

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS DARI ION
LOGAM Cr(III) DENGAN LIGAN EDTA DAN APLIKASINYA DALAM
AIR LIMBAH INDUSTRI SIMULASI MENGGUNAKAN
METODE KONDENSASI**

(Skripsi)

Oleh

YULIA ARIZAWATI



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF COMPLEX COMPOUND FROM Cr(III) METAL ION WITH EDTA LIGAND AND THE APPLICATION ON WASTE WATER OF SIMULATION INDUSTRY USING CONDENSATION METHOD

By

Yulia Arizawati

It has been done synthesis and characterization Cr(III) complex compound with EDTA using condensation method. This research was done for knows the optimum condition of fomation of $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ complex compound and complexing of Cr metal from waste water of simulation industry with EDTA ligand through the characterization by spectrophotometer UV-Vis and IR. Synthesis of $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ complex compound was produced violet crystal with optimum concentrations was obtained on ratio of metal : ligand = 1 : 1 at 95 °C and optimum time 30 minutes with the rendement percent is 95,93 %. The characterization of $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ complex compound using spectrofotometer UV-Vis was obtained λ_{maks} 561 nm with $\epsilon = 32,50 \text{ L/mol cm}$ and the characterization using spectrophotometer IR was obtained the vibration of $-\text{Cr}-\text{O}$ from EDTA ligand was appeared on $561,99 \text{ cm}^{-1}$ wavenumber and $-\text{Cr}-\text{N}$ on $459,28 \text{ cm}^{-1}$ wavenumber which was indicating that has been formed the $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ complex compound. Cr metal complexing from waste water of simulation industry with EDTA ligand after characterized using spectrophotometer UV-Vis was obtained λ_{maks} is 569 nm. There was a λ_{maks} shift from 578 nm to 569 nm and a color change become violet was indicating that has been coordinated Cr(III) metal with EDTA ligand, it was same like when the synthesis of $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ complex compound before. So it can be said that EDTA ligan was able appeals Cr metal from waste water of simulation industry using condensation method.

Keywords : *Complex compound, Condensation, Cr(III), EDTA, Waste water of simulation industry*

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS DARI ION LOGAM Cr(III) DENGAN LIGAN EDTA DAN APLIKASINYA DALAM AIR LIMBAH INDUSTRI SIMULASI MENGGUNAKAN METODE KONDENSASI

Oleh

Yulia Arizawati

Telah dilakukan sintesis dan karakterisasi senyawa kompleks Cr(III) dengan EDTA menggunakan metode kondensasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum pembentukan senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dan pengompleksan logam Cr dari air limbah simulasi industri dengan ligan EDTA melalui karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis dan IR. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ menghasilkan kristal berwarna ungu dengan konsentrasi optimum diperoleh pada perbandingan logam : ligan = 1 : 1 pada suhu 95 °C dan waktu optimum 30 menit dengan rendemen sebesar 95,93 %. Karakterisasi senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan spektrofotometer UV-Vis diperoleh λ_{maks} 561 nm dengan $\epsilon = 32,50 \text{ L/mol cm}$ dan karakterisasi dengan spektrofotometer IR diperoleh vibrasi –Cr-O dari ligan EDTA muncul pada bilangan gelombang 561,99 cm^{-1} dan –Cr-N pada bilangan gelombang 459,28 cm^{-1} yang mengindikasikan bahwa telah terbentuknya senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$. Pengompleksan logam Cr dari air limbah industri simulasi dengan ligan EDTA setelah dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis diperoleh λ_{maks} sebesar 569 nm. Adanya pergeseran λ_{maks} dari 578 nm ke 569 nm serta perubahan warna menjadi ungu mengindikasikan bahwa telah terkoordinasinya logam Cr(III) dengan ligan EDTA sama seperti saat sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ sebelumnya. Sehingga dapat dikatakan bahwa ligan EDTA mampu menarik logam Cr dari simulasi air limbah dengan metode kondensasi.

Kata Kunci : *Senyawa kompleks, Kondensasi, Cr(III), EDTA, Air limbah industri simulasi*

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS DARI ION
LOGAM Cr(III) DENGAN LIGAN EDTA DAN APLIKASINYA DALAM
AIR LIMBAH INDUSTRI SIMULASI MENGGUNAKAN METODE
KONDENSASI**

Oleh

Yulia Arizawati

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

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



**UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul Skripsi : **SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA
KOMPLEKS DARI ION LOGAM Cr(III) DENGAN
LIGAN EDTA DAN APLIKASINYA DALAM AIR
LIMBAH INDUSTRI SIMULASI MENGGUNAKAN
METODE KONDENSASI**

Nama Mahasiswa : **Yulia Arizawati**

No. Pokok Mahasiswa : 1317011080

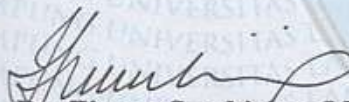
Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



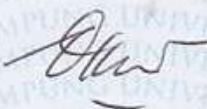
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Dr. Zipora Sembiring, M.S.
NIP 19590106 198603 2 001


Dr. Mita Rilyanti, M.Si.
NIP 19720530 200003 2 001

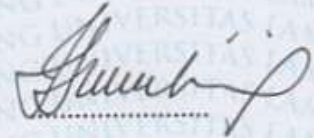
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T.
NIP 19740705 200003 1 001

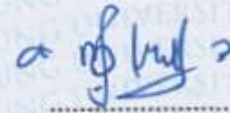
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

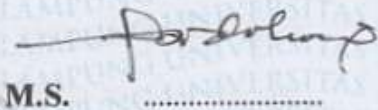
Ketua : **Dr. Zipora Sembiring, M.S.**



Sekretaris : **Dr. Mita Rilyanti, M.Si.**



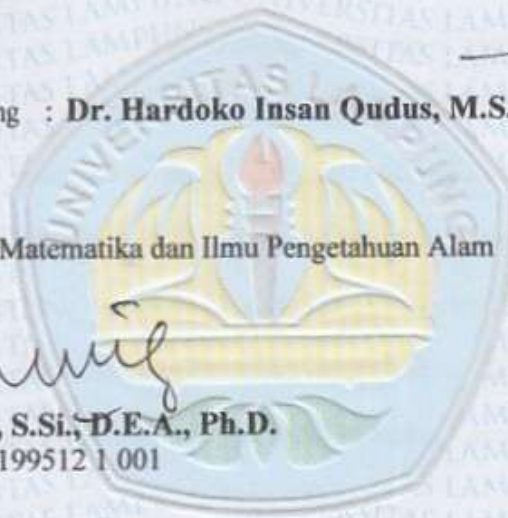
Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D.
NIP 19710212 199512 1 001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **29 November 2017**

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gunung Batin Baru, pada tanggal 08 Juli 1995, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, putri dari Bapak Wagimin dan Ibu Eni Kusrini. Jenjang pendidikan diawali dari Taman Kanak-Kanak (TK) di TK Xaverius Gunung Batin Baru yang diselesaikan pada tahun 2000. Sekolah Dasar (SD) di SD Xaverius Gunung Batin Baru yang diselesaikan pada tahun 2007. Kemudian Penulis melanjutkan Sekolah Menengah Pertama di SMP Xaverius Terbanggi Besar, Lampung Tengah yang diselesaikan pada tahun 2010, dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Terbanggi Besar diselesaikan pada tahun 2013. Tahun 2013, Penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Pada tahun 2016, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) selama 40 hari di Desa Gedung Haji, Kec. Selagai Lingga, Kab. Lampung Tengah dan telah menyelesaikan Praktik Kerja Lapangan (PKL) yang berjudul **Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Logam Co dengan Variasi Ligan Asetilasetonato, 2-Feniletilamin, dan Piridin-2,6-Dikarboksilat** di Laboratorium Anorganik/Fisik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Anorganik periode 2016-2017 untuk mahasiswa S1 Jurusan Kimia FMIPA Unila. Dalam bidang organisasi, penulis pernah terdaftar sebagai Kader Muda Himpunan Mahasiswa Kimia (KAMI) FMIPA Unila periode 2013-2014, sebagai anggota Biro Usaha Mandiri (BUM) Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMAKI) FMIPA Unila periode 2014-2015 dan periode 2015-2016.

*Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Karena itu bila kau sudah selesai (mengerjakan yang lain). Dan berharaplah hanya kepada Tuhanmu
(Q.S Al-Insyirah : 6-8)*

*Berangkat dengan penuh keyakinan dan berjalanlah dengan penuh keikhlasan
(Anonim)*

*Jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu. Sesungguhnya Allah bersama dengan orang-orang yang sabar
(Q.S Al-Baqarah : 153)*

*Teman sejati adalah ia yang meraih tangan anda dan menyentuh hati anda
(Heather Pryor)*

*DREAM IT. WISH IT. DO IT.
(Heather Pryor)*

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

“Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang”

*Atas Rahmat Allah SWT
Kupersembahkan Karya Sederhanaku ini
kepada :*

Kedua Orang tuaku,

Bapak dan Ibu yang telah menyayangi, merawat, mendidik, dan mengajarkan kebaikan sejak kecil hingga saat ini. Terimakasih Bapak dan Ibu. Kalian adalah semangat hidupku. Oleh karena itu, ijinkan aku mempersembahkan sebuah karya kecil ini sebagai ungkapan rasa terima kasihku kepada Bapak dan Ibu untuk semua pengorbanan yang telah Bapak dan Ibu lakukan untukku yang mungkin takkan pernah dapat terbalaskan dengan apapun sampai kapanpun.

*Adikku:
Diah Kusumawati*

*Pembimbing I. Dr. Zipora Sembiring, M.S.
Pembimbing II. Dr. Mita Rilyanti, M.Si.*

*Dosen-dosen yang selalu membagi ilmunya untukku
Seluruh sahabat dan teman-temanku yang selalu menyemangatiku*

Almamater tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

AssalamualaikumWr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah S.W.T , serta sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul, **“Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks dari Ion Logam Cr(III) dengan Ligan EDTA dan Aplikasinya dalam Simulasi Air Limbah Industri Menggunakan Metode Kondensasi”** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.S., selaku pembimbing satu penelitian yang telah banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan, arahan, bantuan, dukungan, saran dan kritik kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini.
2. Ibu Prof. Dr. Tati Suhartati, M.S., selaku Pembimbing Akademik (PA) atas dukungan, arahan, motivasi, serta kritik dan saran kepada penulis dalam proses perencanaan dan pelaksanaan studi serta saat penelitian.
3. Ibu Dr. Mita Rilyanti, M.Si., selaku pembimbing dua penelitian atas kesediaan memberikan bimbingan, dukungan, koreksi, saran dan kritik.

4. Bapak Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S., selaku pembahas atas kesediaan memberikan bimbingan, koreksi, saran dan kritik yang membangun bagi penulis.
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis.
6. Dr. Eng. Suripto Dwi Yuwono, M.T. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Unila.
7. Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D. selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
8. Seluruh civitas akademik Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung khususnya mbak Liza selaku laboran Laboratorium Biokimia dan Pak Gani dan Ibu Ani selaku staf administrasi, terima kasih atas bantuannya.
9. Bapak Wagimin dan Ibu Eni Kusrini selaku kedua orang tuaku yang selalu mendukungku dengan do'a dan kesabarannya terimakasih banyak.
10. Teruntuk adikku Diah Kusumawati yang selalu mendukung dan mendoakanku, semoga dilancarkan juga dalam segala urusan dan studinya.
11. Teman penelitianku Mita Sastaviana terimakasih atas bantuannya, nasehat, motivasi, keceriaan, dan semangatnya.
12. Sahabat-sahabat terbaikku selama kuliah Khomsatun Khasanah, Indah, Oci, Anggi Widiawati, dan Nurma, terimakasih atas segala kekompakannya, perhatiannya, berbagi kesedihan dan kebahagiaan, semangat, nasihat, motivasi selama ini dan tetap terjaga silaturahmi kita.

13. Sahabat-sahabatku Nia Fatmawati, Yeni Anggraini, Heni Ambarwati, Nur Khasanah, dan Putri Novia Sari terima kasih telah memberikan banyak cerita, semangat, motivasi, dan keceriaan.
14. Teman-teman Laboratorium Anorganik/Fisik, Eka Setiososari, Nova, Fatimah, Ana, Ismi, Febri, Radho, Mega, Melita, Murnita, Fentri, Della, Kartika, Arief, Awan, Esti, Nabilla, Mawar, Linda, Dewi Rumondang, Widya, Dan Renita, terimakasih terimakasih atas kebersamannya dan motivasi yang diberikan kepada penulis selama ini.
15. Teman-teman satu angkatan keluargaku tercinta Kimia 2013, Siti, Lulu, Anggi, Dona, Diky, Paul, Aulia, Celli, Citra, Dian, Erva, Fatimah, Fika, Khalimah, Febri, Indah, Maya, Megafhit, Mia, Nabilla, Nita, Riyan W, Shelta, Gita, Nisa, Vicka, Wahyuni, Yuvica, Eky, Ana, Inggit, Widya, Awan, Arief, Dewi, Korina, Esti, Nora, Fera, Vyna, Bara, Yunitri, Dilla, Badi, Nova, Linda, Shela, Renita, Ridho, Kurnia, Nurma, Ismi, Eka, Herma, Ines, Anita, Oci, Atun, Murnita, Fentri, Riska, Rian, Verdi, Dodi, Yolanda, Eka M, Nia, Uut, Nurul, Kiki, Netty, Gesa, Yuni, Tyas, Anggun, Mawar, Della, Radho, Arni, Mita, Sinta, Anton, Melita, Melia, Monica, Kartika, Ezra, dan Tika, terima kasih telah menjadi keluarga yang selalu memberikan keceriaan dan kasih sayang kepada penulis. Semoga tali silaturahmi kita tetap terjaga, dan semoga kita semua sukses dalam meraih masa depan.
16. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang secara tulus memberikan bantuan baik secara moril maupun materil kepada penulis.

Akhir kata, penulis memohon maaf kepada semua pihak apabila skripsi ini masih terdapat kesalahan dan kekeliruan, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, November 2017
Penulis

Yulia Arizawati

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	
A. Latar belakang	1
B. Tujuan penelitian.....	4
C. Manfaat penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Senyawa kompleks	5
B. Sintesis senyawa kompleks.....	5
C. Teori pembentukan senyawa kompleks.....	7
1. Teori ikatan valensi	7
2. Teori medan ligan.....	10
3. Teori orbital molekul.....	10
D. Ligan	12
1. EDTA (etilendiamintetraasetat).....	12
E. Limbah.....	13
F. Logam berat	15
G. Kromium (Cr)	18
1. Kromium(III)	20
H. Analisis senyawa kompleks.....	22
1. Spektrofotometer IR.....	22
2. Spektrofotometer UV-Vis.....	23
III. METODE PENELITIAN	
A. Waktu dan tempat	26

B. Alat dan bahan.....	26
1. Alat yang digunakan	26
2. Bahan yang digunakan.....	27
C. Cara Kerja	27
1. Sintesis senyawa kompleks	27
a. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan variasi konsentrasi	27
b. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan variasi waktu	27
c. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan kondisi optimum	28
2. Simulasi air limbah industri elektroplating	28
3. Reaksi kompleks Cr(III) dari air limbah simulasi dengan EDTA.....	29
4. Karakterisasi senyawa kompleks	29
a. Karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis	29
b. Karakterisasi dengan IR	29

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sintesis senyawa kompleks.	31
1. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan variasi konsentrasi	31
2. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan variasi waktu	33
3. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan kondisi optimum	34
B. Karakterisasi senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	38
1. Karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis.....	38
2. Karakterisasi dengan IR.....	40
C. Pengompleksan logam Cr(III) dengan EDTA dalam air limbah industri simulasi	43
1. Air limbah industri simulasi	43
2. Reaksi Kompleks Cr(III) dari air limbah simulasi dengan EDTA.....	43
D. Karakterisasi air limbah simulasi dan reaksi kompleks Cr(III) dari air limbah simulasi dengan EDTA dengan spektrofotometer UV-Vis.....	45

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	48
B. Saran	49

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Bentuk hibridisasi dan konfigurasi geometri	9
2. Tabel baku mutu air limbah bagi kawasan industri	19
3. Nilai serapan penentuan variasi konsentrasi senyawa kompleks [Cr(EDTA)] ⁻	31
4. Data spektra inframerah dari ligan EDTA dan senyawa kompleks [Cr(EDTA)] ⁻	42
5. Klasifikasi asam basa keras lunak.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ilustrasi pembentukan kompleks $\text{CrL}(\text{CNS})_3$ ($\text{L} = 1,5\text{-diazza-}8,12\text{-dioxo-}6,7:13,14\text{-dibenzocyclotetradodecane}$) yang bergeometri oktahedral.....	8
2. Kontur orbital d.....	10
3. Diagram tingkat energy untuk kompleks oktahedral.....	11
4. Struktur EDTA.....	13
5. Skema proses alami yang terjadi jika polutan logam berat masuk ke lingkungan laut.....	17
6. Kurva penentuan variasi konsentrasi senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	32
7. Kristal senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	35
8. Hibridisasi logam Cr(III) dengan ligan EDTA.....	36
9. Diagram orbital molekul ikatan sigma kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	37
10. Spektrum panjang gelombang senyawa $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$	38
11. Spektrum panjang gelombang senyawa $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	39
12. Spektrum serapan IR senyawa EDTA.....	41
13. Spektrum serapan IR senyawa $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	42
14. Perkiraan struktur senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	43
15. Air limbah industri simulasi.....	44
16. Campuran air limbah simulasi dengan ligan EDTA.....	44

17. Spektrum panjang gelombang air limbah simulasi	45
18. Spektrum panjang gelombang air limbah simulasi dengan EDTA.....	46

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan industri yang memberikan kontribusi bagi peningkatan kesejahteraan hidup masyarakat juga memberikan efek terhadap menurunnya kualitas lingkungan. Lampung merupakan salah satu provinsi yang mengalami banyak perkembangan dalam bidang industri. Beberapa industri seperti industri pelapisan logam (elektroplating), cat atau pigmen, penyamakan kulit, tekstil, dan lain-lain di dalam proses produksinya menggunakan logam berat sebagai bahan baku. Penggunaan logam berat ini nantinya akan menghasilkan hasil samping seperti limbah buangan yang akan menimbulkan dampak berupa pencemaran lingkungan. Terkait dengan keberadaan berbagai industri yang berpotensi menimbulkan pencemaran khususnya pencemaran logam-logam berat, maka perlu dilakukan suatu kajian (Poernomo dan Djoko, 2003).

Logam berat yang terkandung di dalam limbah dikhawatirkan akan berdampak pada kelangsungan hidup makhluk hidup, terutama yang bersumber dari industri. Dimana logam berat banyak digunakan sebagai bahan baku dalam dunia industri, seperti industri elektroplating yang menggunakan logam Cr sebagai bahan pelapis (Sulastri dkk, 2014). Penggunaan logam Cr yang semakin meningkat secara

langsung akan meningkatkan pula jumlah kromium yang terbuang ke lingkungan. Menurut PP No. 82 Tahun 2001 mengenai kadar maksimum kromium untuk keperluan air baku, air minum, dan kegiatan perikanan sebesar 0,05 mg/L. Air limbah yang mengandung logam Cr merupakan racun yang berbahaya bagi kehidupan organisme dan makhluk hidup lainnya (Bobrowski *et al.*, 2004).

Logam kromium merupakan logam berat yang terdapat dalam golongan VIB, memiliki konfigurasi elektron $[\text{Ar}]3d^3$, dan memiliki orbital d kosong yang dapat menerima pasangan elektron bebas untuk membentuk senyawa kompleks. Logam kromium terdapat dalam beberapa ion valensi, salah satunya yaitu kromium trivalen atau Cr(III). Cr(III) memiliki bentuk yang lebih stabil dibandingkan Cr(VI) (Winarno, 1997). Cr(III) memiliki tingkat toksisitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan Cr(VI). Pada konsentrasi rendah Cr(III) berguna untuk metabolisme karbohidrat di dalam tubuh manusia serta untuk mengaktifkan hormon insulin, sehingga apabila terjadi kekurangan Cr(III) maka akan menyebabkan terganggunya pertumbuhan serta metabolisme lemak dan protein. Namun apabila Cr(III) berada dalam konsentrasi yang tinggi maka dapat menimbulkan keracunan baik secara akut maupun kronis (Kusnoputranto, 1996).

Penelitian mengenai penanganan logam berat telah dilakukan oleh peneliti, Nurhasni dkk (2013) telah melakukan penelitian mengenai pengolahan limbah industri elektroplating dengan proses koagulasi flokulasi. Penelitian bertujuan untuk mengetahui proses pengolahan dengan koagulan Na_3PO_4 dalam menurunkan kandungan logam berat pada limbah elektroplating, rasio massa

koagulan dan limbah, pH optimum dan massa KI optimum untuk mereduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) sehingga diperoleh pH optimum yaitu pH 7. Massa optimum KI untuk mereduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) yaitu 0,5 g. Penurunan kadar krom dengan proses reduksi sebesar 83,36 mg/L atau dengan besar persentase penyisihan sebesar 95,02 % sedangkan penurunan optimal kadar Cr tanpa reduksi yaitu sebesar 87,32 mg/L atau 99,51 %.

Upaya mengenai penanganan limbah dengan menurunkan kadar logam berat dapat pula dilakukan dengan menggunakan metode sintesis senyawa kompleks menggunakan suatu ligan. Salah satu metode sintesis senyawa kompleks yang banyak digunakan adalah metode kondensasi. Metode kondensasi atau disebut metode konvensional yaitu dimana dua atau lebih molekul bergabung menjadi satu molekul yang lebih besar dengan atau tanpa hilangnya suatu molekul kecil seperti H₂O (Sembiring dan Ilim, 2008). Salah satu senyawa kompleks yang stabil adalah senyawa kompleks yang membentuk khelat dengan ligan dan memiliki struktur yang *rigid* (Tarasov *et al.*, 2011). EDTA merupakan salah satu ligan khelat yang memiliki kestabilan yang tinggi, ditinjau dari strukturnya EDTA memiliki pasangan elektron bebas yang dapat bertindak sebagai donor pasangan elektron (basa lewis) dalam pembentukan senyawa kompleks. Tiap ion EDTA dapat mengikat ion logam pada enam atom berbeda, empat untuk tiap ionasetat dan dua atom nitrogen sehingga memiliki tiga pasang elektron valensi yang dapat digunakan untuk pembentukan ikatan koordinasi (Aziz dkk, 2015).

Dari uraian tersebut, maka dilakukan penelitian mengenai senyawa kompleks

antara logam berat Cr(III) sebagai logam pusat dengan EDTA sebagai ligan untuk menghasilkan senyawa kompleks yang diharapkan pada aplikasinya mampu mengurangi efek negatif limbah logam berat Cr(III). Senyawa kompleks yang terbentuk pada penelitian ini akan dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer IR dan spektrofotometer UV-Vis.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan senyawa kompleks dari logam Cr^{3+} dari $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan ligan EDTA pada kondisi optimum ditinjau dari konsentrasi dan waktu.
2. Mempelajari pengompleksan logam Cr dari simulasi air limbah industri dengan ligan EDTA melalui karakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis dan IR.

C. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menambah referensi pembentukan senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan kondisi optimum dan mengurangi dampak negatif lingkungan terutama pada air limbah industri yang mengandung logam Cr melalui metode kondensasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Senyawa Kompleks

Senyawa kompleks merupakan senyawa yang tersusun dari ion logam pusat dengan satu atau lebih ligan yang menyumbangkan pasangan elektron bebasnya kepada atom logam pusat. Donasi pasangan elektron bebas dari ligan kepada atom pusat menghasilkan ikatan kovalen koordinasi sehingga senyawa kompleks juga disebut senyawa koordinasi (Cotton dan Wilkinson, 2007). Reaksi pembentukan senyawa kompleks merupakan reaksi asam basa lewis, dengan logam sebagai asam dan ligan sebagai basanya (Svehla, 1979).

B. Sintesis Senyawa Kompleks

Sintesis kompleks dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai cara antara lain dengan pencampuran larutan pada berbagai perbandingan mol logam : mol ligan dalam berbagai pelarut tanpa pemanasan atau pencampuran larutan disertai pemanasan pada berbagai temperatur (kondensasi). Selain itu juga dapat dilakukan dengan reaksi substitusi dengan cara pemberian energi (sinar) pada materi (senyawa kimia) yang disebut dengan induksi fotolisis.

Kumar dan Singh (2006) telah berhasil mensintesis senyawa kompleks Cr(III) dengan ligan makrosiklik *1,5-diaza-8,12-dioxa-6,7:13,14-dibenzocyclo tetradodecane*. Adanya orbital kosong pada logam Cr(III) menunjukkan bahwa dapat terbentuknya senyawa kompleks dengan masuknya elektron bebas yang dimiliki oleh ligan *1,5-diaza-8,12-dioxa-6,7:13,14-dibenzocyclo tetradodecane*. Kompleks yang dihasilkan memiliki bilangan koordinasi 6 dengan struktur oktahedral. Pada kompleks tersebut terjadi pergeseran bilangan gelombang serapan infra merah gugus -N-H (3285 cm^{-1} pada ligan menjadi 3200 cm^{-1} pada kompleksnya) dan serapan gugus Ph-O-CH₂ juga mengalami pergeseran ke arah yang lebih kecil. Pergeseran tersebut mengindikasikan bahwa kedua gugus terkoordinasi pada ion Cr(III).

Paramitha dan Muwarni (2012) juga telah berhasil mensintesis senyawa kompleks Co(II) dari CoCl₂·6H₂O dengan ligan EDTA. Adanya orbital kosong pada logam Co(II) menunjukkan bahwa dapat terbentuknya senyawa kompleks dengan masuknya elektron bebas yang dimiliki oleh ligan EDTA. Pada spektrum IR pada senyawa kompleks [Co(EDTA)]²⁻ terdapat serapan pada bilangan gelombang 2970 cm^{-1} menunjukkan adanya vibrasi ulur C-H dari gugus CH₂ pada EDTA. Pada daerah spektra $900\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur C-C dan C-N. Interaksi antara logam dengan ligan ditunjukkan pada serapan di daerah bilangan gelombang 455 cm^{-1} yang mengindikasikan bahwa telah terkoordinasi EDTA dengan logam Co(II).

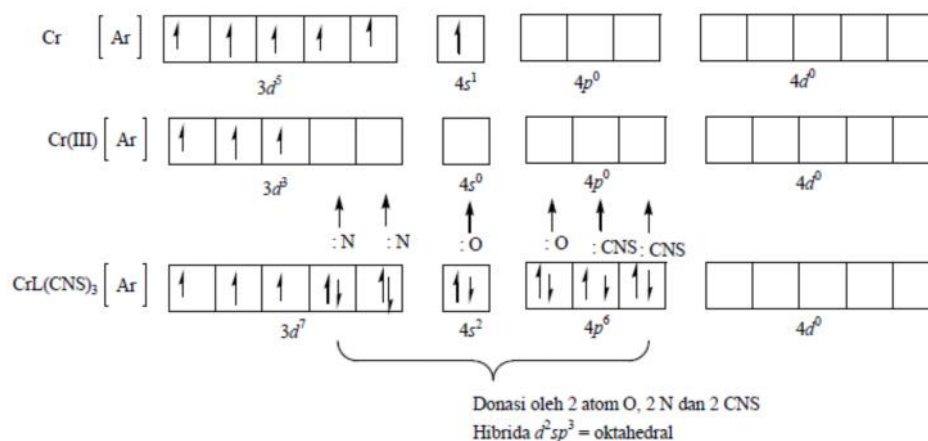
C. Teori Pembentukan Kompleks

1. Teori Ikatan Valensi

Menurut Pauling, ikatan kovalen terjadi karena adanya tumpang tindih antara orbital kosong logam dengan orbital ligan yang berupa molekul atau ion yang mempunyai pasangan elektron bebas. Ikatan yang terjadi disebut ikatan kovalen koordinasi. Teori ikatan valensi menjelaskan mengenai orbital atom logam dan ligan yang digunakan untuk berikatan. Berdasarkan teori ikatan valensi, ikatan pada ion kompleks terjadi karena ligan mempunyai pasangan elektron bebas dan atom logam mempunyai orbital yang masih kosong (Lee, 1994).

Pada senyawa kompleks Cr(III) dapat berperan sebagai atom pusat, sehingga Cr(III) harus menyediakan orbital kosong untuk ditempati pasangan elektron bebas dari ligan, contohnya pada pembentukan kompleks Cr(III) dengan *1,5-diaza-8,12-dioxa-6,7:13,14-dibenzocyclo tetradecane* (Kumar and Singh, 2006).

Kompleks Cr(III) dengan *1,5-diaza-8,12-dioxa-6,7:13,14-dibenzocyclo tetradecane* yang bergeometri oktahedral dapat terbentuk apabila Cr(III) menyediakan 6 orbital kosong untuk ditempati pasangan elektron bebas dari ligan. Keenam orbital kosong tersebut adalah dua orbital 3d, satu orbital 4s dan tiga orbital 4p yang kemudian membentuk hibridisasi d^2sp^3 yang berbentuk oktahedral seperti diilustrasikan Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi pembentukan kompleks $\text{CrL}(\text{CNS})_3$ ($\text{L} = 1,5\text{-diazaz-8,12-dioxa-6,7:13,14-dibenzocyclo tetradodecane}$) yang bergeometri oktahedral (Kumar and Singh, 2006)

Sidgwick mempertimbangkan bahwa proses pembentukan ikatan kovalen koordinasi sebagai suatu kesempatan bagi ion pusat untuk mencapai konfigurasi stabil seperti gas mulia yang kemudian dikenal sebagai nomor atom efektif. Dalam pembentukan kompleks, atom pusat harus menyediakan orbital kosong sebanyak ligan yang terkoordinasi pada ion pusat untuk ditempati pasangan elektron bebas dari ligan. Lebih lanjut Pauling mengembangkan ikatan valensi modern untuk senyawa koordinasi, yang kemudian dikenal sebagai VBT, dengan mengenalkan konsep hibridisasi. Orbital hibridisasi dapat digunakan untuk meramalkan geometri suatu senyawa, sebagaimana yang ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Bentuk Hibridisasi dan Konfigurasi Geometri (Lee, 1994)

Bilangan Koordinasi	Bentuk Hibridisasi	Geometri
2	sp	Lurus
3	sp^2	Trigonal
4	sp^3	Tetrahedral
4	dsp^2	Segiempat datar
5	sp^3d	Segitiga bipiramida
6	sp^3d^2 dan d^2sp^3	Oktahedral

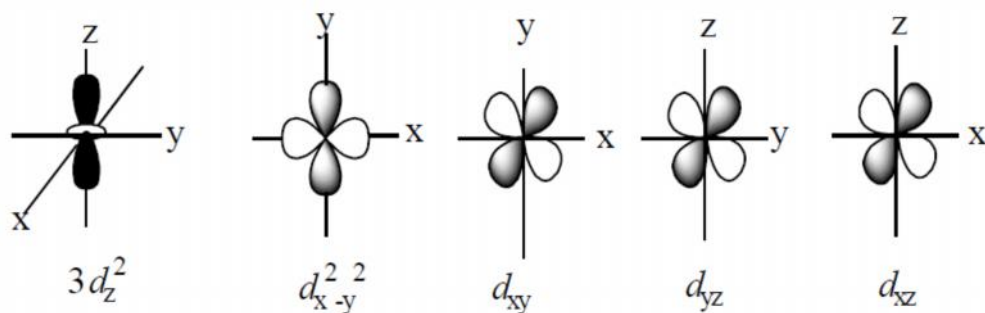
Teori ikatan valensi merupakan teori yang digunakan oleh para pakar kimia anorganik dalam menerangkan struktur geometri dan kemagnetan senyawa kompleks. Di samping itu, teori ini juga dapat digunakan untuk menggambarkan kemungkinan struktur dan kemagnetan senyawa-senyawa kompleks. Meskipun demikian teori ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya :

1. Tidak dapat menjelaskan gejala perubahan kemagnetan senyawa kompleks karena perubahan temperatur.
2. Tidak dapat menjelaskan warna atau spektrum senyawa kompleks.
3. Tidak dapat menjelaskan kestabilan energi senyawa kompleks.

Adanya kelemahan dari teori ikatan valensi memungkinkan untuk diterapkannya teori lain yang dapat menjelaskan ketiga fakta di atas. Salah satu teori tersebut adalah teori medan kristal.

2. Teori Medan Ligan

Pada teori medan ligan diasumsikan bahwa ligan dan ion logam sebagai titik muatan, interaksi logam dan ligan adalah elektrostatik serta tidak ada interaksi antara orbital logam dan ligan. Orbital d dengan kontur yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada logam mempunyai tingkat energi yang sama (terdegenerasi), akan tetapi ketika terbentuk kompleks mengalami pembelahan karena adanya medan ligan (Lee, 1994).



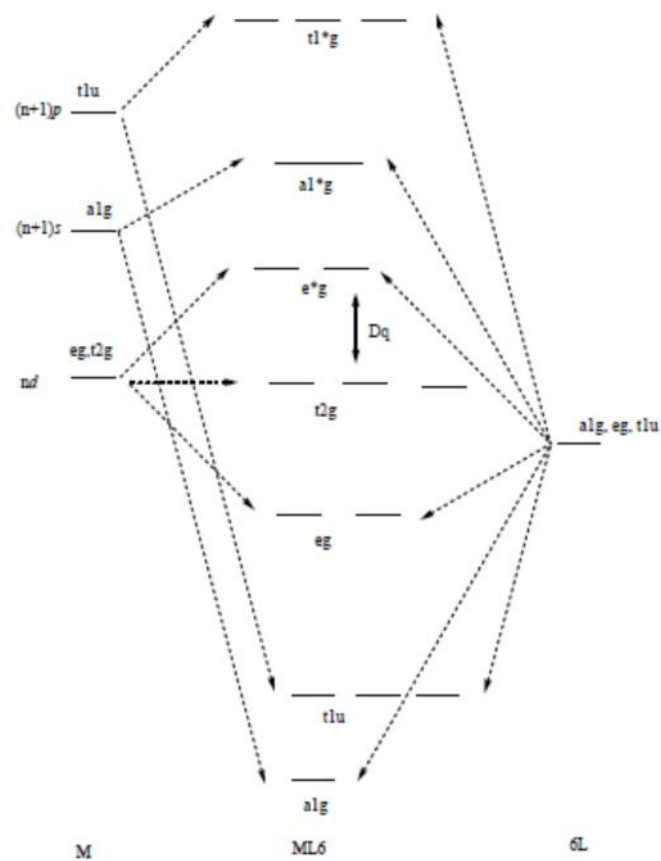
Gambar 2. Kontur orbital d (Huheey, 1993)

Pada medan oktahedral, ion logam terletak di tengah oktahedron dan ligan berada di keenam sudutnya. Orbital d terpisah menjadi dua kelompok yaitu d_{xy} , d_{xz} , d_{yz} yang disebut t_{2g} dan d_x^2 , d_y^2 , dan d_z^2 adalah orbital e_g . Medan ligan akan menyebabkan kenaikan tingkat energi orbital e_g lebih besar jika dibandingkan t_{2g} (Lee, 1994).

3. Teori Orbital Molekul

Teori orbital molekul dapat digunakan untuk menjelaskan adanya ikatan kovalen dalam senyawa kompleks. Orbital atom logam dan ligan digunakan untuk

membentuk orbital molekul. Pada kompleks oktahedral, orbital d_{xy} , d_{xz} , d_{yz} yang arahnya berada diantara arah ligan menuju ion pusat tidak terlibat dalam membentuk ikatan, sedangkan orbital d_x^2 , d_y^2 , dan d_z^2 yang mengarah langsung pada ligan dapat membentuk orbital molekul ikatan (*bonding*) dan anti-ikatan (*antibonding*). Selain itu orbital 4s dan 4p juga terlibat dalam pembentukan orbital molekul (Lee, 1994). Diagram tingkat energi untuk kompleks oktahedral ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Diagram tingkat energi untuk kompleks oktahedral (Huheey, 1993)

Pada kompleks tetrahedral, lima orbital d logam terpisah menjadi dua kelompok yaitu orbital $e(d_x^2, d_y^2, \text{ dan } d_z^2)$ dan $t_2(d_{xy}, d_{xz}, \text{ dan } d_{yz})$. Orbital ($d_x^2, d_y^2, \text{ dan } d_z^2$)

merupakan orbital *antibonding* e, yang tak terlibat dalam pembentukan ikatan. Ketiga orbital p membentuk orbital molekul *bonding* t_2 dan orbital molekul *antibonding* t_2^* . Orbital d_x^2 , d_y^2 , dan d_z^2 membentuk orbital molekul *bonding* t_2 dan orbital *antibonding* t_2^* . Orbital s membentuk orbital molekul *bonding* a_1 dan orbital *antibonding* a_1^* . Empat orbital ligan juga mempunyai orbital molekul *bonding* dan *antibonding* (Huheey, 1993)

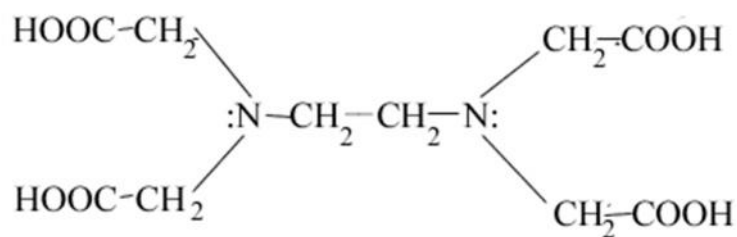
D. Ligan

Ligan adalah suatu ion atau molekul yang memiliki sepasang elektron atau lebih yang dapat disumbangkan. Ligan dapat berupa anion atau molekul netral. Jika suatu logam transisi berikatan secara kovalen koordinasi dengan satu atau lebih ligan maka akan membentuk suatu senyawa kompleks, dimana logam transisi tersebut berfungsi sebagai atom pusat. Logam transisi memiliki orbital d yang belum terisi penuh yang dapat menerima pasangan elektron bebas yang bersifat basa lewis. Ligan pada senyawa kompleks dikelompokkan berdasarkan jumlah elektron yang dapat disumbangkan pada atom logam (Cotton dan Wilkinson, 2007).

1. EDTA (Etilendiamintetraasetat)

EDTA adalah suatu asam poliprotik yang mempunyai pasangan elektron pada dua gugus amina dan empat pada gugus karboksilatnya. Senyawa ini merupakan suatu ligan yang bersifat heksadentat (terdapat enam pasang elektron bebas) yang biasanya akan membentuk kompleks khelat yang kuat. Dalam pembentukan khelat, keenam atom donor elektronnya bersama-sama mengikuti ion inti dengan

membentuk lingkaran khelat. EDTA merupakan agen *chelating* yang penting di industri, membentuk kompleks yang sangat stabil dengan ion logam divalen dan trivalen, dan pada perairan alam air limbah yang biasanya hadir dalam logam terkait (Satroutdinov *et al.*, 2000). Berikut adalah gambar dari struktur EDTA yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar4. Struktur EDTA (Anonim, 2015)

Toksisitas dari logam berat pada tubuh biota air dapat dihilangkan dengan penambahan etilendiamintetraasetat (EDTA). Hal ini dikarenakan senyawa EDTA mampu mengikat dan menarik ion logam berat tersebut keluar jaringan tubuh. Terjadinya reaksi antara zat pengikat logam yaitu EDTA dengan ion logam, menyebabkan ion logam kehilangan sifat ionnya dan mengakibatkan logam berat tersebut kehilangan sebagian besar toksisitasnya (Prasetyo, 2009).

E. Limbah

Limbah adalah buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungannya karena tidak mempunyai nilai ekonomi. Limbah yang mengandung bahan polutan yang memiliki sifat racun dan

berbahaya dikenal dengan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun), yang dinyatakan sebagai bahan yang dalam jumlah relatif sedikit tetapi berpotensi untuk merusak lingkungan hidup dan sumber daya alam (Ginting, 2007). Limbah yang mengandung polutan seperti logam berat dikhawatirkan dapat berdampak pada kelangsungan hidup makhluk hidup, dimana logam berat banyak digunakan sebagai bahan baku dalam dunia industri seperti industri elektroplating yang menggunakan logam Cr sebagai bahan pelapis (Sulastri dkk, 2014)

Beberapa unsur logam yang terdapat dalam limbah cair elektroplating antara lain krom, seng, dan nikel. Kuantitas limbah yang dihasilkan dalam proses elektroplating tidak terlalu besar, tetapi tingkat toksisitasnya sangat berbahaya, terutama krom, nikel dan seng. Karakteristik dan tingkat toksisitas dari air limbah elektroplating bervariasi tergantung dari kondisi operasi dan proses pelapisan serta cara pembilasan yang dilakukan. Pembuangan langsung limbah dari proses elektroplating tanpa pengolahan terlebih dahulu ke lingkungan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Cemaran tersebut dapat mencemari mikroorganisme dan lingkungannya baik dalam bentuk larutan, koloid, maupun bentuk partikel lainnya (Nurhasni dkk, 2013).

Mengingat penting dan besarnya dampak yang ditimbulkan bagi lingkungan maka diperlukan suatu pengolahan terlebih dahulu sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan. Beberapa proses penghilangan kandungan logam berat dapat dilakukan melalui proses pengolahan secara kimia seperti dengan presipitasi (pengendapan), adsorpsi (penyerapan), filtrasi (penyaringan) dan koagulasi.

Pengolahan limbah yang biasa dilakukan yaitu melalui proses pengendapan dengan proses koagulasi flokulasi dengan koagulan yang beragam (Nurhasni dkk, 2013). Penelitian mengenai penanggulangan logam berat telah dilakukan oleh Poernomodan Djoko (2003). Pada penelitian ini dilakukan proses pengolahan limbah cair industri pelapisan logam dengan tujuan untuk menurunkan kadar Cr^{6+} dengan metode sorpsi menggunakan zeolit dari Gunung Kidul sebagai adsorben yang diaktifkan dengan larutan NaOH. Penelitian ini menunjukkan bahwa sorpsi Cr^{6+} dalam limbah cair menggunakan zeolit hasil aktivasi terbaik menghasilkan efisiensi sorpsi terbaik dengan penurunan kadar Cr^{6+} dalam air limbah sebesar 99,04 %.

F. Logam Berat

Secara umum logam berat bisa didefinisikan sebagai logam yang dapat menyebabkan bahaya di lingkungan dalam jangka panjang karena bersifat racun bagi tumbuhan, hewan dan manusia walaupun dalam kadar yang rendah. Keberadaan logam berat di lingkungan biasanya terjadi sebagai limbah dari suatu industri atau aktivitas masyarakat. Hal ini berkaitan dengan sifat logam yang tidak dapat disintesis atau dimusnahkan. Logam berat Cd, Cr(VI) dan Pb merupakan logam berat yang umumnya mempunyai sumber pencemar yang banyak di lingkungan sebagai akibat dari aktivitas manusia (Widiowati dkk, 2015).

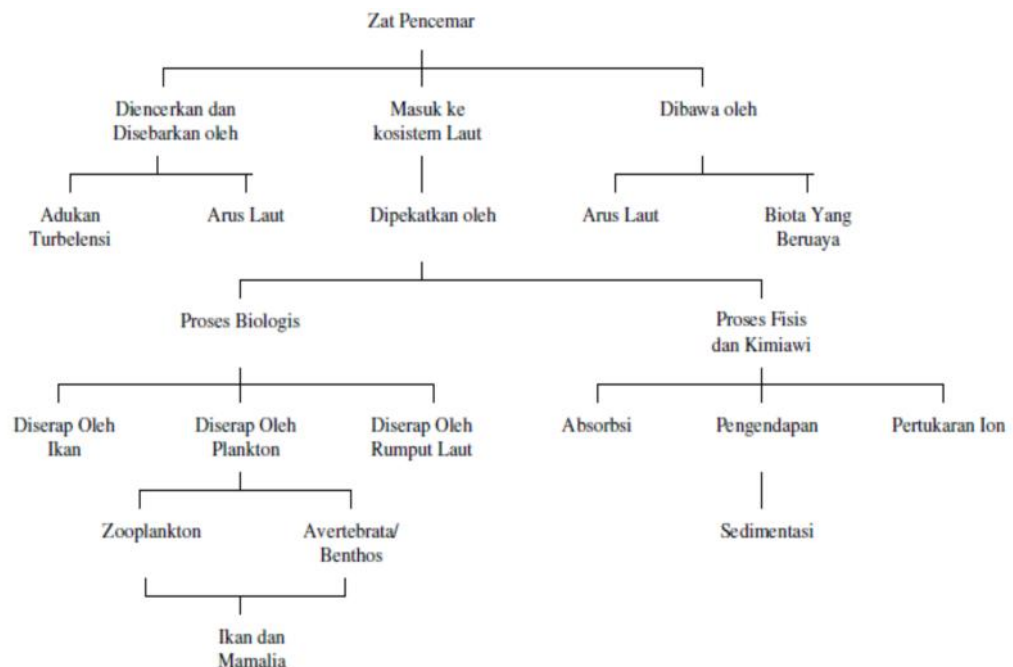
Logam berat adalah unsur-unsur yang memiliki nomor atom dari 22-92 dan terletak di dalam periode tiga dalam susunan berkala, seperti unsur-unsur Pb, Cd,

dan Hg. Kebanyakan dari logam-logam tersebut mempunyai afinitas sangat besar terhadap belerang. Dalam perairan, logam berat dapat ditemukan dalam bentuk terlarut dan tidak terlarut. Logam berat terlarut adalah logam yang membentuk kompleks dengan senyawa organik dan anorganik, sedangkan logam berat yang tidak terlarut merupakan partikel-partikel yang berbentuk koloid dan senyawa kelompok metal yang teradsorpsi pada partikel-partikel yang tersuspensi (Siaka, 2008).

Masuknya logam berat dari berbagai sumber pencemar di lingkungan memberikan peluang terakumulasinya logam berat tersebut pada tanaman pangan. Logam berat dapat terserap ke dalam jaringan tanaman pangan melalui akar dan stomata daun. Selanjutnya logam berat dapat terdistribusi ke organisme lain khususnya pada manusia melalui rantai makanan (Widiowati dkk, 2015). Organisme pada tingkat rantai makanan yang paling tinggi biasanya memiliki nilai akumulasi logam berat yang paling tinggi. Logam berat yang terakumulasi pada jaringan tubuh, apabila melebihi batas toleransi dapat menimbulkan keracunan dan bekerja sebagai bahan karsinogen pemicu kanker (Linder, 1992). Proses akumulasi logam berat inilah yang kemudian disebut bioakumulasi (Widiowatidkk, 2015).

Pembuangan limbah terkontaminasi oleh logam berat ke dalam sumber air bersih (air tanah atau air permukaan) menjadi masalah utama pencemaran karena sifat toksik dan tak terdegradasi secara biologis (*non-biodegradable*) logam berat. Jenis logam berat yang tergolong memiliki tingkat toksisitas tinggi antara lain adalah Hg, Cd, Cu, Ag, Ni, Pb, As, Pb, As, Cr, Sn, Zn, dan Mn (Murniati, dkk, 2015). Keberadaan logam berat Cr dalam limbah cair batik yang dibuang ke

badan sungai dapat menjadi masalah yang serius mengingat kedua logam berat ini bersifat toksik. Kromium dalam tubuh biasanya berada dalam keadaan sebagai ion Cr^{3+} . Kromium dapat menyebabkan kanker paru-paru, kerusakan hati (*liver*) dan ginjal. Jika terjadi kontak dengan kulit, dapat menyebabkan iritasi dan jika tertelan dapat menyebabkan sakit perut dan muntah. Mengingat bahwa keberadaan logam Cr sangat berbahaya, maka perlu diupayakan usaha menekan Cr pada limbah cair industri batik sebelum masuk ke badan air dengan tujuan untuk mengurangi tingkat pencemaran air sungai. Pembuangan limbah industri secara terus-menerus tidak hanya mencemari lingkungan perairan tetapi menyebabkan terkumpulnya logam berat dalam sedimen dan biota perairan, skema proses alami yang terjadi jika polutan logam berat masuk ke lingkungan laut ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skema proses alami yang terjadi jika polutan logam berat masuk ke lingkungan laut (Hutagalung, 1991).

Pencemaran logam berat di perairan dapat berasal dari kegiatan alam maupun industri. Secara alamiah pencemaran logam berat dapat diakibatkan adanya pelapukan batuan pada cekungan perairan atau adanya kegiatan gunung berapi (Hutagalung, 1991). Proses industri yang menghasilkan limbah berupa logam berat seperti Cr merupakan sumber utama pencemaran di perairan.

G. Kromium (Cr)

Kromium merupakan salah satu logam berat yang termasuk ke dalam unsur transisi golongan VIB dan berada pada periode 4 dalam daftar periodik. Kromium merupakan logam yang mengkilap dengan massa jenis $7,9 \text{ g/cm}^3$, memiliki titik didih tinggi (2658°C), dan titik leleh 1875°C . Kromium ditemukan di alam sebagai tiga bentuk stabil, yaitu kromium metal atau logam, kromium(III), dan kromium(VI). Kromium metal atau logam merupakan unsur dengan nomor atom 24 dalam tabel periodik, terbentuk secara luas dalam penambangan kromit, dan sangat resisten terhadap bahan kimia (korosif dan oksidatif), sehingga menjadi pertimbangan untuk digunakan dalam baja tahan karat dan pelapisan kromium. Kromium(III) dan kromium(VI) adalah bentuk-bentuk krom yang bergabung dengan unsur-unsur lain untuk membentuk senyawa (Kusnoputranto, 1996).

Kromium merupakan zat yang unik, karena disatu pihak dibutuhkan untuk kesehatan manusia dalam bentuk tertentu (Cr(III)), tetapi dilain pihak merupakan zat yang dapat menyebabkan kanker paru-paru dalam bentuk yang lain (Cr(VI)). Logam berat ini berada dalam urutan kedua setelah benzena sebagai penyusun

utama pencemar udara toksik (Kusnopranto, 1996). Logam krom adalah salah satu logam yang paling banyak ditemukan di kerak bumi dengan konsentrasi rata-rata mencapai 100 ppm. Logam Cr banyak digunakan untuk kegiatan industri salah satunya adalah industri baja. Dimana logam krom ini dimanfaatkan untuk pengerasan baja, pembuatan baja tahan karat dan juga pembentukan logam campuran (alloy). Limbah logam Cr ini berasal dari kegiatan industri diantaranya industri tekstil, industri penyamakan kulit, dan industri logam. Proses elektroplating bertujuan untuk memberikan kesan yang mengkilap pada besi dan baja disamping itu juga bertujuan untuk melindunginya dari korosi. Elektroplating ini sendiri akan menghasilkan limbah Cr(VI) dalam bentuk anion $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dan krom trivalen atau Cr(III) dalam bentuk kation Cr^{3+} . Baku mutu limbah cair bagi kawasan industri tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Tabel Baku Mutu Air Limbah Bagi Kawasan Industri

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (gram/ton)
TSS	20	0,40
Sianida Total (CN) Tersisa	0,2	0,004
Krom Total (Cr)	0,5	0,010
Krom Heksavalen (Cr^{6+})	0,1	0,002
Tembaga (Cu)	0,6	0,012
Seng (Zn)	1,0	0,020
Nikel (Ni)	1,0	0,020
Kadmium (Cd)	0,05	0,001
Timbal (Pb)	0,1	0,002
Ph		6,0-9,0
Debit Limbah Maksimum	20 L per m ² produk pelapisan logam	

(Kep.Men. Neg. L.H. No: KEP-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri)

Kadar maksimum limbah Cr(VI) yang diizinkan untuk dibuang ke lingkungan hanya 0,5 ppm. Sedangkan yang berasal dari industri logam sebesar 41,5 ppm-

105,65 ppm. Ini menunjukkan limbah keluaran tersebut 830% dari kadar maksimum yang diizinkan oleh pemerintah. Limbah logam *Hexavalent Chromium* atau Cr(VI) banyak berasal dari industri pelapisan logam, kulit, tekstil. Untuk limbah logam Cr(VI) ini mempunyai toksisitas yang sangat tinggi terutama Cr(VI) yang dapat menyebabkan kanker kulit dan saluran pernapasan (Soegiharto, 1976). Jika telah lama terakumulasi didalam tubuh akan mengakibatkan kerusakan ginjal, hati dan memicu kanker hingga menyebabkan kematian.

1. Kromium(III)

Kromium adalah logam berwarna putih perak, dan lunak jika dalam keadaan murni dengan titik leleh kira-kira 1900°C dan titik didih kira-kira 2690°C. Logam ini sangat tahan terhadap korosi, karena reaksinya dengan udara menghasilkan lapisan Cr₂O₃ yang bersifat non-pori sehingga mampu melindungi logam yang terlapis dari reaksi lebih lanjut. Dengan sifat logam yang tahan korosi, manfaat utama dari logam kromium adalah untuk pelapis logam atau baja (Cotton dan Wilkinson, 2007)

Kromium(III) atau kromium trivalen adalah bentuk yang paling penting berada di lingkungan, karena bentuknya lebih stabil dibandingkan kromium logam dan kromium(VI). Kromium trivalen hampir semuanya berbentuk kationik atau netral, cenderung membentuk senyawaan kompleks stabil dengan spesi organik ataupun anorganik yang bermuatan negatif. Sebagai contoh, Cr(III) akan membentuk senyawaan kompleks kuat dengan amina dan akan teradsorpsi oleh

mineral tanah. Kromium(III) dibutuhkan untuk kesehatan manusia, yaitu bersama-sama dengan insulin dapat menjaga kadar gula darah yang sesuai (*glucose tolerance*). *Glucose tolerance* adalah waktu yang diperlukan agar gula dalam darah kembali pada kadar normal bila manusia yang puasa mengkonsumsi gula. Waktu yang normal sekitar 2,5 jam, bila lebih dari waktu tersebut dianggap *glucose tolerance* akan terganggu, dan dengan pemberian kromium dapat diperbaiki. Kromium banyak dikandung dalam keju, biji-bijian, krim kacang, daging, dan ragi (Winarno, 1997).

Kromium dapat masuk ke dalam tubuh bergantung pada sifat kimia dan sifat fisiknya. Bentuk Cr(III) berada di dalam pencernaan makanan dengan tingkat penyerapan kira-kira 3-6%, setelah terjadi penyerapan, kromium akan dikeluarkan bersama dengan urin sebesar 0,5 – 1,5 µg. Krom trivalen juga secara bebas terdapat di udara dan dapat masuk ke dalam jaringan paru-paru jika terhirup oleh manusia, selanjutnya akan masuk ke bagian dalam saluran pernafasan dan konsentrasinya akan semakin bertambah karena kromium akan terakumulasi. Metode analisis yang telah ada untuk menentukan kadar Cr(III) secara langsung berdasarkan pembentukan kompleks dengan spektrofotometer masih sangat sedikit. Beberapa metode yang telah ada selalu dilakukan pemanasan dengan cara refluks yang disebabkan oleh lambatnya reaksi pembentukan kompleks Cr(III) dengan pereaksi kromogeniknya. Pereaksi yang telah dilaporkan untuk menentukan kadar Cr(III) secara spektrofotometri sinar tampak, yaitu 3-thianaftenoiltrifluoroaseton, kalium heksasianoferrat(II), tropolon, senyawa turunan tiazolilazo seperti 4-(2-tiazolilazo) resorsinol (Carvalho *et al.*, 2004), HBIG, dan -benzoin oksim (Ghaedi *et al.*, 2006).

H. Analisis Senyawa Kompleks

1. Spektrofotometer IR

Spektrofotometer adalah instrumen yang digunakan untuk mengetahui adanya suatu gugus fungsi dengan mengukur resapan radiasi inframerah pada berbagai panjang gelombang. Dalam spektroskopi tersebut, frekuensi dinyatakan dalam bilangan gelombang (*wavenumber*) (Fessenden dan Fessenden, 1986). Spektra IR memberikan absorpsi yang bersifat aditif atau bisa juga sebaliknya. Sifat aditif disebabkan karena *overtone* dari vibrasi-vibrasinya. Penurunan absorpsi disebabkan karena kesimetrian molekul, sensitivitas alat, dan aturan seleksi. Aturan seleksi yang mempengaruhi intensitas serapan IR ialah perubahan momen dipol selama vibrasi yang dapat menyebabkan molekul menyerap radiasi IR. Dengan demikian, jenis ikatan yang berlainan (C-H, C-C, atau O-H) menyerap radiasi IR pada panjang gelombang yang berlainan. Suatu ikatan dalam molekul dapat mengalami berbagai jenis getaran. Oleh sebab itu, suatu ikatan tertentu dapat menyerap energi lebih dari satu panjang gelombang. Puncak-puncak yang muncul pada daerah $4000\text{-}1450\text{ cm}^{-1}$ biasanya berhubungan dengan energi untuk vibrasi uluran diatomik. Daerahnya dikenal dengan *group frequency region* (Sudjadi, 1985).

Atom-atom dalam molekul tidak hanya diam di tempat, melainkan mengalami getaran (vibrasi) relatif satu sama lain. Apabila getaran atom-atom tersebut menghasilkan perubahan momen dwi kutub, akan terjadi penyerapan radiasi inframerah pada frekuensi yang sama dengan frekuensi vibrasi alamiah molekul

tersebut. Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform InfraRed*) didasarkan adanya interaksi molekul dengan energi radiasi inframerah dan bukan dengan berkas elektron berenergi tinggi. Atom-atom di dalam suatu molekul tidak dapat diam melainkan bervibrasi/bergetar. Perekaman spektrum inframerah dilakukan pada daerah inframerah yaitu dari panjang gelombang 0,00078-1 nm. Spektrum ini menunjukkan banyak puncak absorpsi pada frekuensi yang karakteristik (Fessenden dan Fessenden, 1986).

Serapan yang terjadi di daerah $3500\text{-}200\text{ cm}^{-1}$ terutama disebabkan oleh vibrasi yang mungkin terjadi dalam ligan yang terkoordinasi. Informasi mengenai struktur dan ikatan untuk vibrasi logam-ligan berada pada bilangan gelombang antara $600\text{-}400\text{ cm}^{-1}$. Dari spektrum inframerah akan diperoleh informasi mengenai pergeseran frekuensi getaran yang diakibatkan oleh kompleksasi ligan, dan ada tidaknya pita-pita inframerah tertentu sering digunakan untuk mengetahui informasi struktural suatu senyawa (Paramitha dan Muwarni, 2012).

2. Spektrofotometer UV-Vis

Pada spektrofotometer UV-Vis senyawa yang dianalisis akan mengalami transisi elektronik sebagai akibat penyerapan radiasi sinar UV dan sinar tampak oleh senyawa yang dianalisis. Transisi tersebut pada umumnya antara orbital ikatan atau pasangan elektron bebas dan orbital anti ikatan. Panjang gelombang serapan merupakan ukuran perbedaan tingkat-tingkat energi dari orbital-orbital. Agar elektron dalam ikatan sigma tereksitasi maka diperlukan energi paling tinggi dan akan memberikan serapan pada $120\text{-}200\text{ nm}$ ($1\text{ nm} = 10^{-7}\text{ cm} = 10\text{ \AA}$). Daerah ini

dikenal sebagai daerah ultraviolet hampa karena pada pengukuran tidak boleh ada udara, sehingga sukar dilakukan dan relatif tidak banyak memberikan keterangan untuk penentuan struktur. Di atas 200 nm merupakan daerah eksitasi elektron dari orbital p, d, dan orbital terutama sistem terkonjugasi mudah pengukurannya dan spektrumnya memberikan banyak keterangan. Kegunaan spektrofotometer UV-Vis ini terletak pada kemampuannya mengukur jumlah ikatan rangkap atau konjugasi aromatik di dalam suatu molekul. Spektrofotometer ini dapat secara umum membedakan diena terkonjugasi dari diena tak terkonjugasi, diena terkonjugasi dari triena dan sebagainya. Letak serapan dapat dipengaruhi oleh substituen dan terutama yang berhubungan dengan substituen yang menimbulkan pergeseran dalam diena terkonjugasi dari senyawa karbonil (Sudjadi, 1985).

Pergantian ligan dapat diamati dengan adanya pergeseran λ_{maks} untuk transisi elektron * ketika ligan hidroksi tergantikan dengan ligan asam hidroksibenzoat (lebih bersifat penarik elektron) sehingga bergeser ke arah λ_{maks} yang lebih panjang (pergeseran batokromik) (Day dan Underwood, 1998).

Pada senyawa kompleks trifeniltimah(IV) hidroksida terjadi transisi elektronik dari * pada panjang gelombang 204 nm dan dari n * yaitu 293 nm. Gugus substituen elektronegatif pada posisi *orto* akan memberikan pergeseran n * pada λ_{maks} yang lebih panjang dibandingkan posisi *meta* dan *para* (Nurissalam, 2015).

Warna senyawa kompleks dapat dideteksi dengan mengukur panjang gelombang yang diserap oleh senyawa kompleks menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Yenita, 2012). Puncak-puncak serapan pada spektrum disebabkan oleh adanya berbagai transisi elektronik yang terjadi, yaitu transisi d-d atau transisi medan

ligan yang panjang gelombang absorpsinya bergantung sekali pada pembelahan medan ligan dan transfer muatan. Hal ini terjadi apabila satu dari dua orbital memiliki karakter utama logam dan orbital lain memiliki karakter ligan. Transisi transfer muatan diklasifikasikan atas Transfer Muatan dari Logam ke Ligan (MLCT) dan Transfer Muatan dari Ligan ke Logam (LMCT) (Saito, 2011). Pada umumnya berbagai warna khas senyawa kompleks disebabkan oleh adanya transisi d-d yang mempunyai pita serapan di daerah tampak. Pada transisi d-d elektron tereksitasi dari suatu orbital d ke orbital d yang lain, misalnya dari orbital t_{2g} ke orbital e_g . Karena pemisahan energi d-d yang relatif kecil maka intensitas transisi ini relatif rendah (Yenita, 2012).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilakukan dari bulan Februari 2017 sampai dengan Agustus 2017 di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik FMIPA Universitas Lampung.

Identifikasi senyawa kompleks yang terbentuk menggunakan Spektrofotometer IR yang dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Universitas Islam Indonesia (UII) dan Spektrofotometer UV-Vis di Laboratorium Kimia Anorganik-Fisik FMIPA Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

1. Alat yang digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas yang umum digunakan di laboratorium, aluminium *foil*, *hot plate*, neraca analitik, pengaduk *magnetic stirrer*, kertas saring *Whatman 42*, dan desikator.

2. Bahan yang digunakan

Adapun bahan-bahan yang digunakan adalah $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$, akuades, dan simulasi air limbah industri berupa $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

C. Cara Kerja

1. Sintesis Senyawa Kompleks

a. Sintesis Senyawa Kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan Variasi Konsentrasi

Pada penelitian ini akan dilakukan variasi perbandingan konsentrasi Cr : EDTA sebesar 1 : 1; 1 : 2; dan 1 : 3. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan perbandingan 1 : 1 dilakukan dengan mencampurkan $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 0,266 gram dengan $\text{Na}_2\text{H}_2\text{EDTA}$ sebanyak 0,342 gram, lalu dilarutkan dalam akuades sebanyak 50 mL kemudian dipanaskan pada suhu 95°C selama 30 menit. Setelah itu larutan yang telah disintesis didiamkan hingga terbentuk endapan. Endapan yang terbentuk dicuci dengan akuades. Selanjutnya, endapan disaring dengan kertas saring *Whatman* 42 dan dikeringkan didalam desikator. Perlakuan yang sama dilakukan juga untuk sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan variasi perbandingan konsentrasi 1 : 2 dan 1 : 3. Kristal hasil sintesis ditimbang hingga diperoleh berat konstan dan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui panjang gelombang maksimum dari senyawa kompleks yang terbentuk.

b. Sintesis Senyawa Kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan Variasi Waktu

Sintesis dilakukan dengan mencampurkan $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan EDTA dengan perbandingan konsentrasi optimum yang telah diperoleh dari prosedur 1a, lalu

dilarutkan dalam akuades kemudian dipanaskan dengan suhu 95 °C dengan variasi waktu 15 menit, 30 menit, dan 45 menit. Setelah itu larutan yang telah disintesis didiamkan hingga terbentuk endapan. Endapan yang terbentuk dicuci dengan akuades. Selanjutnya, endapan disaring dengan kertas saring *Whatman* 42 dan dikeringkan didalam desikator. Kristal hasil sintesis ditimbang hingga diperoleh berat konstan.

c. Sintesis Senyawa Kompleks [Cr(EDTA)]⁻ dengan Kondisi Optimum

Sintesis dilakukan dengan mencampurkan $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan EDTA dengan perbandingan konsentrasi optimum yang telah diperoleh dari prosedur 1a, lalu dilarutkan dalam akuades kemudian dipanaskan dengan suhu 95 °C dan waktu optimum yang telah diperoleh dari prosedur 1b. Setelah itu larutan yang telah disintesis didiamkan hingga terbentuk endapan. Endapan yang terbentuk dicuci dengan akuades. Selanjutnya, endapan disaring dengan kertas saring *Whatman* 42 dan dikeringkan di dalam desikator. Kristal hasil sintesis ditimbang hingga diperoleh berat konstan dan diukur panjang gelombang maksimumnya.

2. Simulasi Air Limbah Industri

Simulasi air limbah industri dilakukan dengan berdasarkan pada komponen air limbah industri elektroplating yang dilakukan dengan cara melarutkan masing-masing 0,135 gram $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 0,006 gram $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; dan 0,008 gram $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ kedalam 200 mL akuades, sehingga diperoleh limbah simulasi yang mengandung krom, nikel, dan seng dengan kadar berturut-turut 675, 30, dan 40 mg/L (Nurhasni dkk, 2013).

3. Reaksi Kompleks Cr(III) dari Air Limbah Simulasi dengan EDTA

Sintesis dilakukan dengan mencampurkan air limbah dengan EDTA dengan perbandingan konsentrasi optimum yang telah diperoleh dari prosedur 1a, lalu dilarutkan dalam akuades, kemudian dipanaskan pada suhu 95 °C dan waktu optimum yang telah diperoleh dari prosedur 1b. Setelah itu larutan yang telah disintesis didiamkan hingga terbentuk endapan. Endapan yang terbentuk dicuci dengan akuades. Selanjutnya, endapan disaring dengan kertas saring *Whatman 42* dan dikeringkan dalam desikator. Kristal hasil sintesis ditimbang hingga diperoleh berat konstan dan dikarakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer IR dan spektrofotometer UV-Vis.

4. Karakterisasi Senyawa Kompleks

a. Karakterisasi dengan Spektrofotometer UV-Vis

Pemilihan panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) dilakukan dengan *scanning* dari 300-700 nm. Disiapkan larutan standar pada λ_{maks} , kemudian dilakukan pengukuran terhadap larutan blanko dan dibuat kurva hubungan antara absorbansi berbanding dengan konsentrasi. Karakterisasi ini digunakan untuk mengetahui absorbansi pada sampel senyawa kompleks.

b. Karakterisasi dengan IR

Sampel padat yang akan dianalisis terlebih dahulu dicampur dengan serbuk KBr (5 – 10% sampel dalam serbuk KBr), kemudian tempatkan pada *sample pan* dan siap untuk dianalisis. Sedangkan dengan metode pelet KBr. Campurkan sampel padat dengan serbuk KBr (5 – 10% sampel dalam serbuk KBr). Campuran yang

sudah homogen kemudian dibuat pellet KBr (pil KBr) dengan alat *mini hand press*. Setelah terbentuk pil KBr siap dianalisis untuk mengetahui gugus fungsi pada sampel senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka didapatkan beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan menggunakan metode kondensasi diperoleh perbandingan konsentrasi optimum 1:1 dan waktu optimum 30 menit menghasilkan kristal berwarna ungu sebanyak 0,33 gram dengan rendemen 95,93 %.
2. Karakterisasi spektrofotometer UV-Vis untuk senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ menghasilkan $\lambda_{\text{maks}} 561 \text{ nm}$ dengan nilai $\epsilon = 31,22 \text{ L/mol cm}$. Dan karakterisasi dengan spektrofotometer IR menunjukkan adanya ikatan $-\text{Cr}-\text{O}$ pada bilangan gelombang $561,99 \text{ cm}^{-1}$ dan adanya ikatan $-\text{Cr}-\text{N}$ pada bilangan gelombang $459,28 \text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan bahwa telah terkoordinasinya ion logam Cr dengan ligan EDTA.
3. Pada pengompleksan logam Cr(III) dengan EDTA pada simulasi air limbah industri diperoleh campuran berwarna ungu yang merupakan senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$. Dan setelah dikarakterisasi dengan spektrofotometer UV-Vis diperoleh $\lambda_{\text{maks}} 569 \text{ nm}$, sehingga dapat

disimpulkan ligan EDTA mampu menarik logam Cr(III) dalam air limbah industri simulasi dengan menggunakan metode kondensasi.

B. Saran

Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ perlu dilakukan penambahan kajian seperti pengaruh pH. Dan diperlukan karakterisasi lain untuk hasil yang lebih maksimal seperti titik leleh dan AAS untuk mengukur konsentrasi logam pada senyawa kompleks yang terbentuk untuk mengetahui banyaknya logam yang terikat dengan ligan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2015. Titrasi Kompleksometri. <https://hananoveani.wordpress.com/2016/06/15/titrasi-kompleksometri/>. Diakses pada 12 Desember 2016.
- Aziz, T., A.P. Rizky, dan V. Devah. 2015. Removal Logam Berat dari Tanah Terkontaminasi dengan Menggunakan *Chelating Agent* (EDTA). *Jurusan Teknik Kimia*.21:41-43.
- Bobrowski, A., J. Mocak, J. Dominik, H. Pereira, B. Bas, and W. Knap. 2004. Metrological Characteristics and Comparison of Analytical Methods for Determination of Chromium Traces in Water Samples. *Acta Chim.* 5:77-93.
- Carvalho, L.S de, A.C.S. Costa, S.L.C. Ferreira, and L.S.G. Teixeira. 2004. Spectrophotometric Determination of Chromium in Steel with 4-(2-thiazolylazo)-resorcinol (TAR) using Microwave Radiation. *J Braz Chem Soc*.15:153-157.
- Cotton, F. A. dan G. Wilkinson. 2007. *Kimia Anorganik Dasar*. Terjemahan S.Suharto. Penerbit UI Press. Jakarta.
- Day, R.A. dan A.L. Underwood. 1998. *Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Keenam*. Terjemahan oleh A.H. Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta.
- Fessenden, R.J. dan J.S. Fessenden.1986. *Kimia Organik Dasar Edisi Ketiga*. Jilid 2. Terjemahan oleh A.H. Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta.
- Gandjar, I.G. dan A. Rohman. 2007. *Kimia Farmasi Analisis*. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.

- Ghaedi, M., E. Asadpour, and A. Vafaie. 2006. Sensitized Spectrophotometric Determination of Cr(III) Ion for Speciation of Chromium Ion in Surfactant Media Using Alpha-benzoin Oxime. *SpectrochimActa*. 63:182-188.
- Ginting, P. 2007. *Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri*. Yrama Widya. Bandung.
- Harera, L.R., T. Sudiarti, dan M. Wulandari. 2015. Sintesis Cu(II)-Imprinted Polymers Untuk Ekstraksi Fasa Padat dan Prakonsentrasi Ion Tembaga(II) dengan Ligan Pengkhelat 4-(2-Pyridylazo) Resorcinol. *Al Kimia*. 2:30-39.
- Huheey, J. E., and R.L. Keither. 1993. *Inorganic Chemistry*. Fourth Edition. Hamper Collins College Publisher. New York.
- Hutagalung, H.P. 1991. *Pencemaran Laut oleh Logam Berat dalam Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya*. P3o LIPI. Jakarta.
- Kumar, R. and R. Singh. 2006. Chromium(III) Complexes with Different Chromospheres Macrocyclic Ligands: Synthesis and Spectroscopic Studies. *Turkey Journal Chem*. 30:77-87.
- Kusnoputranto, H. 1996. *Toksikologi Lingkungan Logam Toksik dan B-3*. UI-Press. Jakarta.
- Lee, J. D. 1994. *Concise Inorganic Chemistry Fourth Edition*. Chapman and Hall. London.
- Linder, M. C. 1992. *Biokimia, Nutrisi dan Metabolisme*. Department of Chemistry. California.
- Menteri Lingkungan Hidup. 1995. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor : 51 Tahun 2003, tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri. Jakarta.
- Mulya, M. dan Suharman. 1995. *Analisis Instrumen Cetakan 1*. Airlangga University Press. Surabaya.

- Murniati, T., Inayati, dan S. Budiastuti. 2015. Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik dengan Metode Elektrolisis Sebagai Upaya Penurunan Tingkat Kontaminasi Logam Berat di Sungai Jenes, Laweyan, Surakarta. *Ekosains*.7:77-79.
- Nurhasni, Z., Salimin, dan I. Nurfitriyani. 2013. Pengolahan Limbah Industri Elektroplating dengan Proses Koagulasi Flokulasi. *J Valensi*. 3:41-47.
- Nurissalam, M. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Trifeniltimah(IV) Klorobenzoat sebagai Antikorosi pada Baja Lunak. (Tesis). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Paramitha, G.A. dan I.K. Murwani. 2012. Atom Pusat Co^{2+} (d^7) dengan Konfigurasi Low Spin dalam Senyawa Kompleks Co-EDTA. *Jurusan Kimia Unesa*.7:293-296.
- Poernomo, H. dan S. Djoko. 2003. Penurunan Kadar Krom VI dalam Limbah Cair Industri Elektroplating di Tegal dengan Zeolit Gunung Kidul. *Publishing Teknologi Maju Batan*.7:142-148.
- Prasetyo, A.D. 2009. Penentuan Kandungan Logam (Hg, Pb dan Cd) dengan Penambahan Bahan Pengawet dan Waktu Perendaman yang Berbeda pada Kerang Hijau (*Perna viridis L.*) di Perairan Muara Kamal, Teluk Jakarta. (Skripsi). Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.
- Saito, T. 2011. *Buku Teks Kimia Anorganik (Alih Bahasa oleh Ismunandar)*. Kanagawa University. Tokyo.
- Sari, D. T. Y. 2006. Perbandingan Jari-Jari Atom pada Senyawa Kompleks Cr-EDTA dan Co-EDTA. (Skripsi). Universitas Lampung. Lampung.
- Satroudinov, A.D., I.G. Minkevich, and E.G. Dedyukhina, T.I. Chistyakova, and A.N. Reshetilov. 2000. Degradation of Metal EDTA Complexes by Resting Cells of the Bacterial Strain DSM 9103. *Environ. Sci. technol.* 34:1715-1720.

- Sembiring, Z. dan Ilim. 2008. Sintesis Senyawa Kompleks Cu(II) dan Mn(II) dengan Derivat Ligan Basa Schiff 1,5 Dimethylcarbazon dan Anilina. Seminar Hasil Penelitian & Pengabdian kepada Masyarakat. *Semirata*. 483-486.
- Setyawati, H. dan I.K. Muwarni. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Besi(III)-EDTA. *Prosiding Seminar Sains 2010*. 2:43-50.
- Siaka, M. 2008. Distribusi Cemaran Logam Berat Kromium (Cr) di sekitar Industri Pelapisan Logam Desa Susut Bangli. (Skripsi). Universitas Udayana Denpasar. Denpasar.
- Soegiharto, A. 1976. *Sumber- Sumber Pencemaran Laut*. LON-LIPI ISOI. Jakarta.
- Sudjadi. 1985. *Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Ghalia Indonesia. Jakarta.
- Sulastri, S., Nuryono, I. Kartini, dan E.S. Kunarti. 2014. Kinetika dan Keseimbangan Adsorpsi Ion Kromium (III) dalam Larutan pada Senyawa Silika dan Modifikasi Silika Hasil Sintesis dari Abu Sekam Padi. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta. 19:33-35.
- Svehla, G. 1979. *Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro Jilid I*. PT. Kalman Media Pustaka. Jakarta.
- Tarasov, K., P. Beaunier, M. Che, E. Marceau and Y. Li. 2011. Genesis of Supported Carbon-coated Co Nanoparticles with Controlled Magnetic Properties, Prepared by Decomposition of Chelate Complexes. *JJ Nanopart Res*. 13:1873-1887.
- Widiowati, H., K. Sari, dan W.S. Sulistiani. 2015. Profil Logam Berat Cd, Cr (VI) dan Pb Pada Lokasi Berbeda di Propinsi Lampung Serta Bioakumulasinya Pada Tanaman Pangan. *Bioedukasi*.6:112-114.
- Winarno, F.G. 1997. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia. Jakarta.

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