> | 38 |
| 16. Elektroda Kerja. | 39 |
| 17. Larutan Elektrolit. | 40 |
| 18. Elektroda Pembanding. | 40 |
| 19. Rangkaian DSSC..... | 40 |
| 20. Pengukuran DSSC..... | 41 |

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi memiliki peranan yang penting dalam kehidupan manusia karena pada dasarnya aktivitas manusia tidak akan lepas dari kebutuhan energi. Sumber energi terbesar saat ini merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui namun digunakan berlebih setiap tahunnya sehingga membuat suatu permasalahan baru yaitu permasalahan krisis energi (Qin and Peng, 2012). Permasalahan tersebut mendorong banyak peneliti untuk mengembangkan teknologi yang bersumber dari energi terbarukan. Berdasarkan UU No. 30 tahun 2007, energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari sumber-sumber terbarukan antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Menurut Widayana (2012), dari sekian banyak sumber energi tersebut, penggunaan energi melalui *solar cell* atau sel surya merupakan alternatif yang paling potensial untuk diterapkan di wilayah Indonesia karena letak Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima sepanjang tahun.

Sel surya merupakan salah satu sumber penghasil energi listrik yang bersumber dari cahaya matahari (Septiady dan Musyaha, 2018). Sinar matahari efektif digunakan sebagai sumber energi terbarukan karena dapat diperbaharui dan ramah lingkungan (Gong *et al.*, 2012). Pancaran dari sinar matahari yang dapat diteruskan ke permukaan bumi sebesar 45% dengan panjang gelombang 0,35-0,75 μm dan sisanya dipantulkan kembali oleh permukaan bumi dalam bentuk sinar ultraviolet dan inframerah (Rusmaryadi *et al.*, 2018). Para peneliti telah mengembangkan sel surya melalui beberapa generasi, mulai dari sel surya silikon sampai pada sel surya berbasis pewarna atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

DSSC pertama kali ditemukan oleh Profesor Michael Gratzel pada tahun 1991. DSSC merupakan perangkat fotoelektrokimia yang efektif mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Pada dasarnya, prinsip kerja DSSC merupakan suatu siklus transfer elektron oleh komponen-komponen DSSC (Susanti *et al.*, 2014). Menurut Kashif *et al.* (2012), beberapa keunggulan dari DSSC yaitu proses produksinya yang ramah lingkungan, serapan stabil, memiliki efisiensi cukup tinggi, dan biaya produksi rendah. Secara umum DSSC terdiri dari beberapa komponen yaitu elektroda kerja yang terdiri dari substrat kaca *indium tin oxide* (ITO) yang berfungsi sebagai badan dari sel DSSC, titanium dioksida (TiO_2) sebagai semikonduktor, lapisan *dye* (pewarna) sebagai penyerap radiasi matahari, larutan elektrolit dan elektroda pembanding (Yuwono *et al.*, 2011). Transfer muatan pada DSSC dilakukan oleh semikonduktor yang mempunyai *band gap* lebar dan absorpsi cahaya dilakukan oleh senyawa pewarna (Kalyanasundaram, 2010).

Dye (pewarna) pada DSSC berfungsi sebagai material peka cahaya (*sensitizer*) untuk menangkap foton. Penangkap foton dari matahari dialirkan kepada anoda lalu ke katoda melalui media elektrolit sehingga menghasilkan arus listrik tertentu. Pada saat cahaya matahari memasuki sistem, maka akan terbentuk keadaan tereksitasi elektron pada pewarna yang menyebabkan elektron memasuki pita konduksi semikonduktor (Wong, 2009). Terdapat dua jenis pewarna pada DSSC yaitu pewarna alami dan pewarna sintetis. Pewarna alami yang pernah digunakan sebagai *dye* yaitu beras ketan, daun bayam, bunga rosella, dan ubi jalar ungu (Nadeak *et al.*, 2012). Pewarna alami memiliki stabilitas termal kurang stabil, mudah terdegradasi pada suhu tinggi dan menghasilkan efisiensi rendah (Hardeli *et al.*, 2013). Pewarna sintetis yang pernah digunakan sebagai *dye* yaitu *congo red*, *naphtol blue black*, dan *rhodamine B*. Pewarna sintetis memiliki efisiensi konversi sel surya secara kimia dan termal lebih stabil, warnanya tidak mudah terdegradasi pada suhu tinggi dan menghasilkan efisiensi yang lebih besar dibandingkan pewarna alami. Oleh karena itu banyak digunakan pewarna sintesis sebagai *dye sensitizer* pada DSSC (Kumara *et al.*, 2012).

Congo red dipilih sebagai *dye sensitizer* karena berdasarkan sifat kimianya sebagai ligan, *congo red* memiliki ikatan rangkap terkonjugasi, tidak mudah terdegradasi dan memiliki gugus kromofor untuk menangkap foton (Giribabu *et al.*, 2012). Spektra *congo red* menunjukkan karakteristik pada puncak sekitar 498 nm yang sesuai dengan syarat ligan sebagai *dye sensitizer* diantaranya memiliki panjang gelombang maksimum pada daerah 200-800 nm sehingga dapat menangkap hampir seluruh sinar matahari. Berdasarkan studi literatur, diketahui bahwa *dye sensitizer* dengan ligan *congo red* menghasilkan efisiensi DSSC yang cukup besar dengan rentang 2,48%-6,13% (Mardiana, 2014; Anifah, 2014; Sundari, 2014).

Logam yang telah disintesis dengan *congo red* sebagai *dye sensitizer* yaitu Fe, Co dan Ni menghasilkan efisiensi DSSC yang cukup baik. Pemilihan logam mangan dikarenakan mangan berada pada periode yang sama dengan ketiga logam tersebut yaitu periode 4, sehingga dipilih untuk melengkapi sintesis senyawa kompleks dari logam dengan *congo red* sebagai *dye sensitizer*. Selain itu, logam mangan memiliki sifat *photophysical* yang mirip dengan kompleks ruthenium yaitu, mudah direaksikan, banyak terdapat di alam, dan memiliki bilangan kuantum yang tinggi (Cussianovich, 2013). Logam mangan memiliki sifat luminesensi yang menyebabkan terjadinya efisiensi cahaya dimana reaksi transfer energi dan elektronnya menghasilkan kecepatan yang tinggi (Patrick *et al.*, 2021). Menurut penelitian yang telah dilakukan Dina (2015), senyawa kompleks Mn(II)-*naphtol blue black* terbukti dapat meningkatkan efisiensi senyawa kompleks pada DSSC dengan efisiensi 7,68%, maka pada penelitian ini akan disintesis logam mangan dengan ligan *congo red* untuk mendapatkan efisiensi yang tinggi pada DSSC.

Pada penelitian ini, dilakukan sintesis senyawa kompleks dari logam mangan dengan ligan *congo red* sebagai *dye sensitizer* pada DSSC. Senyawa kompleks hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer Ultraviolet-Visible (UV-Vis) untuk menentukan daerah panjang gelombang maksimum, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk dan *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB) untuk mengukur momen magnet.

Senyawa kompleks yang terbentuk diuji kuat arus (mA), tegangan (mV) dan efisiensinya.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan padatan senyawa kompleks hasil sintesis logam mangan dengan *congo red*.
2. Memperoleh daerah panjang gelombang maksimum, gugus fungsi yang terbentuk dan sifat kemagnetan senyawa kompleks menggunakan spektrofotometer Ultraviolet-Visible (UV-Vis), *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB).
3. Mendapatkan efisiensi senyawa kompleks sebagai *dye sensitizer* dalam *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

1.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Senyawa kompleks hasil sintesis dapat digunakan sebagai *dye sensitizer* dalam *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) untuk mendukung program energi terbarukan dalam rangka mengatasi krisis energi.
2. Meningkatkan perkembangan ilmu pengetahuan mengenai sintesis dan karakterisasi senyawa kompleks dari ion logam Mn(II) dan *congo red*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sintesis Senyawa Kompleks

Sintesis merupakan reaksi kimia antara dua atau lebih zat yang membentuk suatu zat baru. Sintesis material anorganik sangat banyak digunakan untuk menghasilkan bahan material dalam bidang teknologi modern (Ningsih, 2016). Sintesis kompleks dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain suhu, pelarut yang digunakan sebagai media sintesis dan bahan tambahan lain (Dharmayanti dan Martak, 2015). Sintesis senyawa kompleks dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain sebagai berikut :

2.1.1. Metode Solvotermal

Prinsip dasar metode itu adalah pertumbuhan kristal berdasarkan kelarutan bahan dalam pelarut di bawah kondisi tekanan yang tinggi. Metode solvotermal merupakan teknik sintesis material anorganik dengan pemanasan pelarut, pelarut yang digunakan biasanya alkohol. Sintesis solvotermal terjadi pada atau di atas titik superkritis pelarut, namun pada beberapa kasus tekanan dan temperatur pada subkritis dimana sifat fisika pelarut, misalnya densitas, viskositas, dan konstanta dielektrik sebagai fungsi temperatur atau tekanan. Metode solvotermal merupakan metode yang digunakan untuk mensintesis material novel. Reaksi solvotermal pada umumnya dipengaruhi oleh parameter kimia yakni sifat reagen dan pelarut. Selain itu, parameter termodinamika juga sangat berpengaruh yaitu berupa suhu dan tekanan (Ningsih, 2016).

Proses solvotermal dapat diartikan sebagai reaksi kimia dalam sistem tertutup dengan adanya pelarut (*aqueous* dan *non aqueous solution*) pada temperatur lebih tinggi dari titik didih pelarut. Metode solvotermal melibatkan tekanan yang

tinggi. Temperatur yang dipilih sub atau superkritis tergantung pada reaksi yang terjadi untuk mendapatkan material target (Ningsih, 2016). Kelebihan metode solvothermal dibandingkan metode yang lain diantaranya, penggunaan temperatur reaksi rendah ($< 250\text{ }^{\circ}\text{C}$) sehingga senyawa yang metastabil pada suhu tinggi dapat disintesis pada suhu rendah (Schubert and Husing, 2004). Kelemahan dari metode solvothermal kita yaitu waktu reaksi yang lama, ketidakmungkinan mengamati proses reaksi, dan kebutuhan autoklaf yang mahal (Asim *et al.*, 2014).

Kompleks Mn(II) dengan 2-metil imidazol pernah disintesis oleh Pujiono dan Martak (2014) dengan metode solvothermal. Perbandingan mol antara ion logam Mn^{2+} dan ligan 2-metil imidazol sebesar 2:1 dimana satu mol ligan dapat berikatan dengan dua mol ion logam Mn(II). Pada penelitian ini, sumber ion logam Mn(II) berasal dari padatan $\text{MnCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan menggunakan ligan 2-metil imidazol. Pelarut yang digunakan adalah N,N-dimetil formamida (DMF). Campuran tersebut menghasilkan larutan jernih, kemudian campuran diaduk dengan magnetik stirer selama 60 menit pada temperatur ruang, lalu direaksikan secara solvothermal pada temperatur $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam sehingga didapatkan endapan dan filtrat. Filtrat yang dihasilkan kemudian didekantasi, sedangkan endapannya dicuci dengan DMF. Endapan hasil pencucian DMF, selanjutnya dicuci dengan metanol. Endapan yang telah dicuci dengan metanol kemudian dikeringkan pada temperatur $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam. Hasil yang didapat yaitu endapan berwarna merah bata dengan rendemen sebesar 58,26%.

2.1.2. Refluks

Salah satu metode sintesis senyawa anorganik adalah refluks, secara umum pengertian refluks sendiri adalah ekstraksi dengan pelarut pada temperatur titik didihnya, selama waktu tertentu dan jumlah pelarut yang relatif konstan dengan adanya pendinginan balik (Susanty dan Fairus, 2016). Metode ini digunakan apabila dalam sintesis tersebut menggunakan pelarut yang volatil. Pada kondisi ini jika dilakukan pemanasan biasa maka pelarut akan menguap sebelum reaksi berjalan sampai selesai.

Prosedur dari sintesis dengan metode refluks adalah bahan-bahan dimasukkan ke dalam labu bundar leher tiga, kemudian dimasukkan batang magnet stirer, setelah kondensor pendingin air terpasang campuran diaduk dan direfluks selama waktu tertentu sesuai dengan reaksinya. Pengaturan suhu dilakukan sesuai dengan kebutuhan reaksi. Pelarut akan mengekstraksi dengan panas, menguap pada suhu tinggi, namun akan didinginkan kembali dengan kondensor sehingga pelarut yang tadinya dalam bentuk uap akan mengembun pada kondensor dan turun lagi ke dalam wadah reaksi, sehingga pelarut akan tetap ada selama reaksi berlangsung. Demikian seterusnya berlangsung secara berkesinambungan sampai penyaringan sempurna (Harsianti *et al.*, 2016). Kelebihan metode refluks yaitu waktu relatif singkat, dapat digunakan untuk sampel-sampel yang mempunyai tekstur kasar dan tahan pemanasan langsung serta pelarut yang digunakan lebih sedikit sehingga efektif dan efisien, sedangkan kekurangan metode refluks yaitu hanya digunakan untuk metabolit yang termostabil karena refluks merupakan metode ekstraksi panas.

Sintesis kompleks Mn(II) dengan ligan 2(4-nitrofenil)-4,5-difenil-1H-imidazol dilakukan oleh Dharmayanti dan Martak, (2015) menggunakan perbandingan logam:ligan sebesar 1:2, sebagaimana hasil dari metode variasi kontinyu. Sintesis kompleks Mn(II) dilakukan dengan menggunakan metode refluks pada suhu 70-80 °C. Pada penelitian ini digunakan $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ sebagai sumber ion logam Mn(II) dan ligan 2(4-nitrofenil)-4,5-difenil-1H-imidazol. Pelarut yang digunakan yaitu etanol. Pemilihan etanol sebagai pelarut dikarenakan etanol mampu melarutkan logam $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan ligan 2(4-nitrofenil)-4,5-difenil-1H-imidazol sehingga dapat menciptakan suasana homogen pada saat sintesis berlangsung, selain itu etanol juga mudah menguap sehingga mudah didapatkan kristal kompleks Mn(II)-2(4-nitrofenil)-4,5-difenil-1H-imidazol. Hasil yang didapat yaitu warna larutan $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ adalah pink muda, warna larutan ligan adalah orange kekuningan, dan didapat kristal berwarna orange mengkilap dengan rendemen sebesar 74,5%.

2.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks

Karakterisasi senyawa kompleks secara umum dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa instrumen diantaranya spektrofotometer UV-Vis, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB)

2.2.1. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrum elektronik ion logam transisi dan kompleks diamati pada daerah sinar tampak dan ultraviolet. 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 molekul kompleks berisi elektron ke tingkat energi yang kosong/belum terisi penuh. Warna senyawa kompleks dapat dideteksi dengan mengukur panjang gelombang yang diserap oleh senyawa kompleks menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Yenita, 2012).

Spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menentukan panjang gelombang maksimum yang dimiliki oleh senyawa kompleks sehingga dapat digunakan sebagai penyerap sinar matahari. Spektrofotometer UV-Vis berprinsip pada interaksi cahaya atau sinar monokromatis dengan suatu materi. Saat sinar monokromatis dipancarkan dan dilewatkan pada sebuah larutan maka sinar tersebut ada yang diserap, dihamburkan dan dipantulkan. Panjang gelombang Spektrofotometer UV-Vis berkisar antara 100-750 nm dimana 100-400 nm merupakan daerah UV dan 400 -750 merupakan daerah *visible* (Suhartati, 2017) 2014). Salah satu syarat senyawa dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis yaitu karena senyawa tersebut memiliki gugus kromofor. Kromofor merupakan gugus fungsional yang menyerap radiasi ultraviolet dan tampak, jika diikat gugus aoksokrom yang merupakan gugus fungsional yang memiliki elektron bebas (Harmita, 2006).

Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV- Vis digunakan untuk mengindikasikan bahwa senyawa kompleks yang disintesis telah terbentuk yaitu

oleh adanya pergeseran panjang gelombang maksimum senyawa kompleks dari logam dan ligannya. Selain itu, terbentuknya senyawa kompleks dapat dilihat dari spektra *change transfer* yang muncul di daerah UV. Mekanisme *change transfer* diklasifikasikan atas *metal to ligand charge transfer* (MLCT) dan *ligand to metal charge transfer* (LMCT). Fenomena MLCT terjadi karena penggunaan logam dengan bilangan oksidasi rendah sehingga logam cenderung melepas elektronnya ke ligan. Berikut merupakan hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang menunjukkan fenomena MLCT (Dina, 2015).

Tabel 1. Data Panjang Gelombang Logam Mangan, Ligan *Naphtol Blue Black* dan Senyawa Kompleks Mn(II)-*naphtol blue black* Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

| Senyawa | λ maks (nm) |
|---|---------------------|
| Logam Mn dari garam MnSO ₄ anhidrat | 232 |
| Ligan <i>naphthol blue black</i> | 619 |
| Senyawa kompleks Mn(II)- <i>naphthol blue black</i> | 272,50 |

Berdasarkan Tabel 1, panjang gelombang logam mangan yaitu 232 nm, panjang gelombang ligan *naphthol blue black* yaitu 619 nm, dan panjang gelombang senyawa kompleks Mn(II)-*naphthol blue black* muncul pada daerah UV yaitu 272,50 nm. Panjang gelombang maksimum yang muncul pada daerah UV disebabkan karena senyawa kompleks Mn(II)-*naphthol blue black* mengalami fenomena MLCT. Hal ini terjadi karena penggunaan logam mangan pada senyawa kompleks dengan bilangan oksidasi rendah yaitu +2 sehingga logam lebih mudah melepas elektronnya ke ligan (Dina, 2015). Senyawa kompleks yang mengalami fenomena MLCT bagus diaplikasikan sebagai *dye sensitizer* pada DSSC karena bersifat *light harvesting* yaitu dapat lebih banyak menyerap cahaya matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik (Miessler *et al.*, 2014).

Tabel 2. Data Panjang Gelombang Logam Kobalt, Ligan *Congo Red* dan Senyawa Kompleks Co(II)-*congo red* Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

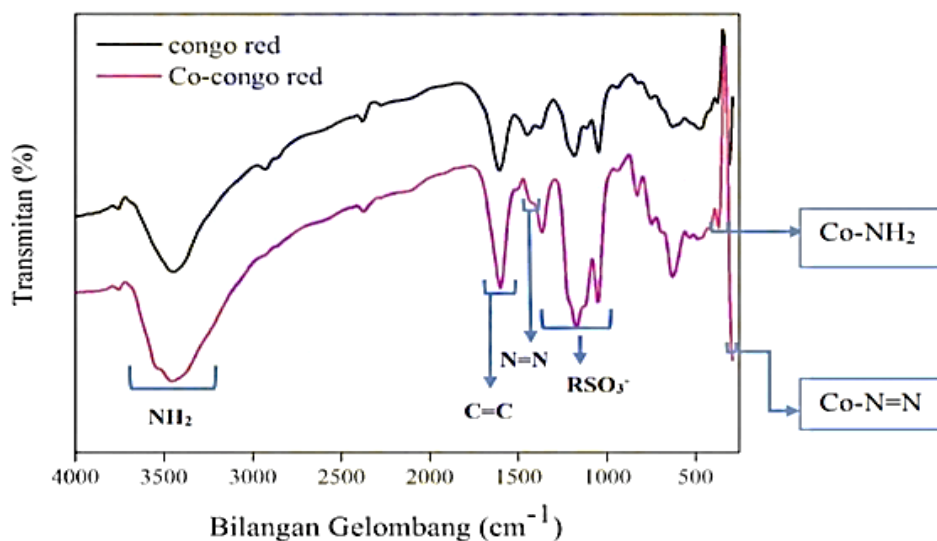
| Senyawa | λ maks (nm) |
|---|---------------------|
| CoCl ₂ .6H ₂ O | 511,50 |
| Ligan <i>Congo Red</i> | 498 |
| Senyawa kompleks Co(II)- <i>congo red</i> | 213 |

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa panjang gelombang maksimum logam kobalt sebesar 511,50, panjang gelombang maksimum ligan *congo red* sebesar 498 nm. Panjang gelombang maksimum senyawa kompleks Co(II)-*congo red* pada daerah UV sebesar 213 nm. Hal ini disebabkan oleh adanya fenomena MLCT. Fenomena MLCT pada senyawa kompleks Co(II)-*congo red* terjadi karena logam Co(II) memiliki bilangan oksidasi rendah. Hal ini merupakan keunggulan *dye* Co(II)-*congo red* karena memiliki kemampuan sebagai pengumpul cahaya sehingga sangat mempengaruhi kinerja dalam DSSC (Miessler *et al.*, 2014).

2.2.2. Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi senyawa organik maupun anorganik berdasarkan penyerapan gugus fungsi molekul terhadap radiasi inframerah. Karakterisasi menggunakan FTIR dapat dilakukan dengan menganalisis spektra puncak yang dibentuk oleh suatu gugus fungsi, karena senyawa tersebut dapat menyerap radiasi elektromagnetik pada daerah inframerah. Prinsip kerja dari FTIR ini yaitu apabila suatu senyawa kompleks ditembak oleh suatu energi yang berasal dari sumber sinar maka molekul tersebut akan mengalami vibrasi. Vibrasi ini terjadi karena energi yang berasal dari sumber sinar yaitu sinar inframerah tidak cukup kuat untuk menyebabkan terjadinya atomisasi ataupun eksitasi elektron pada molekul senyawa yang ditembak. Besarnya energi vibrasi setiap atom atau molekul berbeda tergantung pada atom-atom dan kekuatan ikatan yang menghubungkannya sehingga dihasilkan frekuensi yang berbeda-beda (Griffiths and Haseth, 2007). 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). Berikut merupakan contoh spektrum FTIR yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum FTIR Ligan *Congo Red* dan Senyawa Kompleks Co(II)-*congo red* (Anifah, 2014).

Berdasarkan Gambar 1, terdapat gugus yang muncul antara lain gugus C=C benzena, N=N, NH₂, dan RSO₃⁻. Pada bilangan gelombang di sekitar 1458,15 cm⁻¹ muncul gugus N=N dan pada bilangan gelombang 1049,28-1373,32 cm⁻¹ muncul gugus RSO₃⁻. Selain itu, gugus C=C benzena muncul pada bilangan gelombang sekitar 1612 cm⁻¹ dan sesuai dengan teoritis bahwa gugus C=C benzena terletak pada bilangan gelombang sekitar 1600 cm⁻¹. Pada bilangan gelombang sekitar 3448,72 cm⁻¹ muncul gugus NH₂. Pada bilangan gelombang sekitar 756,10-640,37 cm⁻¹ muncul gugus S-O dan pada bilangan gelombang sekitar 594,08 cm⁻¹ muncul gugus C-S (Anifah, 2014).

Spektrum Co(II)-*congo red* pada bilangan gelombang sekitar 3456,44 cm⁻¹ terlihat puncak yang lebih panjang dan lebar dibandingkan puncak pada spektrum ligan *congo red* yang menunjukkan gugus NH₂. Selanjutnya spektrum Co(II)-*congo red* pada bilangan gelombang sekitar 1604,77 cm⁻¹ yang merupakan daerah benzena puncak terlihat lebih tajam. Pada panjang gelombang 1400 cm⁻¹ merupakan gugus N=N terlihat lebih pendek. Selain itu, gugus RSO₃⁻ pada

panjang gelombang 1049,28-1365,60 cm^{-1} di spektrum Co(II)-*congo red* terlihat lebih tajam jika dibandingkan dengan puncak pada spektrum ligan *congo red* (Anifah, 2014).

2.2.3. *Magnetic Susceptibility Balance (MSB)*

Karakterisasi menggunakan MSB bertujuan untuk menentukan sifat kemagnetan senyawa kompleks melalui perhitungan nilai momen magnetiknya (Zahro *et al.*, 2010). Sifat magnetik kompleks dibedakan menjadi dua yaitu sifat paramagnetik dan diamagnetik. Kompleks dengan medan ligan kuat menghasilkan pemecahan orbital d yang cukup besar, sehingga elektron cenderung berpasangan. Keadaan ini dinamakan spin rendah yang menimbulkan sifat diamagnetik. Kompleks dengan medan ligan lemah menghasilkan pemisahan orbital d yang tidak terlalu besar, sehingga setelah elektron memenuhi orbital d energi rendah elektron berikutnya akan mengisi orbital d energi tinggi, dan elektron cenderung tidak berpasangan, keadaan ini dinamakan spin tinggi (Lee, 1994). Adanya elektron yang tidak berpasangan akan menyebabkan sifat paramagnetik pada senyawa kompleks. Spin elektron dari orbital d tersebut menimbulkan momen magnet permanen yang bergerak searah dengan medan magnet luar dan menghasilkan nilai kerentanan magnet (Jolly, 1991).

Pada pengukuran dengan neraca kerentanan magnetik, diperoleh harga kerentanan massa (X_g), hubungannya dengan kerentanan magnetik molar (X_M) ditunjukkan oleh persamaan (1) (Szafran *et al.*, 1991).

Harga X_M dikoreksi terhadap faktor diamagnetik (X_D) dari ion logam dan ligan, sehingga diperoleh harga kerentanan magnetik terkoreksi (X_A), yang ditunjukkan oleh persamaan (2).

$$X_M = X_g \times Mr \text{ (g.mol}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots(1)$$

$$X_A = X_M - X_D \dots\dots\dots(2)$$

Hubungan antara μ_{eff} dengan kerentanan magnetik terkoreksi (X_A) ditunjukkan oleh persamaan (3)

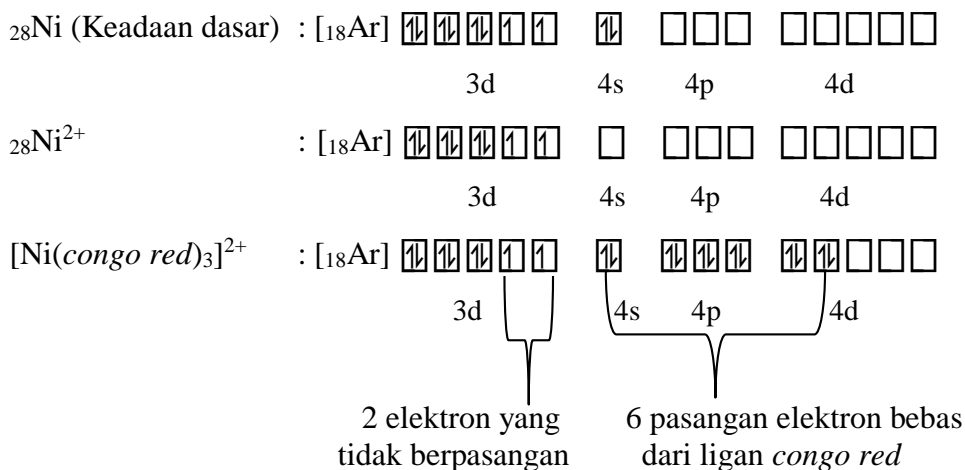
$$\mu_{\text{eff}} = 2,83 (X_A \times T)^{1/2} \text{ BM (Bohr Magneton)} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

μ_{eff} = momen magnet (BM)

T = suhu (K)

Senyawa kompleks Ni(II)-*congo red* memiliki nilai kemagnetan sebesar 4,8479 BM yang lebih tinggi daripada logam nikel yaitu 2,4364 BM dan ligan *congo red* saja yaitu 1,2727 BM. Hal tersebut dapat terjadi karena logam nikel memiliki nilai kemagnetan yang sangat kecil, sedangkan ligan *congo red* berkontribusi dalam menambah sifat kemagnetan pada senyawa kompleks hasil sintesis sehingga diperoleh nilai kemagnetan yang lebih besar. Oleh karena itu, dapat dikatakan telah terbentuk senyawa baru. Hal ini menunjukkan bahwa sifat yang dimiliki oleh senyawa kompleks hasil sintesis adalah paramagnetik dengan nilai μ_{eff} 4,8479 Bohr Magneton (BM). Selain itu, dapat dijelaskan pula dengan pola hibridisasi seperti dalam Gambar 2.

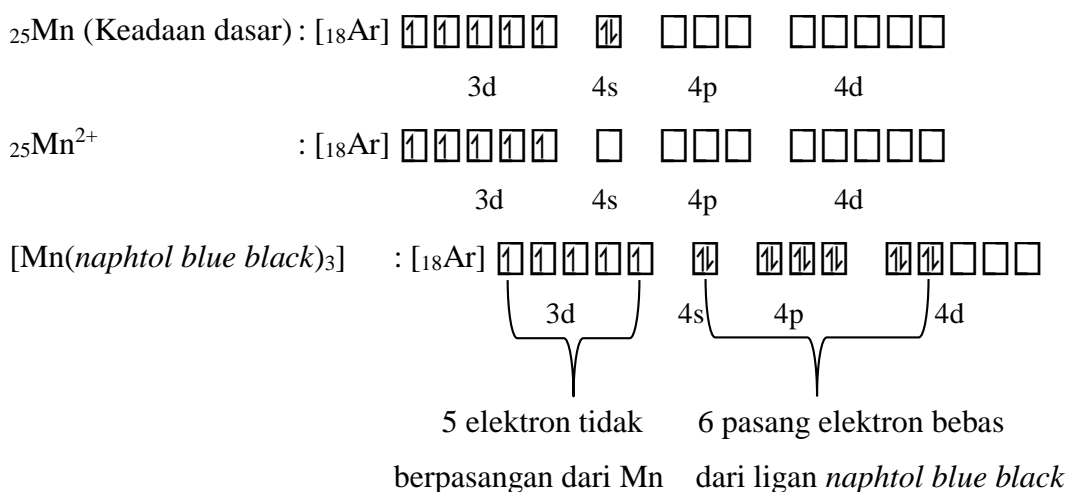


Gambar 2. Diagram Pembentukan Ni(II)-*congo red* (Sundari, 2014).

Senyawa kompleks Ni(II)-*congo red* mempunyai bentuk geometri oktahedral disebabkan 6 orbital kosong dari ion Ni^{2+} yang didonasi oleh dua pasang elektron N=N dan NH_2 dari ligan *congo red* sebanyak enam pasang elektron, dimana elektron-elektron tersebut menempati satu orbital 4s, tiga orbital 4p dan 2 orbital

4d (*outer orbital*) yang kemudian mengalami hibridisasi sp^3d^2 yang strukturnya berbentuk oktahedral (Sundari, 2014).

Menurut penelitian Dina, (2015) senyawa kompleks Mn(II)-*naphtol blue black* memiliki nilai kemagnetan sebesar 5,90 BM yang lebih tinggi daripada logam mangan yaitu 0,80 BM dan ligan *naphtol blue black* saja yaitu 2,13 BM. Hal tersebut dapat terjadi karena logam mangan memiliki nilai kemagnetan yang sangat kecil, sedangkan *naphtol blue black* bersifat magnetik yang dapat meningkatkan nilai momen magnet senyawa kompleks Mn(II)-*naphtol blue black*. Ligan *naphtol blue black* merupakan ligan kuat yang dilihat dari banyaknya gugus pendonor elektron. Ligan kuat akan mendesak elektron pada orbital d logam mangan untuk berpasangan terlebih dahulu sebelum tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Namun pada penelitian ini, ligan *naphtol blue black* tidak mendesak elektron pada orbital d logam dan lebih memilih mengisi *outer orbital* karena struktur *naphtol blue black* yang besar sehingga halangan sterik untuk mengisi orbital d logam juga besar. Adapun prediksi diagram orbital pembentukan senyawa kompleks Mn(II)-*naphtol blue black* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Pembentukan Mn(II)-*naphtol blue black* (Dina, 2015).

2.3. Mangan (Mn)

Mangan termasuk satu unsur logam transisi golongan VIIB. Mangan merupakan padatan yang berwarna keabu-abuaan, nomor atom 25 dengan massa atom 54,938 g/mol, mempunyai titik lebur 1250 °C. Bilangan oksidasi yang paling umum dari mangan adalah +2, +3, +4, +6, +7. Kestabilan mangan(II) dalam keadaan *spin* tinggi ditunjukkan oleh vibrasi kestabilan senyawa yang terbentuk. Mangan(II) memiliki semua jenis geometri utama, namun pada umumnya kompleks Mangan(II) memiliki bilangan koordinasi 6 dengan struktur oktahedral (Cotton and Wilkinson, 1988).

Mangan dapat dimanfaatkan sebagai *dye sensitizer* untuk meningkatkan efisiensi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Mangan memiliki sifat *photophysical* yang mirip dengan kompleks ruthenium serta bilangan kuantum yang tinggi untuk menghasilkan sensitasi terhadap cahaya matahari (CaO *et al.*, 2014). Mangan merupakan logam yang cukup banyak digunakan sebagai atom pusat dalam sintesis senyawa kompleks. Hal ini dikarenakan mangan memiliki lima elektron yang tidak berpasangan sehingga dapat membentuk jaringan koordinasi yang besar dan stabil (Ma *et al.*, 2012).

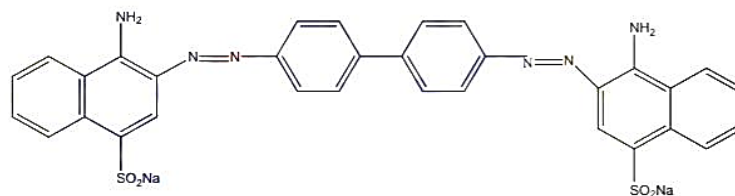


Gambar 4. Logam Mangan.

2.4. Congo Red

Congo red mempunyai rumus kimia $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$. Nama IUPAC dari *congo red* adalah natrium benzendiazo-bis-1-naftilamin-4-sulfonat. Senyawa ini memiliki berat molekul $696,67 \text{ g.mol}^{-1}$ (Sawhney and Kumar, 2011). *Congo red* termasuk dalam kelompok diazo yang disintesis oleh Boettiger pada tahun 1884 (Venkatesh *et al.*, 2014). *Congo red* dapat larut dalam air, etanol, sedikit larut dalam aseton dan tidak larut dalam eter dan xilena (Yaneva and Georgieva, 2012). Dalam air, *congo red* membentuk koloid berwarna merah. Kelarutan *congo red* sangat baik pada pelarut organik, seperti etanol. *Congo red* berwarna merah dan sensitif terhadap asam. Warna merah yang dihasilkan *congo red* dapat diamati melalui alat spektrofotometer. Spektra *congo red* menunjukkan karakteristik pada puncak sekitar 498 nm (Tapalad *et al.*, 2008).

Congo red merupakan zat warna diazo yang berwarna merah yang dapat berubah menjadi biru pada rentang pH 3-5 dan bersifat *non-degradable* karena umumnya dibuat dari senyawa azo dan turunannya yang merupakan gugus benzena yang bersifat tidak mudah terdegradasi (Kondru *et al.*, 2009). Adapun syarat ligan yang sesuai sebagai *dye sensitizer* adalah tidak mudah terdegradasi, memiliki panjang gelombang maksimum pada daerah 200-800 nm sehingga dapat menangkap hampir seluruh sinar matahari, memiliki ikatan rangkap terkonjugasi, terdapat aromatis, terdapat gugus sulfonat, memiliki gugus kromofor untuk menangkap foton (Giribabu *et al.*, 2012). *Congo red* merupakan ligan kuat yang seharusnya dapat mendesak elektron pada orbital d kobalt untuk berpasangan. Namun pada senyawa kompleks Co(II)-*congo red* tidak terjadi. Hal ini dapat dijelaskan bahwa meskipun *congo red* tergolong ligan kuat tetapi bentuk molekul *congo red* besar sehingga pasangan elektron bebas dari ligan lebih memilih masuk dalam *outer orbital* atom pusat (Setyawati, 2007). Struktur *congo red* memiliki sistem terkonjugasi yang membentuk delokalisasi elektron sehingga meningkatkan kestabilan dari ligan dan juga pada saat pengompleksan (Deville, 1999). Struktur *congo red* ditunjukkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Struktur *Congo Red* (Yanti, 2010).

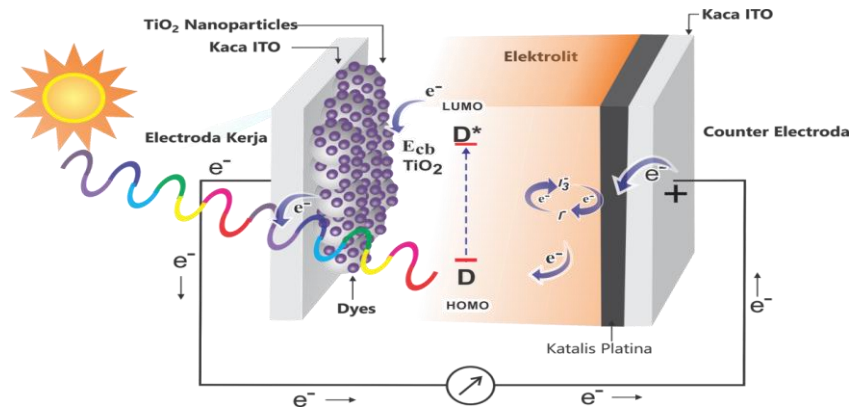
2.5. Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Sel surya berbasis zat warna (Dye Sensitized Solar Cell, DSSC) adalah salah satu jenis sel surya yang terbuat dari tiga komponen utama yaitu elektroda kerja (*working electrode*), elektroda lawan (*counter electrode*) dan larutan elektrolit. Elektroda kerja yang biasanya digunakan berupa lapisan tipis TiO₂ nanopartikel pada substrat kaca transparan. Permukaan lapisan TiO₂ nanopartikel tersebut dilapisi oleh zat warna yang berfungsi sebagai *sensitizer*, yaitu bahan yang dapat menyerap cahaya matahari dalam daerah serapan yang lebar (Gratzel, 2001).

Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) pertama kali ditemukan oleh Michael Gratzel and Brian O'Regan pada tahun 1991 di Swiss. DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan larutan elektrolit sebagai media *transport* muatan sebagai konversi cahaya matahari menjadi energi listrik. DSSC memiliki beberapa keunggulan diantaranya proses produksinya yang ramah lingkungan, biaya produksi rendah, menghasilkan nilai efisiensi yang cukup tinggi dan mempunyai ketahanan kerja yang baik serta tetap didapatkan hasil energi meski dalam intensitas cahaya rendah (Giribabu *et al.*, 2012).

2.5.1. Prinsip Kerja DSSC

Prinsip DSSC adalah elektrokimia sederhana meliputi proses penangkapan energi foton yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik. Kerja DSSC pada daerah panjang gelombang 200-400 nm (Misbachudin *et al.*, 2013). Proses kerja DSSC dapat dilihat pada Gambar 6.



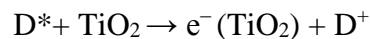
Gambar 6. Skema Kerja dari DSSC (Sastrawan, 2006).

Ketika foton dari sinar matahari menimpa elektroda kerja pada DSSC, energi foton diserap oleh pewarna (*dye*) yang melekat pada permukaan partikel TiO_2 sehingga elektron dari pewarna mendapatkan energi untuk dapat tereksitasi (D^*).

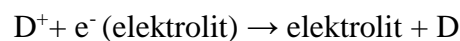


Elektron yang tereksitasi dari molekul pewarna (*dye*) tersebut akan diinjeksikan ke pita konduksi TiO_2 dimana TiO_2 bertindak sebagai penerima elektron.

Molekul pewarna yang ditinggalkan kemudian dalam keadaan teroksidasi (D^+).



Selanjutnya elektron akan ditransfer melewati rangkaian luar menuju *counter elektroda* (elektroda yang dilapisi karbon). Elektrolit redoks biasanya berupa pasangan iodide dan triiodide (I^-/I_3^-) yang berfungsi sebagai mediator elektron yang dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Triiodida dari elektrolit yang terbentuk akan menangkap elektron dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis. Elektron yang tereksitasi masuk kembali ke dalam sel dan bereaksi dengan elektrolit menuju *dye* teroksidasi. Elektrolit menyediakan elektron pengganti untuk molekul *dye* teroksidasi, sehingga *dye* kembali ke keadaan awal dengan persamaan reaksi:



Beda potensial yang dihasilkan oleh sel surya DSSC berasal dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor TiO_2 dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks (I^-/I_3^-). Arus yang dihasilkan dari sel surya ini terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses

konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja *dye* yang digunakan (Li *et al.*, 2006).

Kinerja dari DSSC dapat dievaluasi dengan mengetahui nilai efisiensi (%). Efisiensi 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 berikut (Gong *et al.*, 2012):

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

η = Efisiensi

P_{max} = Daya maksimum

P_{in} = Daya sumber cahaya

2.5.2. Material DSSC

Secara umum, material penyusun *Dye Sensitized Solar cell* (DSSC) terdiri dari beberapa komponen yaitu sebagai berikut:

2.5.2.1. 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 (Kumara *et al.*, 2012). Jenis TCO yang paling sering digunakan dalam industri dan laboratorium adalah *indium tin oxide* (ITO) karena memiliki transmitansi yang tinggi dan resistivitasnya rendah (Khoiruddin, 2012).

2.5.2.2. Titanium Dioksida (TiO₂)

Titanium Dioksida (TiO₂) sebagai transport pembawa muatan yang merupakan semikonduktor yang memiliki *band gap* lebar dan umumnya bersifat inert, tidak berbahaya, murah dan memiliki karakteristik optik yang baik dengan rentang panjang gelombang yang lebih luas. Lapisan TiO₂ memiliki *band gap* besar yaitu

(>3eV), yang dibutuhkan dalam DSSC untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari (Gratzel, 2001).

Titanium Dioksida (TiO_2) digunakan sebagai katalis, fotokatalis, dan fotoelektroda karena mampu mengkonversi energi matahari menjadi listrik, namun energi matahari yang dapat mencapai permukaan bumi kurang dari 5% dari keseluruhan sinar matahari sehingga menunjukkan efisiensi yang rendah. Perkembangan saat ini, TiO_2 berfungsi sebagai *fotosensitizer* dengan menambahkan senyawa kompleks dari pewarna alami atau pewarna sintetis (Pei and Luan, 2011). Aplikasi pada DSSC, TiO_2 yang digunakan umumnya berfasa anatase karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi. 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 sehingga akan menaikkan jumlah cahaya yang terserap.

2.5.2.3. *Dye Sensitizer*

Penyerapan *Dye Sensitizer* (zat pewarna) adalah molekul yang berfungsi menangkap foton berupa cahaya tampak dari matahari, kemudian diabsorpsi pada permukaan molekul TiO_2 . Sejauh ini, *dye sensitizer* yang telah digunakan terdiri dari pewarna alami dan pewarna sintesis. Walaupun DSSC komersial dengan menggunakan *dye* sintesis yaitu jenis ruthenium complex telah mencapai efisiensi maksimal yaitu 10%, namun ketersediaan dan harganya yang mahal dan sulit disintesis membuat adanya alternatif lain pengganti *dye* jenis ini yaitu *dye* alami yang dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga, atau buah (Maddu dan Irmansyah, 2007). Jenis *dye* alami memiliki energi ikat rendah dengan TiO_2 dan transfer muatan yang juga rendah di seluruh daerah cahaya tampak. *Dye* organik sangat murah, mudah di preparasi serta ramah lingkungan jika dibanding dengan jenis *dye* sintesis seperti *ruthenium complex* (Hao *et al.*, 2004).

2.5.2.4. Elektrolit

Elektrolit merupakan salah satu bagian dari DSSC yang berfungsi menggantikan kehilangan elektron pada pita HOMO dari *dye* akibat eksitasi elektron karena penyerapan cahaya tampak oleh *dye*. Elektrolit terdiri dari pasangan redoks sangat penting dalam menentukan karakteristik dan daya tahan DSSC. Elektrolit yang sering digunakan pada DSSC adalah pasangan elektrolit Iodida (I^-) dan triiodida (I_3^-) sebagai elektrolit karena sifatnya yang stabil dan mempunyai *reversibility* yang baik.

Kecepatan reaksi redoks akan menentukan kerja DSSC. Pada umumnya, elektrolit yang digunakan dalam DSSC adalah pelarut berbentuk cair yang mengandung sistem redoks yaitu pasangan yaitu pasangan I^-/I_3^- . Efisiensi konversi foton menjadi arus listrik untuk sel surya DSSC yang menggunakan elektrolit cair memberikan efisiensi sebesar 11% (Gratzel, 2001). Selain elektrolit cair, terdapat juga elektrolit dalam bentuk padat, yaitu elektrolit berbasis gel polimer PEG (*polyethylene glycol*) yang mengandung kopel redoks (I^-/I_3^-) sebagai pengganti elektrolit cair, karena penggunaan elektrolit cair memiliki stabilitas yang rendah, terutama akibat degradasi dan mudah mengalami kebocoran. Elektrolit padat berbasis gel polimer PEG memiliki stabilitas dan daya tahan yang cukup baik pada perangkat sel surya DSSC tetapi efisiensi yang dihasilkan kurang maksimal jika dibandingkan dengan elektrolit cair (Maddu dan Irmansyah, 2007).

2.5.2.5. Counter Elektroda

Counter Elektroda merupakan salah satu material yang sangat penting dalam pembuatan DSSC. *Counter elektroda* berperan sebagai katalis yang berfungsi untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada ITO. Material yang umum digunakan pada DSSC sebagai katalis adalah platina atau karbon. Platina memiliki efisiensi katalitik yang tinggi, namun platina merupakan material yang mahal. Gratzel mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan *counter elektroda* karbon sebagai lapisan katalis. Karbon termasuk senyawa amorf, kemampuan karbon menyerap karena

permukaannya berpori. *Counter elektroda* karbon memiliki luas permukaannya yang tinggi, sehingga mempunyai keaktifan reduksi triiodide yang menyerupai elektroda platina (Astuti, 2012).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret s.d. Agustus 2022. Sintesis senyawa kompleks dengan metode refluks dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik FMIPA Institut Teknologi Bandung dan *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB) dilakukan di Laboratorium Kimia UIN Bandung. Aplikasi senyawa kompleks sebagai DSSC dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas kimia 50 mL, gelas ukur 25 mL, erlenmeyer, labu ukur 10 mL, pipet tetes, spatula, batang pengaduk, corong gelas, mortar dan alu, *hot plate* dan *stirrer* Stuart CB 162, seperangkat alat refluks, neraca analitik Kern and Sohn GMBH ABT 220-4M, termometer 100 °C, desikator, *binder clip*, penjepit buaya, multimeter digital Zotek ZT111, oven Heraeus 5042, dan instrumen spektrofotometer UV-Vis Tipe Carry 100, FTIR Tipe Shimadzu Prestige 21, dan *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB) Tipe Sherwood Scientific Cambridge UK.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah mangan(II)tetrahidrat ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) p.a Merck, *congo red* ($\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6 \text{Na}_2\text{O}_6\text{S}_2$) Merck, etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) p.a, akuabides, kalium iodida (KI), iodin (I_2), asetonitril, dua buah

substrat kaca *indium tin oxide* (ITO), titanium dioksida (TiO_2), polietilena glikol (PEG), aluminium foil, kertas saring *whattman 42*, isolasi *scotch tape*, korek api, dan lilin.

3.3. Prosedur Penelitian

3.3.1. Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)-*congo red*

Senyawa Kompleks Mn(II)-*congo red* disintesis dengan cara mencampurkan ion logam Mn^{2+} dan ligan *congo red* menggunakan perbandingan mol (1 : 3). Sebanyak 0,196 gram $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dilarutkan ke dalam 5 mL akuabides dalam erlenmeyer, kemudian sebanyak 2,0898 gram *congo red* dilarutkan dalam 5 mL akuabides. Kedua larutan tersebut dicampurkan dalam gelas kimia 50 mL lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sambil direfluks selama 2 jam pada suhu $100\text{ }^\circ\text{C}$ menggunakan *hot plate*. Campuran yang telah direfluks, selanjutnya disaring dengan kertas saring lalu padatan dicuci dengan akuabides dan dikeringkan dalam desikator. Padatan yang diperoleh kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik hingga didapatkan berat konstan. Padatan yang terbentuk selanjutnya dikarakterisasi (Putri, 2021).

3.3.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks Mn(II)-*congo red*

3.3.2.1. Spektrofotometer UV-Vis

Karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis bertujuan untuk mengetahui absorbansi cahaya oleh pigmen warna yang terdapat pada senyawa kompleks yang akan digunakan sebagai *dye* pada DSSC. Senyawa kompleks hasil sintesis yaitu Mn(II)-*congo red* dilarutkan dengan akuabides, kemudian ditentukan spektrumnya pada panjang gelombang 200-800 nm. Penentuan pergeseran panjang gelombang dari senyawa kompleks dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis Tipe Carry 100.

3.3.2.2. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR)* bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada senyawa kompleks. Senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* hasil sintesis di *scanning* pada daerah panjang gelombang 4000-500 cm⁻¹ dengan spektrofotometer FTIR Shimadzu Prestige 21.

3.3.2.3. *Magnetic Susceptibility Balance (MSB)*

Karakterisasi menggunakan *Magnetic Susceptibility Balance (MSB)* bertujuan untuk mengetahui sifat kemagnetan senyawa kompleks hasil sintesis. Pengukuran momen magnet pada suhu ruang dilakukan dengan menggunakan *Magnetic Susceptibility Balance* Tipe Sherwood Scientific Cambridge UK. Tabung kosong ditimbang dalam satuan gram kemudian padatan sampel senyawa kompleks dimasukkan ke dalam tabung Guoy dengan ketinggian 1,5-2 cm. Tabung Guoy yang telah diisi sampel dimasukkan ke dalam alat MSB dan dicatat tinggi sampel, kemudian memasukkan data berat sampel yang ada dalam tabung Guoy. Setelah didapatkan data pengukuran, maka dilakukan perhitungan kerentanan massa (X_g) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$X_g = \frac{C_{bal} \cdot L \cdot (R - R_0)}{10^9 [M - M_0]} \quad (1)$$

C_{bal} merupakan tetapan kalibrasi neraca, L merupakan tinggi sampel, R_0 merupakan nilai kerentanan magnet untuk tabung kosong, R merupakan nilai kerentanan magnet sampel, M_0 merupakan massa tabung kosong, dan M merupakan massa tabung berisi sampel. Selanjutnya dilakukan perhitungan kerentanan molar (X_M) dan kerentanan terkoreksi (X_A) menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$X_M = X_g \times Mr \quad (2)$$

$$X_A = X_M - X_D \quad (3)$$

Mr merupakan massa molekul relatif sampel dan X_D merupakan nilai koreksi diamagnetik. Setelah dilakukan perhitungan kerentanan molar (X_M) maka

didapatkan nilai kerentanan terkoreksi (X_A). Selanjutnya dilakukan perhitungan momen magnet (η_{eff}) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{\text{eff}} = 2,83 \times [X_A \times T]^{1/2} \quad (4)$$

μ_{eff} merupakan momen magnet (BM) dan T merupakan temperatur ruang (kelvin).

3.3.3. Pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

3.3.3.1. Pembuatan Pasta TiO₂

Sebanyak 0,5 gram bubuk TiO₂ ditimbang kemudian ditumbuk, diayak dan dimasukkan ke dalam gelas kimia. Sebanyak 2 mL etanol ditambahkan dan di-*stirrer* selama 15 menit. Pasta TiO₂ yang terbentuk dicampurkan dengan 0,25 gram senyawa kompleks [Mn(*congo red*)₃]Cl₂.6H₂O kemudian di-*stirrer* selama 15 menit hingga zat warna merata. Campuran pasta TiO₂ dan senyawa kompleks kemudian disimpan dalam botol tertutup untuk digunakan (Julianti, 2019).

3.3.3.2. Preparasi Larutan Elektrolit

Preparasi larutan elektrolit dibuat dengan polietilena glikol (PEG) 0,1M. Pertama dibuat larutan elektrolit dari KI 0,5M dan I₂ 0,05M dengan cara mengambil sebanyak 0,498 gram KI dilarutkan ke dalam 6 mL asetonitril dalam gelas kimia. Sebanyak 0,076 gram I₂ dilarutkan dalam 6 mL asetonitril dalam gelas kimia lain. Kedua larutan dalam gelas kimia dicampur dan diaduk hingga homogen. Sebanyak 2,4 gram PEG dimasukkan ke dalam larutan elektrolit yang telah dibuat, dan diaduk hingga membentuk gel. Penggunaan PEG akan membuat larutan elektrolit tidak mudah menguap dan lebih stabil saat digunakan pada DSSC (Julianti, 2019).

3.3.3.3. Preparasi Elektroda Pembanding

Preparasi elektroda pembanding dilakukan pada sisi konduktif kaca ITO dengan jelaga api lilin. Kaca ITO dicuci dengan etanol lalu dikeringkan. Kaca tersebut

dites dengan multimeter digital untuk mengetahui sisi konduktifnya. Sisi konduktif kaca ITO ditutup dengan isolasi *scotch tape* pada bagian pinggirnya hingga menyisakan ukuran 1×1 cm, kemudian dibakar dengan api lilin sampai terbentuk lapisan karbon (Julianti, 2019).

3.3.3.5. Pembuatan Lapisan *Sandwich* DSSC

Satu pasang kaca ITO (ITO A dan ITO B) dibersihkan. Pada kaca ITO A yang berukuran 2×2 cm dibentuk area tempat campuran TiO_2 dengan senyawa kompleks diposisikan dengan bantuan selotip pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area 1×1 cm. Pasta campuran TiO_2 dengan senyawa kompleks dilapiskan di atas area yang telah dibuat pada kaca konduktif lalu diratakan dengan bantuan batang pengaduk. Lapisan dikeringkan selama 10 menit lalu kaca ITO A yang terlapisi pasta TiO_2 dan senyawa kompleks dioven selama 10 menit pada suhu 200°C . Larutan elektrolit gel polimer 0,1 M ditetaskan di atas permukaan kaca yang terdapat campuran pasta TiO_2 dengan senyawa kompleks, bagian ini disebut *photoanode*. Selanjutnya kaca di-*sandwich* dengan elektroda pembanding (Kaca ITO B) yang telah dilapisi dengan karbon dari pembakaran dengan api lilin. Kaca lalu dijepit dengan *binder clip* agar tidak bergerak dan DSSC siap diuji (Julianti, 2019).

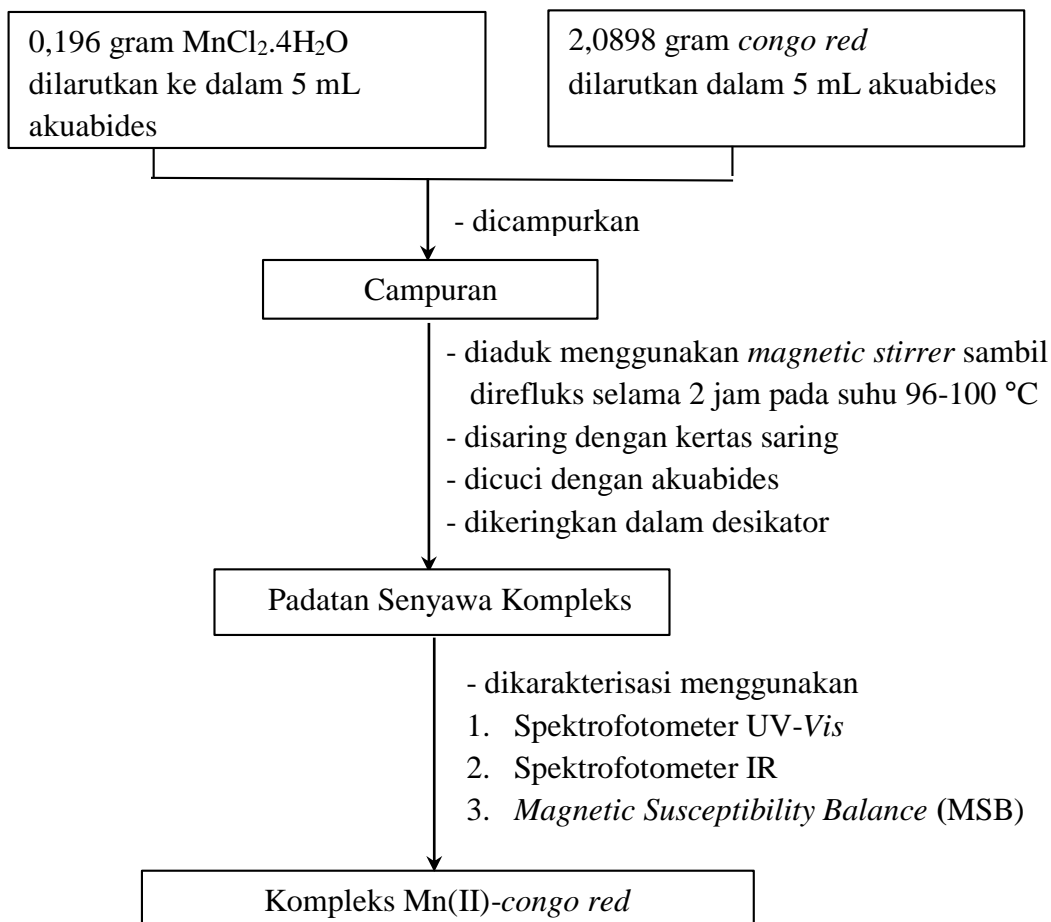
3.3.3.6. Pengujian DSSC

Sel surya yang telah dirangkai selanjutnya dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus 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

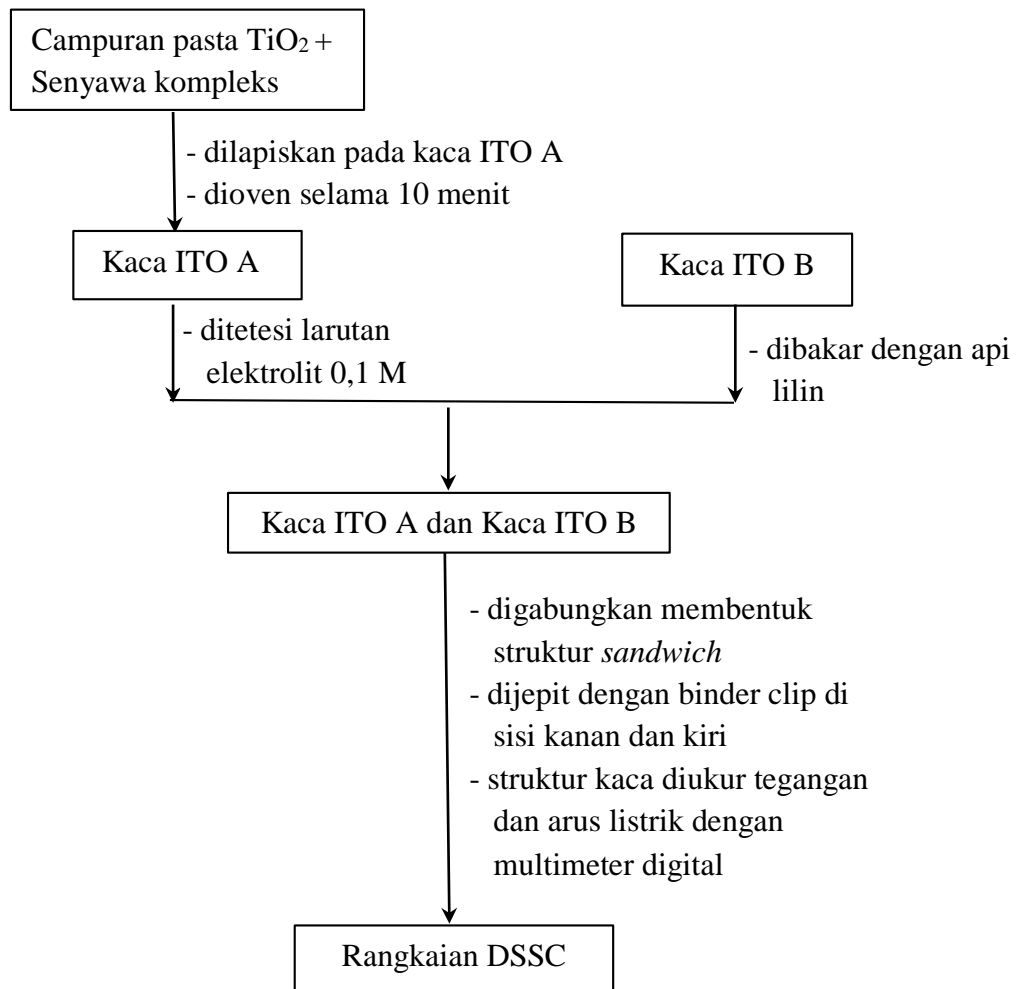
Skema alur kerja penelitian dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

3.3.4.1. Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)-congo red



Gambar 7. Skema Alur Kerja Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)-congo red.

3.3.4.2. Pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)



Gambar 8. Skema Alur Kerja Pembuatan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1.Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Sintesis senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* menghasilkan padatan berwarna merah tua sebanyak 1,8390 gram dengan rendemen 80,41%.
2. Hasil karakterisasi spektrofotometer UV-Vis menunjukkan adanya empat serapan yang muncul yaitu pada panjang gelombang 239 nm, 331 nm, 502 nm, dan 563 nm.
3. Hasil karakterisasi spektrofotometer IR menunjukkan telah terbentuknya ikatan antara logam mangan dengan NH dari ligan *congo red* pada bilangan gelombang $435,91\text{ cm}^{-1}$.
4. Hasil karakterisasi *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB) menunjukkan momen magnet senyawa kompleks sebesar 5,60 Bohr Magneton (BM), bersifat paramagnetik dan senyawa kompleks berbentuk oktahedral.
5. Pengujian DSSC menghasilkan efisiensi (η) yang cukup baik sebesar 2,22% dengan tegangan 275,4 mV dan kuat arus 8 mA.

5.2.Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil efisiensi yang sudah cukup baik dibandingkan penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, disarankan melengkapi karakterisasi senyawa kompleks untuk mengetahui padatan kristalin dan sifat termal senyawa kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- Anifah, N. 2014. *Sintesis Senyawa Kompleks Co(II)-congo red sebagai Dye Sensitizer Solar Cell (DSSC)*. (Thesis). Departemen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya.
- Asim, N., Shideh, A., Alghoul, F., Hammadi, Kasra, S., and Sopian. 2014. Research and Development Aspects on Chemical Preparation Techniques of Photoanodes for Dye Sensitized Solar Cell. *International Journal of Photoenergy*.
- Astuti, R. D. 2012. *Dye Sensitized Solar Cell dengan Senyawa Antosianin dari Kulit Terong Ungu (Solanum Melongena L) sebagai Photosensitized*. (Skripsi). Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Bipinchandra, K., Sun, M., Pathikrit, S., and Deshmukh, A. 2018. Comparison of Dye Degradation Potential of Biosynthesized Copper Oxide Manganase Dioxide and Silver Nanoparticles. *Journal Chem. Eng.* **35**(3).
- CaO, J., Hu, D. C., Liu, J. C., Li, R. Z., and Jin, N. Z. 2014. Metal (Cadmium and Manganase) Mediated Assemblies of Two Acetohydrazide Zinc Porphyrins for Use in Supermolecular Solar Cells. *Inorganic Chemical Acta*. **414**: 165-169.
- Cherepy, N. J., Smestad, G., Gratzel, M., and Zhang, J. Z. 1997. Ultrafast Electron Injection: Implications for Photoelectrochemical Cell Utilizing an Anthocyanin Dye Sensitized TiO₂ Nanocrystalline Electrode. *The Journal of Physical Chemistry*. 9342-9351.
- Clyde, D. M. and Selbin, J. 1985. *Theoretical Inorganic Chemistry 2nd Edition*. East West Press. New Delhi.
- Cotton, F. A. and Wilkinson, G. 1988. *Advance Inorganic Chemistry 5th Edition*. Interscience. New York.
- Cussianovich, K. 2013. *Rhenium(II) Complex as Potential Materials for Dye Sensitized Solar Cells*. (Thesis). The Ohio State University. Columbus.
- Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik secara Spektroskopi*. LPTIK Universitas Andalas. Padang.

- Deville, M. H. 1999. Organometallic Electron Reservoir Sandwich Iron Complexes as Potential Agents for Redox and Electron Transfer Chain Catalysis. *Inorganica Chimica Acta*. **291**: 1-19.
- Dharmayanti, A. dan Martak, F. 2015. Sintesis Senyawa Aktif Kompleks Mangan(II) dengan Ligan 2(4-nitrofenil)-4,5-difenil. *Jurnal Sains dan Seni*. ITS. **4**(2): 1-5.
- Dina. 2015. *Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)-Naphtol Blue Black sebagai Dye Sensitizer Solar Cell (DSSC)*. (Thesis). Departemen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya.
- Giribabu, L., Sudhakar, K., and Velkannan, V. 2012. Phthalocyanines Potential Alternative Sensitizers to Ru(II) Polypyridyl Complexes for Dye Sensitized Solar Cells. *Current Science*. **102**: 991-1000.
- Gong, J., Liang, J., and Sumathy, K., 2012, Review on Dye Sensitized Solar Cells (DSSCs) Fundamental Concepts and Novel Materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **16**(8): 5848-5860.
- Gratzel, M. 1991. A Low-Cost, High Efficiency Solar Cell Based on Dye Sensitized Colloidal TiO₂ Films. *Journal of Nature*. **353**: 737-740.
- Gratzel, M. 2001. Photoelectrochemical Cells. *Journal of Nature*. **414**: 338-344.
- Griffiths, R. P. and Haseth, J. A. 2007. *Fourier Transform Infrared Spectrometry Second Edition*. Inc. Hoboken. New Jersey.
- Hardeli, Zainul, R., and Isara, L. P. 2019. Preparation of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) using Anthocyanin Color Dyes from Pithecellobium Lobatum Benth by The Gallate Acid Copigmentation. *Journal of Physics Conference Series*. **1185**.
- Harmita. 2006. *Analisis Kuantitatif Bahan Baku dan Sediaan Farmasi*. Departemen Farmasi FMIPA Universitas Indonesia. Jakarta.
- Harsianti, Nururrahmah, dan Nurasia. 2016. Pemanfaatan Ekstrak Bawang Merah dan Asam Asetat sebagai Pengawet. *Jurnal Dinamika*. **7**(1): 9-30.
- 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 Cell (DSSC)*. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung.

- Kalyanasundaram, E. K. 2010. *Dye Sensitized Solar Cells*. EPFL Press. Switzerland.
- Karmakar, M. and Ray, R. 2011. Current Trends in Research and Application of Microbial Cellulases. *Journal of Microbiology*. **6**(1): 41-53.
- Kashif, M. K., Axelson, J. C., Duffy, N. W., Forsyth, C. M., Chang, C. J., Long, J. R., Spiccia, L., Bach, and Udo. 2012. A New Direction in Dye Sensitized Solar Cells Redox Mediator Development In Situ Fine Tuning of the Cobalt(II)/(III) Redox Potential through Lewis Base Interactions. *Journal Of The American Chemical Society*. **134**(40): 46-53.
- Kay, A. and Gratzel, M. 1996. Low Cost Photovoltaic Modules Based on Dye Sensitized Nanocrystalline Titanium Dioxide and Carbon Powder. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. **44**: 99-117.
- Khoiruddin. 2012. *Ekstrak Beta Karoten Wortel (Daucus Carota) sebagai Dye Sensitizer pada DSSC*. (Skripsi). Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Kondru, A. K., Kumar, P., and Chand, S. 2009. Catalytic Wet Peroxide Oxidation of Azo Dye (Congo red) using Modified Y Zeolite as Catalyst. *National Institutes of Health*. **166**(1): 342-347.
- Kristianingrum, S. 2014. *Spektroskopi Ultraviolet dan Sinar Tampak*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Kumara, M. S., Widya, dan Prajitno, G. 2012. *Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam(Amaranthus Hybridus L.) sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya pada DSSC*. (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Lee, J. D. 1994. *Concise Inorganic Chemistry (Fourth edition)*. Chapman Hall. London.
- Li, B., Wang, L., Kang, B., Wang, P., and Qiu, Y. 2006. Review of Recent Progress in Solid State Dye Sensitized Solar Cells. *Solar Energy Mater Solar Cells*. **90**: 549-573.
- Maddu, A. dan Irmansyah. 2010. *Sintesis Partikel Nanocrystalline TiO₂ untuk Aplikasi Sel Surya Menggunakan Metode Sonokimia*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Marcelinda, A., Ridhay, A., dan Prismawiryanti. 2016. Aktivitas Antioksidan Ekstrak Limbah Kulit Ari Biji Kopi Berdasarkan Tingkat Kepolaran Pelarut. *Journal of Natural Science*. **5**(1).

- Mardiana, D. E. 2014. *Sintesis Senyawa Kompleks Fe(II)-Congo Red sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. (Thesis). Departemen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya.
- Miessler, G. L., Fischer, P. J., and Torr, D. R. 2014. *Inorganic Chemistry Fifth Edition*. Prentice Hall. New Jersey.
- Misbachudin, M. C., Trihandaru, S., dan Sutresno, A. 2013. Studi Awal Ekstrak Antosianin Strawberry sebagai Fotosensitizer dalam Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Seminar Nasional 2nd Lontar Physics Forum*.
- Muchson, M., Pratiwi, Y. N., Sulistina, O., dan Sigit, D. 2016. Persepsi Mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA UM Tentang Fenomena Perubahan Materi. *Jurnal Pembelajaran Kimia*. **1**(2).
- Nadeak, Sahat, M. R., dan Diah., S. 2012. Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi terhadap Kerja Semikonduktor TiO₂ sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga Merah. *Journal of Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. **1**(1).
- Nakamoto. 2009. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds, Sixth Edition*. John Wiley and Sons. New Jersey.
- Ningsih, S. K. W. 2016. *Sintesis Anorganik*. Universitas Negeri Padang. Padang.
- Patrick, H., Christoph, K., Christopher, B., Larsen, Daniel, H., Oliver, S., dan Wenger. 2021. Kompleks Mangan dengan Luminesensi Transfer Muatan Logam ke Ligan Dan Fotoreaktivitas. *Jurnal Kimia Alam*. **10**.
- Pei, D. and Luan, J. 2011. Development of Visible Light Responsive Sensitized Photocatalysts. *Journal of Photoenergy*.
- Pujiono, F. E. dan Martak, F. 2014. *Studi Sintesis Senyawa Kompleks Mangan(II) 2,4,5-Trifenilimidazol Dengan Metode Solvotermal*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Putri, N. 2021. *Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasi Senyawa Kompleks Mangan(II) Dengan Ligan 1, 10-fenantrolin sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung.
- Qin, Y. and Peng, Q. 2012. Ruthenium Sensitizers and Their Applications in Dye Sensitized Solar Cell. *International Journal of Photoenergy*.
- Rizky, K. M. 2010. *Pengembangan Aplikasi Sistem Periodik Unsur Kimia pada Ponsel Menggunakan J2ME*. (Skripsi). Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.

- Rusmaryadi, H., Sukarmansyah, Sianipar, T. P. O., dan Setiadi, H. 2012. Pengaruh Cermin Reflektor Terhadap Daya dan Kenaikan Temperatur Sel Surya. *Jurnal Teknik Mesin*. **1**(2): 85-94.
- Sastrawan, R. 2006. *Photovoltaic Modules of Dye Solar Cells*. University of Freiburg. German.
- Sawhney, R. and Kumar, A. 2011. Congo Red (Azo Dye) Decolourization by Local Isolate VT-II Inhabiting Dye Effluent Exposed Soil. *International Journal of Environmental Science*. **1**(6): 1261-1267.
- Schubert, U. and Husing, N. 2005. *Synthesis of Inorganic Materials Second Revise*. Wiley-VCH. German.
- Septiady, R. K. D. dan Musyaha, G. 2018. Analisa Pemanfaatan Energi Surya sebagai Sumber Energi pada Mesin Pengeruk Sampah di Kecamatan Wonokerto. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektronika*. **3**(1).
- Setyawati, H. 2007. *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Koordinasi Inti Ganda Besi(III)-Fenantrolin Menggunakan Ligan Jembatan CNS*. (Skripsi). Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Anugrah Utama Raharja. Bandar Lampung.
- Sundari. 2014. *Sintesis Senyawa Kompleks Ni(II)-Congo Red sebagai Dye Sensitizer Solar Cell (DSSC)*. (Thesis). Departemen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya.
- Susanti, D., Nafi, M., Purwaningsih, H., Fajarin, R., Kusuma, E. 2014. The Preparation of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) from TiO₂ and Tamarillo Extract. *Procedia Chemistry*. **9**: 3-10
- Susanty dan Fairus. 2016. Perbandingan Metode Ekstraksi Maserasi dan Refluks Terhadap Kadar Fenolik dari Ekstrak Tongkol Jagung. *Jurnal Konversi*. **5**(2).
- Szafran, Z., Pie, R. and Singh, M. 1991. *Microscale Inorganic Chemistry*. John Willey and Sons Inc. Canada.
- Tapalad, T., Arhit N., and Sutasinee N. 2008. Degradation of Congo Red by Ozonation. *Chiang Mai Journal Science*. **35**(1): 63–68.
- Venkatesh, S., Pandey, N. D., and Quoff, A. R. 2014. Decolourization of Synthetic Dye Solution Containing Congo Red By Advanced Oxidation Process (AOP). *International Journal of Advanced Research in Civil*.

- Widayana, G. 2012. Pemanfaatan Energi Surya. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*. **9**(1).
- Widayanti, S. M., Permana, A. W., dan Kusumaningrum, H. D. 2009. Kapasitas dan Kadar Antioksidan Ekstrak Tepung Kulit Buah Manggis pada Berbagai Pelarut dengan Metode Maserasi. *Jurnal Pascapanen*. **6**(2).
- Wong, W. Y. 2009. Challenges in Organometallic Research Great opportunity for Solar Cells and OLEDs. *Jurnal Organic Chemistry*. **694**(17): 2644-2647.
- Yaneva, Z. L., and Georgieva, N. V. 2012. Insight Into Congo Red Adsorption on Agro-Industrial Materials-Spectral, Equilibrium, Kinetic, Thermodynamic, Dynamic and Desorption Studies. *International Review of Chemical Engineering*. **4**(2).
- Yenita. 2012. *Aplikasi Kompleks Besi(II)-1,2,4-Triazol untuk Senyawa Sensor Suhu pada Display Fenomena Spin Crossover*. (Thesis). Universitas Indonesia. Jakarta.
- Yuwono, A. H., Dhaneswara, D., dan Ferdiansyah, A. 2011. Sel Surya Tersensitisasi Zat Pewarna Berbasis Nanopartikel TiO₂ Hasil Proses Sol-Gel dan Perlakuan Pasca hidrotermal. *Jurnal material dan Energi Indonesia*. **1**(3): 127-140.
- Zahro, K., Effendy, dan Fariati. 2010. *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks dari Perak (I) Nitrit dengan Ligan Campuran Trifenilfosfina dan Tiourena*. (Prosiding Seminar Nasional Sains 2010). Universitas Negeri Malang. Malang.