

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS
Co(II)-*METHYL ORANGE* SERTA APLIKASINYA SEBAGAI
SENSITIZER PADA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

(Skripsi)

Oleh

Atika Nisrina



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

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS Co(II)-METIL ORANGE DAN APLIKASINYA SEBAGAI SENSITIZER PADA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Oleh

Atika Nisrina

Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi senyawa kompleks kobalt (II) dengan ligan *methyl orange* untuk diaplikasikan dalam DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*). Karakterisasi senyawa kompleks hasil sintesis dilakukan dengan penentuan rendemen hasil sintesis, identifikasi panjang gelombang dari spektrum UV-Vis, identifikasi gugus yang terbentuk menggunakan spektrofotometer infra merah, dan sifat kemagnetannya menggunakan MSB. Sintesis senyawa kompleks dilakukan dengan cara kondensasi refluks menggunakan pelarut etanol, menghasilkan padatan berwarna orange kecoklatan dengan rendemen sebesar 70,4%. Kristal yang diperoleh kemudian di karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, FTIR dan MSB. Hasil uji spektrofotometer UV-Vis pada hasil sintesis senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* didapatkan bahwa arah spektrum menunjukkan sifat hipsokromik dengan panjang gelombang sebesar 423 nm. Pada spektrum FTIR senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* terdapat gugus N=N yang mengalami pergeseran bilangan gelombang dan munculnya spektrum yang panjang melancip pada bilangan gelombang $337,54\text{ cm}^{-1}$ yang diindikasikan adanya gugus Co-N. Pada pengujian menggunakan alat MSB senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* bersifat paramagnetik dengan nilai momen magnet sebesar 4,41 BM. Pengaplikasian senyawa kompleks untuk DSSC ini menghasilkan nilai efisiensi (η (%)) sebesar 0,37%.

Kata kunci: DSSC, senyawa kompleks, kobalt(II), *methyl orange*

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF Co(II)-METHYL ORANGE COMPLEX APPLICATIONS AS SENSITIZER IN DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

By

Atika Nisrina

The synthesis and characterization of cobalt (II) complex compounds with methyl orange ligand has been carried out to be applied in DSSC (Dye Sensitized Solar Cell). The characterization of the synthesized complex compounds was carried out by determining the yield of the synthesis, identification of wavelengths from the UV-Vis spectrum, identification of the formed groups using infrared spectrophotometer, and their magnetic properties using MSB. The synthesis of complex compounds was carried out by reflux condensation using ethanol as a solvent, producing a brownish orange solid with a yield of 70.4%. The crystals obtained were then characterized using UV-Vis spectrophotometer, FTIR and MSB. The results of the UV-Vis spectrophotometer test on the synthesis of the Co(II)-methyl orange complex compound showed that the direction of the spectrum showed a hypochromic nature with a wavelength of 423 nm. In the FTIR spectrum of the Co(II)-methyl orange complex compound, there is an N=N group that experiences a shift in wave number and the appearance of a long, tapering spectrum at a wave number of 337.54 cm^{-1} which is indicated by the presence of a Co-N group. In the test using the MSB tool, the complex compound Co(II)-methyl orange is paramagnetic with a magnetic moment value of 4.41 BM. The application of this complex compound for DSSC resulted in an efficiency value (η (%)) of 0.37%.

Keywords: DSSC, complex compound, cobalt(II), methyl orange

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS
Co(II)-*METHYL ORANGE* SERTA APLIKASINYA SEBAGAI
SENSITIZER PADA *DYE SENSITIZED SOLAR CELL* (DSSC)**

Oleh

Atika Nisrina

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh 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 DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS Co(II)-METHYL ORANGE SERTA APLIKASINYA SEBAGAI SENSITIZER PADA DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)**

Nama Mahasiswa : **Atika Nisrina**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817011059**

Jurusan : **Kimia**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. **Komisi Pembimbing**

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Zipora Sembiring, M.Si.
NIP. 1959010619861020011

Prof. Dr. Kamisah D. Pandiangan, M.Si
NIP. 197212051997032001

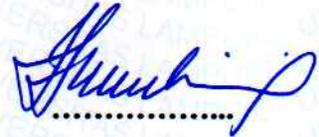
2. **Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung**

Mulyono, Ph.D.
NIP.197406112000031002

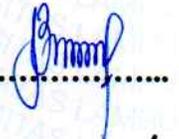
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Zipora Sembiring, M.Si.



Sekretaris : Prof. Dr. Kamisah D.Pandiangan., M.Si.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Dr. Buhani, M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, S.Si, M.T.
NIP. 197407052000031001**

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 November 2022

SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Atika Nisrina
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817011059
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)-*methyl orange* serta Aplikasinya Sebagai *Sensitizer* Pada *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*” adalah benar hasil karya sendiri dan tidak pernah digunakan dan diterima sebagai syarat penyelesaian studi pada universitas ini. Saya tidak keberatan jika data dalam skripsi ini digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi sesuai kesepakatan.

Bandar Lampung, 17 November 2022

Yang Menyatakan



Atika Nisrina

1817011059

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Atika Nisrina, lahir di Serang pada tanggal 14 Agustus 2000. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dan anak dari Bapak Joko Sutikno dan Ibu Nurlaela. Penulis mengawali pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP N 1 Kramatwatu pada tahun 2012 dan melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Kramatwatu daerah kabupaten Serang pada tahun 2015. Pada saat SMA penulis lebih fokus dalam pendidikan dibandingkan mengikuti kegiatan ekstrakurikuler namun, penulis sempat mengikuti beberapa kegiatan ekstrakurikuler diantaranya kegiatan teater, MPR (Palang Merah Remaja), dan olahraga basket. Kemudian, setelah lulus penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang S1 dengan mengikuti SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri) dan diterima di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.

Pada Desember 2018 penulis mulai mengikuti program Karya Wisata Ilmiah (KWI) ke XXIX yang diadakan oleh BEM fakultas MIPA setiap tahunnya. Selama menjadi mahasiswa kimia, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA selama 2 periode yaitu periode 2019/2020 dan periode 2020/2021 sebagai anggota Biro Penerbitan (BP). Penulis juga pernah mengikuti Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) sebagai peserta. Pada tahun 2019, penulis menjadi sekretaris tim Kreativitas Desain dalam acara Chemistry Expo XXIII dan pada tahun 2021, penulis telah menyelesaikan praktik kerja lapangannya di perusahaan Sulfindo Adiusaha.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Kupersembahkan karya ini sebagai wujud bakti dan tanggung jawab kepada :

Kedua orang tuaku,

Bapak Joko Sutikno dan Ibu Nurlaela yang telah memberikan kasih dan sayang,
Cinta, doa, dukungan, dan motivasinya.

Adikku

Khairi Akram

Pembimbing dan penguji penelitianku,

Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.Si.

Ibu Prof. Dr. Kamisah D.Pandiangan, M.Si.

Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si.

Orang terkasih, Sahabat, Kerabat, dan Teman

Almamater Tercinta

Universitas Lampung

MOTTO

“Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kemampuannya.”

(QS. Al-Baqarah:286)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah:5)

“Kebajikan terbesar adalah sains”

(Abu Nasir Al Farabi)

“Kemenangan sejati bukanlah karena kamu tidak pernah gagal, namun karena kamu sanggup bangkit kembali setiap kali kamu jatuh.”

(Konfusius)

“Jika apa yang kamu harapkan tidak terjadi, maka kamu harus mencoba menyukai apa-apa yang sedang terjadi.”

SANWACANA

Puji syukur atas kehadiran Allah subhanahuwata'ala atas segala rahmat, karunia dan rhido-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat dan salam juga tak lupa penulis haturkan kepada junjungan besar Nabi Muhammad SAW., semoga kita termasuk golongan yang mendapatkan syafaatnya di Yaumul Qiyamah kelak.

Skripsi dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)-*methyl orange* serta Aplikasinya Sebagai *Sensitizer* Pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si, M.T., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
2. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.
3. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.Si., selaku pembimbing pertama penelitian atas segala bimbingan, motivasi, nasehat, saran, kesabaran, dan seluruh bantuan kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Ibu Prof. Dr. Kamisah D.Pandiangan., M.Si., selaku pembimbing pertama penelitian atas segala bimbingan, motivasi, nasehat, saran, kesabaran, dan seluruh bantuan kebaikannya hingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
5. Ibu Prof. Dr. Buhani, M.Si., selaku pembahas yang telah memberikan masukan berupa kritik dan saran yang membangun demi terselesaikannya skripsi ini.

6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., selaku pembimbing akademik yang memberikan banyak masukan positif, semangat, dan bimbingannya selama perkuliahan.
7. Segenap staff pengajar dan karyawan khususnya Jurusan Kimia dan FMIPA Universitas Lampung.
8. Orang tua, adik, dan seluruh keluarga besar yang selalu mendukung, memotivasi, dan memberikan doa yang terbaik untuk penulis.
9. Teman-teman seperbimbingan Afra, Ninid, dan Alivia yang berjuang dengan melakukan penelitian bersama dan saling memberikan solusi.
10. Teman-teman terdekat Anggun, Eni dan Armidla yang selalu bersama dalam suka dan duka selama perkuliahan hingga akhir wisuda nanti.
11. Teman-teman rantau seperjuangan Elvi, Rifanti, Dinda, Dicky, Anas, Dimas, dan Rifqi yang selama ini saling menguatkan dan berbagi cerita bersama dalam penyelesaian perkuliahan hingga skripsi.
12. Keluarga Kimia 2018 yang telah kebersamai sejak hari pertama menjadi mahasiswa.
13. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Kimia (Himaki) yang telah memberikan banyak pelajaran dan pengalaman berharga kepada penulis.

Atas segala kebaikan yang telah diberikan, semoga Tuhan Yang Maha Esa membalasnya dengan pahala dan kebaikan yang berlipat ganda. Aamiin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat kekurangan, namun penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna khususnya bagi Jurusan Kimia, rekan-rekan mahasiswa kimia dan pembaca pada umumnya.

Bandar Lampung, 17 November 2022

Penulis

Atika Nisrina

DAFTAR ISI

Halaman

| | |
|--|------------|
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.3. Manfaat Penelitian..... | 5 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1. Sintesis Senyawa Kompleks..... | 6 |
| 2.1.1. Ion Logam Co(II)..... | 8 |
| 2.1.2. Ligan <i>Metyhl orange</i> | 9 |
| 2.2. Karakteristik Senyawa Kompleks | 9 |
| 2.2.1. Spektrofotometer UV-Vis | 9 |
| 2.2.2. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR) | 13 |
| 2.2.3. <i>Magnetic Susceptibility Balance</i> (MSB)..... | 15 |
| 2.2.4. Uji Daya Hantar Listrik | 16 |
| 2.3. Aplikasi Senyawa Kompleks..... | 17 |
| 2.3.1. Sintesis Senyawa Kompleks sebagai Katalis..... | 17 |
| 2.3.2. Sintesis Senyawa Kompleks sebagai Indikator | 18 |
| 2.3.3. Aplikasi Sebagai <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)..... | 19 |
| III. METODE PENELITIAN | 22 |
| 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2. Alat dan Bahan | 22 |
| 3.2.1. Alat Penelitian..... | 22 |
| 3.2.2. Bahan Penelitian | 23 |
| 3.3. Metode Penelitian..... | 23 |
| 3.3.1. Sintesis Senyawa Kompleks | 23 |
| 3.3.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 24 |
| 3.3.2.1. Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> dengan Spektrofotometer UV-Vis | 24 |
| 3.3.2.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> dengan FTIR..... | 24 |
| 3.3.2.3. Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> dengan MSB..... | 25 |
| 3.3.3. Fabrikasi <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)..... | 26 |
| 3.3.3.1. Pembuatan Larutan Sol Gel TiO ₂ dari prekursor TTIP... | 26 |
| 3.3.3.2. Pelapisan TiO ₂ pada Substrat Kaca Berkonduksi | 26 |
| 3.3.3.3. Pembuatan Elektrolit Gel Polimer | 26 |
| 3.3.3.4. Pembuatan Elektroda Pembanding | 27 |
| 3.3.3.5. Perakitan Alat DSSC..... | 27 |
| 3.3.3.6. Penyinaran Langsung dengan Sinar Matahari..... | 28 |
| 3.3.4. Skema Alur Penelitian | 28 |
| 3.3.4.1. Sintesis Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 28 |
| 3.3.4.2. Fabrikasi <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC) | 30 |
| 3.3.5. Pengolahan Data | 31 |
| 3.3.5.1. Perhitungan Nilai Momen Magnetik dengan MSB..... | 31 |
| 3.3.5.2. Perhitungan Efisiensi DSSC | 32 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 33 |
| 4.1. Hasil Sintesis Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 33 |
| 4.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 34 |
| 4.2.1. Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> dengan Spektrofotometer UV-Vis | 34 |
| 4.2.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> dengan FTIR..... | 37 |
| 4.2.3. Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> dengan MSB (<i>Magnetic Susceptibility Balance</i>)..... | 38 |
| 4.2.4. Teori Orbital Molekul Pada Hasil Pembentukan Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 39 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3. Aplikasi Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> pada <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)..... | 42 |
| 4.3.1. Pembuatan Elektroda Kerja | 42 |
| 4.3.2. Pembuatan Elektroda Pembanding | 43 |
| 4.3.3. Pembuatan Larutan Elektrolit PEG..... | 43 |
| 4.3.4. Perakitan Alat DSSC | 44 |
| V. KESIMPULAN DAN SARAN | 46 |
| 5.1. Kesimpulan..... | 46 |
| 5.2. Saran | 47 |
| DAFTAR PUSTAKA | 48 |
| LAMPIRAN..... | 55 |
| Lampiran 1. Sintesis Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> dengan Perbandingan mol 1:3 | 55 |
| Lampiran 2. Sintesis Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 57 |
| Lampiran 3. Referensi Spektrum Spektrofotometer UV- <i>Vis</i> dan FTIR | 60 |
| Lampiran 4. Hasil Uji Spektrofotometer UV- <i>Vis</i> Senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 61 |
| Lampiran 5. Gabungan Spektrum UV- <i>Vis</i> Senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> dengan <i>methyl orange</i> | 63 |
| Lampiran 6. Gabungan Spektrum FTIR Senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> dengan <i>methyl orange</i> | 64 |
| Lampiran 7. Hasil Pengukuran MSB Senyawa Kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 65 |
| Lampiran 8. Efisiensi DSSC | 69 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|--|---------|
| 1. Hasil pengukuran panjang gelombang logam, ligan, dan senyawa kompleks <i>Co(II)-rhodamine B</i> | 11 |
| 2. Hasil pengukuran panjang gelombang logam, ligan, dan senyawa kompleks <i>Fe(II)-methyl orange</i> | 12 |
| 3. Hasil momen magnet logam $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, ligan <i>rhodamine B</i> dan senyawa kompleks <i>Co(II)-rhodamine B</i> | 15 |
| 4. Hasil pengukuran panjang gelombang maksimum senyawa kompleks | 35 |
| 5. Hasil pengukuran bilangan gelombang dari spektrum FTIR senyawa kompleks <i>Co(II)-methyl orange</i> | 38 |
| 6. Hasil pengukuran harga momen magnetik senyawa kompleks <i>Co(II)-methyl orange</i> | 39 |
| 7. Data pengukuran kuat arus (I_{max}), tegangan (V_{max}), dan efisiensi (η)..... | 45 |
| 8. Data sekunder logam Fe(II) dan ligan <i>methyl orange</i> pada penentuan stoikiometri dalam labu ukur 10 mL..... | 55 |
| 9. Hasil pengukuran MSB pada hasil sintesis senyawa kompleks <i>Co(II)-methyl orange</i> | 65 |
| 10. Prediksi spin momen magnetik | 67 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|---|---------|
| 1. Grafik penentuan perbandingan stokiometri senyawa kompleks..... | 7 |
| 2. Konfigurasi elektron kobalt dan kobalt(II) | 8 |
| 3. Struktur <i>methyl orange</i> | 9 |
| 4. Tingkat energi transisi elektron | 11 |
| 5. Spektrum FTIR ligan <i>rhodamin B</i> dan senyawa kompleks Co(II)- <i>rhodamine B</i> | 13 |
| 6. Spektrum FTIR ligan <i>methyl orange</i> dan senyawa kompleks Fe(II)- <i>methyl orange</i> | 14 |
| 7. Pembentukan senyawa kompleks Co(II)- <i>rhodamine B</i> berdasarkan Teori Ikatan Valensi (TIV)..... | 16 |
| 8. Komponen <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)..... | 19 |
| 9. Skema kerja DSSC | 20 |
| 10. Skema alur kerja sintesis senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 29 |
| 11. Skema alur kerja fabrikasi DSSC..... | 30 |
| 12. Hasil sintesis senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 34 |
| 13. Spektrum UV-Vis hasil sintesis senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 35 |
| 14. Spektrum FTIR senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 37 |
| 15. Hibridisasi pada kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 40 |
| 16. Tingkat energi orbital molekul senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 41 |

| | |
|--|----|
| 17. Prediksi struktur senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 42 |
| 18. Elektroda kerja | 43 |
| 19. Elektroda pembanding | 43 |
| 20. Larutan elektrolit PEG | 44 |
| 21. Rangkaian alat DSSC | 44 |
| 22. Proses pengujian DSSC..... | 45 |
| 23. Grafik data sekunder sintesis senyawa kompleks Fe(II) dan ligan <i>methyl orange</i> | 56 |
| 24. Proses sintesis senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 59 |
| 25. Penyaringan dari hasil sintesis senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 59 |
| 26. Penimbangan kristal kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 59 |
| 27. Padatan senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> | 59 |
| 28. Spektrum UV-Vis <i>methyl orange</i> | 60 |
| 29. Spektrum UV-Vis senyawa CoCl ₂ .6H ₂ O | 60 |
| 30. Spektrum senyawa ligan <i>methyl orange</i> | 60 |
| 31. Spektrum UV-Vis senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> 10 ⁻⁴ M..... | 61 |
| 32. Spektrum UV-Vis senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> 10 ⁻⁵ M..... | 62 |
| 33. Gabungan spektrum UV-Vis senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> dengan <i>methyl orange</i> | 63 |
| 34. Gabungan spektrum FTIR senyawa kompleks Co(II)- <i>methyl orange</i> dengan <i>methyl orange</i> | 64 |

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia, hampir setiap aspek kehidupan membutuhkan energi (Gong *et al.*, 2012). Kebutuhan energi akan terus mengalami peningkatan sebagai dampak dari pertumbuhan ekonomi dan penambahan jumlah penduduk dunia. Namun, dalam memenuhi kebutuhan akan energi tersebut, manusia dibatasi oleh ketersediaan sumber daya energi yang jumlahnya sangat terbatas dan pembentukannya melalui proses alam tertentu yang sangat spesifik pada suatu wilayah dan berlangsung dalam periode waktu yang sangat panjang. Selain itu, ketergantungan yang tinggi pada sumber energi fosil (minyak bumi, batu bara dan gas bumi) masih menjadi permasalahan utama karena penggunaan energi fosil dalam jangka panjang dapat meningkatkan efek rumah kaca. Efek rumah kaca disebabkan karena naiknya konsentrasi gas Karbondioksida (CO₂) dan gas-gas lainnya di atmosfer. Kenaikan konsentrasi gas CO₂ terjadi akibat kenaikan pembakaran bahan bakar minyak (BBM), batu bara, dan bahan bakar organik lainnya yang melampaui kemampuan tumbuhan-tumbuhan untuk menyerapnya (Pratama, 2019).

Beberapa negara di dunia kini telah mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dengan bahan bakar terbarukan seperti sinar matahari, energi panas bumi dan bahkan penggunaan air. Berdasarkan sumber energi terbarukan tersebut, sinar matahari yang paling banyak digunakan karena radiasi matahari yang mencapai bumi setiap tahunnya sejumlah 3,8 juta EJ/tahun, yaitu 10.000 kali lebih banyak

dari energi yang dibutuhkan (Gong *et al.*, 2012). Selain itu, ketersediaan energi surya yang lebih tinggi dari konsumsi energi global dapat menjadi sumber energi alami jangka panjang. Secara normal cahaya matahari menyebarkan sinar ultraviolet sebesar 7%, cahaya tampak sebesar 47%, dan inframerah sebesar 46% (Hristov, 2011). Adapun secara umum cahaya matahari memiliki tiga bagian utama pita gelombang cahaya yaitu, ultraviolet (UV) dengan panjang gelombang 100-400 nm, cahaya tampak atau cahaya yang dapat terlihat oleh mata manusia pada panjang gelombang 400-700 nm dan sinar inframerah (IR) dengan panjang gelombang 700 nm-1mm (Lyon, 2012).

Sekretaris Jendral Dewan Energi Nasional (2019) menyatakan, “Potensi Indonesia untuk mengembangkan energi surya mencapai 207,8 GWp, akan tetapi potensi ini baru dimanfaatkan sekitar 0,04%”. Penyebab belum optimalnya pemanfaatan potensi energi surya salah satunya karena belum dapat bersaingnya biaya pembangkit listrik tenaga surya dengan pembangkit listrik dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi ataupun batu bara. Oleh sebab itu, diperlukan alternatif lain yang dapat memanfaatkan potensi energi matahari menjadi energi listrik, namun dengan biaya relatif lebih murah seperti *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

Pada tahun 1991, Professor Michael Gratzel pertama kali mengembangkan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) sebagai pengembangan energi sel surya generasi ketiga yang berfungsi untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik (Ardianto *et al.*, 2015). Beberapa keuntungan yang ditawarkan oleh DSSC diantaranya adalah biaya fabrikasi yang relatif murah, dapat dioperasikan di bawah kondisi penyinaran yang terhambur, penggunaannya relatif sederhana, dan ramah lingkungan. *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) ini terdiri dari lima komponen penyusunnya yaitu, elektroda kerja yang biasanya terdiri dari substrat kaca *Fluorine-doped Tin Oxide* (FTO) yang berfungsi sebagai badan dari sel DSSC, semikonduktor, *dye sensitizer* atau pewarna sebagai penyerap radiasi matahari, larutan elektrolit, dan elektroda pembanding (Yum *et al.*, 2010).

Pada DSSC, absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul pewarna dan separasi muatan dilakukan oleh semikonduktor yang mempunyai *band gap* lebar. Penggunaan semikonduktor dengan *band gap* lebar akan memperbanyak elektron yang mengalir dari pita konduksi ke pita valensi, sehingga membuat ruang reaksi fotokatalis dan absorpsi oleh pewarna menjadi lebih banyak dan spektrum menjadi lebih lebar (Kalyanasundaram, 2010). Salah satu semikonduktor dengan *band gap* lebar yang sering digunakan yaitu titanium dioksida. Titanium dioksida mempunyai selisih *band gap* sebesar 3,2 eV, tidak berbahaya, murah, serta mempunyai karakteristik optik yang baik. Semikonduktor TiO₂ tidak dapat bekerja optimal tanpa bantuan dari pewarna (Nafi dan Susanti, 2013).

Pewarna pada DSSC dapat dibedakan menjadi dua yaitu pewarna alami dan sintetis. Adapun untuk pewarna alami diantaranya seperti buah jeruk, buah buni, dan kulit manggis. Pewarna alami memiliki kelemahan diantaranya stabilitas termal yang kurang stabil, mudah terdegradasi pada suhu tinggi dan langkah sintesis yang rumit. Oleh karena itu, pewarna sintetis lebih dipilih karena memiliki keuntungan diantaranya, efisiensi konversi sel surya secara kimia dan termal lebih stabil, warnanya tidak mudah terdegradasi, memiliki pergerakan elektron lebih tinggi, dan peningkatan efisiensi sampai 30% sedangkan pewarna alami hanya 5% (Li *et al.*, 2013).

Berdasarkan penelitian dan studi literatur sebelumnya, belum terdapat penelitian yang menggunakan pewarna sintetis dengan ion logam Co(II) dan ligan *methyl orange* sehingga dalam penelitian ini pewarna sintetis yang digunakan berupa senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange*. Salah satu logam yang sering digunakan pada sintesis senyawa kompleks adalah kobalt (Rodgers, 2002). Logam kobalt merupakan salah satu logam transisi periode keempat. Logam ini digunakan karena mempunyai beberapa keuntungan diantaranya, energi yang dibutuhkan untuk eksitasi elektron pada orbital *d* dan transfer muatan sangat kecil, mudah untuk berikatan, dan tidak menyebabkan efek radiasi meskipun elektronnya tereksitasi. Beberapa senyawa kompleks Co yang telah di sintesis sebagai *dye* pada DSSC antara lain senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* dengan efisiensi sebesar 0,59% (Weber *et al.*, 2013), Co(II)-*polypyridril* dengan

efisiensi sebesar 7,3% (Bignozzi *et al.*, 2013), dan senyawa kompleks Co(II)-TMPyP dengan efisiensi sebesar 3,96% (Adhitiya, 2017). Pemilihan ligan *methyl orange* didasarkan pada syarat ligan sebagai *sensitizer* diantaranya memiliki ikatan terkonjugasi, mempunyai gugus kromofor, memiliki panjang gelombang maksimum pada daerah antara 400-800 nm sehingga mampu menyerap sinar matahari dan, mudah untuk didapatkan. Di samping itu, *methyl orange* merupakan ligan anionik (Hameed *et al.*, 2009), dimana ligan anionik memiliki efisiensi lebih besar daripada ligan kation (Wu *et al.*, 2016). Salah satu penelitian tentang DSSC yang menggunakan ligan ini yaitu pada penelitian DSSC dengan menggunakan senyawa kompleks Fe(II)-*methyl orange* dengan nilai efesiensinya sebesar 0,24% (Hadi, 2020).

Senyawa kompleks yang telah disintesis ini dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan panjang gelombang senyawa kompleks tersebut lalu dikarakterisasi juga dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) yang digunakan untuk menentukan gugus fungsi dan ikatan pada senyawa kompleks. Selanjutnya karakterisasi dilakukan dengan menggunakan *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB) untuk mengukur momen magnet senyawa kompleks dan sifat kemagnetannya.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Mendapatkan hasil sintesis dari logam Co(II) dengan ligan *methyl orange* berupa senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* menggunakan metode kondensasi refluks dengan perbandingan mol.
- b. Mendapatkan hasil karakterisasi senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* menggunakan spektrofotometer UV-Vis, spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB), dan hasil uji daya hantar listriknya dengan multimeter digital.
- c. Mendapatkan nilai efisiensi dan efektivitas penggunaan senyawa kompleks dalam pengaplikasian DSSC.

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi untuk perkembangan ilmu pengetahuan khususnya pada sintesis senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* untuk dapat digunakan sebagai komponen pewarna atau *sensitizer* pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) yang nantinya mampu mengkonversi cahaya matahari menjadi sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.

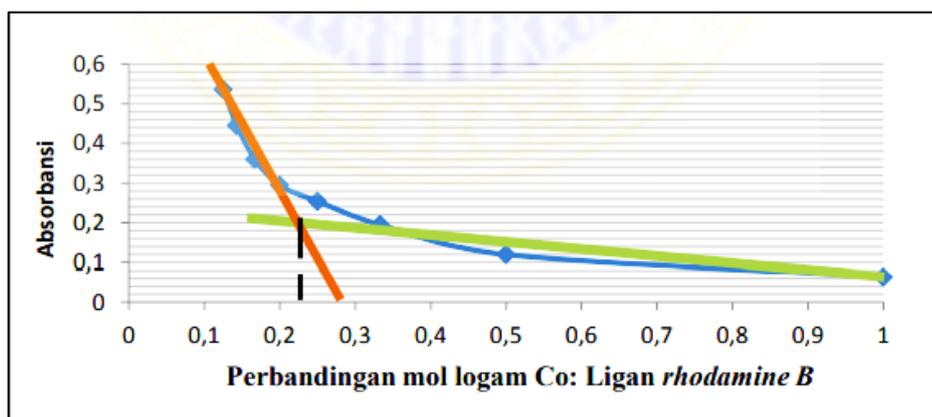
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sintesis Senyawa Kompleks

Senyawa kompleks adalah senyawa yang terbentuk karena adanya ikatan antara ligan dengan ion pusat. Suatu kation atau logam berfungsi sebagai ion pusat sedangkan molekul netral atau ion donor elektron berfungsi sebagai ligan. Pada senyawa kompleks terdapat suatu ikatan yang disebut ikatan kovalen koordinasi, ikatan ini terjadi karena adanya donor pasangan elektron dari ligan ke dalam orbital kosong ion pusat. Pada umumnya, ion pusat yang digunakan memiliki orbital-orbital *d* yang masih belum terisi penuh elektron sehingga dapat berfungsi sebagai akseptor pasangan elektron tersebut. (Hermawati *et al.*, 2016). Sintesis senyawa kompleks dapat dilakukan dengan cara merefluks larutan pada berbagai perbandingan mol logam : mol ligan dalam berbagai pelarut dengan disertai pemanasan tertentu ataupun pencampuran larutan dengan berbagai pelarut tanpa pemanasan (Moon *et al.*, 2006).

Prinsip dari metode kondensasi refluks adalah pelarut volatil yang digunakan akan menguap pada suhu tinggi, namun akan didinginkan 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. Keuntungan dari metode refluks yaitu dapat digunakan untuk mengekstraksi sampel-sampel yang mempunyai tekstur kasar dan tahan pemanasan langsung (Moon *et al.*, 2006). Sintesis kompleks dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain suhu, pelarut, dan bahan tambahan lain. Pelarut yang

digunakan harus pelarut yang sesuai, karena tidak setiap pelarut dapat digunakan untuk sintesis kompleks antara ion logam Co(II) dan *methyl orange*. Pada suatu sintesis senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* yang telah dilakukan ujinya dengan metode perbandingan mol dapat dijadikan acuan dalam menentukan perbandingan mol untuk sintesis kompleks Co(II)-*methyl orange* ini. Pada penelitian tersebut penentuan perbandingan stokiometri diperlukan informasi panjang gelombang maksimum ligan *rhodamine B* untuk mengukur sederet larutan yang telah dibuat. Hasil pengukuran panjang gelombang maksimum ligan *rhodamine B* adalah 554 nm dan digunakan untuk penentuan stokiometri dengan metode perbandingan mol. Berikut ini adalah data yang diperoleh dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 1.

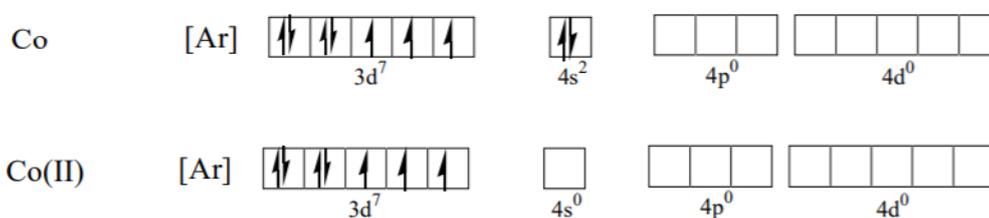


Gambar 1. Grafik penentuan perbandingan stokiometri senyawa kompleks (Sanjaya, 2014)

Berdasarkan grafik diatas, stokiometri senyawa kompleks didapatkan dari perpotongan dua garis yang melewati grafik regresi linear. Titik perpotongan dua garis di sumbu x nilainya 0,26 ~ 0,3. Hal ini menunjukkan perbandingan logam terhadap ligan yaitu 1:3 dan disimpulkan bahwa satu mol logam Co(II) dapat mengikat tiga mol ligan *rhodamin B*. Berdasarkan nilai stokiometri tersebut dapat diprediksi bahwa ligan *rhodamine B* merupakan ligan bidentat yang dapat menyumbangkan dua pasang elektron ke logam Co(II) sehingga dapat terbentuk senyawa kompleks oktahedral (Sanjaya, 2014).

2.1.1. Ion Logam Co(II)

Logam transisi memiliki sifat-sifat khas logam, yakni keras, sebagai konduktor panas dan penghantar listrik yang baik serta menguap pada suhu tinggi. Ion logam transisi mempunyai orbital d atau f yang belum terisi penuh elektron sedangkan ligannya memiliki pasangan elektron yang tidak berikatan (*lone pair* elektron). Kobalt adalah salah satu unsur logam transisi dengan konfigurasi $[\text{Ar}]d^7$ yang mempunyai tingkat oksidasi +2 dan +3, namun tingkat oksidasi +2 relatif lebih stabil. Kobalt dalam tabel periodik unsur terletak pada golongan VIII B dan pada periode keempat, unsur ini berwarna abu-abu seperti baja dan bersifat sedikit magnetis, titik leburnya sekitar 1490°C , dengan nomor atom 27 dan massa atom sebesar $58,9332 \text{ g/mol}$ (Cotton and Wilkinson, 1988). Konfigurasi elektron kobalt adalah $[\text{Ar}] 3d^7 4s^2$, sedangkan konfigurasi elektron kobalt(II) adalah $[\text{Ar}] 3d^7 4s^0$ seperti disajikan pada Gambar 2.

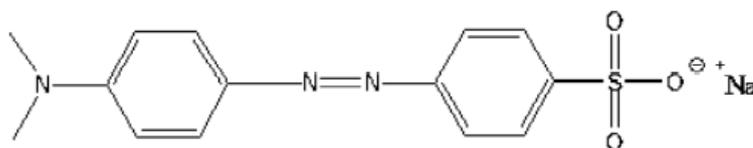


Gambar 2. Konfigurasi elektron kobalt dan kobalt(II) (Cotton and Wilkinson, 1988)

Logam kobalt dipilih dalam sintesis senyawa kompleks untuk pembuatan *dye* dikarenakan logam kobalt mempunyai bilangan kuantum tinggi untuk menghasilkan sensitisasi, transfer muatan dan eksitasi pada orbital d memerlukan energi yang sangat kecil sehingga lebih mudah berikatan dengan suatu ligan, dan tidak menyebabkan radiasi meskipun terjadi eksitasi elektron (Weber *et al.*, 2013).

2.1.2. Ligan *Metyhl orange*

Ligan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *metyhl orange*, ligan ini memiliki rumus molekul $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$. *Metyhl orange* digunakan dengan alasan karena memiliki panjang gelombang maksimum pada daerah antara 400-800 nm sehingga mampu menyerap sinar matahari, memiliki ikatan terkonjugasi, dan mempunyai gugus kromofor. Struktur dari *metyhl orange* diperlihatkan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur *metyhl orange* (Hadi, 2020).

Dari gambar struktur tersebut dapat diketahui bahwa *metyhl orange* memiliki gugus sulfonat yang berguna dalam pengikatan permukaan pada semikonduktor serta menyebabkan *metyhl orange* dapat larut dalam pelarut polar.

2.2. Karakteristik Senyawa Kompleks

Senyawa kompleks hasil sintesis nantinya akan di karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, *Fourier Transform Infrared (FTIR)*, *Magnetic Susceptibility Balance (MSB)*, pengujian daya hantar listrik dan pengukuran arus serta voltase untuk menentukan efisiensinya.

2.2.1. Spektrofotometer UV-Vis

Spektrofotometer UV-Vis alat yang paling sering digunakan untuk mengukur absorbansi suatu sampel pada panjang gelombang tertentu, pada penelitian ini alat spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menentukan panjang gelombang maksimum pada senyawa kompleks yang terbentuk. Alat ini dapat menyerap sinar ultraviolet dengan rentang panjang gelombang 200-400 nm dan sinar tampak

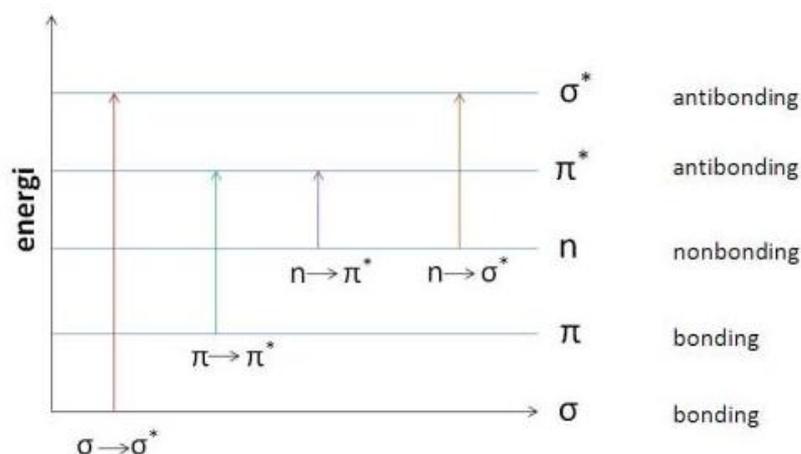
(*visible*) dengan rentang panjang gelombang 400-800 nm (Adeeyinwo *et al.*, 2013). Spektrofotometer UV-*Vis* dapat menganalisis dalam bentuk kualitatif dan kuantitatif, pada analisis kualitatif dapat dilihat panjang gelombang yang terbentuk sedangkan pada analisis kuantitatif dapat menghitung kuantitas molekul dengan menggunakan hukum *Lambert-Beer*. Selain itu, untuk mendapatkan spektrum UV-*Vis* yang baik perlu diperhatikan pula konsentrasi sampel. Hubungan antara konsentrasi dan absorbansi akan linier apabila nilai absorbansi larutan antara $0,2 \leq A < 0,8$ atau sering disebut sebagai daerah berlakunya hukum *Lambert-Beer* (Suhartati, 2017). Hukum *Lambert-Beer* adalah ketika seberkas cahaya melewati larutan berwarna sebagai penyerap cahaya, intensitas cahaya akan berkurang secara sistematis (Behera *et al.*, 2012). Hukum *Lambert-Beer* dinyatakan sebagai berikut.

$$A = \varepsilon \times b \times c$$

Keterangan :

- A = Absorbansi
- ε = Serapan molar
- b* = Tebal kuvet (cm)
- c* = Konsentrasi (M)

Interaksi sinar ultraviolet atau sinar tampak dengan sampel pada penggunaan spektrofotometer UV-*Vis* menghasilkan transisi elektronik dari elektron-elektron ikatan. Penyerapan sinar UV-*Vis* dibatasi pada sejumlah gugus fungsional atau gugus kromofor yang mengandung elektron valensi dengan tingkat eksitasi rendah. Jenis elektron yang terlibat yaitu, sigma, phi, dan elektron bebas. Menurut teori orbital molekul ketika molekul tereksitasi oleh energi yang terserap sinar UV-*Vis* maka elektron akan mengalami promosi dari orbital *bonding* ke *antibonding*. Jenis transisi elektroniknya adalah transisi $\sigma \rightarrow \sigma^*$, transisi $n \rightarrow \sigma^*$, transisi $n \rightarrow \pi^*$, dan transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tingkat energi transisi elektron (Suhartati, 2017)

Pada suatu penelitian sintesis senyawa kompleks untuk aplikasi DSSC yang telah dianalisis dengan karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis ini salah satu analisisnya yaitu pada senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* untuk didapatkan panjang gelombang logam, ligan dan senyawa kompleksnya. Hasil analisis pada penelitian tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran panjang gelombang logam, ligan, dan senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* (Sanjaya, 2014)

| Senyawa | λ_{\max} (nm) |
|---|-----------------------|
| Logam CoCl ₂ .6H ₂ O | 511,5 nm |
| Ligan <i>rhodamine B</i> | 554 nm |
| Senyawa kompleks Co(II)- <i>rhodamine B</i> | 224 nm |

Pada penelitian ini, spektrum panjang gelombang maksimum pada ligan *rhodamine B* dan senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* adalah sebesar 224 nm dan 554 nm (Sanjaya, 2014). Pada penelitian lainnya yang telah dilakukan yaitu pada senyawa kompleks Fe(II)-*methyl orange* dengan hasil pengukuran panjang gelombang maksimum ligan dan senyawa kompleksnya seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran panjang gelombang logam, ligan, dan senyawa kompleks *Fe(II)-methyl orange* (Hadi, 2020)

| Senyawa | λ_1 (nm) | λ_2 (nm) |
|------------------------------|------------------|------------------|
| Fe(II)- <i>methyl orange</i> | 262 nm | 420,50 nm |
| <i>methyl orange</i> | 278 nm | 464 nm |
| Logam Fe(II) | 222,50 nm | |

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari tabel di atas dapat dikatakan bahwa telah terbentuk senyawa baru, ditinjau dari pergeseran antara panjang gelombang ligan dengan senyawa kompleks. Pada ligan terjadi pergeseran panjang gelombang yang semula 464 nm bergeser ke panjang gelombang 420 nm dan panjang gelombang yang semula 278 nm bergeser ke 262 nm. Pada senyawa kompleks *Fe(II)-methyl orange* menunjukkan dua serapan panjang gelombang maksimum yaitu, satu pada daerah ultraviolet sebesar 262 nm dan yang lain pada daerah *visible* sebesar 420,50 nm (Hadi, 2020).

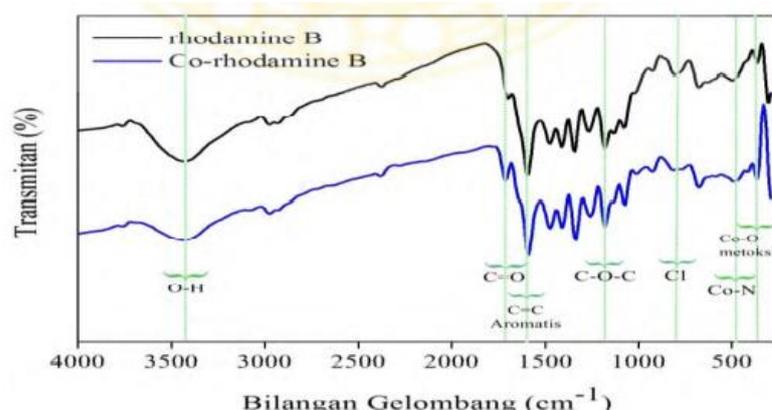
Panjang gelombang maksimum suatu senyawa kompleks dipengaruhi oleh transisi d-d dan *Charge Transfer*. Pengaruh transisi d-d menyebabkan panjang gelombang maksimum senyawa kompleks muncul pada daerah *visible* sedangkan pengaruh *Change Transfer* menyebabkan panjang gelombang maksimum senyawa kompleks berada pada daerah UV. Pada senyawa kompleks *Fe(II)-methyl orange* yang diamati ini mengalami *Change Transfer* yaitu *Metal to Ligan Charge Transfer* (MLCT) dikarenakan logam Fe memiliki bilangan oksidasi rendah. Logam pada tingkat oksidasi rendah atau nol maka akan memiliki densitas elektron yang lebih besar sehingga kemampuan untuk proses MLCT akan meningkat (Vogler dan Horst, 2000). Transisi d-d pada senyawa kompleks terkadang transisinya sulit diamati karena kebanyakan ligan memberikan serapan warna yang tinggi sehingga seringkali terjadi *overlapping* pada pita absorpsi bagian spektrum ultraviolet maupun spektrum *visible* (Miessler *et al.*, 2014). Panjang gelombang maksimum senyawa kompleks *Fe(II)-methyl orange* pada daerah *visible* 420,50 nm muncul karena adanya transisi d-d dan Panjang gelombang maksimum senyawa kompleks *Fe(II)-methyl orange* pada daerah UV

262 nm yang menunjukkan bahwa senyawa kompleks tersebut juga mengalami *Charge Transfer* (Hadi, 2020).

2.2.2. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Karakteristik FTIR dapat digunakan untuk mengetahui gugus fungsi suatu senyawa dan ikatan antara ion logam dan ligan pada senyawa kompleks yang terbentuk. Prinsip kerja dari FTIR yaitu pada saat sinar inframerah menyinari senyawa yang memiliki momen dipol maka frekuensi akan diserap dan persen untuk transmittan sebanding dengan banyaknya frekuensi yang terserap (Baravkar dan Kale, 2011).

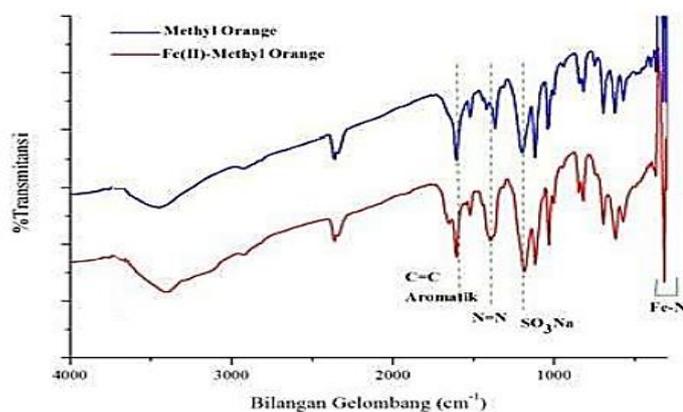
Pada suatu penelitian sintesis senyawa kompleks untuk aplikasi DSSC yang telah dianalisis dengan karakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan ikatan antara logam dengan ligan yaitu diantaranya dilakukan pada senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* (Sanjaya, 2014) dan senyawa kompleks Fe(II)-*methyl orange* (Hadi, 2020). Penentuan ikatan yang terjadi dalam senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* dan senyawa kompleks Fe(II)-*methyl orange* ditunjukkan dari *peak* yang berbeda pada ligan dengan senyawa kompleksnya. Pada karakterisasi untuk penelitian senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* ditunjukkan pada (Gambar 5) yang menunjukkan spektrum FTIR penggabungan ligan *rhodamine B* dan senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* sebagai berikut.



Gambar 5. Spektrum FTIR ligan *rhodamin B* dan senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* (Sanjaya, 2014)

Pada spektra yang dihasilkan tersebut maka gugus fungsi dan ikatan pada ligan *rhodamine B* dengan senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* dapat diketahui dan dibedakan. Pada spektra senyawa kompleks terdapat pita serapan spesifik yang menunjukkan adanya ikatan koordinasi antara ion logam Co(II) dengan ligan *rhodamine B*. Pita absorpsi pada bilangan gelombang $478,35\text{ cm}^{-1}$ diindikasikan sebagai ikatan koordinasi vibrasi Co-N pada senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* dan secara teori ikatan tersebut terletak pada rentang $500=400\text{ cm}^{-1}$. Pita serapan pada bilangan gelombang $354,90\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan antara logam Co-O metoksi, sedangkan secara teori terletak pada bilangan gelombang $300-600\text{ cm}^{-1}$ (Nakamoto, 2009).

Pada senyawa Fe(II)-*methyl orange* yang telah dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR ditunjukkan hasil spektrumnya pada (Gambar 6) yang menunjukkan spektrum penggabungan ligan *methyl orange* dan senyawa kompleks Fe(II)-*methyl orange* sebagai berikut.



Gambar 6. Spektrum FTIR ligan *methyl orange* dan senyawa kompleks Fe(II)-*methyl orange* (Hadi, 2020)

Pada spektra yang dihasilkan tersebut maka gugus fungsi dan ikatan pada ligan *methyl orange* dengan senyawa kompleks Fe(II)-*methyl orange* dapat diketahui dan dibedakan. Pada spektra senyawa kompleks terdapat pita serapan spesifik yang menunjukkan adanya ikatan koordinasi antara ion logam Fe(II) dengan ligan *methyl orange*. Berdasarkan analisa, spektrum di atas menunjukkan terbentuknya

ikatan Fe-N pada bilangan gelombang $316,33 \text{ cm}^{-1}$ serta adanya pergeseran pada bilangan gelombang ikatan N=N yaitu dari semula $1365,60 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $1396,8 \text{ cm}^{-1}$. Adanya pergeseran bilangan gelombang ikatan N=N dan terbentuknya ikatan Fe-N tersebut menandakan bahwa senyawa kompleks yang di sintesis telah terbentuk (Hadi, 2020).

2.2.3. *Magnetic Susceptibility Balance (MSB)*

Karakteristik MSB digunakan untuk menentukan nilai momen magnet yang akan menentukan sifat kemagnetan dan jumlah elektron yang tidak berpasangan pada suatu ion logam dalam senyawanya. Senyawa kompleks memiliki sifat paramagnetik atau sifat magnetnya sangat kuat dipengaruhi oleh sejumlah elektron bebas yang tidak berpasangan sangatlah banyak. Apabila semakin sedikit elektron bebas yang tidak berpasangan maka sifat kemagnetannya semakin lemah dan semakin banyak elektron bebas yang tidak berpasangan maka sifat kemagnetannya semakin kuat (Miessler *et al.*, 2014).

Pada penelitian yang telah dilakukan (Sanjaya, 2014), dalam menganalisis senyawa kompleks Co(II)-*rhodamine B* dengan menggunakan MSB telah didapatkan nilai momen magnetnya untuk mengetahui sifat kemagnetan dari senyawa kompleks tersebut yang secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil momen magnet logam $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, ligan *rhodamine B* dan senyawa kompleks *Co(II)-rhodamine B* (Sanjaya, 2014)

| Senyawa | Kemagnetan (BM) |
|---|-----------------------|
| logam $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ | 3,54 |
| Ligan <i>rhodamine B</i> | Tidak bersifat magnet |
| Senyawa kompleks <i>Co(II)-rhodamine B</i> | 3,86 |

Berdasarkan tabel di atas, logam $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ memiliki momen magnet sebesar 3,54 *Bohr Magneton* (BM), namun ligan *rhodamine B* tidak memiliki sifat kemagnetan karena faktor koreksi diamagnetiknya besar sehingga ligan *rhodamine B* dikategorikan sebagai senyawa yang bersifat diamagnetik. Sifat *rhodamine B* yang diamagnetik akan mempengaruhi nilai kemagnetan senyawa

apabila nilai daya hantar listriknya mendekati daya hantar listrik pada larutan standar maka bersifat netral (Illiya dan Martak, 2010).

Pada DSSC dapat mengetahui nilai dari efisiensi kerja DSSC dan daya maksimum (P_{max}) dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 sebagai berikut.

$$\% \eta = \frac{P_{max}}{P_{in} \times Ac} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

V_{max} = Tegangan maksimum (V)

I_{max} = Arus maksimum (A)

P_{max} = Rangkaian terbuka (Watt)

P_{in} = Intensitas global cahaya matahari pada kondisi Air Mass tertentu (W/m^2)

Ac = Luas area aktif DSSC (cm^2)

$\% \eta$ = Efisiensi DSSC

(Damayanti *et al.*, 2014).

2.3. Aplikasi Senyawa Kompleks

Aplikasi kimia koordinasi atau senyawa kompleks sangat luas meliputi kehidupan rumah tangga, industri dan kesehatan. Salah satu aplikasi sintesis senyawa kompleks adalah sebagai berikut.

2.3.1. Sintesis Senyawa Kompleks sebagai Katalis

Secara umum katalis merupakan suatu senyawa yang bila dimasukkan dalam reaksi kimia dapat meningkatkan laju reaksi dan dapat mengurangi energi aktivasinya (Santoso, 2016). Selain itu, katalis dapat mempercepat laju reaksi kimia tanpa mengalami suatu perubahan. Katalis memiliki peranan pada suatu reaksi kimia tetapi bukan sebagai pereaksi. Katalis ada 2 macam yaitu, katalis

homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen banyak dimanfaatkan dalam industri kimia karena katalis heterogen mempunyai potensi dapat digunakan kembali dan pemisahannya mudah dilakukan dari produk sisa reaktan (Darwis, 2012). Katalis heterogen dalam bentuk padat banyak digunakan pada bidang industri untuk reaksi fase gas yang biasanya berlangsung dengan temperatur yang tinggi. Oleh karena itu, logam-logam transisi dapat digunakan karena mempunyai titik leleh yang tinggi dan kuat sehingga dapat memenuhi persyaratan sebagai katalis.

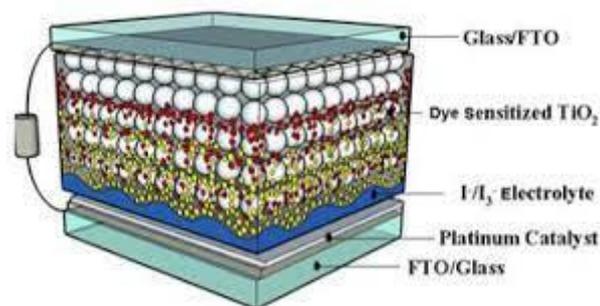
Salah satu logam yang dapat digunakan untuk sintesis senyawa kompleks sebagai katalis yaitu kobalt. Kobalt merupakan logam transisi yang bersifat kuat, keras, dan dapat menghantarkan panas. Sebagaimana yang telah dilakukan Cahiez *et al.*, (2008) bahwa kobalt dimanfaatkan sebagai katalis dalam berbagai reaksi seperti reaksi halida organik *cross-coupling*. Aplikasi katalis lainnya dengan menggunakan senyawa kompleks bis-asetilasetonatokobalt(II) digunakan sebagai katalis yang sangat bermanfaat untuk reaksi-reaksi organik seperti pada reaksi asilasi *Friedel Craft*, reaksi haloalkana dengan organologam dan reaksi radikal untuk mengontrol polimerisasi. Menurut Ghanbari *et al.*, (2009) kobalt juga bisa dimanfaatkan sebagai inhibitor korosi.

2.3.2. Sintesis Senyawa Kompleks sebagai Indikator

Menggunakan inhibitor adalah metode yang efektif untuk mengurangi kerusakan korosi logam. Salah satu mekanisme penghambatannya adalah adsorpsi inhibitor pada permukaan logam untuk mencegah reaksi katodik dan anodik. Pada suatu proses adsorpsi misalnya dengan menggunakan sintesis senyawa kompleks asetilasetonatokobalt(II) sebagai inhibitor terjadilah pemblokiran area anodik dari permukaan baja ringan yang mengakibatkan penurunan laju reaksi elektrokimia. Penurunan laju reaksi ini dapat memicu pembentukan film pelindung korosi pada permukaan logam oleh inhibitor. Salah satunya penelitian yang telah dilakukan oleh (Ghanbari *et al.*, 2009) mengenai kompleks asetilaseton dengan berbagai ion logam seperti kobalt, tembaga dan mangan yang menunjukkan bahwa sintesis senyawa tersebut dapat digunakan sebagai inhibitor katodik.

2.3.3. Aplikasi Sebagai *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

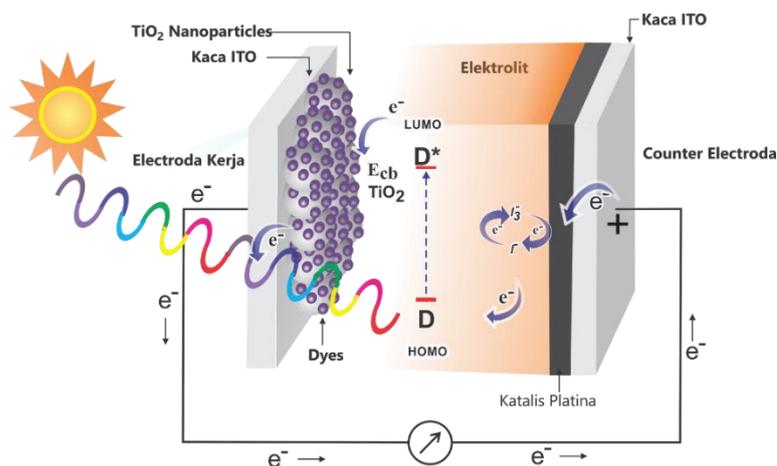
Pengembangan sel surya generasi pertama yaitu sel surya berbasis silikon, namun dalam prosesnya sel surya berbasis silikon ini rumit dan biaya yang dibutuhkan juga besar. Oleh karena itu, dikembangkan sel surya generasi kedua yaitu sel surya lapis tipis hingga sel surya generasi ketiga yaitu *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) (Ekasari dan Yudoyono, 2013). *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan sebuah pengembangan dari sel surya sebagai energi alternatif dengan mengubah energi matahari menjadi energi listrik (Kalyanasundaram, 2010). Keuntungan dari sel surya generasi ketiga ini diantaranya yaitu, biaya pembuatannya yang murah, toksisitasnya rendah, produksinya mudah untuk ditingkatkan, dan dapat menyerap cahaya lebih banyak (Park *et al.*, 2013). *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) menggunakan komponen utama yaitu kaca FTO, larutan elektrolit, elektroda pembeding, dan pewarna (*dye*). Komponen *Dye Sensitized Solar Cell* ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8. Komponen *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) (Hariyanto *et al.*, 2020)

Semikonduktor merupakan material yang dicirikan dengan terisinya pita valensi dan kosongnya pita konduksi. Jenis semikonduktor yang paling banyak digunakan sebagai akseptor elektron yang ditransfer dari pewarna adalah semikonduktor titanium dioksida (TiO_2). Hal ini dikarenakan titanium dioksida (TiO_2) memiliki stabilitas terhadap suhu yang tinggi, memiliki celah pita yang dapat menyerap cahaya tampak dan tidak beracun (Kushwaha *et al.*, 2013). Semikonduktor TiO_2 dalam bentuk lapis tipis bertujuan untuk mengurangi efek penumpukan elektron

yang akan menurunkan efisiensi aktivasi pewarna (*dye*) (Giribabu *et al.*, 2012). Kaca semikonduktor berfungsi sebagai pendukung struktur sel dan membawa elektron dari semikonduktor TiO₂. Pewarna (*dye*) berfungsi sebagai penangkap foton dari sinar matahari dan menghantarkan pada semikonduktor TiO₂. Larutan elektrolit berfungsi sebagai mediator redoks sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel.



Gambar 9. Skema kerja DSSC (Hariyanto *et al.*, 2020)

Prinsip kerja DSSC ditampilkan pada (Gambar 9) dan dapat dilihat bahwa prinsip kerja DSSC merupakan suatu siklus transfer elektron oleh komponen-komponen DSSC (Kumara dan Gontjang, 2012) sehingga mengakibatkan timbulnya energi listrik. Cara kerja DSSC dimulai pada saat cahaya matahari yang mengandung energi foton berbeda-beda mengenai sel DSSC maka energi foton tersebut akan diserap oleh partikel *dye* yang melekat pada permukaan partikel TiO₂. Hal ini akan menyebabkan elektron valensi dari *dye* mendapatkan energi untuk dapat tereksitasi dari keadaan *ground state* (*S*) ke keadaan *excited state* (*S**).

Elektron yang tereksitasi kemudian akan diinjeksikan ke pita konduksi TiO₂ yang bertindak sebagai akseptor elektron. Molekul *dye* yang ditinggalkan kemudian dalam keadaan teroksidasi (*D*⁺). Elektron foton yang diinjeksikan akan bergerak sepanjang bagian atas dari elektroda kerja berupa lapisan konduktif transparan FTO (*Fluorine-Doped Tin Oxide*). Selanjutnya, elektron akan ditransfer melewati rangkaian luar menuju elektroda pembanding (elektroda karbon). Elektrolit redoks biasanya berupa pasangan iodida dan tri-iodida (*I*/*I*₃) yang bertindak sebagai

mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Triiodida dari elektrolit yang terbentuk akan menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon. Elektron yang tereksitasi masuk kembali ke dalam sel dan bereaksi dengan elektrolit menuju *dye* teroksidasi. Elektrolit menyediakan pengganti untuk molekul *dye* teroksidasi, sehingga elektron pada *dye* kembali ke keadaan awal (Hardeli *et al.*, 2013).

Dye merupakan bagian terpenting dari DSSC yang memiliki fungsi untuk menyerap sinar cahaya kemudian mengkonversinya menjadi listrik (Susanti, 2014). Salah satu penggunaan untuk *dye* yaitu dengan sintesis senyawa kompleks, sehingga dapat dikatakan bahwa sintesis senyawa kompleks dapat diaplikasikan dalam DSSC.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan pada bulan Maret sampai bulan Agustus 2022 di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Metode yang dilakukan untuk sintesis senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* yaitu menggunakan metode kondensasi refluks dengan perbandingan mol 1:3. Hasil sintesis senyawa kompleks di karakterisasi menggunakan beberapa alat diantaranya, Spektrofotometer UV-Vis *Agilent Cary 100* dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) *Agilent Cary 660* dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik FMIPA Institut Teknologi Bandung, dan *Magnetic Susceptibility Balance* (MSB) *Sherwood scientific Cambridge UK* dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik UIN Bandung. Aplikasi senyawa kompleks ini yaitu di uji kuat arus dan tegangannya pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan menggunakan multimeter digital *Zotek ZT109*.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat Penelitian

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kaca arloji, pipet volume 2 mL, erlenmeyer, gelas kimia 50 mL, gelas ukur 25 mL, labu ukur 10 mL, pipet tetes *merk Iwaki* dan *Pyrex*, corong gelas, satu set peralatan refluks

(*boiling* 50 mL *Pyrex flatt*, kondensor, statif, *clamp holder* dan *boshed 2 pcs*), termometer 100°C, batang pengaduk, desikator, spatula, mortar dan alu, *furnace*, neraca analitik, *magnetic stirrer*, *hot plate*, pH meter, klip penjepit, dan multimeter digital Zotek ZT109. Alat karakterisasi yang digunakan pada penelitian ini adalah spektrofotometer UV-Vis *Agilent Cary 100*, spektrofotometer FTIR *Agilent Cary 660*, dan MSB *Sherwood scientific Cambridge UK*.

3.2.2. Bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kobalt(II)klorida heksahidrat ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), *methyl orange* ($\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$), bubuk Titanium dioksida (TiO_2), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), 2 substrat kaca ITO A dan ITO B, larutan I_2 dalam KI, polietilena (PEG), asetonitril, solasi merk *Scotch 3M*, kertas tisu, kertas saring *whattman 42*, lilin, korek api, dan aluminium foil.

3.3. Metode Penelitian

3.3.1. Sintesis Senyawa Kompleks

Sintesis senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah dilakukan (Illiya dan Martak, 2010). Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, digunakan perbandingan mol antara ion logam Co(II) dengan ligan *rhodamin B* dan ion logam Fe(II) dengan ligan *methyl orange* yaitu perbandingan 1 : 3. Perbandingan mol tersebut menjadi dasar proses sintesis senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange*.

Sintesis senyawa kompleks dari ion logam Co(II) dengan ligan *methyl orange* dilakukan dengan mencampurkan sebanyak 0,238 gram (1 mmol) $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan ke dalam 3 mL etanol dalam erlenmeyer dengan 0,981 gram (3 mmol) *methyl orange* yang dilarutkan juga ke dalam 12 mL etanol sedikit demi sedikit sampai larut (tepat jenuh) dalam gelas kimia 50 mL. Kedua larutan direaksikan bersama dengan cara masing-masing larutan diaduk menggunakan

spatula lalu dicampur secara perlahan-lahan. Selanjutnya, larutan campuran tersebut diaduk hingga homogen menggunakan *magnetic stirrer* sambil direfluks selama 2 jam pada suhu sekitar 78°C menggunakan *hot plate*. Kemudian hasil refluks dibiarkan pada suhu ruang dan ditutup dengan aluminium foil agar tidak terkontaminasi. Setelah didiamkan akan terbentuk endapan lalu disaring menggunakan kertas saring *whattman 42*. Setelah itu, kristal yang diperoleh dimasukkan ke dalam desikator hingga kering pada suhu ruang dan kristal ditimbang sampai diperoleh berat konstan. Kristal dari senyawa kompleks yang terbentuk selanjutnya dikarakterisasi.

3.3.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)-*methyl orange*

Karakterisasi senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* akan dilakukan dengan beberapa cara sebagai berikut.

3.3.2.1. Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)-*methyl orange* dengan Spektrofotometer UV-Vis

Karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk mendapatkan panjang gelombang maksimum kompleks Co(II)-*methyl orange* dengan pengukuran panjang gelombang antara 200-800 nm. Hal yang harus dilakukan yaitu larutan standar dari kompleks Co(II)-*methyl orange* disiapkan lalu dimasukkan ke dalam kuvet. Kemudian, larutan blanko etanol disiapkan untuk diisi pada kuvet yang lain dan selanjutnya dilakukan pengukuran pada panjang gelombang 200-800 nm untuk kompleks Co(II)-*methyl orange* lalu dilakukan pengukuran untuk larutan blanko. Setelah itu, kurva hubungan antara absorbansi berbanding dengan konsentrasi dibuat dan ditentukan panjang gelombang maksimumnya dari senyawa kompleks Co(II)- *methyl orange*.

3.3.2.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks Co(II)-*methyl orange* dengan FTIR

Karakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR pada senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* dilakukan untuk dapat mengidentifikasi gugus-gugus

fungsional yang ada pada senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* sehingga dapat mengetahui gugus yang dapat menyebabkan terjadinya ikatan tersebut. Pada penelitian, karakterisasi sampel padat dari senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* dengan spektrofotometer FTIR diukur serapan inframerahnya pada bilangan gelombang 4000-300 cm^{-1} .

3.3.2.3. Karakterisasi senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* dengan MSB

Pengukuran momen magnet kompleks Co(II)-*methyl orange* pada suhu ruang dilakukan dengan menggunakan MSB. Alat MSB ditempatkan di atas permukaan yang datar kemudian ditimbang tabung MSB kosong (M_0) dalam satuan gram. Tabung tersebut dimasukkan ke dalam alat MSB dan diukur pembacaan tabung MSB kosong (R_0), kemudian tabung MSB diisi dengan sampel dan ditimbang kembali massanya (M_1) dalam satuan gram. Ketinggian sampel (L) dalam tabung diukur dan dicatat. Tabung berisi sampel (R_1) dimasukkan ke dalam alat MSB dan harga pembacaannya dicatat. Temperatur pada saat pengukuran dicatat dan dikonversi ke dalam satuan Kelvin.

Adapun untuk penggunaannya dengan ditekan terlebih dahulu tombol on pada alat MSB 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. Kemudian padatan sampel senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* dimasukkan ke dalam tabung Gouy dengan ketinggian 1,5-2 cm. Tabung Gouy yang telah diisi sampel kompleks Co(II)-*methyl orange* dimasukkan ke dalam alat MSB untuk diukur momen magnetik (R) dan dicatat tinggi sampel kompleks Co(II)-*methyl orange*. Setelah diperoleh hasil pengukuran, tabung berisi sampel kompleks Co(II)-*methyl orange* ditimbang dengan neraca analitik dan dimasukkan data berat sampel yang ada dalam tabung Gouy.

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

3.3.3.1. Pembuatan Larutan Sol Gel TiO₂ dari Prekursor TTIP

Pasta TiO₂ dibuat dari 0,5 gram bubuk TiO₂ kemudian digerus, diayak dan dimasukkan ke dalam gelas kimia. Selanjutnya, bubuk TiO₂ dilarutkan dalam 2 mL etanol dan diaduk atau dapat distirer selama 15 menit. Pasta TiO₂ yang telah terbentuk dicampurkan dengan 0,25 gram senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* lalu distirer selama 15 menit hingga zat warna merata dan menghasilkan pasta TiO₂ yang optimal. Setelah itu, campuran pasta TiO₂ dan senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* disimpan dalam botol tertutup untuk digunakan sebagai lapisan pada kaca semikonduktor (Madnasri *et al.*, 2019; Umami, 2019).

3.3.3.2. Pelapisan TiO₂ pada Substrat Kaca Berkonduksi

Kaca Indium Tin Oxide (ITO A) sepanjang 2x2 cm dengan ketebalan 1 mm direndam dalam etanol selama 24 jam sebelum dilapisi pasta TiO₂. Selanjutnya kaca ITO A ditimbang dan tepi substrat sepanjang 0,5 cm dan 0,5 cm dari tepi diberi isolasi merk *Scotch 3M* untuk mengontrol ketebalan lapisan. Pasta TiO₂ dilapiskan pada tepi substrat, kemudian diratakan dengan batang pengaduk setelah itu dilakukan pemanasan dalam furnace pada suhu 200°C selama 10 menit (Madnasri *et al.*, 2019).

3.3.3.3. Pembuatan Elektrolit Gel Polimer

Preparasi elektrolit semipadat (elektrolit gel polimer) mengacu kepada (Pancaningtyas dan Akhlus, 2010). Preparasi elektrolit dilakukan pada konsentrasi polietilena glikol (PEG) 0,1 M. Larutan PEG tersebut didapatkan dari pencampuran larutan antara KI 0,5 M dan I₂ 0,05 M. Larutan PEG disiapkan dengan cara mengambil sebanyak 0,498 gram KI yang dilarutkan ke dalam 6 mL asetonitril dalam gelas kimia. Pada gelas kimia lain, dimasukkan sebanyak 0,076 gram I₂ dan 6 mL asetonitril, lalu diaduk hingga homogen. Kemudian, larutan pada kedua gelas tersebut dicampurkan dan diaduk hingga homogen. Sebanyak 2,4 gram PEG dimasukkan dalam larutan elektrolit yang telah dibuat dan diaduk

hingga homogen. Penggunaan PEG akan membuat elektrolit tidak mudah menguap dan lebih stabil saat digunakan pada DSSC.

3.3.3.4. Pembuatan Elektroda Pembanding

Pembuatan elektroda pembanding mengacu kepada (Umami, 2019). Pembuatan elektroda pembanding dilakukan pada sisi konduktif kaca ITO B dengan jelaga api lilin. Kaca ITO B 2x2 cm dicuci menggunakan etanol selama 24 jam, lalu dikeringkan. Kaca tersebut kemudian di uji menggunakan multimeter digital Zotek ZT109 untuk mengetahui sisi konduktifnya. Sisi konduktif kaca ITO B ditutup dengan *scotch tape* 3M pada bagian pinggirnya hingga menyisakan ukuran 1x1 cm. Kemudian dibakar menggunakan pembakar bunsen sebagai sumber jelaga api ke kaca ITO pada bagian konduktifnya sampai terbentuk lapisan karbon.

3.3.3.5. Perakitan Alat DSSC

Langkah pertama perakitan sel surya dimulai dengan mempersiapkan satu pasang kaca ITO (ITO A dan ITO B) yang telah dibersihkan. Pada kaca ITO A yang berukuran 2x2 cm dibentuk area tempat campuran TiO_2 dengan kompleks $\text{Co(II)-methyl orange}$ dengan bantuan selotip pada bagian kaca yang konduktif sehingga terbentuk area sebesar 1x1 cm. Pasta campuran TiO_2 dengan kompleks $\text{Co(II)-methyl orange}$ dilapiskan di atas area yang telah dibuat pada kaca konduktif dengan bantuan batang pengaduk untuk meratakan pasta. Kemudian lapisan dikeringkan selama 10 menit dan di furnace pada suhu sekitar 200°C selama 10 menit. Larutan elektrolit gel polimer 0,1 M kemudian ditetaskan di atas permukaan kaca yang terdapat campuran pasta TiO_2 dengan senyawa kompleks $\text{Co(II)-methyl orange}$, bagian ini sebagai *photoanode*. Selanjutnya, kaca di *sandwich* dengan elektroda pembanding (kaca ITO B) atau disebut juga *counter electrode* yang dilapisi dengan karbon dari pembakaran dengan jelaga api lilin. Kaca lalu di jepit dengan klip penjepit agar tidak bergerak. Rangkaian DSSC siap diuji tegangan dan kuat arus menggunakan multimeter digital Zotek ZT109 dengan sumber cahaya yang digunakan langsung berasal dari cahaya matahari.

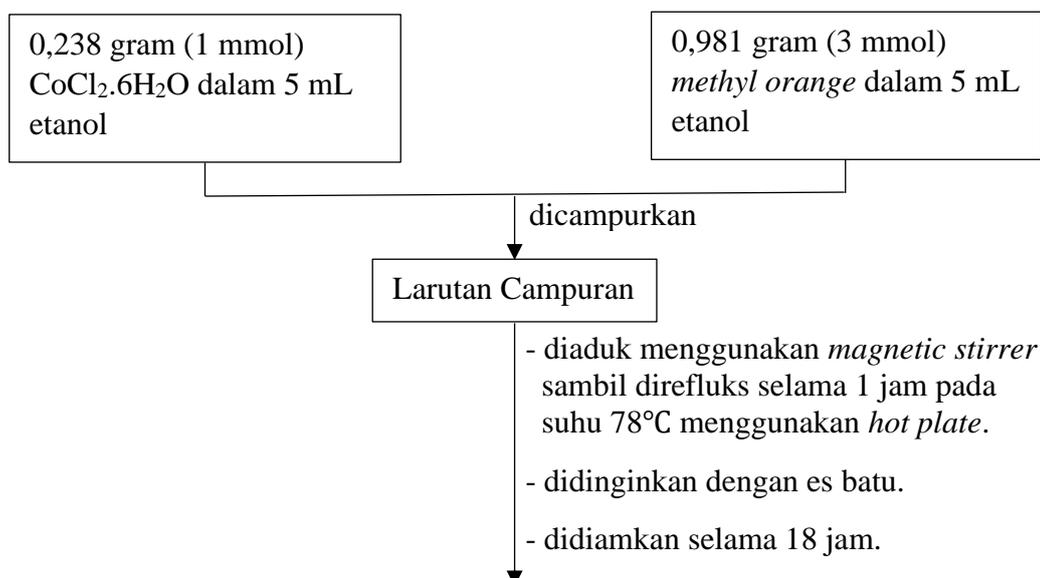
3.3.3.6. Penyinaran Langsung dengan Sinar Matahari

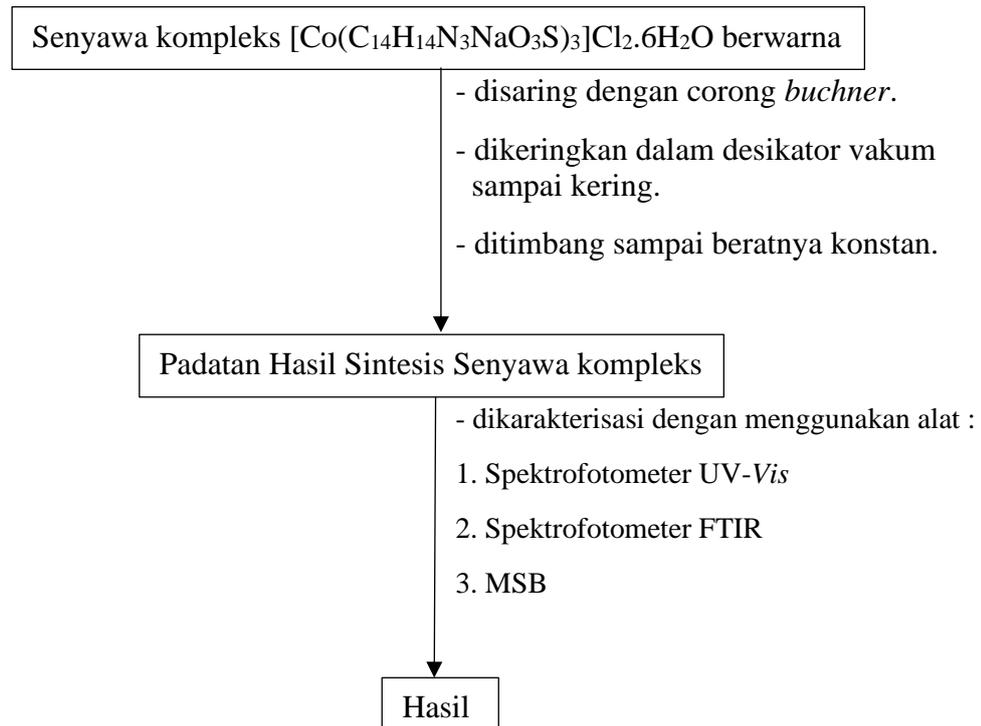
Sel surya yang telah dirangkai selanjutnya dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus yang terukur dalam rangkaian DSSC menggunakan multimeter digital Zotek ZT109. Pengukuran arus dan tegangan DSSC dilakukan dengan menghubungkan kabel multimeter yang telah diberi penjepit buaya pada rangkaian DSSC. Probe merah pada multimeter dihubungkan dengan elektroda pembanding (kutub positif) dan probe hitam pada elektroda kerja (kutub negatif). Penyinaran sel DSSC dilakukan dengan sinar langsung dari cahaya matahari dan diamati (Madnasri *et al.*, 2019).

3.3.4. Skema Alur Penelitian

Secara keseluruhan skema alur kerja penelitian dapat dilihat pada (Gambar 10) dan (Gambar 11).

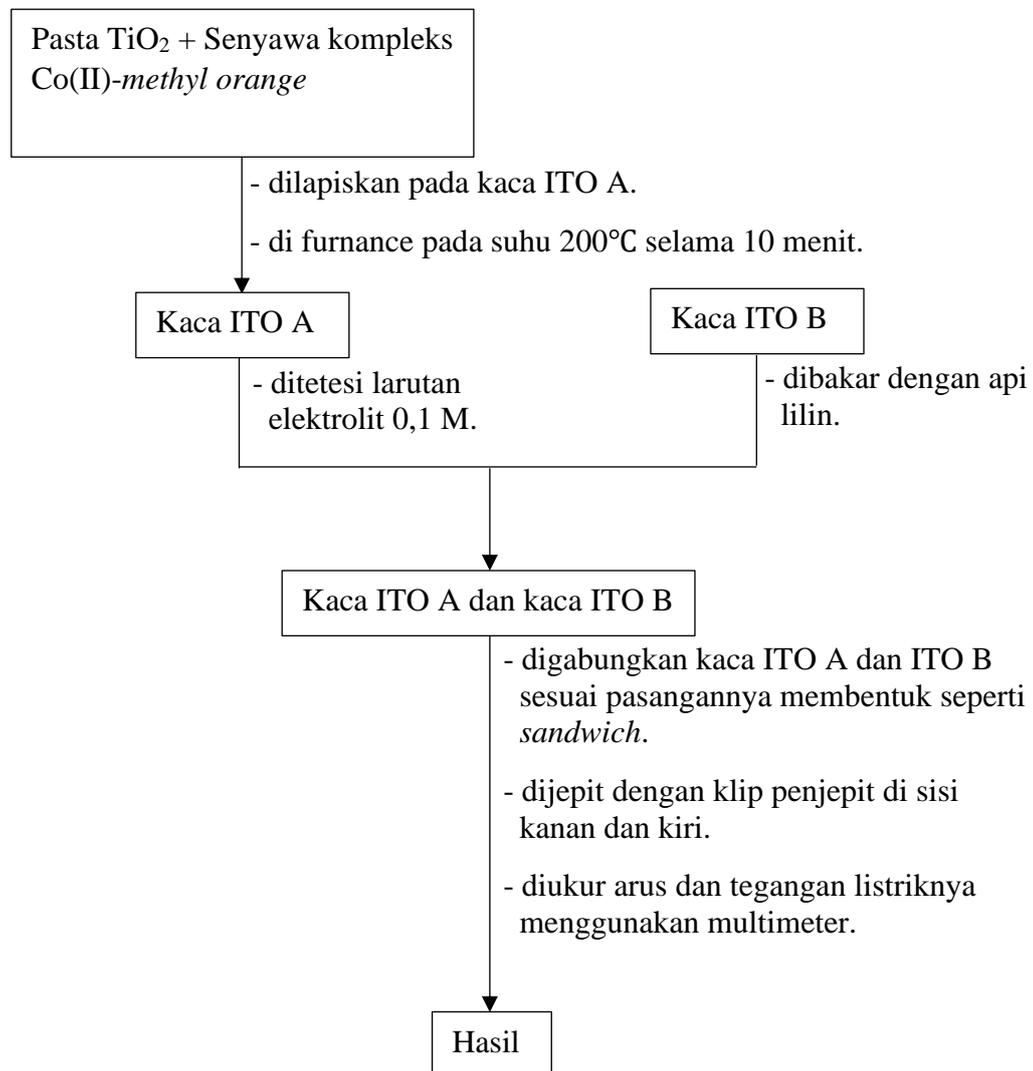
3.3.4.1. Sintesis Senyawa Kompleks Co(II)-*methyl orange*





Gambar 10. Skema alur kerja sintesis senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange*

3.3.5.1. Fabrikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)



Gambar 11. Skema alur kerja fabrikasi DSSC

3.3.5. Pengolahan Data

Adapun pengolahan data yang digunakan pada hasil senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* adalah sebagai berikut.

3.3.5.1. Perhitungan nilai momen magnetik dengan MSB

Dari data yang didapatkan kemudian dilakukan perhitungan nilai momen magnetik senyawa kompleks yang telah disintesis dengan rumus (Szafran *et al*, 1991):

Menentukan kerentanan massa (X_g) :

$$\chi_g = \frac{C_{bal} \cdot L \cdot (R_1 - R_o)}{10^9 \cdot [M_1 - M_o]}$$

Menentukan kerentanan molar (X_m) :

$$X_m = X_g \times Mr$$

Menentukan kerentanan terkoreksi (X_A) :

$$X_A = X_m - (-X_D)$$

Menentukan momen magnet sampel (μ_{eff})

$$\mu_{eff} = 2,83 [\chi_A \times T]^{1/2}$$

Keterangan :

| | |
|-----------|--|
| M_0 | = Massa tabung MSB kosong (gram) |
| M_1 | = Massa tabung MSB + sampel (gram) |
| R_0 | = Pembacaan tabung MSB kosong |
| R_1 | = Pembacaan tabung MSB kosong + sampel |
| Mr | = Massa atom relatif (gram/mol) |
| C_{bal} | = Tetapan kalibrasi neraca |
| L | = Ketinggian sampel (cm) |
| X_g | = Kerentanan massa |
| X_m | = Kerentanan molar |

| | |
|-------------|-------------------------|
| X_A | = Kerentanan terkoreksi |
| X_D | = Koreksi diamagnetik |
| T | = Temperatur (K) |
| μ_{eff} | = Momen magnet |

3.3.5.2. Perhitungan Efisiensi DSSC

Pengukuran arus dan tegangan dari DSSC dapat digunakan perhitungan sebagai berikut.

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max}$$

Efisiensi pada DSSC dapat diukur dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

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

Keterangan :

V_{max} : Tegangan maksimum (V)

I_{max} : Arus maksimum (A)

P_{max} : Rangkaian terbuka (Watt)

P_{in} : Intensitas global cahaya matahari pada kondisi Air Mass tertentu (W/m^2)

A_c : Luas area aktif DSSC (cm^2)

$\% \eta$: Efisiensi DSSC

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Adapun simpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan ini adalah sebagai berikut.

- a. Hasil sintesis senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* dengan perbandingan mol 1:3 didapatkan kristal berwarna orange kecoklatan dengan nilai rendemen sebesar 70,4%.
- b. Hasil karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan arah spektrumnya ke arah hipsokromik sehingga pergeserannya ke arah pergeseran biru dengan 3 puncak serapan yaitu 222 nm, 261 nm, dan 423 nm.
- c. Berdasarkan analisa spektrum FTIR menunjukkan terbentuknya ikatan Co-N pada bilangan gelombang $337,54\text{ cm}^{-1}$ serta adanya pergeseran ikatan N=N pada bilangan gelombang dari $1365,60\text{ cm}^{-1}$ menjadi $1363,67\text{ cm}^{-1}$. Adanya pergeseran bilangan ikatan N=N dan terbentuknya ikatan Co-N menandakan bahwa senyawa kompleks yang disintesis telah terbentuk.
- d. Momen magnet efektif yang didapatkan untuk senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* ini adalah 4,41 BM. Hal ini sesuai dengan prediksi spin momen magnet untuk Co^{2+} dan terdapat 3 elektron tidak berpasangan sehingga senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* bersifat paramagnetik (Lampiran 7).
- e. Nilai efisiensi (η) yang dihasilkan sebesar 0,3712%. Nilai efisiensi yang diperoleh pada penelitian ini lebih besar jika dibandingkan dengan penelitian Hadi (2020) yang menghasilkan efisiensi (η) sebesar 0,27%.

5.2. Saran

Adapun saran dari penelitian yang telah dilakukan ini, untuk nilai efisiensi pada test DSSC senyawa kompleks Co(II)-*methyl orange* masih relatif kecil dibandingkan penelitian yang telah dilakukan oleh Weber *et al.* (2013) pada Co(II)-*rhodamine B* dengan efisiensi sebesar 0,59%, dan Bignozzi, *et al.* (2013) pada Co(II)-*polypyridril* dengan efisiensi sebesar 7,3%. Oleh karena itu, untuk dapat meningkatkan nilai efisiensi yang signifikan maka diantaranya yaitu:

- a. Mengganti ligan yang digunakan dengan ligan yang memiliki banyak gugus kromofor karena gugus kromofor berfungsi menyerap foton matahari sehingga sangat berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi DSSC.
- b. Mengganti ligan perlu juga mengetahui pelarut yang cocok untuk melarutkan ligan tersebut, karena transisi elektron pada senyawa kompleks dapat dipengaruhi oleh penggunaan pelarut.
- c. Mencari ligan yang apabila memiliki gugus ausokrom tetapi tidak terikat pada gugus kromofor.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeeyinwo, C.E., Okorie, N.N., and Idowu, G.O. 2013. Basic Calibration of UV/Visible Spectrophotometer. *International Journal of Science and Technology*. Vol. 2. No. 3. Page: 247-251.
- Adhitiya, L. 2017. *Pengaruh Ion Logam Co(II) terhadap Kinerja 5,10,15, 20-Tetrakis(1-Methyl-4-Pyridinio)Porphyrin Tetra(P-Toluenesulfonate) sebagai Fotosensitizer pada Dye Sensitized Solar Cell*. Skripsi Unair. Perpustakaan Unair. Surabaya.
- Ardianto, R., Wahyunanto, A. N., dan Sandra, M. S. 2015. Uji Kinerja *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* Menggunakan Lapisan *Capacitive Touchscreen* sebagai Substrat dan Ekstrak Klorofil *Nannochloropsis Sp.* sebagai *Dye Sensitizer* dengan Variasi Ketebalan Pasta TiO₂. *Jurnal Keteknikaan Pertanian Tropis dan Biosistem*. Vol. 3. No. 3. Hal: 325-337.
- Baravkar, A. A., and Kale, R. N. 2011. FT-IR Spectroscopy: Principle Technique and Mathematics. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. Vol. 2. No. 1. Page: 5975-6299
- Behera, S., Ghanty, S., Ahmad, F., Santra, S., and Baneerje, S. 2012. UV-Visible Spectrophotometric Method Development and Validation of Assay of Paracetamol Tablet Formulation. *Journal Analytical and Bioanalytical Techniques*. Vol. 3. No. 6. Page: 2155-9872.
- Bignozzi, C. A., Argazzi, R., Boaretto, R., Busatto, E., Carli, S., Ronconi, F., and Caramori, S. 2013. The role of transition metal complexes in dye

sitized solar devices. *Coordination Chemistry Reviews*. Vol. 257. Hal: 1472-1492.

- Cahiez, G., Christophe, C., Christophe, D., Arianna, G., and Alban M. 2008. Cobalt-Catalyzed Cross-Coupling Reaction between Functionalized Primary and Secondary Alkyl Halides and Aliphatic Grignard Reagents. *Advanced Synthesis & Catalysis*. Vol. 350. No. 10. Page: 1484-1488.
- Cotton, F. A., and Wilkinson, G. 1988. *Advanced Inorganic Chemistry*. Fifth Edition. John Wiley and Sons. New York.
- Damayanti, Hardeli, dan Sanjaya, H. 2014. Preparasi Dye sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstrak Antosianin Ubi Jalar Ungu. *Jurnal Saintek*. Vol.2. Hal. 148-157.
- Darwis, Z. 2012. Optimasi Konsentrasi Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam Negeri dalam Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas L*) sebagai Bahan Biodiesel. *Jurnal Riset Sains dan Kimia Terapan*. Vol. 2. No. 1. Hal: 142-146.
- Ekasari, V., dan Yudoyono G. 2013. Fabrikasi DSSC dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber Officinale Linn Var. Rubrum*) Variasi Larutan TiO₂ Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. Vol. 2. No.1. Hal: 110-121.
- Gaber, M., and Al-Shihry, S. S. 2004. Cobalt (II), Nickel (II) and Copper (II) Complexes of Carbohydrazide and its Arylidene Derivatives. *Scientific Journal of King Faisal University*. Vol 5. No.2. Page : 181-195.
- Ghanbari, A., Attar, M.M., dan Mahdavian, M. 2009. Acetylacetonate Complexes as New Corrosion Inhibitors in Phosphoric Acid Media: Inhibition and Synergism Study. *Prog. Color Colorants Coat*. Vol. 2. No. 2. Page: 115-122.
- Giribabu, L., Sudhakar, K., and Velkannan, V. 2012. Phthalocyanines: Potential Alternative Sensitizers to Ruthenium Polypyridyl Complexes for Dye Sensitized

- Solar Cells. *Inorganic and Physical Chemistry Division, Indian Institute of Chemical Technology*. Vol. 102. Page: 991-1000.
- Gong, J., Jing L., and Sumathy, K. 2012. Review on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC): Fundamental Concepts and Novel Materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 16. No. 8. Page : 5848-5860.
- Hadi, M. S. 2020. Modification of Methyl Orange Dye as a Light Harvester on Solar Cell. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 1. Page: 456-464.
- Hameed, A., Montini, T., and Fomnasiero, P. 2009. 5th European Meeting on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Application Photocatalytic Decolourization of Dyes on NiO - ZnO Nano-composites. *Photochemical and Photobiological Science*. Vol. 8. Page: 677-682.
- Hardeli, Suwardani, R. T., Fernando, Maulidis, Ridwan, dan Silvia. 2013. Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami. *Prosiding Seminar dan Rapat Tahunan Bidang Ilmu MIPA BKS PTN BARAT*. Vol.1. Hal: 155-161.
- Hariyanto, M., Rusdi, N. F., dan Daniel P. 2020. Karakteristik Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dari Ekstrak Sari Buah Merah (*Pandanus Coneideus*). *Musamus Journal of Electro & Mechanical Engineering*. Vol. 3. No. 1. Hal: 31-39.
- Hermawati, E. S., Suhartana, dan Taslimah. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Zn(II)-8- Hidroksikuinolin. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol. 19. No. 3. Hal: 94-98.
- Hristov, H. 2011. *Solar Energy PV Systems*. Technical University of Gabrovo. Bulgaria.
- Illiya, W., dan Martak, F. 2010. *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Logam Co(II) dengan 2-feniletilamin*. Skripsi. ITS. Surabaya.
- Kalyanasundaram, E. K. 2010. *Dye Sensitized Solar Cells*. EPFL press. Lausanne, Switzerland.

- Kumara, M.S.W., dan Gontjang. P. 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 Surabaya November. Surabaya.
- Kushwaha, Reena, Srivastava, Panka, and Bahadur. 2013. Natural Pigments from Plants Used as Sensitizers for TiO₂; Based Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Energy*. Vol. 6. No.5. Page: 49-53.
- Li, W., Liu B., Wu, Y., Zhu, S., Zhang, Q., and Zhu, W. 2013. Organic Sensitizers Incorporating 3,4-ethylenedioxythiophene as The Conjugated Bridge : Joint Photophysical and Electrochemical Analysis of Photovoltaic Performance. *Dye and Pigment*. Vol. 99. No. 1. Page: 176-184.
- Libre Texts Project. 2022. *Inorganic Chemistry*. Mind Touch. California.
- Lyon, F. 2012. *IARC Monograph Radiation Volume 100 D a Review of Human Carcinogens*. International Agency for Research on Cancer. France.
- Madnasri, Sutikno, Rieza, D. A. W., Syaikhul, H., Ian, Y., Sukiswo, S. E., and Dhidik, P. 2019. Natural Dye of Musa Acuminata Bracts as Light Absorbing Sensitizer for Dye-Sensitized Solar Cell. *Materials Today*. Vol 13. Page: 246-251.
- Miessler, G.L., Fischer, P. J., and Tarr, D. A., 2014. *Inorganic Chemistry*. Pearson Education. Library of Congress Cataloging. New York.
- Moon, D., Junghyun K., and Myoung, S. L. 2006. Synthesis and Characterization of Mononuclear Octahedral Fe(III) Complex Containing a Biomimetic Tripodal Ligand, JV-(Benzimidazol-2-ylmethyl)iminodiacetic Acid. *Bulletin of the Korean Chemical*. Vol. 27. No. 10. Page: 1597-1600.
- Nafi, M. dan Susanti, D. 2013. Aplikasi Semikonduktor TiO₂ dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi sebagai *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)* dengan Dye dari Ekstrak Buah Terung Belanda (*Solanum Betaceum*). *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 2. Hal: 2337-3539.

- Nakamoto. 2009. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*. Edisi ke 6. Canada.
- Pancaningtyas L., dan Akhlus, S. 2010. *Peranan Elektrolit pada Performa Sel Surya Pewarna Tersensitisasi*. Kimia Fisika FMIPA ITS. Surabaya.
- Park, K.H., Kim, T.Y., Park, J.Y., Jin, E.M., Choi, D.Y., and Lee, J.W. 2013. Adsorption Characteristics of Gardenia Yellow as Natural Photosensitizer for Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Dye and Pigments*. Vol. 9. No. 6. Page: 595-601.
- Pratama, R. 2019. Efek Rumah Kaca Terhadap Bumi. *Buletin Utama Teknik*. Vol. 14. No. 2. Hal : 120-126.
- Rodgers, G.E. 2002. *Descriptive Inorganic, Coordination, and Solid-State Chemistry*. Second Edition. Thomson Learning. Canada.
- Sanjaya, M. A. 2014. *Sintesis Senyawa Kompleks Co(II)-rhodamin B sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. Skripsi Unair. Perpustakaan Unair. Surabaya.
- Santoso, H. 2016. *Pembuatan Katalis Asam Heterogen dengan Metode Karbonisasi Hidrotermal Satu Tahap*. Thesis. Universitas Katolik Parahyangan. Parahyangan.
- Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, “*Indonesia Energy Outlook 2019*,” pp. 1-94, 2019. ISSN: 2527-3000.
- Setyawati, H. 2007. *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Koordinasi Inti Ganda Besi(III)-Fenantrolin Menggunakan Ligan Jembatan CNS-*. Skripsi. Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya.
- Sharpe, A G., Housecroft, and Catherine, E. 2005. *Inorganic Chemistry*. Second edition. Ashford Colour Press Ltd Gosport. New York.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrofotometri Massa untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. AURA. Lampung.

- Supratman, U. 2010. *Elucidasi Struktur Senyawa Organik*. Cetakan 1. Widya Padjajaran. Bandung.
- Susanti, D. 2014. Pengaruh Waktu Spin Coating terhadap Struktur dan Sifat Listrik Sel Surya Pewarna Tersensitasi. *Jurnal Pillar of Physics*. Vol. 1. Hal: 33-39.
- Szafran, Z., Pie, R., and Singh, M. 1991. *Microscale Inorganic Chemistry*. John Willey and Sons Inc. New York.
- Umami, R. 2019. *Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Basa Schiff dari 4-(Dimetilamino)benzaldehida dan Anilina sebagai Sensitizer pada Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Variasi Elektroda Pemandang*. Tugas Akhir. Unila. Lampung.
- Vogler, A., and Horst, K. 2000. Photochemistry Induced by Metal to Ligand Charge Transfer Excitation. *Coordination Chemistry Reviews*. Vol. 208. No. 1. Page: 321-329
- Yum, J., Humphry, B. R., Zakeeruddin, S. M., Nazeeruddin, M. K., and Gratzel, M. 2010. Effect of Heat and Light on The Performance of Dye-Sensitized Solar Cells Based on Organic Sensitizers and Nanostructured TiO₂. *Nano Today*. Vol. 5. Page: 91-98.
- Weber, B. B., Constable, E. C., Housecroft, and Catherine, E. 2013. Light Harvesting with Earth Abundant d-block Metals Development of Sensitizers in Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). *Coordination Chemistry Reviews*. Vol. 257. Page: 3089-3106.
- Wu, G., Kaneko, R., Zhang, Y., Shinozaki, Y., Sugawa, K., Islam, A., and Otsuki, J. 2016. Neutral and Anionic Tetrazole Based Ligands in Designing Novel Ruthenium Dyes for Dye Sensitized Solar Cells. *Journal of Power Sources*. Vol. 307. Page: 416-425.