

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS DARI ION
Cr³⁺ DENGAN LIGAN EDTA DAN APLIKASINYA PADA PENARIKAN
ION Cr³⁺ DALAM LIMBAH CAIR SIMULASI MENGGUNAKAN
METODE ELEKTROSINTESIS**

(Skripsi)

Oleh

MITA SASTA VIANA



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

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF COMPLEX COMPOUNDS FROM ION Cr^{3+} WITH EDTA LIGAN AND THE APPLICATION OF WITHDRAWAL ION Cr^{3+} IN SIMULATION LIQUID WASTE USING ELECTROSINTESIS METHOD

By

Mita Sasta Viana

Synthesis of complex compounds of Cr^{3+} ion with EDTA ligand has been done by electrosynthesis method. The synthesis of complex compounds was done with the ratio of Cr: EDTA concentration of 1: 1. The optimum condition obtained by electrosynthesis method is 2 volts electrode for 2 hours. Complex crystals obtained purple with a rendement of 99.41%. The characterization was performed by UV-Vis spectrophotometry $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ compound showed maximum wavelength absorption at 605 nm, for complex compound $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ the synthesis result obtained maximum wavelength at 561 nm, and EDTA ligand maximum absorption at 205 nm. Characterization with Infrared (IR) spectrophotometry between the EDTA ligand spectra with the $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ complex, there was a shift of large wave numbers in the bonding vibration C=O from 1630.00 cm^{-1} to 1695.33 cm^{-1} . Cr-O bonding strengths in the complex compound IR spectra $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ appear on wave numbers of 561.99 cm^{-1} , and the vibrations for Cr-N bonds appear at wave numbers 459.28 cm^{-1} . Withdrawal Cr^{3+} metal ions in the simulated waste, we obtain the electrolyzed simulated waste solution with purple EDTA ligand. Characterization using UV-Vis spectrophotometry, the spectrum obtained for the simulation wastes appeared maximum absorption at 578 nm, while the maximum wavelength of electrolyzed simulated waste appeared at 569 nm. From the analyzes of the complex $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ can be formed by electrosynthesis method and can be applied to Cr^{3+} metal ion withdrawal in the waste.

Keywords: *Complex Compound, heavy metal waste, $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$, Electrosynthesis, UV-Vis, and FTIR.*

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS DARI ION Cr^{3+} DENGAN LIGAN EDTA DAN APLIKASINYA PADA PENARIKAN ION Cr^{3+} DALAM LIMBAH CAIR SIMULASI MENGGUNAKAN METODE ELEKTROSINTESIS

Oleh
Mita Sasta Viana

Sintesis senyawa kompleks dari ion Cr^{3+} dengan ligan EDTA telah dilakukan dengan metode elektrosintesis. Sintesis senyawa kompleks dilakukan dengan perbandingan konsentrasi Cr:EDTA yaitu 1:1. Didapat kondisi optimum dengan metode elektrosintesis yaitu pada potensial elektroda 2 volt selama 2 jam. Kristal kompleks yang didapat berwarna ungu dengan rendemen 99,41%. Karakterisasi dilakukan dengan spektrofotometri UV-Vis senyawa $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ menunjukkan serapan panjang gelombang maksimum pada 605 nm, untuk senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ hasil sintesis diperoleh panjang gelombang maksimum pada 561 nm, dan ligan EDTA serapan panjang gelombang maksimum pada 205 nm. Karakterisasi dengan spektrofotometri Infra Merah (IR) antara spektrum ligan EDTA dengan kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$, terjadi pergeseran bilangan gelombang yang besar pada vibrasi ikatan C=O yaitu dari $1630,00 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $1695,33 \text{ cm}^{-1}$. Vibrasi ikatan Cr-O pada spektrum IR senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ muncul pada bilangan gelombang $561,99 \text{ cm}^{-1}$, dan vibrasi untuk ikatan Cr-N muncul pada bilangan gelombang $459,28 \text{ cm}^{-1}$. Penarikan ion logam Cr^{3+} dalam limbah simulasi, didapat larutan limbah simulasi yang telah dielektrolisis dengan ligan EDTA berwarna ungu. Karakterisasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis, didapat spektrum untuk limbah simulasi muncul serapan panjang gelombang maksimum pada 578 nm, sedangkan panjang gelombang maksimum limbah simulasi yang telah dielektrolisis muncul pada 569 nm. Dari analisa-analisa yang telah dilakukan kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dapat terbentuk dengan metode elektrosintesis dan dapat diaplikasikan pada penarikan ion logam Cr^{3+} dalam limbah.

Kata Kunci : *Senyawa Kompleks, limbah logam berat, $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$, Elektrosintesis, UV-Vis, dan FTIR.*

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI SENYAWA KOMPLEKS DARI ION
Cr³⁺ DENGAN LIGAN EDTA DAN APLIKASINYA PADA PENARIKAN
ION Cr³⁺ DALAM LIMBAH CAIR SIMULASI MENGGUNAKAN
METODE ELEKTROSINTESIS**

Oleh

Mita Sasta Viana

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 Cr^{3+} DENGAN LIGAN EDTA DAN APLIKASINYA PADA PENARIKAN ION Cr^{3+} DALAM LIMBAH CAIR SIMULASI MENGGUNAKAN METODE ELEKTROSINTESIS**

Nama Mahasiswa : **Mita Sasta Viana**

No. Pokok Mahasiswa : 1317011046

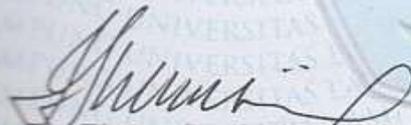
Jurusan : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


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


Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.
NIP 19590706 198811 1 001

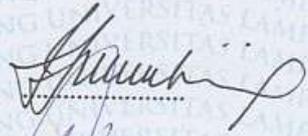
2. Ketua Jurusan Kimia FMIPA


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

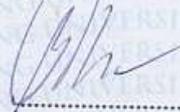
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

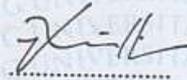
Ketua : **Dr. Zipora Sembiring, M.S.**



Sekretaris : **Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Rinawati, Ph.D.**



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 : **04 Desember 2017**

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di desa Kayu Batu, kecamatan Gunung Labuhan, Waykanan pada tanggal 15 April 1995, yang merupakan anak ke- 1 dari 4 bersaudara dari pasangan Bapak Bustan dan Ibu Salmuni Laili. Penulis menyelesaikan sekolah dasar di SDN 01 Kayu Batu, Gunung Labuhan pada tahun 2007, sekolah

lanjutan tingkat pertama di SMPN 01 Bukit Kemuning, Lampung Utara pada tahun 2010, dan sekolah menengah atas di SMAN 01 Bukit Kemuning, Lampung Utara pada tahun 2013.

Penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi negeri sebagai mahasiswi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2013. Selama menjadi mahasiswi, di bidang akademik penulis pernah menjadi asisten praktikum kimia dasar pada tahun 2015-2016 dan asisten praktikum kimia anorganik pada tahun 2016-2017, sedangkan di bidang organisasi penulis pernah menjadi anggota bidang penerbitan HIMAKI (Himpunan Mahasiswa Kimia) FMIPA Unila pada tahun 2015-2016.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala Puji dan Syukur Selalu ku Panjatkan Kepada Allah SWT.

Dengan kerendahan hati, dan ketulusan jiwa, dan mengharap Ridho Allah SWT,
kupersembahkan karya kecil yang penuh makna ini,

Teruntuk

Ebak dan Umak Tercinta yang senantiasa memberikan segala bentuk kasih sayang, perhatian, dukungan, dan yang selalu mendo'akan keberhasilanku dalam setiap sujud.

Adik-adik ku tersayang, Nia Lorena, Tissa, dan Tika Ardila, yang selalu memberi semangat, kebahagiaan dan do'a yang terbaik.

Untuk Orang tersayang, yang selalu bisa membuatku tertawa bahagia dengan semua kelucuannya, yang selalu memberi nasehat berharga, dan menjadi contoh terbaik dalam menjalani hidup, Dewan Budi Santosa, S.H.

Dan Almamater Tercinta

MOTTO

“Urusan kita dalam kehidupan ini bukanlah untuk mendahului orang lain, tetapi untuk melampaui diri kita sendiri, untuk memecahkan rekor kita sendiri, dan untuk melampaui hari kemarin dengan hari ini yang lebih baik”

– Stuart B. Johnson –

“Kepuasan berasal dari usaha, bukan hasil. Berusaha dengan keras adalah kemenangan yang hakiki “

– Mahatma Gandhi –

“Gemarlak Mengintropeksi Diri Sendiri, Sehingga kita Lalai Untuk Melihat Kekurangan Orang Lain”

– Budi Santosa –

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Cr³⁺ dengan Ligan EDTA dan Aplikasinya pada Penarikan Ion Logam Cr³⁺ dalam Limbah Simulasi dengan Metode Elektrosintesis”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Universitas Lampung.

Penyelesaian Skripsi ini berjalan dengan baik berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Warsito, S.Si., D.E.A., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T., selaku ketua jurusan Kimia FMIPA Unila.
3. Ibu Dr. Zipora Sembiring, M.S., selaku pembimbing I atas nasehat, perhatian, kesabaran, kritik dan arahan yang sangat berarti kepada penulis hingga menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Wasinton Simanjuntak, Ph.D., selaku pembimbing II atas segenap arahan, saran, serta bimbingannya yang sangat berarti bagi penulis.

5. Ibu Rinawati, Ph.D., selaku pembahas serta pembimbing akademik penulis atas perhatian, nasehat, kritik, saran, serta bimbingannya selama menjadi mahasiswa Kimia FMIPA, Unila.
6. Seluruh Dosen dan Staff di jurusan Kimia FMIPA Unila atas ilmu dan bantuan yang diberikan selama penulis kuliah.
7. Ebak dan umak tercinta atas segala pengorbanan, segala bentuk kasih sayang, do'a, serta dukungannya.
8. Adik-adik ku tersayang Nia, Tissa, dan Tika, yang telah menjadi motivasi dan kebahagiaan penulis.
9. Sepupu-sepupuku tersayang Meliyannah, S.Pd., Masnoni, S.Pd., Lindawati S.Pd., Lia Karestina, S.Pd., Yuk Ani, Kak uwan, Kak Rum, Kak Nando, Kak Adi, Oki, atas nasehat, dukungan, serta motivasi bagi penulis.
10. Keponakanku tersayang Satria, Pita Loka, Piska, Desta, Deswa, Wahyu, Bunga, Balkis, Zaskia, kembar Fatah Fatih, yang menjadi penghibur saat liburan kuliah.
11. Dewan-ku Budi Santosa, S.H., yang telah sabar menemani, memberikan masukan, saran, nasehat, motivasi, serta dukungan saat pengerjaan skripsi ini.
12. Patner penelitian-ku Yulia arizawati, S.Si., yang telah menjadi patner penelitian terbaik, atas saran, dukungan, dan kerjasamanya.
13. Sahabat-sahabat-ku Fatimah, Lulu Nur Rachmi, Anggun Ferlia Sari, Wahyuni Dewi Lestari, Siti Mudmainah, Dian Tanti Ningsih, Tya Gita Putri Utami, Antonius Wendi, Fentri Haryanti, Shelta Mey Innorisha, Christian Paul, Ferdian Diki, Radho Al-Kausar, Khomsatun Khasanah, Indah Tri Yuliyanti, Anggi Widiawati, Nurma, Oci Riyanti, Reski Adji Pratama, Hermayana,

Yudha Ari Satria, Vero Nika Netti, Yunitri Sianturi, Nurul Fatimah, Vicka Andini, Badiatul Niqmah, Nita Yulian, Arni Ardelita, ErvaAlhusna, dan Nessia Kurnia, yang selama ini menjadi sahabat terbaik semasa kuliah.

14. Semua teman-teman Kimia'13 yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, yang telah menjadi teman seperjuangan selama kuliah.

Bandar Lampung,
Penulis

MitaSastaViana

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	4
C. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Senyawa Kompleks.....	5
B. Teori-Teori Dalam Senyawa Kompleks.....	6
1. Teori Ikatan Valensi	6
2. Teori Medan Kristal	9
3. Teori Orbital Molekular	10
C. Atom Pusat	12
D. Logam Kromium.....	12
E. Logam Berat Dalam Limbah.....	14
F. Ligan	16
1. Pengertian Ligan	16

2. Jenis-Jenis Ligan	16
3. Ligan EDTA.....	17
G. Metode Elektrosintesis	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	
A. Waktu dan Tempat Penelitian	27
B. Alat dan Bahan penelitian	27
C. Prosedur Kerja.....	28
1. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan metode elektrosintesis	28
2. Karakterisasi senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	30
3. Penarikan ion logam Cr^{3+} dalam limbah simulasi dengan ligan EDTA menggunakan metode elektrosintesis	31
4. Karakterisasi limbah cair simulasi yang telah dielektrolisis dengan ligan EDTA.....	31
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Sintesis Senyawa Kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	32
1. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan variasi potensial elektroda.....	33
2. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan variasi waktu	35
3. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ pada potensial optimum dan waktu optimum	36
B. Karakterisasi Senyawa Kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	39
1. Spektrofotometri UV-Vis.....	39
2. Spektrofotometri Infra Merah	41
C. Proses Penarikan Ion Logam Cr Dalam Limbah Simulasi Dengan Ligan EDTA.....	45
1. Elektrolisis limbah cair simulasi dengan ligan EDTA.....	45

2. Karakterisasi Limbah Cair Simulasi Dengan Spektrofotometri UV-Vis	46
---	----

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	50
B. Saran.....	51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Bentuk Hibridisasi dan Konfigurasi Geometri.....	8
2. Nilai serapan penentuan variasi konsentrasi senyawa kompleks [Cr(EDTA)] ⁻	33
3. Pergeseran bilangan gelombang antara ligan EDTA dengan kompleks [Cr(EDTA)] ⁻	44
4. Klasifikasi asam basa keras lunak.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Hibrida orbital dan ikatan pada kompleks oktahedral ion $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$	7
2. Ilustrasi pembentukan kompleks $\text{CrL}(\text{CNS})$ (L= 1,5-diaza- 8,12 dioxo-6,7:13,14-dibenzosiklo tetradodekane) yang bergeometri oktahedral	8
3. Kontur orbital d	10
4. Diagram tingkat energi kompleks oktahedral	11
5. Model dari senyawa EDTA	18
6. Pengikatan EDTA dengan logam	19
7. Rangkaian sel elektrolisis	26
8. Kristal kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ hasil penelitian	37
9. Diagram orbital molekul ikatan sigma kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	38
10. Spektrum UV-Vis untuk senyawa $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$, dan ligan EDTA	41
11. Spektrum infra merah untuk ligan EDTA dan kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	44
12. Perkiraan struktur senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$	45
13. Larutan limbah simulasi setelah dielektrolisis dengan ligan EDTA	46
14. Spektrum UV-Vis untuk limbah cair simulasi dan limbah cair simulasi yang telah dielektrolisis dengan ligan EDTA	47

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan dunia industri dalam peningkatan kebutuhan manusia selalu berbanding terbalik dengan kualitas lingkungan. Hal ini terjadi karena, pada umumnya perkembangan industri pada negara berkembang seperti Indonesia lebih mementingkan keuntungan secara finansial dibandingkan dengan keadaan ekologi lingkungan di sekitar. Oleh karena itu pada akhirnya masalah pencemaran lingkungan menjadi masalah penting yang dihadapi manusia saat ini (Hening, dkk, 2003).

Lampung merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang sedang mengalami perkembangan di bidang industri. Beberapa industri seperti industri tekstil, logam, cat, dan lain-lain, memberikan dampak pencemaran logam berat yang biasanya digunakan sebagai bahan baku industri tersebut (Hening, dkk, 2003).

Logam berat tersebut biasanya diakhir produksi akan menjadi limbah yang berdampak buruk bagi lingkungan. Salah satu logam berat tersebut adalah logam kromium (Cr).

Saat ini penggunaan kromium dalam bidang industri semakin meningkat, sehingga secara langsung akan meningkatkan pula jumlah kromium yang terbuang ke dalam lingkungan (Mirah, 2007). Oleh karena itu, pemerintah mengeluarkan PP

No. 82 tahun 2001 mengenai kadar maksimum kromium untuk keperluan air baku, air minum dan kegiatan perikanan sebesar 0,05 mg/L (Nurul, dkk, 2015).

Logam kromium yang stabil di alam ada dalam dua bentuk ionnya yaitu kromium trivalent (Cr^{3+}) dan kromium heksavalen (Cr^{6+}). Kromium trivalen memiliki tingkat toksisitas yang lebih rendah dibandingkan dengan kromium heksavalen. Kromium trivalen dalam konsentrasi yang rendah berguna untuk metabolisme karbohidrat dalam tubuh manusia dan mengaktifkan insulin, sehingga apabila terjadi kekurangan Cr^{3+} maka akan mengganggu pertumbuhan dan metabolisme lemak dan protein. Namun pada konsentrasi yang lebih tinggi Cr^{3+} dapat menimbulkan keracunan baik secara akut maupun kronis (Kusnoputranto, 1996).

Penelitian mengenai penanggulangan logam berat telah dilakukan oleh Purnomo, dan djoko (2013). 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 dengan penurunan kadar Cr^{6+} dalam air limbah sebesar 99,04 %.

Upaya pengolahan limbah dengan menurunkan kadar logam berat dapat pula dilakukan dengan menggunakan metode sintesis senyawa kompleks menggunakan suatu ligan.

Salah satu ligan yang dapat menarik logam berat yaitu etilen diamina tetraasetat (EDTA) karena memiliki struktur rigid dan sifat khelat. EDTA merupakan asam tetrapotik yang sering disingkat sebagai H_4Y , dimana Y melambangkan etilen

diamina tetraasetat (EDTA). Tiap ion EDTA dapat mengikat ion logam pada enam atom berbeda, empat untuk tiap ion asetat dan dua atom nitrogen, sehingga memiliki enam pasang elektron bebas yang dapat dipakai untuk pembentukan ikatan koordinasi dengan logam berat (Tamzil, dkk, 2015).

Sintesis senyawa kompleks telah dilakukan dengan berbagai metode. Metode yang telah banyak digunakan adalah metode kondensasi atau disebut metode konvensional dimana dua atau lebih molekul bergabung menjadi satu molekul yang lebih besar, dengan atau tanpa hilangnya suatu molekul kecil seperti H₂O (Sembiring, 2008).

Metode lain yang saat ini sedang dikembangkan yaitu metode elektrosintesis. Metode elektrosintesis adalah metode untuk mensintesis suatu bahan yang didasarkan pada teknik elektrolisis. Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Dalam sel elektrolisis terjadinya reaksi redoks yang tidak spontan dari lingkungan ke sistem, dengan adanya energi listrik dari luar (Panganti, 2015).

Sehingga dengan metode ini memungkinkan untuk mensintesis suatu senyawa kompleks dengan bantuan energi listrik yang dialirkan. Metode elektrosintesis memiliki beberapa keuntungan yaitu antara lain peralatan yang diperlukan sederhana, bahan yang digunakan relatif sedikit, mudah dikontrol dan ramah lingkungan. Pada penelitian ini akan disintesis senyawa kompleks dari ion logam Cr³⁺ dengan ligan khelat EDTA menggunakan metode elektrosintesis. Hasil sintesis yang diperoleh, dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan spektrofotometer Infra merah (IR). Lalu metode elektrosintesis ini akan

diaplikasikan dalam penarikan ion logam Cr^{3+} yang terkandung dalam limbah cair simulasi, yang kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

B. Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan kondisi optimum untuk sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$.
2. Mendapatkan senyawa kompleks dari ion logam Cr^{3+} dengan ligan EDTA menggunakan metode elektrosintesis pada kondisi optimum.
3. Mendapatkan hasil karakterisasi dari senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ yang dihasilkan, menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan spektrofotometer IR.
4. Mengurangi ion logam Cr^{3+} pada limbah simulasi dengan ligan EDTA pada kondisi optimum dengan metode elektrosintesis.

C. Manfaat penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai referensi untuk sintesis senyawa kompleks dengan metode elektrosintesis.
2. Sebagai referensi untuk teknik penanggulangan ion logam Cr^{3+} dalam limbah industri dengan metode elektrosintesis.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Senyawa Kompleks

Senyawa kompleks merupakan senyawa yang tersusun dari suatu ion logam pusat dengan satu atau lebih ligan yang menyumbangkan pasangan elektron bebasnya kepada ion logam pusat. Senyawa kompleks terbentuk akibat terjadinya ikatan kovalen koordinasi antara suatu atom atau ion logam dengan suatu ligan (ion atau molekul netral). Logam yang dapat membentuk kompleks biasanya merupakan logam transisi, alkali, atau alkali tanah. Studi pembentukan kompleks menjadi hal yang menarik untuk dipelajari karena kompleks yang terbentuk dimungkinkan memberi banyak manfaat, misalnya untuk ekstraksi dan penanganan keracunan logam berat (Jahro, dkk, 2010).

Senyawa kompleks memiliki bilangan koordinasi dan struktur bermacam-macam. Mulai dari bilangan koordinasi dua sampai delapan dengan struktur linear, tetrahedral, segi empat planar, trigonal bipiramidal dan oktahedral (Jahro, dkk, 2010). Setiap senyawa kompleks juga memiliki sifat magnet yang berbeda, bentuk geometri dan sifat kemagnetan senyawa kompleks dapat dipelajari dalam teori teori senyawa kompleks.

B. Teori - Teori dalam Senyawa Kompleks

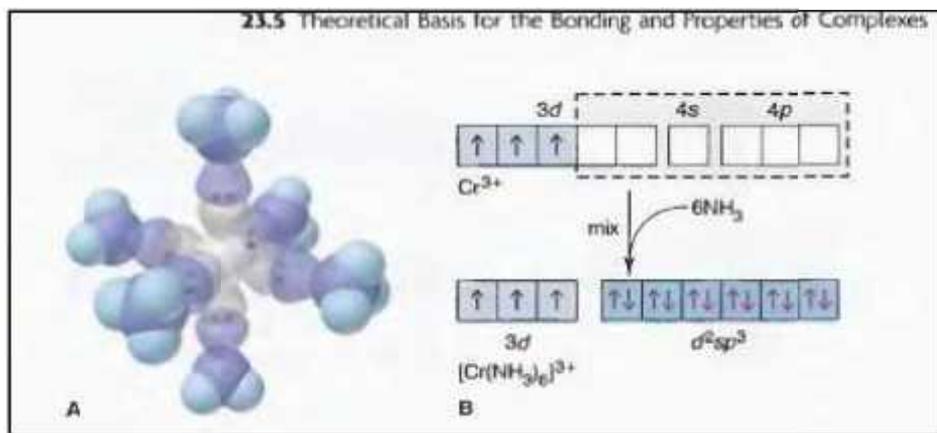
1. Teori ikatan valensi

Teori ini diawali oleh Alfred Werner yang mengusulkan dua tipe valensi, atau kemampuan bergabung, untuk ion logam yaitu valensi primer, sekarang dikenal sebagai *oxidation state*, adalah muatan positif pada logam yang harus diimbangi oleh muatan dari anion dan valensi sekunder, sekarang dikenal sebagai *coordination number*, adalah jumlah dari ligan yang terikat langsung pada atom pusat.

Peran valensi sekunder yang dikenal Werner diinterpretasikan oleh Lewis sebagai ikatan kovalen koordinat, yaitu ikatan yang terbentuk dari pasangan elektron yang hanya berasal dari satu pihak saja yaitu pihak atom donor ligan. Tetapi Sidgwick mempertimbangkan bahwa proses pembentukan kovalen koordinat sebagai suatu kesempatan bagi ion pusat untuk mencapai konfigurasi gas mulia yang kemudian dikenal sebagai nomor atom efektif.

Lebih lanjut Linus Pauling (1931) mengembangkan ikatan valensi modern untuk senyawa koordinasi, yang kemudian dikenal sebagai VBT, dengan mengenalkan konsep hibridisasi. Teori ikatan valensi dengan konsep hibridisasi, cukup baik untuk menjelaskan bentuk geometri molekul maupun sifat magnetik senyawa kompleks. Contohnya, ion heksa ammin kromium (III), $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ digambarkan dengan teori VBT untuk membentuk kompleks oktahedral. Enam orbital kosong ion Cr^{3+} dua orbital $3d$, satu $4s$, dan tiga $4p$ yang akan diisi oleh enam molekul NH_3 yang memberi pasangan elektron bebasnya sehingga

menghasilkan hibrida d^2sp^3 . Tiga orbital $3d$ yang tidak terisi penuh membuat ion kompleks paramagnetik, seperti pada Gambar 1 (Meidianto, 2013).

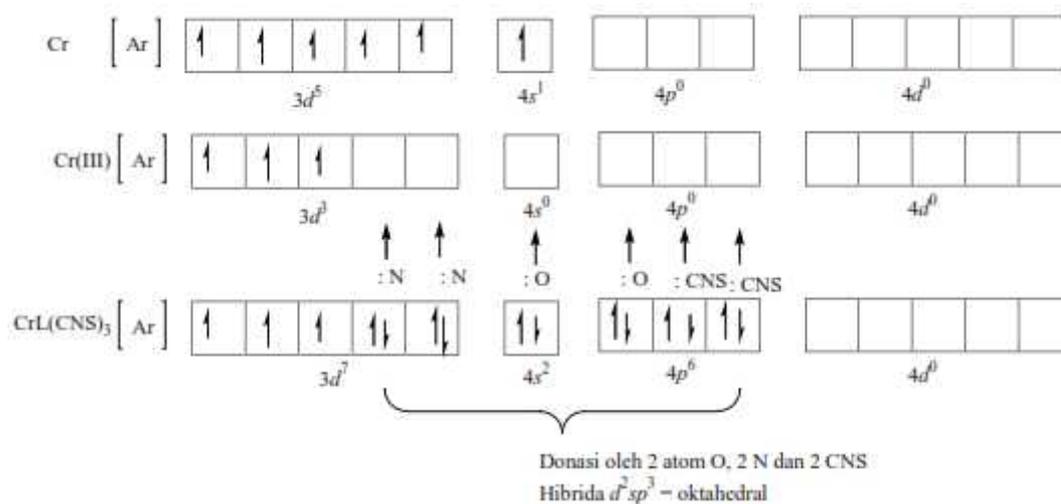


Gambar 1. Hibrida orbital dan ikatan pada kompleks oktahedral ion $[Cr(NH_3)_6]^{3+}$ (Meidianto, 2013).

Pada teori ini juga diidentifikasi adanya kompleks orbital dalam dan kompleks orbital luar. Selain itu Pauling juga mengidentifikasi bahwa kompleks orbital luar yang bersifat spin tinggi, interaksi antara atom pusat dengan ligan bersifat ionik. sebaliknya pada kompleks orbital dalam ruang bersifat spin rendah, interaksi atom pusat dengan ligan dianggap bersifat kovalen atau molekular (Sugiyarto, 2012). Contohnya pada penelitian Kumar dan Sing (2006), disintesis senyawa kompleks Cr(III) dengan ligan 1,5-diaza-8,12-dioxa-6,7:13,14-dibenzosiklo tetradodekane. Dimana pembentukan senyawa kompleksnya menggunakan orbital dalam.

Kompleks Cr(III) dengan 1,5-diaza-8,12-dioxa 6,7:13,14-dibenzosiklo tetradodekane 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 2 (Kumar dan Singh, 2006). Orbital hibridisasi dapat digunakan untuk meramalkan geometri suatu senyawa, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 (Lee, 1994).



Gambar 2. Ilustrasi pembentukan kompleks $\text{CrL}(\text{CNS})_5$ ($\text{L} = 1,5\text{-diazasiklo-}8,12\text{-dioxasiklo-}6,7:13,14\text{-dibenzosiklo tetradodekane}$) yang bergeometri oktahedral (Kumar dan Singh, 2006).

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

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

Kelemahan dari teori ini belum dapat menjelaskan senyawa kompleks dengan orbital d^7 seperti $[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]^{4-}$. Kelemahan lain adalah untuk senyawa kompleks oktahedron dari ion logam dengan orbital d^1-d^3 , teori hibridisasi untuk ion-ion ini

tidak dapat menjelaskan hibridisasi mana yang dipilih, karena keduanya tidak memberikan perbedaan sifat elektromagnetik kompleks yang bersangkutan.

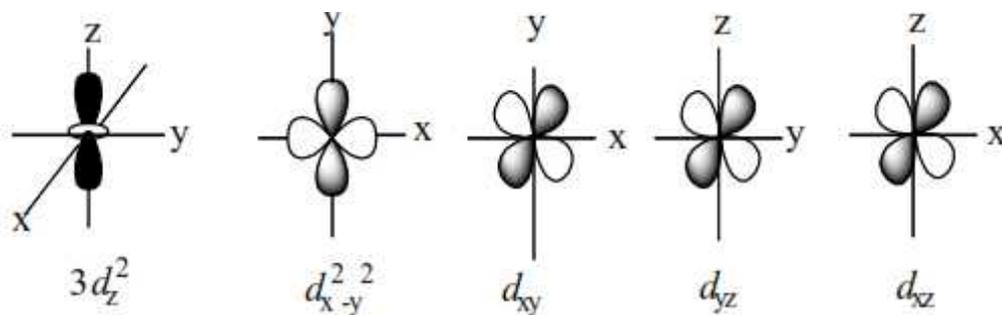
2. Teori medan kristal

Teori medan kristal pada mulanya dikembangkan oleh J. Bethe dan Van Vleck pada tahun 1932. Teori ini mengasumsikan bahwa dalam senyawa kompleks, atom pusat dan ligan-ligan dipandang sebagai titik yang bermuatan listrik. Dengan demikian prinsip elektrostatik, yaitu tolak-menolak antara elektron-elektron orbital d atom pusat dengan elektron-elektron atom donor dalam ligan mengambil peran utama.

Dalam atom ataupun ion bebas (yaitu dalam keadaan gas), energi elektron-elektron kelima orbital d adalah sama atau setingkat karena sama sekali tidak ada pengaruh dari luar. Kelima orbital ini dikatakan bersifat degenerat yang artinya mempunyai energi setingkat, dan atom dikatakan dalam tingkat dasar (*ground state*), tanpa adanya pengaruh medan. Namun untuk senyawa kompleks, pasangan elektron atom-atom donor ligan diarahkan kepada atom pusat untuk membentuk ikatan kovalen koordinat dengan demikian, ligan memberikan medan ligan listrik negatif diseperti atom pusat sehingga menghasilkan interaksi tolakan dengan elektron-elektron d terluar dari atom pusat ini. Akibatnya, energi elektron-elektron d mengalami kenaikan. Teori ini menjelaskan terjadinya pembelahan (energi) orbital d oleh karena interaksinya dengan ligan dalam geometri kompleks (Sugiyarto, 2012).

Orbital d logam (kontur ditunjukkan Gambar 3) mempunyai tingkat energi yang sama (terdegenerasi), akan tetapi ketika terbentuk kompleks mengalami

pembelahan karena adanya medan ligan (Lee, 1994). Jenis geometri dan kuat atau lemahnya interaksi ini membawa konsekuensi konfigurasi elektronik spin tinggi atau spin rendah yang berkaitan dengan sifat diamagnetik atau paramagnetik senyawa kompleks. Lebih lanjut terjadinya transisi elektronik dari energi orbital d lebih rendah ke energi orbital d lebih tinggi diasosiasikan dengan warna senyawa kompleks yang bersangkutan (Huheey, dkk, 1993).



Gambar 3. Kontur orbital d (Huheey, dkk, 1993).

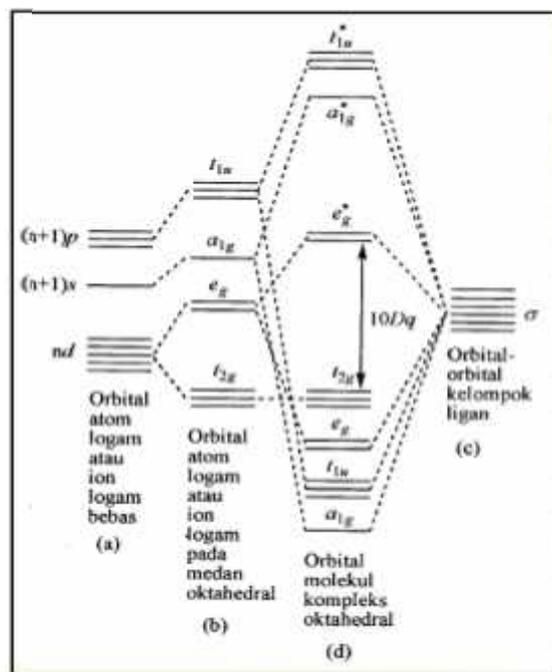
3. Teori orbital molekul

Teori ini dipelopori oleh Hund dan Mulliken. Seperti halnya pada senyawa-senyawa sederhana, konsep orbital molekular juga dapat diterapkan pada senyawa kompleks sekalipun lebih rumit. Namun demikian dapat disederhanakan dengan hanya mempertimbangkan orbital-orbital atomik yang benar-benar berperan dalam pembentukan orbital molekul (OM) yaitu orbital $3d$, $4s$, $4p$ bagi atom pusat dari logam transisi seri pertama dan orbital $s-p$ atau bentuk hibridisasinya bagi atom donor dari ligan yang bersangkutan. Sifat valensi baik peran ikatan maupun senyawa kompleks hanya dijelaskan pada teori ini.

Teori ini mampu melukiskan diagram orbital molekular dengan konfigurasi elektronik yang membedakan spin tinggi dengan spin rendah. Teori ini juga

mampu mengidentifikasi orde ikatan, sebagai salah satu aspek yang berkaitan dengan kestabilan senyawa kompleks (Sugiyarto, 2012). 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 $d_{x^2-y^2}$ 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 4 (Huheey, dkk, 1993).



Gambar 4. Diagram tingkat energi kompleks oktahedral (Huheey, dkk, 1993).

C. Atom Pusat (Ion Pusat)

Atom pusat dalam senyawa kompleks berperan sebagai asam lewis yang mempunyai orbital kosong. Kebanyakan atom pusat atau ion logam merupakan logam transisi. Logam transisi dapat didefinisikan sebagai unsur-unsur yang elektron pada sub kulit *d*-nya belum terisi penuh. Kesepuluh unsur-unsur transisi deret pertama memiliki sifat fisik dan kimia sama.

Secara umum terdapat sedikit perbedaan dalam muatan inti efektif karena elektron yang mengisi kulit *3d* menjadi pelindung yang efektif antara inti dan kulit terluar *4s*. Sifat-sifat fisika dan kimia unsur-unsur transisi berbeda dari unsur-unsur golongan utama, yaitu antara lain: mempunyai lebih dari satu jenis muatan atau perbandingan jari-jari atom-nya besar; keras dan mempunyai kerapatan tinggi; mempunyai titik leleh dan titik didih tinggi; membentuk senyawa-senyawa bersifat paramagnetik; menunjukkan bilangan oksidasi yang bervariasi; membentuk ion dan senyawa-senyawa berwarna; membentuk senyawa-senyawa bersifat katalis aktif; membentuk kompleks yang stabil (Retno, 2008).

D. Logam Kromium

Kromium adalah logam masif, 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, karna reaksinya dengan udara menghasilkan lapisan Cr_2O_3 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 (Sugiyarto, 2003).

Kromium memiliki bilangan oksidasi yang paling stabil dan penting yaitu +2 dan +3. Senyawa kompleks dari logam kromium banyak terdapat sebagai Cr(III), yang dapat membentuk kompleks dengan bilangan koordinasi 3, 4, 5 dan 6. Pada umumnya kompleks Cr(III) memiliki bilangan koordinasi 6 dengan geometri oktahedral (Cotton dan Wilkinson, 1988). Selain itu kompleks Cr(III) juga dapat membentuk geometri lain misalnya pentagonal bipiramid terdistorsi (Cotton dan Wilkinson, 1988).

Kromium telah dimanfaatkan secara luas dalam kehidupan manusia. Logam ini banyak digunakan sebagai bahan pelapis (*plating*) pada bermacam-macam peralatan mulai dari peralatan rumah tangga sampai bahan pembuat mobil. Cr juga banyak dibentuk menjadi *alloy* (Palar, 2004). Logam ini masuk ke tatanan lingkungan diduga paling banyak dari kegiatan-kegiatan perindustrian, rumah tangga dan pembakaran serta mobilisasi bahan-bahan bakar (Nurdiani, 2005).

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. (*U.S Department of Commerce* 1980 diacu dalam Yanto 2004).

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*-nya akan terganggu, dan dengan pemberian kromium dapat diperbaiki. Kromium banyak dikandung dalam keju, biji-bijian, krim kacang, daging, dan ragi (Winarno, 1997). Tetapi Cr^{3+} dalam kadar yang berlebih dapat berbahaya dalam tubuh, yaitu dapat menyebabkan gangguan pernapasan, jika terjadi kontak dengan kulit dapat menyebabkan iritasi dan jika tertelan dapat menyebabkan sakit perut dan muntah (Murniati, dkk, 2015).

E. Logam Berat dalam Limbah

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 (Hening, dkk, 2015).

Masuknya logam berat Cd, Cr (VI) dan Pb 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 (Alloway, 1990). 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 (Hening, dkk, 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 takterdegradasi 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).

Sumber logam berat krom (Cr) dan timbal (Pb) yang bersifat toksis, dapat berasal dari zat pewarna (CrCl_3 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) maupun berasal dari zat mordant yaitu merupakan pengikat zat warna seperti $\text{Cr}(\text{NO}_3)_2$ dan PbCrO_4 (Suharty, 1999). Keberadaan logam berat Cr dan timbal Pb 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 dan Pb sangat berbahaya, maka perlu diupayakan usaha menekan Cr dan Pb pada limbah cair industri batik sebelum masuk ke badan air dengan tujuan untuk mengurangi tingkat pencemaran air sungai. Salah satu langkah untuk menekan

logam berat Cr dan Pb perlu dilakukan penelitian yang bersifat *laboratories* yaitu dengan metode elektrolisis (Murniati, dkk, 2015).

F. Ligan

1. Pengertian ligan

Ligan dalam bahasa latin yaitu “ligare” yang artinya mengikat atau terjepit. Istilah ini pertama kali dipakai oleh Alfred Stock pada tahun 1916 dalam kaitan dengan kimia silikon. Ligan lebih jauh berkarakteristik sebagai monodentat, bidentat, tridentat dan sebagainya. Konsep dentat dimaksudkan sebagai sudut gigitan (Retno, 2008).

Kebanyakan ligan adalah anion atau molekul netral yang merupakan donor elektron. Beberapa yang umum adalah F^- , Cl^- , Br^- , CN^- , NH_3 , H_2O , CH_3OH , OH^- (Cotton dan wilkinson, 2007). Menurut Lewis, ligan merupakan basa lewis yang berperan sebagai spesi pendonor (donator) elektron. Ligan memiliki sekurangnya sepasang elektron bebas (PEB) (Chang, 2007).

2. Jenis-jenis ligan

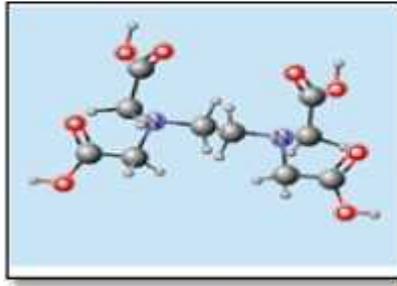
Ligan sebagaimana pengertiannya sebagai pendonor pasangan elektron bebas maka ligan mempunyai beberapa jenis. Ligan yang menyumbangkan satu pasangan elektronnya kepada sebuah atom logam, disebut ligan monodentat atau ligan bergigi satu. Ligan yang mengandung dua atau lebih atom, yang masing-masing secara serempak membentuk ikatan dua donor elektron kepada ion logam yang sama, disebut polidentat. Ligan ini juga disebut ligan kelat (dari bahasa latin untuk kuku atau cakar). Karena ligan ini tampaknya mencengkram kation diantara dua atau lebih atom donor.

Ligan bidentat merupakan yang paling terkenal diantara ligan polidentat. Ligan bidentat yang netral diantaranya anion diamin, difosfin, dieter dan beta-ketoenolat, dan yang paling terkenal adalah etilendiamin (EN), difos, glim, karbosilat, nitrat, dan sulfat. Yang termasuk ligan polidentat adalah ligan tri-, kuadri-, penta-, dan heksadentat. Contoh dari ligan tridentat adalah dietilen triamin.

Ligan kuadridentat dapat berupa cincin terbuka, seperti basa schiff yang diturunkan dari asetilaseton, namun yang lebih penting adalah ligan makrosiklik, seperti porfirin (6-XII) dan turunannya, ftalosiain (6-XIII). Ligan heksadentat yang juga dapat berfungsi sebagai ligan pentadentat atau kuadridentat adalah etilendiamin tetraasetat (H_4EDTA) dalam bentuk anionnya (H_2EDTA^{2-} , $HEDTA^{3-}$, $EDTA^{4-}$) (Cotton dan wilkinson, 2007).

3. Ligan EDTA

Asam etilendiamin tetraasetat atau yang lebih dikenal dengan EDTA, merupakan salah satu jenis asam amina polikarboksilat yang seringkali digunakan sebagai titran dalam titrasi kompleksometri. EDTA sebenarnya adalah ligan seksidentat yang dapat berkoordinasi dengan suatu ion logam lewat kedua nitrogen dan keempat gugus karboksil-nya atau disebut ligan multidentat yang mengandung lebih dari dua atom koordinasi per molekul, misalnya asam 1,2-diamin etana tetraasetat (asam etilen diamina tetraasetat) yang mempunyai dua atom nitrogen penyumbang dan empat atom oksigen penyumbang dalam molekulnya (Rival, 1995).



Gambar 5. Model dari senyawa EDTA (Rival, 1995).

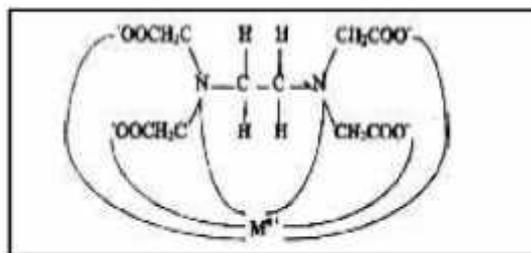
Ligan EDTA dapat membentuk senyawa kompleks yang mantap dengan sejumlah ion logam sehingga EDTA merupakan ligan yang tidak selektif. Dalam larutan yang agak asam, dapat terjadi protonasi parsial EDTA, yang menghasilkan spesies seperti CuHY^- (Harjadi, 1993). Menurut Satroutdinov, dkk (2000), ligan EDTA merupakan agen pengkhelat yang membentuk senyawa kompleks sangat stabil dengan ion logam divalent (Co^{2+}) dan terlarut dalam air.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan mengenai ligan EDTA yang dilakukan oleh Tamzil, dkk, 2015. Penelitian ini menggunakan senyawa EDTA sebagai *chelating agents* yang menarik logam berat dari tanah yang terkontaminasi. *Chelating agents* adalah senyawa organik ataupun anorganik yang mampu mengikat ion logam. *Chelating agents* memiliki ligan yang mengikat atom yang terbentuk dari dua ikatan kovalen ataupun kovalen koordinat untuk membentuk *bidentate chelate*. Ligan bidentat ataupun multidentat membentuk struktur cincin yang terdiri dari ion-ion logam dan 2 atom ligan yang terikat pada logam (Tamzil, dkk, 2015).

Chelating agents merupakan larutan pencuci yang umum digunakan pada proses *soil washing*, dan diantara *chelating agents* lainnya, EDTA merupakan pelarut yang dapat melarutkan banyak logam termasuk Pb dan Fe. EDTA adalah asam

tetrapotik sering disingkat sebagai H_4Y , dimana Y melambangkan ion etilendiamintetraasetate ($EDTA^{4-}$). EDTA sedikit terlarut dalam air dan memiliki konstanta disosiasi asam induk untuk menghasilkan H_3Y^- , H_2Y^{2-} , HY^{3-} , Y^{4-} berturut-turut adalah 10^{-2} ; $2,16 \times 10^{-3}$; $6,92 \times 10^{-7}$, dan $5,50 \times 10^{-11}$.

Tiap ion $EDTA^{4-}$ dapat mengikat ion logam dengan enam situs berbeda, empat untuk tiap ion asetat dan dua atom nitrogen sehingga memiliki tiga pasang elektron valensi yang dapat dipakai untuk pembentukan ikatan koordinat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 (Tamzil, dkk, 2015).



Gambar 6. Pengikatan EDTA dengan logam (Tamzil, dkk, 2015).

G. Metode Elektrosistesis

1. Pengertian metode elektrosintesis

Semua proses kimia dan elektrokimia melibatkan pergerakan elektron. Reaksi kimia dibantu oleh bahan oksidasi (*oxidant*) dan bahan reduksi (*reductant*) membentuk kompleks teraktif untuk mendapatkan hasil reaksi. Sintesis secara elektrokimia ialah sintesis suatu bahan menggunakan bidang elektrokimia yang melibatkan perpindahan elektron di permukaan elektroda. Teknik elektrokimia merupakan teknik yang ramah lingkungan sehingga dikenali sebagai satu teknik teknologi hijau masa depan (Siu dan Yudin, 2002).

Elektrolisis merupakan proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Komponen yang terpenting dari proses elektrolisis ini adalah elektroda dan larutan elektrolit. Dalam sel volta/galvani, reaksi oksidasi reduksi berlangsung dengan spontan, dan energi kimia yang menyertai reaksi kimia diubah menjadi energi listrik. Sedangkan elektrolisis merupakan reaksi kebalikan dari sel volta/galvani yang potensial selnya negatif atau dengan kata lain, dalam keadaan normal tidak akan terjadi reaksi dan reaksi dapat terjadi bila diinduksi dengan energi listrik dari luar (Panganti, 2015).

Sel elektrolisis adalah sel elektrokimia yang menimbulkan terjadinya reaksi redoks yang tidak spontan dengan adanya energi listrik dari luar. Sel elektrolisis memanfaatkan energi listrik untuk menjalankan reaksi non spontan ($G > 0$) lingkungan melakukan kerja terhadap sistem. Contohnya adalah elektrolisis lelehan NaCl dengan elektroda platina. Contoh lainnya baterai aki yang dapat diisi ulang merupakan salah satu contoh aplikasi sel elektrolisis dalam kehidupan sehari-hari. Baterai aki yang sedang diisi kembali (*recharge*) mengubah energi listrik yang diberikan menjadi produk berupa bahan kimia yang diinginkan. Air dapat diuraikan dengan menggunakan listrik dalam sel elektrolisis (Panganti, 2015).

Elektrosintesis merupakan salah satu contoh dari sel elektrolisis yaitu penggunaan sel elektrolisis untuk sintesis senyawa kimia organik dan anorganik. Hampir semua bahan kimia, baik organik maupun anorganik dihasilkan melalui sintesis kimia biasa. Proses pembuatan bahan-bahan tersebut selalu melibatkan proses reduksi, oksidasi, adisi, siklisasi, dan lainnya. Sebagai contohnya adalah

proses oksidasi. Pada proses tersebut, memerlukan bahan oksidator seperti KMnO_4 , K_2CrO_4 , H_2O_2 , dan bahan peoksida lain. Untuk mempercepat berlangsungnya reaksi biasanya digunakan katalis (Riyanto, 2013).

Prinsip dari metode elektrosintesis didasarkan pada penerapan teori-teori elektrokimia biasa sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya. Baik teknik elektrosintesis maupun metode sintesis secara konvensional, mempunyai variabel-variabel yang sama seperti suhu, pelarut, pH, konsentrasi reaktan, metode pencampuran dan waktu. Akan tetapi perbedaannya, jika di elektrosintesis mempunyai variabel tambahan yakni variabel listrik dan fisik seperti elektroda, jenis elektrolit, lapisan listrik ganda, materi/jenis elektroda, jenis sel elektrolisis yang digunakan, media elektrolisis dan derajat pengadukan.

Pada dasarnya semua jenis sel elektrolisis termasuk elektrosintesis berlaku hukum Faraday yakni:

1. Jumlah perubahan kimia yang terjadi dalam sel elektrolisis, sebanding dengan muatan listrik yang dilewatkan di dalam sel tersebut.
2. Jumlah muatan listrik sebanyak 96.500 coulomb akan menyebabkan perubahan suatu senyawa sebanyak 1,0 gramekivalen (grek).

Sebelum melaksanakan elektrosintesis, sangatlah penting untuk memahami reaksi yang terjadi pada elektroda. Di dalam sel elektrolisis akan terjadi perubahan kimia pada daerah sekitar elektroda, karena adanya aliran listrik. Jika tidak terjadi reaksi kimia, maka elektroda hanya akan terpolarisasi, akibat potensial listrik yang diberikan. Reaksi kimia hanya akan terjadi apabila ada perpindahan elektron dari larutan menuju ke elektroda (proses oksidasi), sedangkan pada katoda akan terjadi aliran elektron dari katoda menuju ke larutan (proses reduksi).

Proses perpindahan elektron dibedakan atas perpindahan elektron primer, artinya materi pokok bereaksi secara langsung pada permukaan elektroda, sedangkan pada perpindahan elektron secara sekunder, elektron akan bereaksi dengan elektrolit penunjang, sehingga akan dihasilkan suatu reaktan antara (*intermediate reactan*), yang akan bereaksi lebih lanjut dengan materi pokok di dalam larutan.

Perlu diketahui juga dalam mengelektrosintesis terutama sintesis senyawa organik bahwa reaksi pada elektroda dapat saja berubah bila kondisi berubah. Salah satu parameter yang penting untuk memahami reaksi yang terjadi adalah dengan mengetahui potensial elektrolisis untuk reaksi oksidasi dan reduksi (Buchari, 2003).

Pengaturan potensial juga amat penting dilakukan terutama bila reaksi melibatkan molekul bergugus fungsi banyak (kompleks *polyfunctional molecule*). Sebagai contoh reaksi reduksi kromida aromatik pada kondisi keton dan alkil klorida tidak aktif dan alpha-kromoketon yang lebih mudah tereduksi dari pada arilkromida. Reaksi reduksi selektif ini dapat diramalkan berjalan sesuai dengan arah yang diinginkan melalui pengaturan potensial. Pengaturan potensial juga berguna untuk suatu reaksi transformasi pembuatan suatu senyawa organik yang melibatkan iodikal, karbanion ataupun karbonium, yang secara kimia biasa tidak dapat dilakukan ternyata dapat dilaksanakan secara elektrokimia. Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa sebenarnya dasar dari terjadinya reaksi elektrosintesis adalah.

1. Pemutusan ikatan tunggal

Beberapa jenis ikatan tunggal yang elektroaktif antara lain : alkil halida, ikatan karbon-oksigen, ikatan karbon-nitrogen, ikatan karbon-belerang, ikatan karbon-fosfor dan ikatan oksigen-oksigen.

2. Reduksi Ikatan rangkap (rangkap dua dan rangkap tiga)

Beberapa kelompok ikatan rangkap yang elektroaktif, antara lain gugusan karbonil (aldehida, keton, karboksilat dan turunannya), ikatan ganda karbon nitrogen (Irium, turunan karbonil lainnya), gugus nitro (senyawa nitro aromatik, nitro alifatik), ikatan rangkap lainnya (senyawa azo dan nitrozo, diazo dan diazinum) (Suwarso, dkk, 2003).

Keuntungan menggunakan teknik sintesis secara elektrokimia yang utama ialah penggunaannya yang luas yaitu melibatkan reaksi oksidasi dan reaksi reduksi. Teknik ini lebih hemat energi, lebih kecil resiko, ramah lingkungan dengan menghilangkan atau meminimalkan hasil samping, kemurnian hasil yang tinggi, biaya operasi lebih sedikit dibanding dengan teknik konvensional (oksidasi biasa). Reaksi elektrokimia bebas dari kontaminasi katalis, karena menggunakan katalis heterogen (tidak bercampur dengan hasil). Elektron sebagai bahan reaksi merupakan bahan bebas pencemaran (*pollution-free*) yang sangat berguna untuk menghindari pencemaran lingkungan dibanding dengan teknik oksidasi konvensional yang menggunakan bahan pengoksida kimia seperti CrO_3 , KMnO_4 , dan bahan pengoksida lain (Riyanto, 2013).

2. Perlengkapan sintesis senyawa menggunakan metode elektrosintesis

a. Elektroda kerja

Elektroda kerja dalam oksidasi secara elektrokimia dapat juga disebut sebagai anoda, yaitu tempat berlangsungnya proses oksidasi dan katalis elektrokimia. Menurut Kyriacou (1981), sifat konduktor merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan bahan untuk elektroda kerja, namun secara praktiknya selalu terbatas terutama untuk bahan anoda. Elektroda terbuat dari logam berbentuk kepingan, tangkai, kawat, kain kasa, kepingan tipis, larutan merkuri, dan bahan konduktor lain seperti grafit, carbon, pasta karbon, dan berbagai jenis logam oksida.

Menurut Lund dan Hammerich (2001), dalam pemilihan elektroda didasarkan pada potensial lebih terhadap hidrogen atau oksigen (*overvoltage*), sifat katalis, penyerapan senyawa dipermukaan elektroda, kemurnian, dan sifat fisik bahan. Potensial lebih terhadap oksigen memainkan peran penting dalam reaksi oksidasi, sedangkan potensial lebih terhadap hidrogen memainkan peran penting dalam reaksi reduksi. Beberapa logam yang memungkinkan digunakan sebagai anoda adalah platinum, karbon, plumbum, dan nikel.

b. Elektroda pelengkap

Menurut Ros (1975), kewujudan elektroda pelengkap hanya untuk melengkapi sel elektrolisis yang berguna untuk mengaliskan arus dalam larutan. Reaksi dari elektroda pelengkap tidak begitu penting dan biasanya platinum dapat digunakan sebagai elektroda pelengkap.

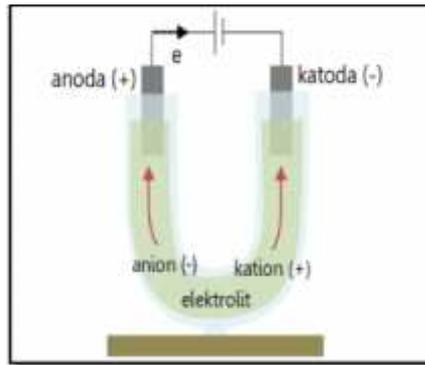
c. Elektroda rujukan

Elektroda rujukan untuk sintesis secara elektrokimia merupakan bagian yang amat penting. Elektroda ini untuk mengukur potensial elektroda kerja. Terdapat banyak jenis elektroda rujukan yang dapat digunakan tetapi, yang biasa digunakan dalam pemilihan elektroda rujukan ialah seperti kemudahan pemakaian, tahan lama, dan murah harganya. Elektroda rujukan yang banyak digunakan dalam penelitian ialah elektroda kalomel yang mengandung larutan KCl jenuh (Riyanto, 2013).

d. Elektrolit

Peran elektrolit sangat penting dalam elektrolisis karena berfungsi sebagai pembawa arus melalui larutan (Kyriacou, 1981). Syarat bahan yang dapat digunakan sebagai elektrolit ialah tidak mudah mengalami oksidasi atau reduksi, sifat konduktor yang baik serta tidak mudah bereaksi. Dalam penelitian, elektrolit yang sering digunakan ialah larutan basa seperti KOH dan NaOH. Beberapa manfaat jika sintesis secara elektrokimia menggunakan larutan alkali ialah bahan yang digunakan tidak berbahaya dan mempunyai sifat konduktor yang baik.

Alasan yang paling penting ialah elektroda tidak mudah terkorosi dalam larutan beralkali (Riyanto, 2013). Gambar rangkaian sel elektrolisis dengan menggunakan dua buah elektroda dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rangkaian sel elektrolisis (<http://Wikipedia.com>).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan dalam rentang waktu dari Februari 2017 - Agustus 2017. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Anorganik/Fisik, Jurusan kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Karakterisasi kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ hasil sintesis menggunakan spektrofotometer ultra violet dan visibel (UV-Vis) dilakukan di Laboratorium Anorganik/Fisik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung, dan menggunakan spektrofotometer infra merah (IR) akan dilakukan di Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta. Dan karakterisasi limbah simulasi menggunakan menggunakan spektrofotometer ultra violet dan visibel (UV-Vis) juga dilakukan di Laboratorium Anorganik/Fisik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Penelitian

1. Alat-alat yang digunakan

Adapun alat yang digunakan dalam percobaan ini antara lain: alat-alat gelas yang umum digunakan di Laboratorium, cawan petri, desikator, *magnetik stirer*, kertas saring *whatman 42*, satu set alat elektrosintesis, spektrofotometer ultra violet (UV-Vis), dan spektrofotometer infra merah (IR).

2. Bahan-bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu natrium etilen diamina tetraasetat (Na_2EDTA), kromium triklorida hidrat ($\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) *p.a.*, nikel sulfat heksahidrat ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), zink dinitrat tetrahidrat ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), dan akuades.

C. Prosedur Kerja

1. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan metode elektrosintesis

a. Penentuan konsentrasi optimum sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$

Penentuan perbandingan konsentrasi optimum sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dilakukan dengan memvariasikan perbandingan mol antara ion Cr^{3+} dengan ligan EDTA, dengan 3 variasi yaitu 1 : 1 ; 1 : 2 ; dan 1 : 3. Dilakukan dengan dipanaskan sampai volume larutan menjadi 1/3 volume awal atau selama 15 menit, dan di diamkan selama 3 hari sampai terbentuk kristal. Kristal yang diperoleh dikeringkan dalam desikator lalu masing masing diukur absorbansinya pada panjang gelombang 205 nm dengan spektrofotometer UV-Vis.

b. Pembuatan larutan sampel

Pembuatan larutan sampel diawali dengan membuat larutan Na_2EDTA dan larutan $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan perbandingan konsentrasi optimum yang diperoleh dari prosedur sebelumnya. Untuk larutan Na_2EDTA dibuat dengan melarutkan 0,744 g Na_2EDTA dalam 30 mL akuades di dalam gelas beaker 50 mL lalu diaduk sampai larut. Untuk larutan $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dibuat dengan melarutkan 0,266 gram $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam 30 mL akuades. Kemudian kedua larutan dicampurkan kedalam gelas beker 100 mL.

c. Sintesis $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ dengan metode elektrosintesis

1. Elektrolisis larutan sampel pada variasi potensial elektroda

Sebanyak 60 mL larutan sampel yang akan dielektrolisis dibuat segar. Elektrolisis dikerjakan dengan katoda dan anoda karbon. Elektrosintesis dilakukan selama dua jam, dengan pH awal larutan dan dilakukan dengan variasi potensial 2 volt, 4 volt, 6 volt, dan. Lalu larutan hasil elektrolisis dipekatkan dengan cara dipanaskan sampai volume menjadi 1/3 volume awal, dan didiamkan sampai terbentuk endapan. Endapan hasil elektrosintesis disaring dengan kertas saring *whatman 42* lalu dicuci sebanyak 3 kali dengan akuades, dan dikeringkan di dalam desikator sampai berat konstan. Ketiga endapan yang telah kering ditimbang lalu diamati untuk mendapatkan potensial optimum.

2. Elektrolisis larutan sampel pada potensial optimum dengan variasi waktu lamanya sintesis

Sebanyak 60 mL larutan sampel dielektrolisis pada potensial optimum, dengan pH awal larutan. Elektrosintesis dikerjakan dengan variasi waktu yaitu 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Lalu larutan hasil elektrolisis dipekatkan dengan cara dipanaskan sampai volume menjadi 1/3 volume awal, dan didiamkan sampai terbentuk endapan. Endapan hasil elektrosintesis disaring dengan kertas saring *whatman 42* lalu dicuci sebanyak 3 kali dengan akuades, dan dikeringkan di dalam desikator hingga berat konstan. Ketiga endapan yang telah kering ditimbang beratnya lalu diamati untuk mendapatkan waktu optimum.

3. Elektrolisis larutan sampel pada potensial optimum dan waktu optimum

Sebanyak 60 mL larutan sampel yang akan dielektrolisis dibuat segar. Elektrolisis dikerjakan dengan katoda dan anoda karbon. Elektrosintesis dilakukan pada potensial elektroda 2 volt, selama 2 jam. Lalu larutan hasil elektrolisis dipekatkan

dengan cara dipanaskan sampai volume menjadi 1/3 volume awal, dan didiamkan sampai terbentuk endapan. Endapan hasil elektrosintesis disaring dengan kertas saring *whatman* 42 lalu dicuci sebanyak 3 kali dengan akuades, dan di keringkan di dalam desikator sampai berat konstan. Hasil kristal ditimbang, lalu disiapkan untuk karakterisasi.

2. Karakterisasi senyawa kompleks hasil sintesis

a. Karakterisasi menggunakan Spektrofotometer UV-VIS

Dilakukan pengukuran panjang gelombang maksimum (λ_{maks}) dari senyawa kompleks. Sebanyak 0,03 gram kristal kompleks hasil sintesis dilarutkan dalam 50 mL akuades panas, kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, diamati absorbansinya pada panjang gelombang 200-600 nm.

b. Karakterisasi menggunakan Spektrofotometer IR

Sampel padat senyawa kompleks hasil sintesis menggunakan metode DRS-8000, yang akan dianalisis terlebih dahulu dicampur dengan serbuk KBr (5 – 10%), kemudian tempatkan pada *samplepan* dan siap untuk dianalisis. Sedangkan dengan metode pelet KBr, campuran sampel padat dengan serbuk KBr (5 – 10%). Campuran yang sudah homogen kemudian dibuat pellet KBr (pil KBr) dengan alat *mini hand press*. Setelah terbentuk pil KBr siap dianalisis.

3. Penarikan logam Cr^{3+} dalam limbah simulasi dengan EDTA menggunakan metode elektrosintesis

a. Pembuatan limbah simulasi industri yang mengandung logam Cr^{3+}

Pembuatan limbah simulasi dilakukan dengan cara melarutkan masing masing 0,13 gram $CrCl_3 \cdot 6H_2O$; 0,06 gram $NiSO_4 \cdot 6H_2O$; dan 0,008 gram $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$

; kedalam 200 mL air diaduk sampai semua zat tercampur, sehingga diperoleh limbah simulasi yang mengandung Cr^{3+} .

- b. Penarikan ion logam Cr^{3+} dalam limbah simulasi dengan ligan EDTA metode elektrosintesis

Diambil 50 mL larutan limbah simulasi lalu masukan dalm gelas beaker 10 mL, kemudian ditambahkan 0,299 gram Na_2EDTA . Diaduk sampai semua EDTA larut. Selanjutnya larutan dielektrolisis dengan potensial optimum dan waktu optimum yang didapat dari sintesis kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$. Lalu larutan hasil elektrolisis dipekatkan dengan cara dipanaskan sampai volume menjadi 1/3 volume awal. Lalu larutan hasil disiapkan untuk karakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

4. Karakterisasi limbah simulasi yang telah dielektrolisis dengan ligan EDTA

Karakterisasi dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Sebanyak 5 mL larutan limbah simuasi yang telah dielektrolisis dengan ligan EDTA diencerkan dalam labu takar 100 mL, kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis, diamati absorbansinya pada panjang gelombang 300-700 nm.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ menggunakan metode elektrosintesis dengan perbandingan konsentrasi optimum Cr : EDTA yaitu 1 : 1, didapatkan kondisi optimum yaitu pada potensial elektroda 2 volt selama 2 jam.
2. Senyawa kompleks hasil sintesis dengan metode elektrolisis dengan kondisi optimum menghasilkan kristal berwarna ungu sebanyak 0,342 gram dengan rendemen 99,41%.
3. Karakterisasi spektrofotometri UV-Vis untuk senyawa $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ menghasilkan panjang gelombang maksimum pada 605 nm, sedangkan untuk kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ menunjukkan serapan panjang gelombang maksimum pada 561 nm. Dibandingkan pula dengan panjang gelombang maksimum dari ligan EDTA hanya muncul satu puncak pada panjang gelombang 205 nm, setelah membentuk kompleks dengan Cr, muncul 2 puncak yaitu pada 208 nm dan 561 nm yang mengindikasikan transisi orbital d logam Cr.
4. Karakterisasi menggunakan spektrofotometri infra merah untuk ligan EDTA menunjukkan karakterisasi ikatan yang kuat pada $3446,82 \text{ cm}^{-1}$ untuk OH, $1398,86 \text{ cm}^{-1}$ untuk C-O, dan $1630,00 \text{ cm}^{-1}$ untuk C=O. Dibandingkan dengan spektrum senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ menunjukkan karakterisasi pada

bilangan gelombang yang hampir sama tetapi terjadi pergeseran yang besar antara ligan EDTA dengan kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ pada serapan untuk ikatan C=O yaitu dari $1630,00 \text{ cm}^{-1}$ menjadi $1695,33 \text{ cm}^{-1}$. Dan pada spektrum infra merah senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ muncul peak yang cukup kuat pada bilangan gelombang $561,99 \text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan vibrasi dari ikatan Cr-O dan $459,28 \text{ cm}^{-1}$ vibrasi dari ikatan Cr-N.

5. Aplikasi pada penarikan ion logam Cr^{3+} pada limbah simulasi dengan EDTA menunjukkan ciri fisik yang sama dengan kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ yaitu terbentuk larutan berwarna ungu dari warna awal larutan limbah simulasi hijau muda.
6. Karakterisasi limbah simulasi dilakukan dengan spektrofotometri UV-Vis, terjadi pergeseran panjang gelombang dari panjang gelombang maksimum 578 nm untuk limbah simulasi yang belum dielektrolisis menjadi 569 nm untuk limbah simulasi yang telah dielektrolisis dengan ligan EDTA, sama halnya dengan senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$ yang menunjukkan panjang gelombang maksimum pada 561 nm . Sehingga dapat disimpulkan bahwa ligan EDTA dapat menarik ion logam Cr^{3+} dari limbah dengan metode elektrosintesis.

B. Saran

1. Diperlukan kajian mengenai pengaruh pH untuk sintesis senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$.
2. Diperlukan penambahan metode karakterisasi untuk senyawa kompleks $[\text{Cr}(\text{EDTA})]^-$.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B.J. 1990. *Heavy Metals Soil*. Jhon Willey and Sons Inc. New York.
- Buchari. 2003. *Elektrokimia dalam Bahan Makanan dan Obat-obatan. Prosiding Seminar Nasional Elektrokimia*. P3IB BATAN. Jakarta.
- Chang, R. 2007. *Chemistry Ninth Edition*. Mc Graw Hill. New York.
- Cotton, F. A. dan G. Wilkinson. 1988. *Advanced Inorganic chemistry*, Edisi kelima. John willey and Sons Inc. New York.
- Cotton, F. A. dan G. Wilkinson. 2007. *Kimia Anorganik Dasar* (diterjemahkan oleh Sahati Suharto). UI-Press. Jakarta.
- El-Wakie, N. Y., M. Mai El-Keiy dan Gaber. 2015. Synthesis, spectral, antitumor, antioxidant and antimicrobial studies on Cu(II), Ni(II) and Co(II) complexes of 4-[(1H-benzoimidazol-2-ylimino)methyl]-1,3-diol. *Spectromica Acta Part A: Moleculer and biomolokuler Spectroscopy*. Vol. **147**: 117–123.
- Emsubki. 2008. *Sintesis dan Karakterisasi Kompleks Co(II) Menggunakan Ligan CN, 2,2'-Bipiridin dan NO₂* (Skripsi). Jurusan Kimia, FMIPA, UNILA. Bandar Lampung.
- Fessenden, R. J., dan J.S. Fessenden. 1982. *Kimia organik*, Edisi Ketiga. Erlangga. Jakarta.
- Harjadi. 1993. *Kimia anorganik dasar*. UI Press. Jakarta.
- Hendayana, S.,A. Kadarohmah, A.A. Sumarna, dan A. Supriatna. 1994. *Kimia Analitik Instrumen*. Edisi Kesatu. IKIP Semarang Press. Semarang.
- Hening, W., A. Kartika, dan S.S.Widya. 2015. Profil Logam Berat Cd, Cr (VI) dan Pb pada Lokasi Berbeda di Propinsi Lampung serta Bioakumulasinya pada Tanaman Pangan. *Pendidikan Biologi FKIP UM Metro, Lampung*. Vol. **6** : 160-162.
- Huheey, J.E., E. A. Keiter, dan R. L. Keiter. 1993. *Inorganic Chemistry, Fourth Edition*. Herpes Collins College Publisher. New York.

- Jahro, Iis, S., O. Djulia, Ismunandar dan R. I. Susanto. 2010. Kajian Mekanisme Reaksi Kompleks Multi Inti Fe^{II} - Mn^{II} - Cr^{III} dengan Ligan Ion Oksalat dan 2,(2'-pyridyl) quinoline dalam Pelarut Metanol dan Air. JKSA. *Departemen Kimia, FMIPA, ITB. Bandung*. Vol. **7** : 74-79.
- Kumar, R., dan R. Singh. 2006. Kompleks Dari Kromium(III) dengan Ligan Kromosfer Makrosiklik : Sintesis dan Analisis Spektroskopi. *Turkey Journal Chem*. Vol. **30** : 77-87.
- Kusnoputranto, H. 1996. *Toksikologi Lingkungan Logam Toksik dan B-3*. UI-Press. Jakarta.
- Kyriacou, D.K. 1981. *Basic of Electroorganic Synthesis*. John Wiley & Sons. New York.
- Lailis, N.C., dan I. K. Murwani, 2010, Sintesis dan Karakterisasi Senyawa Kompleks Nikel(II) dengan Ligan Etilendiamintetraasetat (EDTA). JSKA Prosiding Seminar. *Jurusan Kimia, FMIPA ITS*. Vol **6** : 152-154.
- 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 State University. Fullerton, CA 92634.
- Lund, H., dan O. Hammerich. 2001. *Organic Electrochemistry, Fourth Edition, Revised and Expanded*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Meidianto, A. 2013. *Senyawa Koordinasi (Coordination Compound)*, (online). [http://senyawakoordinasi\(materi\).com](http://senyawakoordinasi(materi).com). Diakses pada 12 September 2017, pukul 10:12 WIB.
- Murniati, T., Inayati dan, B. Sri. 2015. Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik dengan Metode Elektrolisis Sebagai Upaya Penurunan Tingkat Kontaminasi Logam Berat di Sungai Jenes, Laweyan, Surakarta. JSKA. *Program Pascasarjana Ilmu Lingkungan, UNSEMAR*. Vol. **7** : 80-84.
- Nurdiani, D. 2005. *Adsorpsi Logam Cu(II) dan Cr(VI) pada Kitosan Bentuk Serpihan dan Butiran* (Skripsi). Departemen Kimia, FMIPA, IPB. Bogor.
- Palar, H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Panganti, E. *Sel Elektrolisis*, (online). <http://esdikimia.wordpress.com>. Diakses pada 26 April 2017, pukul 10:43 WIB.
- Poernomo, H., dan S. djoko. 2003. Penurunan Kadar Krom VI dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam di Tegal dengan Zeolit Gunung Kidul. ISSN 0216-3128. *Puslibbang Teknologi Maju Batan*. Vol. **8** : 147-148.

- Rival. 1995. *kimia anorganik*. Gramedia. Jakarta.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Ross, S.D., M. Finkelstein dan E. F. Rudd. 1975. *Anodic Oxidation*. Academic press. New York.
- Satroudinov, A.D., G.D. Emiliya, I. C. Tat'yana, W. Margarete, G. M. Igor, K. E. Valery, dan E. Thomas. 2000. Degradation of Metal-EDTA Complexes by Resting Cells of the Bacterial Starin DSM 9103, *Environ. Sci. Technol.* Vol. **12** :159-162.
- Sembiring, Z., dan Illim. 2008. Sintesis Senyawa Kompleks Cu(II) dan Mn(II) dengan Derivat Ligan Basa Schiff 1,5 Dimethylcarbazon dan Anilina. Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat. *UNILA*. Vol **2** : 35-38.
- Setiyo, W., Didik, H. Abdul, dan Nawatuttuqoh. 2007. Reduksi Kurkumin: Kajian Awal Elektrosintesis Dalam Sistem Etanol. *JSKA. Jurusan Kimia FMIPA, UNDIP*. Vol. **10** : 14-15.
- Siu, T dan A. K. Yudin. 2002. *Practical Olefin Aziridination With a Broad Substrate Scope*. Academic press. New York.
- Sudjana, E., A. Mama, dan Y. Yuyu. 2002. Karakterisasi Senyawa Kompleks Logam Transisi Cr, Mn, dan Ag dengan Glisin Melalui Spektrofotometer Ultraungu dan Sinar Tampak. *JSKA. Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran Jatinangor*. Vol. **104** : 69 – 86.
- Sugiyarto, K.H. 2003. *Dasar-Dasar Kimia Anorganik Logam*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNY. Yogyakarta.
- Sugiyarto, K.H. 2012. *Dasar-Dasar Kimia Anorganik Transisi*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Suharty, N.S. 1999. *Dasar-dasar Pengelolaan Limbah Industri*, Cetakan pertama. UI Press. Jakarta.
- Sujadi. 1983. *Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Ghalia Indonesia. Jakarta.
- Sukardjo. 1985. *Kimia Koordinasi*. PT Bina Aksara. Jakarta.
- Suwarso, W., W. Wibowo, dan Trimongsowati. 2003. Peranan Litbang Elektrokimia untuk Sintesis Bahan Obat-Obatan: Elektrosintesis p-Aminofenol dari Nitrobenzena. Prosiding Seminar Nasional Elektrokimia. *Jurnal Prosiding Seminar Nasional. P3IB BATAN*. Vol. **114** : 47-49.

- Suyanti, R. D. 2008. *Kimia koordinasi, pendukung kimia anorganik fisik*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Tamzil, A.,R.P. Amalia, dan D. Vishe. 2015. Removal Logam Berat dari Tanah Terkontaminasi dengan Menggunakan Chelating Agent (EDTA). JSKA. *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, UNSRI*. Vol. **21** : 187-188.
- Triyani, N.F., Suhartana, dan Sriatun. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Kompleks Ni(II)-EDTA dan Ni-Sulfanilamid. *Jurusan Kimia, FMIPA UNDIP*. Vol. **1** : 354-361.
- Winarno, F. G. 1997. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia. Jakarta.
- Yanto, D.H.Y. 2004. *Validasi Metode Analisis Krom Heksavalen dan Krom Total Secara Spektrofotometri serta Aplikasinya pada Air Sungai Cisadane di Bogor dan Tangerang* (Skripsi). FMIPA, IPB. Bogor.
- Vogel. 1979. *Text Book Of Macro and Semimacro Qualitative Inorganic Analysis*. London. Alih Bahasa : Setiono. 1985. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimakro*. PT. Kalman Media Pustaka. Jakarta.