

**SINTESIS, KARAKTERISASI KRISTAL DAN TINJAUAN
TERMODINAMIKA SENYAWA KOMPLEKS
*Mn(II)-Congo Red***

(Skripsi)

Oleh

Cova Selly Friska Br. Purba
NPM 1917011047



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

SINTESIS, KARAKTERISASI KRISTAL DAN TINJAUAN TERMODINAMIKA SENYAWA KOMPLEKS *Mn(II)-Congo Red*

Oleh

COVA SELLY FRISKA BR. PURBA

Sintesis senyawa kompleks Mn(II) dengan ligan *congo red* telah dilakukan dengan perbandingan mol 1:3, menghasilkan padatan berwarna merah tua sebanyak 1,7121 gram dengan rendemen 77,33%. Senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis menghasilkan panjang gelombang maksimum 569 nm dengan absorbansi 0,952. Karakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR menunjukkan terbentuknya senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* ditandai dengan adanya ikatan koordinasi antara Mn-N pada bilangan gelombang 435,91 cm^{-1} . Karakterisasi menggunakan DTA-TG dilakukan pada rentang suhu 0-1000°C, menunjukkan adanya kehilangan massa enam molekul SO_2 sebesar 11,6% pada rentang suhu 30-100°C, satu molekul $\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6$ dan satu molekul Cl_2 sebesar 26,6% pada rentang suhu 300-450°C, dan dua molekul $\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6$ sebesar 42,1% pada rentang suhu 500-650°C. Parameter aktivasi termodinamik menggunakan metode Coats-Redfern dan Kissinger menunjukkan proses dekomposisi dengan laju reaksi lebih rendah dari yang normal dan kompleks teraktifkan memiliki sifat termal yang lebih menentukan dari pada reaktan. Nilai energi aktivasi yang dihasilkan menunjukkan dekomposisi senyawa kompleks berupa *chemisorptions*. Karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* yang diperoleh berupa amorf.

Kata Kunci: Mangan(II), *Congo Red*, senyawa kompleks, Coats-Redfern, Kissinger

ABSTRACT

SYNTHESIS, CRYSTAL CHARACTERIZATION AND THERMODYNAMICS REVIEW OF Mn(II)-Congo Red COMPLEX COMPOUNDS

By

COVA SELLY FRISKA BR. PURBA

Synthesis of complex compound Mn(II) with congo red ligand performed by a ratio of moles 1:3, producing red solid of 1.7121 grams with a yield of 77.33%. Mn(II)-congo red complex compound characterized by UV-Vis spectrophotometer to produce a maximum wavelength of 569 nm with an absorbance of 0,952. Characterization using the FTIR spectrophotometer showed the formation of a Mn(II)-congo red complex which was indicated by a coordination bond between Mn-N at wave number 435,91 cm^{-1} . Characterization using DTA-TG is carried out in the temperature range of 0-1000°C, showing a mass loss of six SO_2 molecules of 11.6% in the temperature range of 30-100°C, one $\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6$ molecule and one Cl_2 molecule by 26.6% in the temperature range of 300-450°C, and two $\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6$ molecules by 42.1% in the temperature range of 500-650°C. The thermodynamic activation parameters using the Coats-Redfern and Kissinger methods show that the decomposition process has a lower reaction rate than normal and the activated complex has more decisive thermal properties than the reactants. The results of the activation energy indicate the decomposition of complex compounds is chemisorption. Characterization using XRD showed that the Mn(II)-congo red complex compound obtained was amorphous.

Key word: Manganese(II), Congo Red, complex compound, Coats-Redfern, Kissinger

**SINTESIS, KARAKTERISASI KRISTAL DAN TINJAUAN
TERMODINAMIKA SENYAWA KOMPLEKS
*Mn(II)-Congo Red***

Oleh

Cova Selly Friska Br. Purba

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
2023**

Judul Skripsi : **SINTESIS, KARAKTERISASI KRISTAL DAN TINJAUAN TERMODINAMIKA SENYAWA KOMPLEKS Mn(II)-Congo Red**

Nama Mahasiswa : *Cova Selly Friska Br. Purba*

Nomor Pokok Mahasiswa : **1917011047**

Jurusan : **Kimia**

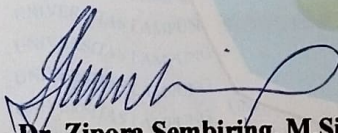
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

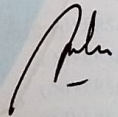


1. Komisi Pembimbing

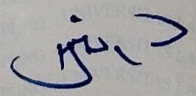
Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Zipora Sembiring, M.Si.
NIP. 195901061986102001


Dr. Yuli Ambarwati, S.Si., M.Si.
NIP. 197407172008122003

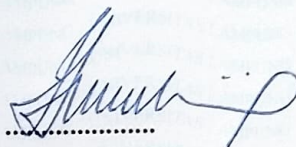
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


Mulyono, Ph.D.
NIP. 197406112000031002

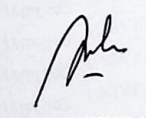
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

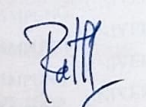
Ketua : Dr. Zipora Sembiring, M. Si.


.....

Sekretaris : Dr. Yuli Ambarwati, S.Si., M.Si.


.....

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


.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 07 Juni 2023

**SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN SKRIPSI**

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Cova Selly Friska Br. Purba
NPM : 1917011047
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Menyatakan dengan sebenar-benarnya dan sesungguhnya, bahwa skripsi saya berjudul **“Sintesis, Karakterisasi Kristal dan Tinjauan Termodinamika Senyawa Kompleks Mn(II)-Congo Red”** adalah benar karya saya sendiri, baik gagasan, hasil, dan analisisnya. Selanjutnya saya juga tidak keberatan jika sebagian atau seluruh data di dalam skripsi tersebut digunakan oleh dosen atau program studi untuk kepentingan publikasi, sepanjang nama saya disebutkan dan terdapat kesepakatan sebelum dilakukan publikasi.

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

Bandar Lampung, 07 Juni 2023

Yang menyatakan,



Cova Selly Friska Br. Purba
NPM. 1917011047

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Cova Selly Friska Br. Purba, lahir di Medan pada tanggal 22 Juli 2001. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara, putri dari Bapak Ir. Roni Purba dan Ibu Rehulina Br. Bangun, SE. Saat ini penulis bertempat tinggal di Jl. Jamin Ginting, Kelurahan Sidomulyo, Kecamatan Medan Tuntungan, Kota Medan.

Penulis memulai pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) BHARLIND SCHOOL Medan pada tahun 2006-2007, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) BHARLIND SCHOOL Medan pada tahun 2008-2013. Tahun 2014-2016 penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Swasta Santo Thomas 4 Medan, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Swasta Katolik Budi Murni 2 Medan pada tahun 2017-2019.

Pada tahun 2019 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Universitas Lampung, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan organisasi. Organisasi yang diikuti penulis yaitu Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila sebagai kader muda pada periode 2020 dan anggota inti pada periode 2021 di bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia (SPIK).

Penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode I tahun 2022 pada bulan Januari-Februari 2022 selama 40 hari di Desa Sembaha Baru Kecamatan Pancur Batu, Kabupaten Deli Serdang. Pada bulan Juni-Juli 2022, penulis

melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Mustika Ratu Tbk Jakarta Timur. Penulis selama menjalani perkuliahan pernah menjadi Asisten Praktikum Kimia Anorganik I pada tahun 2023. Pada bulan Oktober 2022 sampai Februari 2023 penulis menyelesaikan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Kimia Anorganik/Fisik FMIPA Universitas Lampung yang diberi Judul “**Sintesis, Karakterisasi Kristal dan Tinjauan Termodinamika Senyawa Kompleks Mn(II)-Congo Red**”.

PERSEMBAHAN

Puji Syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas limpahan rahmat dan kasih karuniaNya yang selalu menyertaiku dalam setiap proses perkuliahanku, sehingga terciptalah sebuah karya ini yang kupersembahkan sebagai wujud bakti dan tanggung jawabku kepada:

Bapak Roni Purba (†) yang selalu aku percaya bahwa engkau tidak pernah lepas memantau dan mendoakanku dari surga. Mamak Rehulina Br. Bangun yang sangat aku cintai, yang selalu mendukung, mendoakan, dan berjuang sampai saat ini untuk menguliahkanku. Semoga mamak diberikan kesehatan dan umur yang panjang agar dapat melihat anak perempuannya menjadi orang sukses.

Adikku Engel Kabrina Br. Purba, terima kasih sudah menjadi adik terbaik yang selalu perhatian kepada kakaknya, semoga segala harapan dan doa Engel dikabulkan Tuhan Yesus.

Keluarga besar Purba dan keluarga besar Bangun yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan berbagi suka duka bersamaku.

Serta,
Almamaterku tercinta,
Universitas Lampung

MOTTO

“Aku memulai semuanya dengan ‘Dalam nama Tuhan Yesus’, maka aku tidak boleh menyerah sampai aku bisa mengatakan ‘Puji Tuhan’.”

“Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman Tuhan, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan.”

(Yeremia 29:11)

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

(Ulangan 31:6)

“If you want to live a happy life, tie it to goal, not to people or things.”

(Albert Einstein)

“The only way to do great work is to love what you do.”

(Steve Jobs)

“I think that there’s no need to live your life based on the standard of others. Everyone says ‘dream big’ but i don’t think you have to live fiercely like that all the time. Just trust yourself and live a happy and healthy life.”

(Kim Namjoon BTS)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan kasihNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Sintesis, Karakterisasi Kristal dan Tinjauan Termodinamika Senyawa Kompleks Mn(II)-Congo Red**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada program studi Kimia FMIPA Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam proses pengerjaan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari kesulitan dan rintangan yang penulis hadapi. Semua bisa penulis lewati berkat pertolongan Tuhan Yesus Kristus serta bantuan, bimbingan, saran, dan kritik yang telah diberikan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini sebagai wujud rasa hormat, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Mulyono, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung;
2. Dr. Eng. Heri Satria, M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung;
3. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.Si., selaku Pembimbing Utama dan Pembimbing Akademik yang telah sabar membimbing, memberikan ilmu, nasihat, semangat, serta saran kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
4. Ibu Dr. Yuli Ambarwati, M.Si., selaku Pembimbing Kedua yang telah sabar membimbing, memberikan ilmu, nasihat, kritik dan saran kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
5. 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;

6. Bapak dan Ibu Dosen, laboran, staff, dan karyawan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman kepada penulis selama kuliah. Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan Bapak dan Ibu;
7. Bapak Roni Purba (†) yang tidak pernah lepas memantau serta mendoakan penulis dari surga dan Ibu Rehulina Br. Bangun yang telah memberikan kasih sayang, doa, mendengarkan keluh kesah, memberikan semangat, motivasi, nasihat dan dukungan finansial kepada penulis. Semoga selalu diberikan kesehatan, rezeki serta umur yang panjang oleh Tuhan Yesus Kristus;
8. Adik Engel Kabrina Br. Purba yang selalu mendoakan, memberikan semangat dan dukungan kepada penulis. Semoga Tuhan Yesus Kristus selalu memberkatimu dan menjagamu;
9. Indah Theresia Br Tarigan, Nenchy Anugrah Br Tarigan, Eka Ria Novita Sari Sirait, dan Debora Patricia Sebayang selaku sahabat yang selalu mendengarkan keluh kesah, menemani semester-semester terberat, memberikan canda tawa dan semangat kepada penulis;
10. Bellia Annisa Violeta, Dewa Ayu Putu Agustiani, dan Afrillia Anggraini selaku partner dalam penelitian dan teman seperbimbingan yang telah menemani, membantu, memberikan dukungan, dan bekerja sama hingga penelitian dan skripsi ini dapat terselesaikan;
11. Alya Maghfira dan Yori Pratiwi selaku sahabat sekelas terdekat yang selalu menemani, memberikan dukungan, canda tawa, dan semangat dalam menjalani semester demi semester bersama penulis;
12. Diana Mar Angel Sembiring selaku sahabat penulis di SMA yang selalu ada untuk penulis baik suka maupun duka, tidak pernah lelah mendengarkan cerita dan sabar menghadapi penulis;
13. Kim Namjoon, Kim Seokjin, Min Yoongi, Jung Hoseok, Park Jimin, Kim Taehyung, dan Jeon Jungkook BTS yang telah memberikan semangat, dukungan dan motivasi kepada penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik;
14. Keluarga besar Kimia 2019 yang telah menjadi teman dan keluarga bagi penulis di jenjang perkuliahan ini. Semoga kita semua bisa menjadi orang

yang sukses di masa depan serta berguna bagi keluarga, nusa, dan bangsa;

15. Almamater tercinta, Universitas Lampung
16. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas kebaikan dan ketulusan Bapak, Ibu, serta rekan-rekan semua. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat untuk semua pembaca.

Bandar Lampung, 07 Juni 2023

Penulis,

Cova Selly Friska Br. Purba

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Sintesis Senyawa Kompleks	4
2.1.1. Metode Solvotermal	4
2.1.2. Metode Refluks	5
2.2. Mangan	6
2.3. <i>Congo Red</i>	7
2.4. Spektrofotometer Ultraviolet-Visible (UV-Vis).....	8
2.5. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR).....	8
2.6. Uji Termal.....	9
2.6.1. Coats Redfern.....	10
2.6.2. Kissinger	10
2.7. Difraksi Sinar-X (XRD)	11
III. METODE PENELITIAN	12
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	12
3.2. Alat dan Bahan.....	12
3.3. Prosedur Penelitian.....	13
3.3.1. Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	13

3.3.2. Karakterisasi Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	13
3.3.2.1. Spektrofotometer UV- <i>Vis</i>	13
3.3.2.2. <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	14
3.3.2.1. <i>Differential Thermal Analysis dan Thermogravimetric</i> (DTA-TG)	14
3.3.2.2. Difraksi Sinar-X (XRD).....	14
3.3.3. Skema Alur Penelitian	15
3.3.3.1. Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	15
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
4.1. Sintesis Senyawa Kompleks	16
4.2. Karakterisasi Panjang Gelombang Senyawa Kompleks.....	17
4.3. Karakterisasi Gugus Fungsional Senyawa Kompleks.....	19
4.4. Tinjauan Termodinamika Senyawa Kompleks.....	21
4.4.1. Karakterisasi Termal Menggunakan DTA-TG pada Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	21
4.4.2. Analisis Termografimetrik Menggunakan DTA-TG pada Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	24
4.4.2.1. Metode Coats-Redfern.....	24
4.4.2.2. Metode Kissinger.....	27
4.4.3. Perbandingan Metode Coats-Redfern dan Kissinger.....	28
4.5. Karakterisasi Kristal Senyawa Kompleks	29
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	30
5.1. Kesimpulan	30
5.2. Saran.....	30
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	37
Lampiran 1. Perhitungan Persen Massa Senyawa Kompleks Hasil Sintesis .	38
Lampiran 2. Referensi Spektrum Spektrofotometer UV- <i>Vis</i>	40
Lampiran 3. Perhitungan % Kehilangan Molekul Senyawa Kompleks	41
Lampiran 4. Perhitungan Data Termodinamika Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> Menggunakan Metode Coats-Redfern	42
Lampiran 5. Perhitungan Data Termodinamika Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> Menggunakan Metode Kissinger	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur <i>Congo Red</i>	7
2. Skema Alur Kerja Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	15
3. Hasil Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	17
4. Spektrum UV-Vis Mn(II)- <i>congo red</i>	17
5. Spektrum IR <i>Congo Red</i> dan Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	19
6. Kurva Termogavimetri DTA-TG Mn(II)- <i>congo red</i>	21
7. Struktur Molekul Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	23
8. Struktur Molekul Mn(II)- <i>congo red</i> dalam bentuk 3D.	23
9. Plot metode Coats-Redfern untuk dekomposisi kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> pada suhu 30-100°C.	25
10. Plot metode Coats-Redfern untuk dekomposisi kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> pada suhu 380-450°C.	25
11. Plot metode Coats-Redfern untuk dekomposisi kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> pada suhu 500-600°C.	25
12. Plot metode Kissinger untuk dekomposisi kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> pada suhu 30-110°C.	27
13. Difraktogram XRD Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	29

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Panjang Gelombang Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	18
2. Data Bilangan Gelombang dari Ligan <i>Congo Red</i> , Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> Hasil Sintesis dan Referensi	20
3. Data Perhitungan % Kehilangan Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i>	22
4. Data Aktivasi Termodinamik Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> Menggunakan Metode Coats-Redfern.....	26
5. Data Aktivasi Termodinamik Senyawa Kompleks Mn(II)- <i>congo red</i> Menggunakan Metode Kissinger.	27

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui menjadi sumber energi terbesar saat ini, namun penggunaan yang berlebih menyebabkan masalah baru yaitu krisis energi (Qin and Peng, 2012). Masalah tersebut diatasi dengan mengembangkan teknologi yang menghasikan energi terbarukan, salah satunya adalah *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). DSSC adalah sel surya buatan yang mengubah cahaya tampak menjadi energi listrik berdasarkan sistem fotoelektrokimia (Bagher *et al.*, 2015). Komponen utama DSSC adalah semikonduktor, pewarna, elektroda kerja, elektroda pembanding, dan elektrolit redoks (Liyana dkk., 2021).

Aplikasi DSSC umumnya menggunakan logam transisi yang telah disintesis menjadi senyawa kompleks. Salah satu logam transisi yang sering digunakan pada sintesis senyawa kompleks adalah mangan, dikarenakan memiliki sifat *photo-physical*, bilangan kuantum yang tinggi, mudah direaksikan, dan banyak di alam (Cussianovich, 2013). Senyawa kompleks logam Mangan seperti *Mn(II)-naphthol blue black* terbukti dapat meningkatkan efisiensi senyawa kompleks sebagai *dye sensitizer* dalam DSSC dengan nilai efisiensi 7,68% (Dina, 2015).

Zat pewarna (*dye*) merupakan salah satu material yang berperan sebagai pompa fotoelektrokimia serta lapisan penyerap foton yang akan tereksitasi menjadi eksiton (Natullah dan Yudoyono, 2013). Zat pewarna pada DSSC ada dua jenis, yaitu pewarna alami dan pewarna sintesis. Zat pewarna alami yang digunakan

sebagai *dye* yaitu daun bayam, bunga rosella, dan ubi jalar ungu (Hardeli dkk., 2013). Zat pewarna sintesis yang banyak digunakan di beberapa penelitian, yaitu *congo red*, *methyl orange*, *naphthol blue black*, dan *rhodamin b*. Pada penelitian ini akan digunakan zat pewarna sintesis, karena tidak mudah terdegradasi pada suhu tinggi serta memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan zat pewarna alami (Kumara dan Prajitno, 2012).

Ligan *congo red* dipilih sebagai *dye* karena memiliki ikatan terkonjugasi, mempunyai gugus kromofor, dan memiliki panjang gelombang maksimum tinggi sehingga dapat menangkap foton lebih banyak. Spektra *congo red* menunjukkan karakteristik pada panjang gelombang maksimum 498 nm yang sesuai dengan syarat ligan sebagai *dye sensitizer* (Rani *et al.*, 2021). Panjang gelombang maksimum *dye* yang digunakan sebagai *sensitizer* terjadi pada daerah sinar tampak yaitu 400-800 nm (Kotteswaran *et al.*, 2017). Daerah panjang gelombang tersebut membutuhkan stabilitas termal yang tinggi (Bari *et al.*, 2011). Senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* telah diaplikasikan sebagai DSSC dengan nilai efisiensi sebesar 2,22%, tegangan maksimum 275,4 mV dan kuat arus maksimum 8 mA (Saputri, 2022). Berdasarkan penelitian tersebut, terdapat data yang belum lengkap untuk mendukung penggunaan senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* sebagai *dye sensitizer* yaitu data termal dan karakterisasi kristal.

Pada penelitian ini akan dilakukan sintesis, uji termal, dan karakterisasi kristal senyawa kompleks dari logam mangan dengan ligan *congo red* sebagai *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Uji termal akan dilakukan menggunakan *Differential Thermal Analysis dan Thermogravimetric* (DTA-TG) untuk mengukur perubahan massa dari suatu senyawa sebagai fungsi dari suhu dan pengolahan data akan dilakukan dengan membandingkan metode Coats-Redfern dan Kissinger. Karakterisasi kristal senyawa kompleks akan dilakukan menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD).

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan padatan senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* dari hasil sintesis menggunakan metode kondensasi refluks.
2. Mendapatkan data sifat termal Mn(II)-*congo red* menggunakan DTA-TG.
3. Mendapatkan data fasa kristalin senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* menggunakan *X-ray Diffraction* (XRD).

1.3. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sumbangsih terhadap ilmu pengetahuan dengan dua metode dan penerapan data termal untuk mendukung pemanfaatan senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* sebagai *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sintesis Senyawa Kompleks

Sintesis merupakan reaksi kimia antara dua atau lebih zat yang membentuk suatu zat baru (Ningsih, 2016). Sintesis senyawa kompleks dapat dilakukan dengan mereaksikan ligan yang merupakan suatu basa dan mempunyai pasangan elektron bebas dengan logam yang merupakan penerima pasangan elektron yang didonorkan oleh ligan (Lesbani dkk., 2012). Sintesis senyawa kompleks dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain sebagai berikut :

2.1.1. Metode Solvotermal

Metode solvotermal adalah reaksi kimia dalam sistem tertutup dengan adanya pelarut (*aqueous* dan *nonaqueous solution*) pada temperatur lebih tinggi dari titik didih pelarut, akibatnya metode solvotermal melibatkan tekanan tinggi.

Temperatur yang dipilih sub atau superkritis tergantung pada reaksi yang terjadi untuk mendapatkan material target. Reaksi solvotermal dipengaruhi dua parameter utama yaitu, parameter kimia (sifat reagen dan pelarut) dan parameter termodinamika (suhu dan tekanan) (Demazeau, 2008).

Prinsip metode solvotermal adalah reaksi kimia yang terjadi dalam wadah terisolasi (autoklaf), yang diberikan suhu sampai titik kritis pelarut dan akan mengakibatkan tekanan dalam autoklaf meningkat sampai pada titik superkritis pelarut, sehingga material-material di dalamnya dapat bereaksi (Mahmudah, 2019). Kelebihan metode solvotermal dibandingkan metode yang lain, yaitu penggunaan temperatur reaksi rendah ($< 250^{\circ}\text{C}$) sehingga senyawa yang

metastabil pada suhu tinggi dapat disintesis pada suhu rendah (Schubert *and* Hüsing, 2004). Kelemahan dari metode solvotermal, yaitu kebutuhan autoklaf yang mahal, waktu reaksi yang lama, dan ketidakmungkinan mengamati proses reaksi (Asim *et al.*, 2014).

Sintesis senyawa kompleks Mn(II) dengan ligan 2-metil imidazol dilakukan oleh Hamdan (2021) menggunakan metode solvotermal dengan variasi suhu pemanasan 140°C dan 150°C selama 24 jam. Pada penelitian ini, sumber ion logam Mn(II) berasal dari padatan MnCl₂·4H₂O dan menggunakan ligan 2-metil imidazol. Pelarut yang digunakan adalah N,N-dimetil formamida (DMF). Hasil yang diperoleh pada produk 1 yang disintesis pada suhu 140°C didiamkan selama 48 jam pada suhu ruang adalah filtrat berwarna orange serta terbentuk kristal berwarna merah bata. Hasil sintesis produk 2 pada suhu 150°C didiamkan selama 2 jam adalah terbentuknya endapan kuning keputihan dengan diperoleh filtrat berwarna orange dan tidak terbentuk kristal. Tidak terbentuknya kristal pada produk 2 yang disintesis pada suhu 150°C disebabkan filtrat dengan endapan dipisahkan dalam waktu 2 jam yang berakibat pada kurangnya waktu pertumbuhan kristal dan hanya terbentuk endapan.

2.1.2. Metode Refluks

Salah satu metode sintesis senyawa kompleks adalah refluks, pengertian metode refluks adalah ekstraksi dengan pelarut pada temperatur titik didihnya, selama waktu tertentu dan jumlah pelarut yang relatif konstan dengan adanya pendinginan balik. Ekstraksi refluks digunakan untuk mengekstraksi bahan-bahan yang tahan terhadap pemanasan. Prinsip dari metode 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 (Sudjadi, 1986). Kelebihan dari metode refluks diantaranya, dapat digunakan untuk sampel-sampel yang mempunyai tekstur kasar, waktu yang digunakan relatif singkat, dan tahan pemanasan langsung serta

pelarut yang digunakan lebih sedikit sehingga efektif dan efisien. Kelemahan dari metode refluks, yaitu hanya digunakan untuk metabolit yang termotabil karena refluks merupakan metode ekstraksi panas.

Sintesis senyawa kompleks Mn(II) dengan ligan 2(4-nitrofenil)-4,5-difenil-1H-imidazol dilakukan oleh Dharmayanti dan Martak (2015) menggunakan metode refluks pada suhu 70-80°C dan distirer selama 24 jam. Pada penelitian ini, sumber ion logam Mn(II) berasal dari $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan menggunakan ligan 2(4-nitrofenil)-4,5-difenil-1H-imidazol. Pelarut yang digunakan adalah etanol. Hasil yang diperoleh yaitu warna larutan $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ adalah pink muda, warna larutan kompleks Mn(II)-2(4-nitrofenil)-4,5-difenil-1H-imidazol adalah orange, dan warna kristal kompleks Mn(II) dengan ligan 2(4-nitrofenil)-4,5-difenil-1H-imidazol adalah orange tua dengan rendemen sebesar 74,5%.

2.2. Mangan

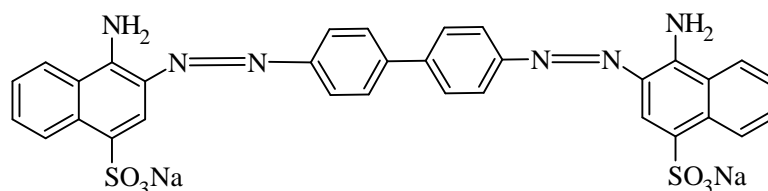
Mangan merupakan logam transisi berwarna keabu-abuan pada golongan VIIB dengan nomor atom 25 dan massa atom 54,938 g/mol. Mangan mempunyai titik lebur 1247°C dan titik didih 2032°C (Lee, 1991). Konfigurasi elektronik mangan adalah $[\text{18Ar}] 3d^5 4s^2$ dengan tingkat bilangan oksidasi yaitu +2, +3, +4, +6, dan +7, dimana tingkat oksidasi paling stabil adalah +2. 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 memiliki sifat *photo-physical*, bilangan kuantum yang tinggi, mudah direaksikan, dan banyak di alam (Cussianovich, 2013). Mangan(II) merupakan logam yang cukup banyak digunakan sebagai atom pusat dalam sintesis senyawa kompleks. Hal ini dikarenakan Mangan(II) memiliki lima elektron yang tidak berpasangan sehingga dapat membentuk jaringan koordinasi yang besar dan stabil (Ma *et al.*, 2012).

2.3. Congo Red

Congo red adalah zat pewarna sintesis yang mempunyai rumus molekul $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$. Nama IUPAC dari *congo red* adalah natrium benzidindiazo-bis-1-naftilamin-4-sulfonat. Senyawa ini memiliki berat molekul $696,67 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ (O'Neil, 2001). *Congo red* termasuk dalam kelompok pewarna diazo sintetis yang 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. *Congo red* berwarna merah dan sensitif terhadap asam. Warna merah yang dihasilkan *congo red* dapat diamati melalui spektrofotometer UV-Vis. Spektra *congo red* menunjukkan karakteristik pada puncak sekitar 498 nm (Tapalad *et al.*, 2008).

Zat warna *congo red* memiliki rentang pH 3,0 (biru) sampai 6,2 (merah) dan sifat tidak mudah terdegradasi karena umumnya dibuat dari senyawa azo dan turunannya yang merupakan gugus benzena (Kondru *et al.*, 2009). Beberapa syarat ligan yang dapat digunakan sebagai *dye sensitizer* adalah memiliki ikatan rangkap terkonjugasi, memiliki gugus kromofor, tidak mudah terdegradasi, dan memiliki panjang gelombang maksimum pada daerah 200-800 nm sehingga dapat menangkap foton lebih banyak (Kotteswaran *et al.*, 2017). Struktur *congo red* memiliki sistem terkonjugasi yang membentuk delokalisasi elektron sehingga meningkatkan kestabilan dari ligan (Deville, 1999). Struktur *congo red* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur *Congo Red* (Yaneva and Georgieva, 2012).

2.4. Spektrofotometer Ultraviolet-Visible (UV-Vis)

Spektrofotometer UV-Vis adalah alat untuk mengukur panjang gelombang dan intensitas sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang diabsorpsi oleh sampel. Pada umumnya spektrofotometer UV-Vis digunakan untuk menentukan jenis kromofor, ikatan rangkap yang terkonjugasi dan auksokrom dari suatu senyawa, menjelaskan informasi dari struktur berdasarkan panjang gelombang maksimum suatu senyawa, serta mampu menganalisis senyawa secara kuantitatif dengan menggunakan hukum Lambert-Beer. Panjang gelombang sinar ultraviolet berada pada rentang 200-400 nm, sedangkan panjang gelombang sinar tampak berada pada rentang 400-800 nm (Dachriyanus, 2004).

Senyawa kompleks logam transisi pada umumnya 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 atau belum terisi penuh. Transisi elektronik yang terjadi pada senyawa kompleks adalah akibat dari pembelahan tingkat energi pada orbital-orbital d oleh suatu medan ligan. Warna senyawa kompleks dapat dideteksi dengan mengukur panjang gelombang yang diserap oleh senyawa kompleks menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Yenita, 2012).

2.5. Fourier Transform Infrared (FTIR)

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan teknik yang berguna dalam proses identifikasi gugus fungsi dalam suatu bahan (gas, cair, padat) menggunakan sinar radiasi inframerah. Spektroskopi inframerah akan mengukur penyerapan radiasi inframerah yang terjadi pada tiap ikatan pada molekul kemudian memberikan hasil dalam bentuk spektrum yang umumnya dinyatakan dalam % transmitansi dan bilangan gelombang (cm^{-1}) (Sopyan, 2020). 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).

Prinsip kerja dari FTIR adalah 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 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* Haseeth, 2007).

2.6. Uji Termal

Uji termal senyawa kompleks dapat dilakukan dengan menggunakan *Differential Thermal Analysis dan Thermogravimetric* (DTA-TG). Uji termal merupakan teknik untuk mengkarakterisasi sifat material yang dipelajari berdasarkan respon material tersebut terhadap temperatur. *Differential Thermal Analysis* (DTA) adalah analisis termal yang menggunakan referensi sebagai bahan pembanding, dimana sampel dan bahan referensi dipanaskan secara bersamaan dalam satu tungku. Perbedaan temperatur sampel dengan temperatur material referensi direkam selama siklus pemanasan dan pendinginan. *Thermogravimetric Analysis* (TGA) adalah analisis termal yang dilakukan pada sampel untuk menentukan perubahan berat yang terjadi akibat perubahan suhu (Zainul, 2021).

Nilai parameter aktivasi termodinamik pada proses dekomposisi senyawa kompleks dapat dievaluasi melalui kurva DTA-TG menggunakan dua metode, yaitu Coats Redfern dan Kissinger.

2.6.1. Coats Redfern

Metode Coats Redfern adalah metode integral yang mengasumsikan berbagai orde reaksi dan membandingkan linearitas dalam setiap kasus untuk memilih orde yang benar. Persamaan yang digunakan adalah persamaan 1.

$$\ln[-\ln(1-\alpha)/T^2] = -E/RT + \ln[AR/\beta E] \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

α = fraksi dekomposisi yang diberikan pada suhu T (K); R = tetapan gas (8.314 Jmol⁻¹K⁻¹); A = faktor frekuensi (min⁻¹); β = laju pemanasan (K min⁻¹); E* = energi aktivasi (kJ mol⁻¹).

Nilai energi aktivasi (E*) diperoleh dari *slope* dan nilai A diperoleh dari *intercept*. Entropi aktivasi (ΔS^*), entalpi aktivasi (ΔH^*), dan perubahan energi bebas aktivasi (ΔG^*) masing-masing dihitung dengan persamaan 3, 4, dan 5.

$$\Delta S^* = R \ln(Ah/k_B Ts) \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta H^* = E^* - RT \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta G^* = \Delta H^* - T\Delta S^* \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

k_B = tetapan Boltzman (1,3806 x 10⁻²³ J/K); h = tetapan Plank's (6,626 x 10⁻³⁴ J.s); Ts = suhu puncak DTG (Wendlandt, 1974).

2.6.2. Kissinger

Metode Kissinger adalah metode kinetika yang sederhana untuk reaksi orde pertama dan untuk menentukan nilai energi aktivasi dari kurva DTA. Nilai energi aktivasi (E*) dapat diperoleh dari *slope* dan nilai A dapat diperoleh dari *intercept*

setelah membuat grafik plot $\ln(\beta/T^2)$ versus $1/T$ (Kissinger, 1957). Persamaan yang digunakan adalah persamaan 5.

$$\ln(\beta/T_m^2) = \ln(AR/E) - (E/RT_m) \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

β = laju pemanasan ($K \text{ min}^{-1}$); A = faktor frekuensi (min^{-1}); R = tetapan gas ($8,314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$) (Kissinger *and* Blaine, 2012).

2.7. Difraksi Sinar-X (XRD)

Difraksi sinar-X (XRD) adalah suatu metode analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel (Zainul, 2021). Data yang diperoleh dari metode karakterisasi XRD adalah sudut hamburan (sudut Bragg) dan intensitas. Berdasarkan teori difraksi, sudut difraksi bergantung kepada lebar celah kisi sehingga mempengaruhi pola difraksi, sedangkan intensitas cahaya difraksi bergantung dari berapa banyak kisi kristal yang memiliki orientasi yang sama (Tipler, 1991).

Padatan merupakan materi yang bentuk dan volumenya tetap. Berdasarkan penataan partikel (atom, ion, atau molekul) pembentuknya terdapat dua jenis padatan, yaitu padatan kristal dan amorf. Kristal didefinisikan sebagai “wilayah materi di mana atom, ion, atau molekul tersusun dalam pola periodik secara translasi dalam tiga dimensi”. Amorf didefinisikan sebagai padatan yang dibentuk oleh atom, ion, atau molekul penyusunnya tersusun secara acak. Kebanyakan padatan amorf masih mengandung keteraturan tetapi rendah (Setianingsih dan Sutarno, 2018).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Oktober 2022 s.d. Februari 2023. 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, *Differential Thermal Analysis dan Thermogravimetric* (DTA-TG) dilakukan di Laboratorium Terpadu dan Sentra Inovasi Teknologi FMIPA Universitas Lampung, dan *X-ray Diffraction* (XRD) dilakukan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).

3.2. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas yang umum digunakan di laboratorium, spatula, mortar dan alu, *magnetic stirrer* Stuart CB 161, seperangkat alat refluks, neraca analitik, *hot plate* Behr Labor *Technique*, termometer 100°C, desikator, spektrofotometer UV-Vis Tipe Carry 100, FTIR Tipe Shimadzu Prestige 21, *Differential Thermal Analysis dan Thermogravimetric* (DTA-TG) Hitachi STA7300, dan *X-ray Diffractometer* (XRD) XPert MPD.

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* ($\text{C}_{32}\text{H}_{22}\text{N}_6\text{Na}_2\text{O}_6\text{S}_2$) p.a Merck, akuabides, aluminium foil, dan kertas saring whattman 42.

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 $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ dilarutkan ke dalam 5 mL akuabides dalam erlenmeyer, kemudian sebanyak 2,088 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 96-100°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 (Saputri, 2022).

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

3.3.2.1. Spektrofotometer UV-Vis

Karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis bertujuan untuk mengukur pergeseran panjang gelombang maksimum senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* hasil sintesis. Langkah awal yang dilakukan adalah menyiapkan larutan senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* dan larutan blanko akuabides yang akan diisikan ke dalam kuvet. Perekaman spektrum elektronik larutan dilakukan menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis Agilent Carry 100 yang diukur pada panjang gelombang 200-800 nm.

3.3.2.2. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR)* bertujuan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang terdapat pada senyawa kompleks. Senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* hasil sintesis di *scanning* pada daerah panjang gelombang 4000-400 cm^{-1} dengan spektrofotometer FTIR Shimadzu Prestige 21.

3.3.2.3. *Differential Thermal Analysis dan Thermogravimetric (DTA-TG)*

Karakterisasi menggunakan *Differential Thermal Analysis dan Thermogravimetric (DTA-TG)* bertujuan untuk mengukur perubahan massa dari suatu senyawa sebagai fungsi dari suhu dan menghitung parameter aktivitas termodinamika pada proses dekomposisi senyawa kompleks dengan persamaan “Coats Redfern dan Kissinger”. Senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* hasil sintesis diuji termal dengan DTA-TG Hitachi STA7300 pada kisaran suhu 0-1000°C dengan kecepatan kenaikan suhu 10°C/menit (Sembiring dan Kiswando, 2020).

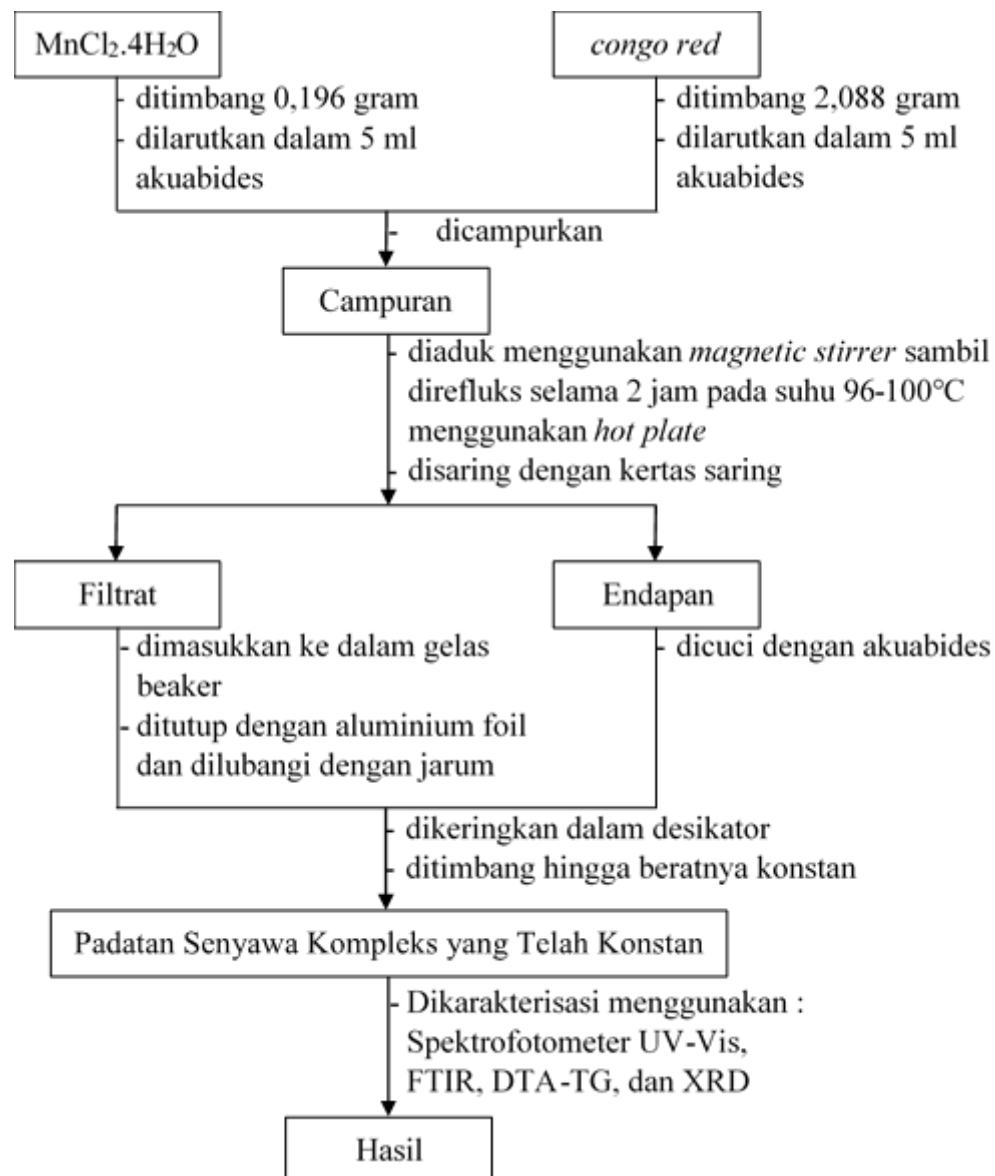
3.3.2.4. *Difraksi Sinar-X (XRD)*

Karakterisasi menggunakan Difraksi Sinar-X (XRD) bertujuan digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam senyawa kompleks. Senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* hasil sintesis diukur pada suhu kamar menggunakan *X-ray Diffractometer (XRD)* dengan rentang $2\theta = 5^\circ\text{-}60^\circ$ dan radiasi Cu $K\alpha$ pada 40 kV dan 30 mA (Setianingsih dan Sutarno, 2018).

3.3.3. Skema Alur Penelitian

Skema alur kerja penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

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



Gambar 2. Skema Alur Kerja Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)-*congo red*.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Sintesis senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* menghasilkan padatan berwarna merah tua sebanyak 1,7121 gram dengan rendemen 77,33% dengan panjang gelombang maksimum 569 nm dan ikatan antara logam mangan dengan NH dan N=N dari ligan *congo red* pada bilangan gelombang 435,91 cm^{-1} .
2. Kurva DTA-TG menunjukkan puncak endotermik pada suhu 80°C yang menyebabkan terjadinya pelepasan molekul senyawa kompleks secara bertahap yang ditandai dengan pengurangan persentase massa molekul.
3. Hasil analisis termografimetrik senyawa kompleks Mn(II)-*congo red* menggunakan metode Coats-Redfern dan Kissinger menunjukkan proses dekomposisi dengan laju reaksi lebih rendah dari yang normal dan kompleks teraktifkan memiliki sifat termal yang lebih menentukan atau yang lebih berperan dari pada reaktan.
4. Hasil dekomposisi senyawa kompleks menunjukkan *chemisorptions*, karena nilai energi aktivasi yang diperoleh dalam bentuk positif.
5. Difraktogram XRD menunjukkan senyawa kompleks hasil sintesis yang didapat berupa amorf ditandai dengan banyaknya puncak yang tidak beraturan dan entropi aktivasi yang bernilai negatif.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan melakukan tinjauan kinetika untuk mekanisme reaksi senyawa kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- Aljamali, N. M., Aldujaili, R. A., and Alfatlawi, I. O. 2021. Physical and Chemical Adsorption and its Applications. *International Journal of Thermodynamics and Chemical Kinetics*. **7**(2): 1-8.
- 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., Hammadi, F. Y., Alghoul, M. A., Sopian, K., Ahmadi, S., and Saeedfar, K. 2014. Research and Development Aspects on Chemical Preparation Techniques of Photoanodes for Dye Sensitized Solar Cells. *International Journal of Photoenergy*. 1-21.
- Bagher, A. M., Mohsen, M., and Vahid, M. M. 2015. Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*, **3**(5): 94-113.
- Bari, D., Wrachien, N., Tagliaferro, R., Penna, S., Brown, T. M., Reale, A., and Cester, A. 2011. Thermal Stress Effects on Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs). *Microelectronics Reliability*, **51**: 1762-1766.
- 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, I. M. 2013. *Rhenium (II) Complexes 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.

- Demazeau, G. 2008. Solvothermal Reactions: An Original Route for The Synthesis of Novel Materials. *Journal of Materials Science*. **43**(7): 2104-2114.
- Deville, M. H. 1999. Organometallic Electron Reservoir Sandwich Iron Complexes as Potential Agents for Redox and Electron Transfer Chain Catalysis. *Inorganica Chimica Acta*. **291**(2): 1-19.
- Dewi, W. U. 2017. Evaluasi Kinetika Dekomposisi Termal Propelan Komposit AP/HTPB dengan Metode Kissinger, Flynn Wall Ozawa dan Coats-Redfren. *Jurnal Teknologi Dirgantara*. **15**(2): 115-132.
- Dharmayanti, A., dan Martak, F. 2015. Sintesis Senyawa Aktif Kompleks Mangan(II) dengan Ligan 2(4-nitrofenil)-4,5-difenil-1H-imidazol. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. **4**(2): 2337-3520.
- Dina, I. S. 2015. *Sintesis Senyawa Kompleks Mn(II)-naphthol blue black sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. (Skripsi). Departemen Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga. Surabaya.
- Grätzel, M. 2003. Dye-Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. **4**: 145-153.
- Griffiths, R. P., and Haseth, J. A. 2007. *Fourier Transform Infrared Spectrometry Second Edition*. Hoboken. New Jersey.
- Gudasi, K. B., Patil, S. A., Vadavi, R. S., Shenoy, R. V., and Patil, M. S. 2006. Synthesis and Spectral Studies of Cu(II), Ni(II), Co(II), Mn(II), Zn(II) and Cd(II) Complexes of a New Macrocyclic Ligand N,N'-bis(2-benzothiazolyl)-2,6-pyridinedicarboxamide. *Journal Serb. Chem. Soc.* **71**(5): 529-542.
- Hardeli, Maulidis, Ridwan, S., Riky, Suwardani, dan T, F. 2013. *Dye Sensitized Solar Cells (DSSC) Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan Antosianin dari Berbagai Sumber Alami*. (Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung). Universitas Lampung. Bandar Lampung.

- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. UI Press. Jakarta.
- Kissinger, H. E. 1957. Reaction Kinetics in Differential Thermal Analysis. *Analytical Chemistry*. **29**(11): 1702-1706.
- Kissinger, H. E., and Blaine, R. L. 2012. Homer Kissinger and The Kissinger Equation. *Thermochimica Acta*. **540**: 1-6.
- 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.
- Kotteswaran, S., Mohankumar, V., Pandian, M. S., and Ramasamy, P. 2017. Effect of Dimethylaminophenyl and Thienyl Donor Groups on Zn-Porphyrin for Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Applications. *Inorganica Chimica Acta*. **467**: 256-263.
- Kumara, M. S., 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. *Jurnal Ilmiah ITS*. 1-11.
- Lee, J. D. 1991. *Concise Inorganic Chemistry*. Capmann and Hall. London.
- Lesbani, A., Lucyanti, Nurlisa, H., dan Yosi, S. 2012. Sintesis Senyawa Kompleks Kobalt dengan Asetilasetonato. *Jurnal Penelitian Sains*. **15**(3): 115-117.
- Liyana, D., Nurhadini, dan Asriza, R. O. 2021. Optimasi Konsentrasi Alginat Na_2CO_3 dari *Turbinaria sp.* Sebagai Bahan Baku Polimer Elektrolit. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*. **3**(1): 30-33.
- Ma, L. F., Han, M. L., Qin, J. H., Y, W. L., and Du, M. 2012. MnII Coordination Polymers Based on Bi-, Tri-, and Tetranuclear and Polymeric Chain Building Units: Crystal Structures and Magnetic Properties. *Inorganic Chemistry*. **51**(17): 9431-9442.
- Mahmudah, N. 2019. *Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis TiO_2 Menggunakan Metode Solvotermal pada Variasi Suhu*. (Skripsi). Jurusan Kimia Fakultas

Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim. Malang.

- 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.
- Mustopa, E. J., Hendrajaya, L., dan Tarumingkeng, S. 2016. Termodinamika Dalam Memahami Proses Pengolahan Mineral. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*. **5**: 37-42.
- Nakamoto. 2009. *Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds, Sixth Edition*. John Wiley and Sons. New Jersey.
- Natullah, R., dan Yudoyono, G. 2013. Karakterisasi Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Pada TiO₂ Fase Anatase dan Rutil. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. **2**(1): 2337-3520.
- Ningsih, S. K. 2016. *Sintesis Anorganik*. UNP Press. Padang.
- O'Neil, M. J. 2001. *The Merck Index : An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals, Thirteenth Edition*. Merck and Co. New Jersey.
- Qin, Y., and Peng, Q. 2012. Ruthenium Sensitizers and Their Applications in Dye-Sensitized Solar Cells. *International Journal of Photoenergy*. 1-21.
- Rani, F., Rafique, M. A., Iqbal, N., Kiran, S., Javed, S., Ahmad, I., Afzal, G. 2021. Green Synthesis of Nickel Oxide Nanoparticles Using Allium cepa Peels for Degradation of Congo Red Direct Dye: An Environmental Remedial Approach. *Water Science and Technology*. **84**(10): 2793-2804.
- Saputri, A. N. 2022. *Sintesis, Karakterisasi dan Aplikasi Senyawa Kompleks Mn(II)-Congo Red Sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*. (Skripsi). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Schubert, U., and Hüsing, N. 2004. *Synthesis of Inorganic Materials*. Wiley-VCH Verlag and Co. KGaA. Weinheim.

- Sembiring, Z., dan Kiswandono, A. A. 2020. Senyawa Kompleks Fe(II)-Basa Schiff: Sintesis, Karakterisasi Spektroskopi dan Studi Termal. *Analit.* **5**(2): 123-134.
- Setianingsih, T., dan Sutarno. 2018. *Prinsip Dasar dan Aplikasi Metode Difraksi Sinar-X Untuk Karakterisasi Material*. UB Press. Malang.
- Singathia, A., Patidar, K., Vashishtha, M., Upadhyaya, S., and Sangal, V. K. 2022. Investigation of Kinetic and Thermodynamic Parameters Approaches to Non-Isothermal Pyrolysis of Mustard Stalk Using Model-Free and Master Plots Methods. *Materials Science for Energy Technologies.* **5**: 6-14.
- Sopyan, I. 2020. *Kokristalisasi: Modifikasi Padatan Farmasi Sebagai Strategi Perbaikan Sifat Fisikokimia Obat*. Deepublish. Yogyakarta.
- Sudjadi. 1986. *Metode Pemisahan*. UGM press. Yogyakarta.
- Suhartati, T. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. AURA. 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.
- Tapalad, T., Arhit, N., and Sutasinee, N. 2008. Degradation of Congo Red by Ozonation. *Chiang Mai Journal Science.* **35**(1): 63-68.
- Tipler, P. 1991. *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Triyati, E. 1985. Spektrofotometer Ultra-Violet dan Sinar Tampak Serta Aplikasinya dalam Oseanologi. *Oseana.* **10**(1): 39-47.
- Wendlandt, W. W. 1974. *Thermal Methods of Analysis*. Wiley. New York.

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): 127-146.

Yenita. 2012. *Aplikasi Kompleks Besi(II)-1,2,4-Triazol untuk Senyawa Sensor Suhu pada Display Fenomena Spin Crossover*. (Thesis). Universitas Indonesia. Jakarta.

Zainul, R. 2021. *Teknik Karakterisasi Kimia Fisika*. Berkah Prima. Padang.