

*Skripsi*

**REDUKSI KROM(VI) MENGGUNAKAN KOAGULAN BESI(II) SULFAT  
DENGAN MEDIA ASAM SULFAT DAN APLIKASINYA PADA LIMBAH  
SIMULASI ELEKTROPLATING**

**OXANA ARUNG RANTE LANGI'**

**H031 17 1310**



**DEPARTEMEN KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

**REDUKSI KROM(VI) MENGGUNAKAN KOAGULAN BESI(II)  
SULFAT DENGAN MEDIA ASAM SULFAT DAN APLIKASINYA  
PADA LIMBAH SIMULASI ELEKTROPLATING**

*Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
gelar Sarjana Sains pada Departemen Kimia  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin*

**OXANA ARUNG RANTE LANGI'**

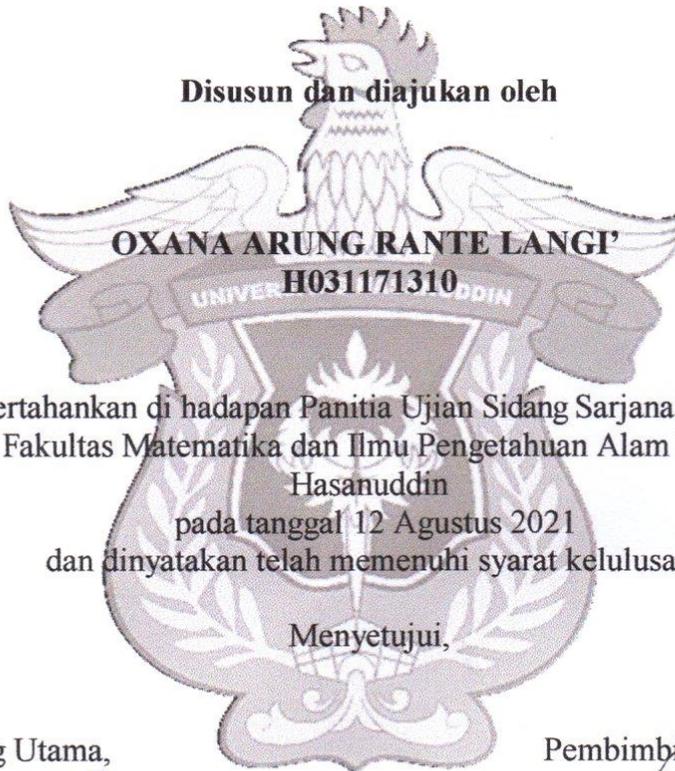
**H031171310**

**DEPARTEMEN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**REDUKSI KROM(VI) MENGGUNAKAN KOAGULAN  
BESI(II) SULFAT DENGAN MEDIA ASAM SULFAT DAN APLIKASINYA  
PADA LIMBAH SIMULASI ELEKTROPLATING**

Disusun dan diajukan oleh



**OXANA ARUNG RANTE LANGI'**

**H031171310**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sidang Sarjana Program Studi  
Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Hasanuddin  
pada tanggal 12 Agustus 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Djabal Nur Basir, S.Si, M.Si  
NIP. 19740319 200801 1 010

Pembimbing Pertama



Prof. Dr. Abd Wahid Wahab, M.Sc  
NIP. 19490827 1970/2 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Abdul Karim, M.Si  
NIP. 196207101988031002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

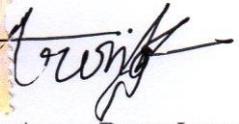
Nama : Oxana Arung Rante Langi  
NIM : H031171310  
Program Studi : Kimia  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul “Reduksi Krom(VI) Menggunakan Koagulan Besi(II) Sulfat dengan Media Asam Sulfat dan Aplikasinya pada Limbah Simulasi Elektroplating” adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 13 Agustus 2021



Yang Menyatakan

  
Oxana Arung Rante Langi

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa menjadi penopang dan sahabat terbaik penulis sepanjang hidupnya. Penulis sadar bahwa hanya karena kebaikan, kasih dan berkat anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, dengan judul “**Reduksi Krom(VI) Menggunakan Koagulan Besi(II) Sulfat Dengan Media Asam Sulfat Dan Aplikasinya Pada Limbah Simulasi Elektroplating**”. Penelitian ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Selain itu, penulisan skripsi ini diharapkan dapat memperluas pengetahuan pembaca, secara khusus mahasiswa/i kimia serta dapat menjadi acuan dalam pengolahan limbah *elektroplating*.

Penulis banyak menghadapi kendala dan masalah dalam pelaksanaan penelitian maupun penulisan skripsi, namun dengan usaha yang maksimal dan kemampuan yang Tuhan Yesus berikan kepada penulis serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka penulisan skripsi ini dapat selesai pada waktu-Nya yang terbaik. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang terdalam untuk orangtua penulis atas cinta, doa dan dukungan moril maupun materil yang diberikan kepada penulis. Terima kasih atas setiap cinta yang terpancar serta doa yang selalu mengiringi tiap langkah penulis. Terima kasih kepada papa **Andarias Pabilang Rantelangi** dan mama **Herlina Yanti Patandianan** serta tante **Marlina Rantelangi** yang telah mendidik penulis dengan penuh kesabaran sampai saat ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan kepada bapak **Dr. Djabal Nur Basir, S.Si, M.Si** selaku pembimbing utama sekaligus penasehat akademik dan bapak **Prof. Dr. Abd Wahid Wahab, M.Sc** selaku pembimbing pertama, yang telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan penuh kesabaran dalam memberikan ilmu yang tak ternilai selama penelitian dan penyusunan skripsi ini, serta ucapan maaf atas segala kesalahan selama persiapan penelitian hingga penyusunan skripsi ini selesai. Ucapan terima kasih juga kepada:

1. Tim dosen penguji bapak **Dr. Abd. Karim, M.Si** (ketua), bapak **Ir. Abdul Hayat Kasim, M.T** (sekretaris) dan ibu **Dr. Umriani Permatasari, S.Si, M.Si** (koord. seminar) atas segala diskusi dan saran yang telah diberikan demi perbaikan skripsi.
2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam bapak **Dr. Eng. Amiruddin** beserta seluruh dosen dan staf Fakultas MIPA Unhas.
3. Ketua Departemen Kimia FMIPA Unhas bapak **Dr. Abd. Karim, M.Si** dan Sekretaris Departemen Kimia FMIPA Unhas ibu **Dr. St. Fauziah, M.Si** beserta seluruh dosen dan staf Departemen Kimia **Kak Rahma** dan **Pak Haerul** yang telah membantu penulis dalam perjalanan selama menempuh pendidikan di Departemen Kimia FMIPA Unhas.
4. Penasehat Akademik Bapak **Dr. Firdaus, M.Si** yang telah memberikan banyak bimbingan, masukan, motivasi dan dorongan selama mengikuti proses perkuliahan.
5. Kepala Laboratorium Kimia Analitik, Kimia Organik, Kimia Anorganik, Kimia Fisika, Biokimia, Kimia Dasar, Fisika Dasar, dan

Biologi Dasar serta seluruh asisten yang telah memberikan dedikasi dan ilmunya selama masa perkuliahan penulis.

6. Seluruh Analis Laboratorium Kimia Departemen Kimia Unhas atas segala fasilitas dan bantuan yang telah diberikan, secara khusus **Pak Sugeng**, dan **Kak Fiby** yang selalu setia menunggu dan membimbing penulis dalam penelitian.
7. **Kak Akbar**, kimia angkatan 2013 yang sangat memotivasi dan memberikan banyak ilmu selama perkuliahan, terutama dalam persiapan ujian komprehensif.
8. Seluruh keluarga besar **Ne' Arung** dan **Ne' Ros**, secara khusus **Mordica**, **Allen**, **Meko**, dan **Gavin**, terima kasih untuk setiap rangkulan dan dorongan serta doa yang tak habis-habisnya dalam perjalanan kehidupan penulis. Terima kasih sudah jadi 'rumah' yang teduh untuk kembali di tengah hari-hari yang melelahkan.
9. Kakak-kakak rohani yang penulis hormati **kak Lung**, **kak Tini**, **kak Yunus**, dan **kak Deri** serta seluruh adik-adik rohani yang penulis kasihi **Nyssa**, **Elen**, **Jesi**, **Christ**, **Shinta**, **Ayu**, **Sinta**, **Gaby**, **Naomi**, **Bernita**, **Gavrilla**, **Janti**, **Jummi**, **Leony**, **Rachel**, **Sarah**, **Sepriani**, **Angri**, **Christina**, **Elsah**, **Esra**, dan **Yelny**. Terima kasih untuk pertumbuhan rohani yang boleh saya rasakan selama menjadi mahasiswa.
10. Rekan penelitian dan sahabat penulis selama perkuliahan **Cicilia Oktafien Sefa** calon S. Si. Terima kasih sudah mau mengerti dan selalu ada.

11. Teman-teman **ChemChrist** (**Andre, Yos, Dichan, Mermer, Wini, Cicilia, Layuk, dan Joe**) atas segala nasihat, doa, bantuan, dan kebersamaan dari masa maba.
12. Teman-teman **Pop Mie** (**Uri, Amrul, Fathir, Ishar, Marfa, Andre, Layuk, dan Cicilia**) atas segala drama, julidan, dukungan, dan kebersamaannya selama ini.
13. Teman seperjuangan **LANTAI 4 Squad** (**Mecha, Alfli, Trimel, Icha, Cimel, Taufik, Ebet, Beska, Irza, Indah, Gita, Yayuk, Ebet, Nisa 2000, Afi, dan Rafiqi**) atas segala canda tawa, makanan, dan dukungan selama penelitian dan penyusunan skripsi. Terima kasih secara khusus pada **Yos, Andre, Amrul, Layuk dan Alim** yang selalu menemani penulis selama penelitian dan untuk segala bentuk motivasi dan dukungannya.
14. Teman-teman **Kimia 2017** atas segala bantuan selama studi, terkhusus **AL17ATIK** atas segala suka duka selama proses dinamika organisasi/lembaga yang akan menjadi pengalaman pribadi penulis dalam kehidupan kampus.
15. **Eci dan Ola** atas kesediaannya menemani penulis dalam gelap maupun terang dan selalu mau mendengarkan curhatan hati penulis dari A-Z.
16. Rekan magang **SUCOFINDO** (**Indah, Gita, Layuk, Cicilia, dan Andre**) sebagai penawar letih di laboratorium, sebagai teman makan, dan juga sudah menemani merasakan kejamnya dunia kerja. Terima kasih juga untuk seluruh staf SUCOFINDO atas kesempatan dan fasilitas selama kami magang.

17. **GMKI Komisariat FMIPA Unhas, Christian Science 2017, LPMI, Siloam Student Movement, SLM Makassar, KMK FMIPA Unhas, IKAB Unhas, dan IKASKIDAR** yang telah menjadi wadah pelayanan dan pengembangan potensi penulis.

Penulis sadar bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun diperlukan dalam penulisan selanjutnya. Akhirnya, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dalam pengembangan wawasan bidang ilmu kimia, Amin.

Makassar, 1 Juli 2021

Penulis

## ABSTRAK

Logam kromium (Cr) merupakan logam berat dengan tingkat toksisitas yang tinggi, terutama logam Cr dengan bilangan oksidasi +6 (Cr(VI)) yang memiliki tingkat toksisitas 100 kali lebih tinggi daripada kromium trivalen (Cr(III)). Industri elektroplating merupakan salah industri penyumbang limbah yang mengandung logam Cr dengan konsentrasi tinggi. Salah satu metode pengolahan limbah yang efektif untuk menghilangkan kandungan Cr(VI) dalam limbah adalah koagulasi. Koagulasi adalah metode destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi menggunakan suatu koagulan spesifik. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum reduksi Cr(VI) menggunakan koagulan  $\text{FeSO}_4$  dengan media  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang kemudian diaplikasikan pada limbah simulasi elektroplating. Adapun parameter uji yang digunakan adalah konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , waktu kontak, penambahan dosis koagulan, dan konsentrasi Cr(VI) optimum yang dapat direduksi. Konsentrasi Cr(VI) yang tidak mengalami reduksi dapat diukur dengan Spektrofotometri UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimum reduksi Cr(VI) menggunakan koagulan  $\text{FeSO}_4$  dengan media  $\text{H}_2\text{SO}_4$  diperoleh konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  optimum 0,05 M, waktu kontak optimum 5 menit, dan dosis koagulan optimum 0,1 gram. Batas konsentrasi Cr(VI) yang dapat direduksi dengan optimal adalah 100 mg/L dan aplikasinya pada limbah simulasi elektroplating menunjukkan persen penurunan kadar Cr(VI) mencapai 99,95%.

**Kata kunci:** Cr(VI), elektroplating, koagulasi, limbah, reduksi

## ABSTRACT

Chromium metal (Cr) is a highly toxic heavy metal, particularly Cr metal with an oxidation number of +6 (Cr(VI)), which is 100 times more hazardous than trivalent chromium (Cr(III)). The electroplating industry is one of the industries that contributes to waste containing high concentrations of Cr metal. Coagulation is one of the most successful waste treatment procedures for removing Cr(VI) from wastewater. Coagulation is a process of using a specific coagulant to destabilize the colloidal charge of suspended materials. The purpose of this research is to find the optimum conditions for reducing Cr(VI) using coagulant  $\text{FeSO}_4$  in  $\text{H}_2\text{SO}_4$  media, which is subsequently applied to electroplating simulation wastewater. The test parameters employed were  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentration, contact time, the addition of coagulant dose, and concentration of Cr(VI) that can be reduced. UV-Vis Spectrophotometry was used to determine the concentration of unreduced Cr(VI). The results showed that the optimum conditions for reducing Cr (VI) using  $\text{FeSO}_4$  as a coagulant with  $\text{H}_2\text{SO}_4$  media; concentration of  $\text{H}_2\text{SO}_4$  was 0.05 M, the optimum contact time was 5 minutes, and the optimum coagulant doses was 0.1 grams. The limit of Cr(VI) concentration that can be reduced optimally is 100 mg/L and its application to electroplating simulation wastewater shows a decrease in Cr(VI) content of 99,95%.

**Keywords:** coagulation, Cr(VI), electroplating, reduction, wastewater

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN..... ..	iv
PRAKATA.....	v
ABSTRAK .....	x
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	6
1.3.1 Maksud Penelitian.....	6
1.3.2 Tujuan Penelitian .....	6
1.4 Manfaat Penelitian .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Logam Berat.....	7
2.2 Tinjauan Umum Kromium.....	9
2.3 Kromium Heksavalen .....	11

2.4 Limbah Elektroplating .....	13
2.5 Koagulasi .....	18
2.5 Oksidasi-Reduksi .....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>28</b>
3.1 Bahan Penelitian .....	28
3.2 Alat Penelitian.....	28
3.3 Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
3.4 Prosedur Penelitian .....	28
3.4.1 Pembuatan Larutan .....	28
3.4.1.1 Pembuatan Larutan Induk Cr (VI) 1000 mg/L.	28
3.4.1.2 Pembuatan Larutan Cr (VI) 100 mg/L .....	29
3.4.1.3 Pembuatan Larutan Standar Cr(VI) 10 mg/L...	29
3.4.1.4 Pembuatan Larutan 1,5-Difenilkarbazid 0,5% .	29
3.4.1.5 Pembuatan Deret Larutan Standar Cr(VI).....	29
3.4.1.6 Pembuatan Larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3 M.....	30
3.4.1.7 Pembuatan Larutan Kerja cr(VI) 100 mg/L dengan Konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,01; 0,05; 0,1; 0,2 dan 0,3 M.....	30
3.4.2 Optimasi Reduksi Cr (VI).....	30
3.4.2.1 Penentuan Konsentrasi Optimum H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	30
3.4.2.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	31
3.4.2.3 Penentuan Penambahan Dosis Optimum Koagulan FeSO <sub>4</sub> .....	32
3.4.2.4 Penentuan Konsentrasi Optimum Cr (VI) .....	33

3.4.2.5 Aplikasi Kondisi Optimum pada Pengolahan Limbah Simulasi Elektroplating.....	34
BAB IV HASIL PENELITIAN .....	36
4.1 Optimasi Reduksi Cr(VI).....	37
4.1.1 Penentuan Konsentrasi Optimum H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	40
4.1.2 Penentuan Waktu Kontak Optimum.....	42
4.1.3 Penentuan Penambahan Dosis Optimum Koagulan FeSO <sub>4</sub> .....	44
4.1.4 Penentuan Konsentrasi Optimum Cr (VI) .....	46
4.2 Aplikasi Kondisi Optimum pada Pengolahan Limbah Simulasi Elektroplating.....	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	49
DAFTAR PUSTAKA .....	50
LAMPIRAN.....	57

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>halaman</b>
1. Penerapan dosis koagulan .....	21
2. Perbandingan koagulan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ .....	24
3. Penentuan konsentrasi $\text{H}_2\text{SO}_4$ optimum.....	40
4. Penentuan waktu kontak optimum.....	42
5. Penentuan penambahan dosis optimum koagulas $\text{FeSO}_4$ .....	44
6. Penentuan konsentrasi optimum $\text{Cr(VI)}$ .....	46

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>halaman</b>
1. Skema pelaksanaan pelapisan logam secara listrik .....	14
2. Contoh kurva koagulasi.....	21
3. Kurva kalibrasi standar Cr(VI).....	37
4. Koagulan FeSO <sub>4</sub> .....	38
5. Reaksi Cr(VI) dengan DPC membentuk kompleks (Cr(DPC)) <sup>+</sup> .....	39
6. Penentuan konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> optimum .....	40
7. Penentuan waktu kontak optimum .....	42
8. Penentuan penambahan dosis optimum koagulas FeSO <sub>4</sub> .....	44
9. Penentuan konsentrasi optimum Cr(VI).....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>halaman</b>
1. Skema kerja penelitian .....	34
2. Bagan kerja penelitian.....	35
3. Gambar penelitian .....	35
4. Perhitungan .....	44
5. Data penentuan konsentrasi H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Optimum .....	71
6. Data penentuan waktu kontak optimum.....	73
7. Data penentuan penambahan dosis optimum koagulan FeSO <sub>4</sub> .....	75
8. Data penentuan konsentrasi optimum Cr(VI) .....	77
9. Data Aplikasi Kondisi Optimum pada Pengolahan Limbah Simulasi Elektroplating .....	79

## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

<b>Simbol/Singkatan</b>	<b>Arti</b>
ASTDR	<i>Agency of Toxic Substances and Diseases Registry</i>
DNA	<i>Deoxyribonucleic Acid</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
MENKLH	Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup
SNI	Standar Nasional Indonesia
WHO	<i>World Health Organization</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Logam berat umumnya disebut sebagai logam yang memiliki massa jenis lebih dari  $5 \text{ g/cm}^3$  (Adhani dan Husaini, 2017). Istilah logam berat mengacu pada komponen alami pada bumi yang tidak dapat dihancurkan atau didegradasi. Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh melalui makanan, minuman, kulit, dan udara, dalam konsentrasi kecil, beberapa logam berat berfungsi untuk mengatur metabolisme dalam tubuh manusia, beda halnya jika logam berat pada konsentrasi tinggi, logam berat akan membahayakan tubuh manusia (Akoto dkk., 2008). Logam berat memiliki banyak dampak yang merugikan kesehatan dan ekosistem dalam jangka waktu yang panjang, namun paparan logam berat terus meningkat di berbagai bagian dunia (Jaishankar dkk., 2014; Nagajyoti dkk., 2010).

Berbagai aktivitas manusia seperti penambangan logam, pelapisan dan pencampuran logam, industri minyak dan pigmen, pembuatan pestisida dan industri penyamakan kulit sangat berpotensi menghasilkan limbah yang mengandung logam berat (Igwe dan Abia, 2006). Logam berat kromium (Cr) merupakan salah satu logam berat yang bersifat racun pada kadar tertentu. Logam Cr terdapat di alam secara bebas, tetapi logam Cr dominan dihasilkan oleh aktivitas manusia sebagai sumber pencemar (Setiawan dkk., 2012). Logam Cr termasuk mineral yang keberadaannya paling melimpah di kerak bumi yaitu menempati urutan ke-21 (Chandrasekar dkk., 2014). Logam Cr memiliki bilangan oksidasi yang bervariasi mulai dari Cr (II) sampai ke Cr (VI), pada lingkungan logam Cr sering dijumpai dalam bentuk Cr(III) dan Cr(VI) (Jobby dkk., 2018).

Logam Cr dengan bilangan oksidasi +6 (Cr(VI)) adalah logam yang bersifat toksik, karsinogenik, mutagenik, nekrosis hati dan ginjal, serta merupakan penginduksi dermatitis kontak alergi (Murti dan Sugihartono, 2020). Spesi kromium heksavalen (Cr(VI)) diketahui memiliki toksisitas 100 kali lipat lebih banyak daripada kromium trivalen (Cr(III)), baik untuk akut maupun kronis eksposur, oleh karena kelarutan dan mobilitasnya yang tinggi (Saha dkk., 2011). Kontaminan spesi Cr(VI) yang bersifat toksik di lingkungan kebanyakan berasal dari natrium kromat dan natrium dikromat sebagai bahan pokok dalam memproduksi bahan kimia krom, seperti bahan pewarna krom, garam-garam krom untuk penyamakan kulit, pengawetan kayu, bahan anti korosif pada peralatan otomotif, ketel, dan pengeboran minyak (Adhani dan Husaini, 2017). Pemanfaatan utama logam Cr antara lain untuk metalurgi (67%), refraktori (18%), dan kimia (15%) (Saha dkk., 2011). Faktor utama terjadinya toksisitas dari Cr(VI) adalah *oxidation state* dan daya larutnya. Kemudahannya larut dalam air akan menyebabkan logam ini dengan mudah tersebar ke perairan dan memasuki lingkungan tanah sehingga berpotensi untuk terakumulasi pada tumbuhan maupun biota lainnya (Prayudi dkk., 2015).

Salah satu industri penghasil limbah yang mengandung banyak logam berat, terutama Cr(VI) adalah industri elektroplating. Kemajuan di bidang teknologi rekayasa menyebabkan banyak permintaan terhadap kebutuhan material yang mempunyai sifat khusus, baik pada industri skala besar maupun skala kecil. Salah satu sifat yang dibutuhkan adalah umur pakai material. Pada umumnya, kerusakan komponen berawal dari bagian permukaan yang disebabkan oleh faktor-faktor eksternal seperti beban, temperatur tinggi, gesekan, korosifitas, dan oksidasi. Untuk mencegah timbulnya kerugian tersebut diperlukan suatu perlakuan terhadap

permukaan material (*surface treatment*), salah satunya adalah pelapisan logam dengan metode elektroplating (Nurhasni dkk., 2013).

Prinsip dasar dari elektroplating ialah penempatan ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi, yang mana ion-ion logam tersebut didapat dari anoda dan elektrolit yang digunakan, sehingga elektroplating ini juga dapat disebut pelapisan logam dengan listrik. Terdapat beberapa jenis elektroplating yang berkembang di dunia bergantung pada penggunaan dan tujuan dilakukannya metode pelapisan ini. Beberapa logam yang lazim digunakan dalam pelapisan dengan listrik yaitu; zink, krom, nikel, tembaga, perak, emas, dan timah (Tarwijayanto, 2013).

Pada proses pelapisan dengan listrik menghasilkan beragam limbah diantaranya; asam, basa, kromat, sianida, klorida, fosfat, logam berat lainnya, limbah padat bahkan menghasilkan gas yang berbahaya. Yudo dan Said (2010) menganalisa sampel limbah elektroplating dan mendapatkan komposisi berikut; Cu 10 ppm, Sn 15 ppm, Cd 15 ppm, Ni 25 ppm, Cr 50 ppm, dan kandungan lainnya dalam jumlah kecil. Kuantitas limbah yang dihasilkan industri ini memang tidak sebanyak industri lain, namun terdapat bahan kimia dengan sifat toksik yang dapat merugikan manusia dan ekosistem apabila tidak dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan (Yudo dan Said, 2010).

Kadar maksimum krom total yang diperbolehkan dalam perairan adalah 0,1 ppm dan kadar Cr(VI) 0,05 ppm, diatur dalam SK Menteri Negara LH yang bernomor Kep 03/MENKLH/11/1991. Hal ini menunjukkan bahwa dalam jumlah yang lebih sedikit keberadaan Cr(VI) telah dapat menyebabkan masalah bagi lingkungan. Berbeda dengan Cr(VI), spesi Cr(III) relatif tidak toksik, tidak korosif, dan tidak karsinogenik sehingga salah satu cara mengurangi tingkat toksisitas dari Cr(VI) adalah dengan mereduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) (Kozuh dkk., 2000).

Spesi Cr(VI) dapat direduksi menjadi Cr(III) dengan beberapa cara dan Cr(III) tidak akan mudah teroksidasi ulang menjadi Cr(VI), oleh karena itu redoks merupakan metode yang disukai dalam menurunkan kadar Cr(VI). Keberhasilan metode imobilisasi kromium ini bergantung pada proses kimia, antara lain: pembentukan kompleks, penyerapan permukaan, dan pengendapan (Tarrah dkk., 2004). Metode konvensional untuk menghilangkan ion logam berat terlarut diantaranya melalui presipitasi, pertukaran ion, ekstraksi pelarut, pemisahan membran, sementasi, penguapan, dan pemisahan busa. Cara-cara ini diharapkan dapat mengurangi konsentrasi logam Cr pada limbah cair elektroplating, tapi dalam aplikasinya belum mampu untuk mereduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) dalam mengurangi toksisitas pada air maupun limbah (Seaman dkk., 1999).

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengurangi konsentrasi Cr(VI) di limbah industri elektroplating, salah satunya yaitu proses koagulasi. Koagulasi merupakan proses pengolahan air limbah dengan mendestabilisasikan partikel koloid di dalamnya. Keefektifan proses koagulasi dipengaruhi oleh jenis koagulan, konsentrasi, dan kekuatan ion dari koagulan. Koagulan yang digunakan dapat berupa koagulan alami maupun koagulan sintesis (bahan kimia). Pada penelitian yang dilakukan oleh Nasrullah dkk (2017),  $\text{FeSO}_4$  digunakan sebagai koagulan yang juga berperan untuk mereduksi Cr(VI). Penelitian dilakukan dengan variabel waktu kontak optimum, pH optimum, dan penentuan volume koagulan optimum. Analisis penurunan Cr(VI) dilakukan dengan pengukuran pada filtrat dan diperoleh hasil optimum adalah waktu kontak 2 menit, pH 6, dan volume penambahan koagulan yaitu 0,8 mL. Penelitian terkait lainnya dilakukan oleh Hariani dkk (2009), pada penelitian ini menggunakan variabel pH optimum, konsentrasi koagulan optimum, dan waktu kontak optimum. Berdasarkan penelitian tersebut

didapatkan hasil kondisi optimum penurunan Cr(VI) menggunakan koagulan FeSO<sub>4</sub> pada pH 8, konsentrasi koagulan 140 mg/L dan waktu kontak 60 menit.

Metode pengendapan kimiawi menggunakan FeSO<sub>4</sub> melibatkan dua proses, yaitu reduksi Cr(VI) dalam kondisi asam, diikuti dengan pengendapan Cr(III) hidroksida. Agen pereduksi yang biasa digunakan adalah sulfur dioksida, natrium sulfit, sodium bisulfat, dan besi sulfat. FeSO<sub>4</sub> merupakan koagulan yang dapat ditemui dengan mudah di pasaran dengan harga jual yang murah, sehingga sangat ekonomis untuk digunakan dalam pengolahan limbah skala industri. Ion krom merupakan oksidator yang kuat, dimana Cr(VI) dapat tereduksi lebih cepat menjadi Cr(III) dalam suasana asam (Kamran dkk., 2007). Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui proses reduksi limbah Cr(VI) menggunakan koagulan FeSO<sub>4</sub> teknis dengan media asam sulfat dan aplikasinya pada pengolahan limbah Cr(VI).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. berapakah konsentrasi optimum asam sulfat sebagai media pada reduksi Cr(VI) menggunakan koagulan FeSO<sub>4</sub>?
2. berapakah waktu kontak optimum reduksi Cr(VI) menggunakan koagulan FeSO<sub>4</sub> dengan media asam sulfat?
3. berapakah penambahan dosis optimum koagulan FeSO<sub>4</sub> pada reduksi Cr(VI) dalam media asam sulfat?
4. berapakah konsentrasi optimum Cr(VI) yang dapat direduksi oleh koagulan FeSO<sub>4</sub> dengan media asam sulfat?
5. berapakah persen penurunan kadar Cr(VI) berdasarkan kondisi optimum proses reduksi Cr(VI) menggunakan koagulan FeSO<sub>4</sub> dengan media asam sulfat pada limbah simulasi elektroplating?

### **1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

#### **1.3.1 Maksud Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mempelajari kondisi optimum reduksi Cr(VI) menggunakan koagulan FeSO<sub>4</sub> dengan media asam sulfat dan aplikasinya pada pengolahan limbah simulasi elektroplating.

#### **1.3.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. menentukan konsentrasi optimum asam sulfat sebagai media pada reduksi Cr(VI) menggunakan koagulan FeSO<sub>4</sub>,
2. menentukan waktu optimum reduksi Cr(VI) menggunakan koagulan FeSO<sub>4</sub> dengan media asam sulfat,
3. menentukan penambahan dosis optimum koagulan FeSO<sub>4</sub> pada reduksi Cr(VI) dalam media asam sulfat,
4. menentukan konsentrasi optimum Cr(VI) yang dapat direduksi oleh koagulan FeSO<sub>4</sub> dengan media asam sulfat,
5. menentukan persen penurunan kadar Cr(VI) berdasarkan kondisi optimum proses reduksi Cr(VI) menggunakan koagulan FeSO<sub>4</sub> dengan media asam sulfat pada limbah simulasi elektroplating.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai upaya pengurangan konsentrasi Cr(VI) di lingkungan dengan menggunakan koagulan FeSO<sub>4</sub> dengan media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Adapun penelitian ini diharapkan menjadi kajian awal bagi pengolahan limbah industri yang mengandung Cr(VI), sehingga efek toksisitas Cr(VI) dan dampaknya bagi lingkungan dapat diminimalisir.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Logam Berat**

Logam berat adalah elemen logam apa pun yang memiliki kepadatan relatif tinggi dan bersifat toksik atau beracun bahkan pada konsentrasi tinggi. Logam berat adalah istilah kolektif umum, yang berlaku untuk kelompok logam dan metaloid dengan massa jenis lebih besar dari  $5 \text{ g/cm}^3$  atau 5 kali lebih lebih besar dari massa jenis air. Beberapa jenis logam yang termasuk kategori logam berat sebagai berikut; aluminium (Al), antimoni (Sb), kadmium (Cd), kromium (Cr), cobalt (Co), merkuri (Hg), tembaga (Cu), besi (Fe), mangan (Mn), molibdenum (Mo), selenium (Se), perak (Ag), timah (Sn), timbal (Pb), vanadium (V) dan zink (Zn) (Duruibe dkk., 2007).

Menurut Panjaitan (2009), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar berbahaya karena logam berat mempunyai sifat yang tidak dapat terurai (*non-degradable*) dan mudah diabsorpsi. Logam berat yang masuk dalam lingkungan sebagian akan terserap masuk ke dalam tanah (sedimen) dan sebagian akan masuk ke dalam sistem aliran sungai yang selanjutnya terbawa ke laut. Logam berat yang masuk dalam ekosistem laut akan mengendap ke dasar perairan dan terserap dalam sedimen. Logam berat yang mengendap pada dasar perairan akan mengalami sedimentasi dan hal ini akan menyebabkan biota laut yang mencari makan di dasar perairan seperti udang, kerang, dan kepiting akan memiliki peluang yang sangat besar untuk terkontaminasi logam berat tersebut. Jika biota laut yang telah terkontaminasi logam berat tersebut dikonsumsi dalam jangka waktu

tertentu dapat menjadi bahan racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup (Palar, 2008).

Berbagai sumber logam berat termasuk erosi tanah, pelapukan alami kerak bumi, pertambangan, limbah industri, limpasan perkotaan, pembuangan limbah, agen pengendalian serangga atau penyakit diterapkan untuk tanaman, dan banyak lainnya (Morais dkk., 2012). Sumber pencemaran logam berat terbagi menjadi dua sumber, yaitu sumber alami dan sumber buatan. Sumber alami ialah (Sutamihardja, 2006):

1. berasal dari daerah pantai (*coastal supply*), yang bersumber dari sungai, abrasi oleh aktivitas gelombang,
2. berasal dari logam yang dibebaskan melalui aktivitas gunung berapi maupun melalui proses kimiawi,
3. berasal dari lingkungan daratan dan dekat pantai, termasuk logam yang berasal dari atmosfer berupa partikel debu dan dibawa oleh ikan.

Adapun sumber buatan berupa logam-logam berat yang dibebaskan oleh proses industri atau kegiatan pertambangan (Sutamihardja, 2006).

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi toksisitas setiap jenis logam berat, antara lain; bentuk senyawa, daya kelarutan logam berat di dalam cairan, ukuran partikel, dan beberapa sifat kimia maupun fisika (Darmono, 2001). Sutamihardja (2006) menyatakan bahwa mekanisme toksisitas logam berat di dalam tubuh organisme dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kategori yaitu:

1. logam berat dapat memblokir dan menghalangi kerja gugus biomolekul esensial dalam proses metabolisme,
2. logam berat dapat menggantikan ion-ion logam esensial yang terdapat dalam molekul terkait,

3. logam berat dapat mengadakan modifikasi atau perubahan bentuk (konformasi) dari gugus aktif yang dimiliki biomolekul.

## 2.2 Tinjauan Umum Kromium

Kromium (Cr) merupakan salah satu unsur logam berat dengan nomor atom 24 dan bobot atom 51,996, memiliki titik leleh 1875 °C dan titik lebur 2665 °C. Logam Cr mempunyai konfigurasi elektron  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^4$ , logam ini sangat keras, mempunyai titik leleh dan didih tinggi di atas titik leleh dan titik didih unsur-unsur transisi deretan pertama lainnya. Kromium murni tidak dapat ditemukan di alam, kromium paling banyak ditemukan dalam bentuk bahan mineral kromium yaitu dalam bentuk  $FeOCr_2O_3$  atau *chromite* (ASTDR, 2012). Belum ditemukan bijih dalam bentuk murni, kadar tertingginya mengandung sekitar 55% oksida kromat, logam Cr merupakan kontaminan umum di permukaan dan air tanah (WHO, 2000).

Logam Cr tidak larut dalam air dan asam nitrat, tetapi larut dalam asam sulfat encer dan asam klorida. Logam Cr harus dihindarkan dari panas api, percikan api dan penyebab kebakaran lainnya, dikarenakan sifatnya yang mudah terbakar (Vogel, 1985). Logam Cr berdasarkan sifatnya mempunyai bilangan oksidasi +2, +3, dan +6. Adapun Cr(II) akan membentuk senyawa yang bersifat basa, Cr(III) membentuk senyawa yang bersifat amfoter, sedangkan Cr(VI) bersifat lebih asam. Pada keadaan asam ion kromat ( $CrO_4^{2-}$ ) dapat menimbulkan peristiwa reduksi yang sangat kuat (ATSDR, 2012). Di alam, umumnya logam Cr memiliki bilangan oksidasi +3 (Cr(III)) dan bilangan oksidasi +6 (Cr(VI)). Cr(VI) lebih toksik dibandingkan Cr(III), dikarenakan sifatnya yang berdaya larut dan mobilitas tinggi di lingkungan (Rahman dkk., 2007).

Logam Cr pada bilangan oksidasi +2 atau Cr(II) merupakan reduktor yang kuat dan mudah dioksidasi di udara menjadi senyawa Cr(III). Spesi Cr(II) dapat larut dalam asam klorida atau asam sulfat membentuk larutan  $(\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6)^{2+}$  yang berwarna biru langit. Spesi ini juga dapat bereaksi dengan  $\text{H}^+$  dan  $\text{H}_2\text{O}$  apabila terdapat katalis dalam bentuk serbuk logam (Palar, 1994).

Senyawa Cr yang paling stabil berada pada bentuk oksida trivalen, dimana bentuk ini memiliki kelarutan yang sangat rendah, reaktivitas rendah, mobilitas di lingkungan rendah dan toksisitas pada organisme hidup juga rendah (Murti dan Sugihartono, 2020). Kompleks Cr(III) umumnya berwarna hijau dan dapat berupa kompleks anion maupun kation. Larutan yang mengandung  $(\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6)^{3+}$  berwarna ungu, jika dipanaskan akan menjadi hijau (Palar, 1994).

Dalam tubuh manusia dan hewan, logam Cr dalam konsentrasi rendah merupakan mikronutrien esensial, tetapi dalam konsentrasi tinggi Cr dapat bertindak sebagai zat karsinogenik. Daya larutnya yang rendah, membuat Cr(III) cenderung aman bagi tubuh manusia dan berperan dalam metabolisme tubuh yaitu sebagai kofaktor enzim insulin. Batas aman logam Cr(III) dalam makanan yaitu 50-200  $\mu\text{g}$  per hari (Jalauddin dan Ambeng, 2005). Spesi Cr(VI) merupakan jenis logam kromium yang paling toksik jika dibandingkan dengan Cr(II) dan Cr(III). Sifat toksik logam Cr tersebut dapat menyebabkan keracunan akut dan keracunan kronis (Wulaningtyas, 2018). Penyerapan senyawa Cr(VI) melalui saluran pencernaan dan saluran udara lebih cepat daripada senyawa Cr(III) (Martin dan Griswold, 2009).

Logam Cr dalam kegiatan industri digunakan untuk *elektroplating*, penyamakan kulit dan pengecatan (ATSDR, 2012). Pada industri penyamakan

kulit, penggunaan logam Cr dalam industri ini memberi banyak keuntungan, diantaranya adalah harganya yang murah, proses penyamakan lebih cepat, serta kulit yang dihasilkan jauh lebih lembut, kuat, dan tahan terhadap organisme (Fatimah, 2009). Senyawa Cr(III) yang digunakan pada proses penyamakan kulit secara signifikan kurang beracun apabila dibandingkan dengan Cr(VI). Namun demikian pada kondisi tertentu, sejumlah kecil Cr(III) pada kulit dapat teroksidasi menjadi Cr(VI) (Fuck dkk., 2011; Vaskova dkk., 2013).

Spesi Cr(III) juga dimanfaatkan sebagai suplemen makanan bagi hewan dan manusia, dimana memiliki peran penting dalam metabolisme glukosa (Martin dan Griswold, 2009). Logam Cr adalah logam yang banyak digunakan oleh manusia dan memiliki sifat persisten, bioakumulatif, toksik serta tidak bisa terurai di lingkungan, sehingga perlu pengolahan lebih lanjut ketika akan dilepas ke lingkungan (Kurniawati dkk., 2017). Limbah cair yang mengandung logam berat umumnya sebelum dilepas ke lingkungan diolah terlebih dahulu lewat proses kimia yang melibatkan reaksi redoks (reduksi-oksidasi) (Khairani, 2007).

### **2.3 Kromium Heksavalen**

Kromium heksavalen (Cr(VI)) merupakan salah satu logam berat paling beracun di lingkungan. Logam ini dapat menyebabkan bahaya serius bagi kesehatan manusia dan juga lingkungan, oleh karena Cr(VI) terakumulasi pada tanah dan air limbah (Rehaman dkk., 2019). Senyawa krom sebagai oksida (+6) atau Cr(VI) adalah padatan berwarna merah, untuk senyawa alkalinnya berwarna jingga dan berwarna kuning dalam bentuk kromat (Hariani dkk., 2009). Larutan ion kromat yang diasamkan akan menghasilkan ion dikromat yang berwarna jingga. Dalam larutan asam, ion kromat atau ion dikromat adalah oksidator kuat. Cr(VI) dalam

larutan berada sebagai bentuk okso dalam berbagai spesies tergantung pada pH dan konsentrasi Cr(VI), untuk spesi okso Cr(VI) dibagi dalam 3 wilayah pH utama yaitu (Manning dkk., 2007):

1.  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  (pH < 0),
2.  $\text{HCrO}_4^-$  dan  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  (pH 2-6),
3.  $\text{CrO}_4^{2-}$  (pH > 6).

Konsentrasi Cr(VI) jika melebihi 0,05 mg/L dan masuk dalam rantai makanan akan mempengaruhi fisiologi manusia sehingga menyebabkan gangguan kesehatan, seperti; iritasi kulit, iritasi hidung, perforasi gendang telinga, karsinoma paru dan penyakit lainnya (WHO, 2011; Srinath dkk., 2002). Spesi Cr(VI) dapat menembus kulit dengan mudah, dan setelah penetrasi maka Cr(VI) akan direduksi oleh protein atau antioksidan intraselular menjadi Cr(III), yang dapat memberikan pengaruh pada DNA dan protein. Hasil yang diperoleh dari berbagai percobaan *in vitro* dan *in vivo* telah menunjukkan bahwa senyawa kromat dapat menyebabkan kerusakan DNA dalam berbagai cara dan menyebabkan pembentukan *adduct* DNA, penyimpangan kromosom, pertukaran kromatit, perubahan dalam replikasi dan transkripsi dari DNA (O'Brien dkk., 2001). Selain menembus DNA, Cr(VI) juga dapat menembus membran sel darah dengan cepat, kemudian berikatan dengan globin yang ada pada hemoglobin (Wahyuni dkk., 2004).

Spesi Cr(VI) memiliki toksisitas 100 kali lipat daripada Cr(III), baik untuk paparan akut dan kronis, karena kelarutan dan mobilitasnya tinggi. Paparan inhalasi kronis Cr(VI) menghasilkan efek pada saluran pernapasan, dengan perforasi dan ulserasi septum, bronkitis, penurunan fungsi paru, pneumonia, dan gatal serta nyeri pada hidung. Paparan kronis Cr(VI) tingkat tinggi melalui inhalasi atau paparan oral

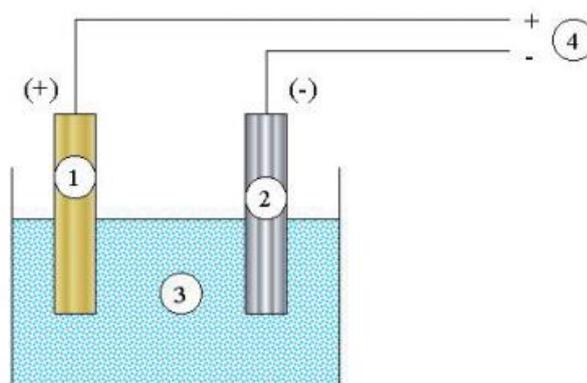
dapat menghasilkan efek pada hati, ginjal, gastrointestinal, darah, dan sistem kekebalan tubuh. Cr(VI) juga memiliki kapasitas oksidatif yang kuat, dimana keadaan ini berkaitan erat dengan toksisitasnya yang dapat menyebabkan kematian sel (Saha dkk., 2011). Senyawa Cr(VI) oleh *Agency of Toxic Substances and Diseases Registry* (ATSDR) dimasukkan ke dalam daftar prioritas zat berbahaya. Cr(VI) menjadi karsinogen golongan 1 yang diklasifikasikan dengan mekanisme kompleks multipel yang menjadi pemicu perkembangan kanker (DesMarias dan Costa, 2019). Adapun pencemaran logam Cr(VI) berasal dari buangan industri-industri pelapisan krom, pabrik tekstil, pabrik cat, penyamakan kulit, pabrik tinta, dan pengilangan minyak (Adhani dan Husaini, 2017).

## **2.4 Limbah Elektroplating**

Rekayasa dalam menciptakan dan modifikasi sifat fisik maupun sifat mekanik pada logam untuk memaksimalkan kegunaannya disebut pelapisan logam. Tujuan pelapisan logam yaitu memberikan sifat tertentu pada suatu permukaan benda kerja, perbaikan pada struktur mikro dan ketahanannya, serta perbaikan sifat fisik logam tersebut (Niam dkk., 2017). Teknik pelapisan logam terus berkembang sejalan dengan berkembangnya teknologi pemanfaatan logam, dengan tujuan utamanya yaitu memisahkan kontak langsung antara logam dan lingkungan agar tidak terjadi korosi dan untuk mendapatkan sifat-sifat lain yang diharapkan dari logam tersebut. Sifat-sifat tersebut diantaranya; tampak rupa (*appearance*), daya tahan gores atau aus (*abrasion resistance*), harga/nilai (*value*), mampu solder (*solderability*), daya kontak listrik (*electrical contact resistance*), dan mampu pantul atau bias cahaya (*reflectivity*). Logam yang dapat berperan menghasilkan sifat-sifat

di atas disebut sebagai bahan pelapis logam, mekanisme proses pelapisannya antara lain lapis secara listrik (*elektroplating*), celup panas (*hot dip galvanize*), semprot logam (*metal spraying*) dan lain-lain (Azhar, 1999).

Metode yang umum digunakan dalam pelapisan ialah pelapisan logam secara listrik (elektroplating) yang merupakan proses pelapisan logam maupun nonlogam secara elektrolisis melalui penggunaan arus searah (DC) dan larutan kimia (elektrolit) yang berfungsi sebagai penyuplai ion-ion logam pada pembentukan lapisan logam pada katoda. Reaksi kimia (reduksi dan oksidasi) pada elektroda dan larutan elektrolit diharapkan dapat terus berjalan menuju arah tertentu secara tetap selama proses pelapisan listrik berlangsung. Sehingga diperlukan arus listrik searah (*direct current*) dan tegangan yang konstan sehingga permukaan hasil pelapisan logam dapat menempel dengan kuat pada benda kerja (Onggo, 2000). Secara elektrokimia, reaksi dan proses pelapisan dengan listrik dapat dilihat berturut-turut pada persamaan reaksi (4) dan Gambar 2 (Yudo dan Said, 2005).



**Keterangan :**

- (1) Anoda (bahan pelapis);
- (2) Katoda (benda kerja);
- (3) Elektrolit; dan
- (4) Sumber arus searah.

**Gambar 1.** Skema pelaksanaan pelapisan logam secara listrik

Hukum Faraday menyatakan: Jumlah zat atau unsur-unsur yang terbentuk dan terbebas pada elektroda selama elektrolisis sebanding dengan jumlah arus listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit. Jumlah zat atau unsur-unsur yang dihasilkan oleh arus listrik yang sama selama elektrolisis adalah sebanding dengan berat ekivalen masing-masing zat tersebut. Hukum inilah yang menjadi prinsip dan dasar teori dari proses lapis listrik yang dapat ditulis dengan ketentuan sebagai berikut (Chang, 2010):

$$B = \frac{I \cdot t \cdot e}{F} \quad (2)$$

Keterangan:

B = berat zat yang terbentuk (gram)

I = jumlah arus yang mengalir (Ampere)

t = Waktu (detik)

e = Berat ekivalen zat yang dibebaskan (berat atom suatu unsur dibagi valensi unsur tersebut)

F = Jumlah arus yang diperlukan untuk membebaskan sejumlah gram ekivalen suatu zat

Proses pelapisan logam secara listrik (elektroplating) terdiri dari beberapa tahapan, secara umum yaitu persiapan bahan yang akan dilapisi, pelapisan, dan penyelesaian akhir. Beberapa logam yang lazim digunakan dalam pelapisan dengan listrik yaitu; zink, krom, nikel, tembaga, perak, emas, dan timah. Salah satu jenis logam untuk elektroplating yang banyak dipakai dalam industri manufaktur adalah logam Cr. Logam Cr merupakan reduktor yang kuat (mudah teroksidasi dengan udara) dan membentuk lapisan kromium oksida pada permukaan dan berfungsi untuk meningkatkan kekerasan, ketahanan aus serta melindungi permukaan benda kerja dari korosi. Metode elektroplating menggunakan logam Cr difungsikan untuk mampu menerima beban besar, ketahanan temperatur tinggi, dan gesekan secara berkelanjutan, contohnya adalah piston pada silinder hidrolis, komponen untuk

peredam pada konstruksi roda pesawat serta komponen dari *mould* dan *dies* (Tarwijayanto, 2013).

Elektroplating menggunakan logam Cr dibagi menjadi dua kategori yaitu sebagai dekoratif dan fungsional. Tipe dekoratif dimaksudkan sebagai perlindungan yang mencegah terjadinya korosi, sedangkan untuk tipe fungsional umumnya digunakan untuk aplikasi teknik dikarenakan memiliki daya gesek yang baik dan sifat tahan panas. Kedua fungsi pelapisan tersebut dapat menggunakan larutan Cr(VI) dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, namun larutan Cr(III) hanya dapat digunakan untuk fungsi dekoratif saja (Yudo dan Said, 2005).

Kebutuhan produk yang menggunakan elektroplating semakin meningkat, sehingga industrinya juga mengalami perkembangan pesat. Perkembangan industri elektroplating selain memberikan manfaat, juga memberikan dampak negatif berupa limbah (padat, cair, dan emisi gas). Limbah dari industri elektroplating merupakan limbah logam berat yang termasuk dalam limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) (Purwanto, 2005). Kuantitas limbah yang dihasilkan dalam proses elektroplating tidak terlampau besar, namun tingkat toksisitasnya yang tinggi, terutama pada krom, nikel, dan seng. Limbah hasil industri elektroplating bervariasi tergantung dari kondisi operasi, proses pelapisan, logam yang digunakan, dan cara pembilasan (Roekmijati, 2002).

Setiap jenis elektroplating menggunakan logam dan cairan elektrolit yang berbeda-beda, sehingga limbah yang dihasilkan juga berbeda-beda. Tiap tahapan proses dalam elektroplating juga menghasilkan limbah yang berbeda. Secara umum, limbah industri elektroplating berdasarkan tahapnya adalah sebagai berikut (Yudo dan Said, 2005):

1. Tahap pertama

Pembersihan permukaan barang logam dari kotoran-kotoran yang berupa karat, debu serta lemak. Pada pembersihan awal ini umumnya digunakan asam klorida, asam sulfat, sabun pencuci serta air pembilas yang cukup banyak sehingga menghasilkan limbah sisa asam dan zat organik lain.

2. Tahap kedua

Pembersihan secara mekanis biasanya dilakukan dengan cara ampelas, dan polis yang menggunakan alat dan bahan abrasif. Dari tahap ini akan dihasilkan banyak sekali debu-debu logam, bahan abrasif yang dapat mengganggu lingkungan pabrik.

3. Tahap ketiga

Pencucian dan penetralan dengan air kapur. Dari tahap ini akan keluar bahan-bahan buangan yang bersifat basis.

4. Tahap keempat

Pelapisan listrik yang akan menggunakan bahan-bahan kimia sebagai elektrolit antara lain senyawa-senyawa sulfat, klorida, kromat, sianida, fosfat dan lain-lain. Pengotoran sekeliling adalah akibat dari kebocoran percikan, tumpah, tetesan-tetesan pada waktu pengangkatan benda-benda, uap elektrolit, maupun gas-gas hasil reaksi elektrolisa. Jumlah bahan pengotor dari tahap proses ini sangat tergantung pada sistem kerja dan peralatan yang digunakan.

Limbah buangan pelaspisan dengan listrik umumnya mengandung; sianida, ion tembaga, ion nikel, kromat, bikromat, asam borat, nitrat, asam fosfat, dan zat-zat organik (minyak, lemak, dan bensin). Bahan buangan juga dapat berupa emisi gas dan uap seperti; uap sianida, kromat, gas-gas hasil proses elektrolisis, dan lain-

lain. Limbah bentuk padatan hasil industri ini adalah debu-debu logam, debu-debu abrasif, dan endapan-endapan garam yang timbul dari hasil reaksi kimia pada proses pengolahan limbah (Yudo dan Said, 2005).

Limbah industri elektroplating yang langsung dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan (pencemaran lingkungan) (Nurhasni dkk., 2013). Beberapa cara untuk mengurangi logam berat termasuk Cr(VI) antara lain adalah metode biosorpsi, elektrokoagulasi, fitoremediasi, penggunaan adsorben, dan berbagai metode lainnya (Rehaman dkk., 2019; Sahlan dkk, 2016; Setyono dan Gustawan, 2017; Agustina dkk, 2018). Spesi Cr(III) dapat mengendap dalam bentuk hidroksida yang tidak larut, kondisi optimal pengendapan Cr(III) dalam air dengan pH 8,5- 9,5. Kromium hidroksida ini melarut lebih tinggi apabila kondisi pH rendah atau asam. Spesi Cr(VI) sulit mengendap sehingga membutuhkan penanganan untuk mereduksi Cr(VI) menjadi Cr(III) (Wahyuningtyas, 2001).

## **2.5 Koagulasi**

Koagulasi adalah proses pengolahan air limbah dengan menstabilisasikan partikel koloid pada limbah. Proses koagulasi biasanya dilanjutkan proses flokulasi yang merupakan proses lanjutan koagulasi dimana partikel yang terdestabilisasi akan membentuk partikel lebih besar. Proses koagulasi memerlukan penambahan suatu zat untuk membantu proses pengendapan partikel yang disebut koagulan, dan masing-masing partikel tersebut memerlukan koagulan yang berbeda pada proses pengendapannya. Koagulan akan membentuk partikel-partikel besar yang kemudian mengendap, dan partikel besar ini disebut flok. Koagulan berdasarkan jenisnya terdiri atas dua jenis, yaitu koagulan kimia dan koagulan alami. Koagulan

alami terbuat dari bahan-bahan alami yang mengandung protein, karbohidrat, dan tannin. Adapun koagulan kimia terbuat dari bahan-bahan kimia yang umumnya mengandung logam (Howe dkk., 2012; Martina dkk., 2018).

Koagulasi merupakan proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi, termasuk bakteri dan virus, dengan menggunakan suatu koagulan spesifik. Pengadukan cepat (*flash mixing*) merupakan bagian integral dari proses koagulasi, pengadukan cepat ini bertujuan untuk mempercepat dan menyeragamkan penyebaran zat kimia. Adapun faktor-faktor yang memengaruhi proses koagulasi adalah sebagai berikut (Rahimah dkk., 2016):

a. suhu air

suhu air yang rendah mempunyai pengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi. Bila suhu air diturunkan, maka besarnya daerah pH yang optimum pada proses koagulasi akan berubah dan berpengaruh pada penambahan dosis koagulan.

b. jenis koagulan

pemilihan jenis koagulan didasarkan pada pertimbangan segi ekonomis dan daya efektivitas dari koagulan dalam pembentukan flok. Koagulan dalam bentuk larutan lebih efektif dibanding koagulan dalam bentuk serbuk atau butiran.

c. kadar ion terlarut

pengaruh ion-ion yang terlarut dalam air terhadap proses koagulasi, yaitu pengaruh anion lebih besar daripada kation, sehingga ion natrium, kalsium, dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi

d. tingkat kekeruhan

pada tingkat kekeruhan yang rendah, proses destabilisasi akan sukar terjadi, sebaliknya pada tingkat kekeruhan air yang tinggi proses destabilisasi akan berlangsung cepat.

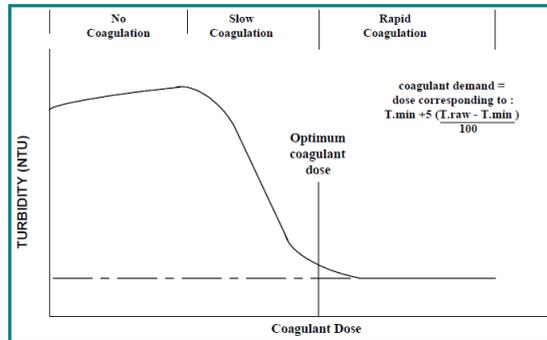
e. dosis koagulan

penambahan koagulan sesuai dengan dosis yang dibutuhkan akan membuat pembentukan inti flok berjalan dengan baik. Rentang dosis beberapa koagulan dapat dilihat pada Tabel 1, dimana pada tabel tersebut terlihat rentang dosis dengan pH tertentu untuk setiap koagulan.

**Tabel 1.** Penerapan dosis koagulan (Risdianto, 2007)

Jenis koagulan	Rentang dosis (mg/L)	pH	Keterangan
Soda ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )	150-500	9,0-11,0	Untuk koagulasi koloid dan penghilangan P. air Limbah dengan kebasaaan rendah dan tinggi kandungan Pnya. Reaksi dasar:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow 2\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{MgCO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{CaCO}_3$
Aluminium sulfat ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ )	75-250	4,5-7,0	Untuk koagulasi koloid dan penghilangan P. Air limbah dengan kebasaaan tinggi dan P rendah-stabil. Reaksi dasar:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4$
Ferri klorida ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	35-150	4,0-7,0	Untuk koagulasi koloid dan penghilangan P  $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$
Ferro sulfat ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	70-200	4,0-7,0	Air limbah dengan kebasaaan tinggi dan P rendah-stabil Sisa air besi ( <i>leaching</i> ) di effluen dapat dikontrol dan limbah besi diizinkan.
PAC	75-250	4,5-7,0	

Contoh kurva koagulasi yang memplotkan dosis penambahan koagulan dan kekeruhan ditunjukkan pada Gambar 1 (EPA,2002).



**Gambar 2.** Contoh kurva koagulasi (EPA, 2002)

f. kecepatan pengadukan

tujuan pengadukan adalah untuk mencampurkan koagulan ke dalam air. Hal yang perlu diperhatikan dalam pengadukan, yaitu; pengadukan harus benar-benar merata, sehingga semua koagulan yang ditambahkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel atau ion-ion yang berada dalam air. Kecepatan pengadukan sangat berpengaruh pada pembentukan flok, bila pengadukan terlalu lambat akan mengakibatkan lambatnya pembentukan flok dan sebaliknya jika terlalu cepat akan berakibat pecahnya flok yang terbentuk. Adapun pengadukan tersebut harus konstan sehingga dibutuhkan alat tertentu.

g. alkalinitas

alkalinitas dalam air dapat membentuk flok dengan menghasilkan ion hidroksida pada reaksi hidrolisa koagulan.

h. derajat keasaman (pH)

proses koagulasi akan berjalan dengan baik bila berada pada daerah pH yang optimum, setiap jenis koagulan mempunyai pH optimum yang berbeda.

Beberapa jenis koagulan yang dapat digunakan untuk pengolahan air limbah di antaranya (Gebbie, 2005):

1. Aluminium sulfat (Alum)

Alum merupakan salah satu koagulan yang paling lama dikenal dan paling luas digunakan dengan rumus kimia  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ . Alum dapat dibeli dalam bentuk *liquid* dengan konsentrasi 8,3% atau dalam bentuk kering (bisa berupa balok, granula, atau bubuk) dengan konsentrasi 17%. Alum padat akan langsung larut dalam air tetapi larutannya bersifat korosif terhadap aluminium, besi, dan beton, sehingga tangki-tangki dari bahan-bahan tersebut membutuhkan lapisan pelindung.

2. *Ferric sulphate*

*Ferric sulphate* tersedia dalam bentuk granula atau bubuk yang berwarna merah kecoklatan. Rumus kimianya adalah  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . Koagulan ini sedikit bersifat higroskopik tetapi sulit untuk larut. Larutannya bersifat korosif terhadap aluminium, beton, dan hampir semua besi. Sama halnya dengan reaksi alum, flok *ferric hydroxide* merupakan hasil dari reaksi antara koagulan yang asam dan alkalinitas alami dalam air.

3. *Ferrous sulphate*

*Ferrous sulphate* disebut juga *copperas* atau *iron sulphate* atau gula besi, merupakan garam termurah yang dapat digunakan untuk koagulasi. *Ferrous sulphate* bersifat positif sehingga dapat melemahkan gaya tolak-menolak antar partikel koloid yang bermuatan negatif. Ketika elektrolit diserap partikel koloid dalam air, *ferrous sulphate* dapat menurunkan bahkan menghilangkan kekokohan partikel koloid dan

menetralkan muatannya. Penetralkan muatan partikel oleh koagulan hanya mungkin terjadi jika muatan partikel mempunyai konsentrasi yang cukup untuk mengadakan gaya tarik-menarik antar partikel koloid (Gupta, 2005).

4. *Ferric chloride*

*Ferric chloride* tersedia dalam bentuk yang tidak mengandung H<sub>2</sub>O berupa bubuk hijau-hitam dengan rumus kimia FeCl<sub>3</sub> dan dalam bentuk likuid dengan rumus kimia FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O berupa sirup berwarna coklat gelap. Bentuk padatnya bersifat higroskopik dan tidak sesuai untuk pengumpanan kering. Larutannya bersifat sangat korosif dan menyerang hampir semua logam dan beton. Koagulan besi bervalensi 3 (*ferric*) bekerja pada rentang pH yang lebar dan sering kali dapat digunakan pada batas rentang yang lebih tinggi, misalnya dari 7,5-8.

5. *Polyelectrolyte*

Larutan dari *polyelectrolyte* memiliki viskositas tinggi dan sering kali dibutuhkan hanya dalam dosis yang sangat kecil. Oleh karenanya turbulensi yang cukup harus diberikan pada titik pengumpanan untuk memastikan pencampuran yang cepat dan menyeluruh. Larutan *polyelectrolyte* yang encer lebih mudah terdispersi ke dalam aliran dibandingkan larutan terkonsentrasi.

6. *Polyaluminium chloride* (PAC)

PAC memiliki rumus kimia umum Al<sub>n</sub>Cl<sub>(3n-m)</sub>(OH)<sub>m</sub> banyak digunakan karena memiliki rentang pH yang lebar sesuai nilai n dan m pada rumus kimianya. PAC yang paling umum dalam pengolahan air adalah Al<sub>12</sub>Cl<sub>12</sub>(OH)<sub>24</sub>, contoh senyawa modifikasi PAC di antaranya

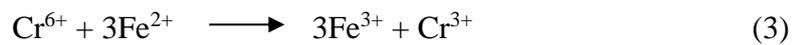
*polyaluminium hydroxidechloride silicate* (PACS) dan *polyaluminium hydroxidechloride silicate sulfate* (PASS). PAC digunakan untuk mengurangi kebutuhan akan penyesuaian pH untuk pengolahan, dan digunakan jika pH badan air penerima lebih tinggi dari 7,5.

Koagulan yang mendominasi dan umum digunakan dalam proses koagulasi adalah koagulan berbasis besi ( $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , dan  $\text{FeCl}_3$ ) dan aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), keduanya mempunyai rentang pH yang cukup besar. Rentang pH optimal untuk aluminium berkisar 5,5-6,5 dan koagulan besi berkisar 4-9, sehingga sangat cocok digunakan untuk contoh uji yang mempunyai rentang pH besar. Setiap koagulan mempunyai kelebihan dan kekurangannya masing-masing, sehingga dalam pemilihan koagulan harus dilandaskan pada kondisi larutan yang akan dikoagulasi dan kondisi operasi pada saat proses koagulasi berlangsung. Adapun perbandingan koagulan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  berdasarkan beberapa aspek ditunjukkan dalam Tabel 1. (Karamah dan Kostiano, 2014).

**Tabel 2.** Perbandingan koagulan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$

Aspek	Koagulan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Koagulan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
Keefektifan koagulan dalam penyisihan TDS	Mampu menyisihkan TDS 40% - 68%	Mampu menyisihkan TDS 40% - 55%
Keefektifan koagulan dalam penyisihan COD	Mampu menyisihkan COD 28% - 41%	Mampu menyisihkan COD 28% - 39%
Fluks permeat	Kenaikan fluks permeat dari dosis 0 - 70 ppm: 0,003 - 0,008 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$	Kenaikan fluks permeat dari dosis 0 - 70 ppm: 0,01 - 0,02 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$
Persen penyisihan TDS	Penyisihan TDS dari dosis 0 - 70 ppm: 10% - 57%	Penyisihan TDS dari dosis 0 - 70 ppm: 10% - 43%
Persen penyisihan COD	Penyisihan COD dari dosis 0 - 70 ppm: 3% - 43%	Penyisihan COD dari dosis 0 ppm - 70 ppm: 3% - 39%

Senyawa  $\text{FeSO}_4$  disebut juga fero sulfat atau *copper ash* merupakan senyawa kimia berbentuk kristal putih kehijauan dan sangat mudah larut dalam air serta bersifat asam. Selain berperan sebagai koagulan,  $\text{FeSO}_4$  juga berperan mereduksi ion  $\text{Cr(VI)}$  menjadi  $\text{Cr(III)}$ , dan ion krom yang telah tereduksi akan terendapkan. Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah sebagai berikut (Hariani dkk., 2009):



Penentuan jenis koagulan dan dosis koagulan yang efektif dalam menurunkan kadar  $\text{Cr(VI)}$  telah diteliti sebelumnya oleh Romadhon dan Sunarto (2017). Penentuan jenis koagulan terefektif dilakukan dengan membandingkan koagulan besi(II) sulfat, PAC, dan aluminium sulfat pada pH optimum masing-masing koagulan dan diperoleh koagulan dengan efektivitas tertinggi adalah besi(II) sulfat sebesar 99,4%. Koagulan jenis besi lebih baik dari koagulan jenis aluminium dalam koagulasi dikarenakan koagulan besi(II) sulfat dapat membentuk endapan besi(III) hidroksida dan endapan kromium hidroksida. Anion-anion kromium akan terabsorpsi pada endapan besi(III) hidroksida, sedangkan ion kromium yang lain akan mengendap sebagai  $\text{Cr(OH)}_3$ .

## 2.6 Oksidasi-Reduksi

Elektrokimia adalah cabang kimia yang berhubungan dengan konversi energi listrik dan energi kimia. Proses elektrokimia melibatkan reaksi redoks (oksidasi-reduksi), dalam reaksi tersebut energi yang dilepaskan oleh reaksi spontan diubah menjadi energi listrik atau sebaliknya energi listrik yang digunakan untuk membuat terjadinya reaksi non-spontan (Chang, 2010). Reaksi oksidasi-reduksi atau biasa disebut redoks adalah reaksi transfer elektron yang

banyak berperan dalam kehidupan sehari-hari, seperti pembakaran bahan bakar minyak bumi, kerja cairan pemutih yang digunakan dalam rumah tangga dan lain-lain (Chang, 2013). Redoks merupakan reaksi pengurangan oksigen yang melibatkan transfer elektron dari zat yang dioksidasi menjadi zat yang direduksi, namun belum ada dasar konsisten untuk memisahkan reaksi redoks dari reaksi kimia pada umumnya dikarenakan klasifikasi reaksi sebagai redoks hanya didasarkan pada gagasan perubahan bilangan oksidasi yang hanya mewakili pencerminan pembagian muatan yang sebenarnya dalam molekul atau poliatomik (Roberts dkk., 1996).

Oksidasi reduksi saat ini dikembangkan dalam pengolahan limbah, salah satu metodenya yaitu elektrolisis. Menurut penelitian Syawalian dkk (2019) melalui elektrolisis, kation dan anion dalam larutan dapat bergerak dan disisihkan dengan melibatkan proses oksidasi dan reduksi, ditandai dengan penurunan kadar logam dalam air limbah terutama Zn dan Fe. Aplikasi lain dari reaksi redoks ini yaitu pengolahan limbah cair industri dengan metode elektrokoagulasi (Rahmawati dkk., 2009).

Spesi Cr(VI) dapat direduksi menjadi Cr(III) menggunakan ion Fe(II) yang berasal dari ferrosulfat. Ferrosulfat selain berfungsi mereduksi ion Cr(VI) juga dapat sekaligus mengendapkan logam-logam terlarut dan padatan tersuspensi. Umumnya Cr(VI) dalam air berada dalam spesi  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{CrO}_4$ , dan  $\text{HCrO}_4^-$  (Pradhan dkk., 2017). Berikut adalah reaksi  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  dengan  $\text{Fe}^{2+}$  dalam media asam (Sevin, 2008):



Adapun reaksi yang terjadi jika spesi yang terdapat di dalam air merupakan  $\text{CrO}_4^{2-}$  adalah sebagai berikut (Moncekova dkk., 2016):



Penelitian yang dilakukan oleh Sedyawati dan Triastuti (2009) menunjukkan penurunan konsentrasi Cr(VI) yang telah direduksi menjadi Cr(III) sebesar 0,0406 ppm dengan persen penurunan 99,89% pada pH 2 dan waktu reduksi 30 menit.