

REDUCTION OF CHROMIUM FROM TANNERY WASTEWATER WITH ELECTROCOAGULATION METHOD

Name : Rike Setyowuryani
NRP : 1410100018
Department : Chemistry
Advisor Lecturer 1 : Dra. Ita Ulfin M.Si
Advisor Lecturer 2 : Dra. Harmami, MS

Abstract

Reduction of chromium from tannery wastewater was carried out by electrocoagulation method using iron electrode. Electrocoagulation was used 2.000 ppm synthetic chromium wastewater with various pH of synthetic chromium wastewater were 4; 5; 6; 7; 8; 9; 1; 11; 12 and 13. Result of experimental showed that optimum condition was pH 8 during 30 minutes and voltage 12 V of current can reduced the chromium until 99,97%. That optimum condition applied at tannery wastewater and obtained the percentage reduction of chromium 99,97%.

***Kata kunci** ; tannery wastewater, electrocoagulation , chromium*

PENURUNAN KADAR KROMIUM DARI LIMBAH CAIR INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI

Nama : Rike Setyowuryani
NRP : 1410100018
Jurusan : Kimia
Dosen Pembimbing 1 : Dra. Ita Ulfin M.Si
Dosen Pembimbing 2 : Dra. Harmami, MS

Abstrak

Penurunan kadar kromium dari limbah cair penyamakan kulit telah dilakukan dengan metode elektrokoagulasi menggunakan elektroda Fe-Fe. Optimasi dilakukan pada limbah sintesis kromium dengan kadar kromium 2.000 ppm dengan variasi pH limbah sintesis kromium yaitu 4; 5; 6; 7; 8; 9; 1; 11; 12 dan 13. Berdasarkan data hasil penelitian didapatkan kondisi optimum proses elektrokoagulasi pada limbah sintesis kromium yaitu dengan pH 8 untuk waktu 30 menit serta tegangan sebesar 12 V dapat menurunkan kadar kromium sebesar 99,97 %. Kondisi optimum tersebut selanjutnya diaplikasikan pada limbah cair penyamakan kulit dan diperoleh prosentase penurunan yang sama yaitu 99,97%.

Kata kunci ; limbah cair penyamakan kulit, elektrokoagulasi, kromium

**PENURUNAN KADAR KROMIUM DARI LIMBAH
CAIR PENYAMAKAN KULIT DENGAN METODE
ELEKTROKOAGULASI**

SKRIPSI

Disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan program S-1
Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh :

Rike Setyowuryani
NRP 1410100018

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU
PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENURUNAN KADAR KROMIUM DARI LIMBAH
CAIR PENYAMAKAN KULIT DENGAN METODE
ELEKTROKOAGULASI**

SKRIPSI

Oleh :

Rike Setyowuryani
NRP 1410100018

Surabaya, 05 Agustus 2014

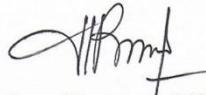
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,



Dra. Ita Ulfin, M.Si
NIP. 19650426 198903 2 002



Dra. Harmami, MS
NIP. 19611216 198803 2 002

Mengetahui :

Ketua Jurusan Kimia,



Hamzah Fansuri, MSi.,Ph.D.
NIP. 19691017 199412 1 001

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LatarBelakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Industri Penyamakan Kulit	5
2.1.2 Limbah Cair	7
2.2 Logam Kromium	9
2.3 Elektrokoagulasi	11
III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Alat dan Bahan	17
3.1.1 Alat	17
3.1.2 Bahan	17
3.2 Metodologi	17
3.2.1 Pembuatan Larutan Standar Kromium.....	17
3.2.2 Pembuatan Larutan Limbah Sintetis Kromium...	18
3.2.3 Elektrokoagulasi	18
3.2.3.1 Variasi pH Larutan	19
3.2.4 Analisis Konsentrasi Logam Kromium dalam Limbah Cair Penyamakan Kulit.....	19

3.2.5 Elektrokoagulasi pada Limbah Cair Penyamakan Kulit.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi Kromium	22
4.2 Pengaruh pH Larutan Limbah Sintetis pada Proses Elektrokoagulasi	23
4.3 Analisis Konsentrasi Kromium dalam Limbah Cair Penyamakan Kulit.....	27
4.4 Elektrokoagulasi pada Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit.....	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	30
5.1 Kesimpulan	30
5.2 Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN	37
BIODATA PENULIS	45

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A : SKEMA KERJA	37
LAMPIRAN B : PEMBUATAN KURVA KALIBRASI.....	40
LAMPIRAN C : PERHITUNGAN PROSENTASE PENURUNAN KADAR KROMIUM	42
LAMPIRAN D : PERHITUNGAN KONSENTRASI KROMIUM DALAM LIMBAH CAIR PENYAMAKAN KULIT	43

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Penyamakan Kulit

Industri penyamakan kulit adalah agroindustri yang mengolah kulit mentah menjadi kulit jadi melalui serangkaian pengerjaan sehingga kulit yang semula labil terhadap pengaruh kimiawi, fisik dan hayati menjadi stabil dan tahan lama (Fahidin dan Muslich 1999). Penyamakan kulit merupakan proses pengawetan terhadap kulit binatang dengan menggunakan berbagai bahan kimia sebagai pembantu proses. Bahan baku utama adalah kulit mentah dan bahan penyamak yang umum digunakan adalah kromium sulfat ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$). Kromium dipilih karena memberikan keuntungan lebih banyak, yaitu harga murah, proses penyamakan cepat, dan kulit yang dihasilkan bermutu tinggi. Bahan-bahan tambahan lain yang digunakan dalam proses penyamakan kulit adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$, MgO , asam sulfat, asam format, Na_2S , Na_2CO_3 , dan Na_2SO_4 (Potter et al. 1994). Dalam industri penyamakan kulit terdapat tiga pokok tahapan proses, yaitu :

1. Tahapan Proses Pengerjaan Basah (Beam House)

Urutan proses pada tahap proses basah beserta bahan kimia yang ditambahkan dan limbah yang dikeluarkan adalah sebagai berikut :

- a. Perendaman (*Soaking*) : untuk mengembalikan sifat kulit mentah menjadi lemas atau lunak.
- b. Pengapuran (*Liming*) : untuk meregangkan dan membuka kulit serta melepaskan bulu-bulu dan membuat kulit lebih kenyal.
- c. Pembuangan daging (*Fleshing*)
- d. Pembelahan kulit (*Splitting*) : untuk mendapatkan ukuran kulit yang lebih tipis sehingga menghemat bahan kimia yang digunakan untuk penyamakan.

- e. Pencucian (*Washing*) : untuk membersihkan kulit dari kapur dan bahan kimia lain.
- f. Pembuangan Kapur (*Deliming*) : untuk menghilangkan sisa-sisa kapur yang masih tertinggal, biasanya menggunakan H_2SO_4 , $(NH_4)SO_4$ dll.
- g. Pengikisan Protein (*Battling*) : untuk melonggarkan permukaan serat kulit dan menghilangkan lemak.
- h. Pengasaman (*Pickling*) : untuk mengasamkan kulit pada pH 3-3,5 agar dapat menyesuaikan dengan pH bahan penyamak yang akan dipakai serta untuk menghilangkan sisa kapur yang masih tertinggal.

2. Tahapan Proses Penyamakan (*Tanning*)

Urutan proses pada tahap penyamakan beserta tujuannya antara lain :

- a. Penyamakan : untuk mengubah kulit yang tidak tahan lama menjadi kulit yang tahan lama, menambah kekuatan kulit, meningkatkan ketahanan terhadap bahan kimia dengan air panas, mengurangi kemampuan kulit untuk berubah bentuk seperti penurunan volume area dan ketebalan.
- b. Pemerasan (*Samying*) : untuk mengurangi jumlah air yang terkandung dalam kulit.
- c. Pengetaman (*Shaving*) : untuk mengatur tebal kulit agar rata.
- d. Netralisasi (*Netralizing*) : untuk menetralkan keadaan kulit.
- e. Pewarnaan (*Dyzing*) : untuk memberikan warna dasar pada kulit agar pemakaian cat tutup nantinya tidak terlalu tebal.
- f. Peminyakan (*Fat liguoring*) : untuk melembaskan kulit serta membuat kulit tahan tarik dan tahan getar.
- g. Penghalusan (*Setting*) : untuk menghaluskan kulit, meregangkan kulit dan memeras cairan berlebih yang tersisa pada kulit.
- h. Vakum (*vacuum*) : untuk memadatkan kulit dengan mengurangi kadar air.
- i. Pengeringan (*Drying*) : untuk mengeringkan kulit setelah proses pemerahan.

- j. Pelelasan (*Milling*) : untuk melembaskan kulit.
 - k. Peregangan (*Toggling*) : untuk meregangkan dan melonggarkan kulit.
 - l. Pemotongan (*Trimming*) : untuk menghilangkan atau memotong kulit yang tidak bisa dipakai.
3. Tahap Penyelesaian (*Finishing*)

Proses terakhir adalah *finishing* yang dilakukan untuk meningkatkan kualitas kulit dengan melindungi dari kerusakan oleh air, tanah atau tindakan mekanis, mengubah corak, kehalusan dan penanganan kulit, memperbaiki kualitas khusus *finish*, seperti ketahanan terhadap cahaya dan ketahanan gesekan, menghilangkan cacat atau ketidakrataan dan memberi efek khusus.

Serangkaian proses penyamakan kulit seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada akhirnya akan menghasilkan limbah baik berupa limbah padat atau limbah cair. Limbah–limbah tersebut sangat berbahaya bagi lingkungan apabila tidak ada upaya untuk mengolahnya terlebih dahulu.

2.2 Limbah Cair

Limbah cair yang dihasilkan dari proses penyamakan kulit mengandung kromium dalam jumlah yang cukup besar. Senyawa kromium (Cr) dalam limbah cair industri penyamakan kulit berasal dari proses produksi penyamakan kulit, dimana dalam penyamakan kulit yang menggunakan senyawa kromium sulfat antara 60%-70% dalam bentuk larutan kromium sulfat tidak semuanya dapat terserap oleh kulit pada saat proses penyamakan sehingga sisanya dikeluarkan dalam bentuk cairan sebagai limbah cair (Wahyuningtyas, 2001). Limbah cair industri penyamakan kulit yang dibuang ke lingkungan akan menambah jumlah ion logam pada air lingkungan. Sifat dan karakteristik limbah cair secara umum menurut tahapannya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik limbah cair menurut tahapannya

Input	Proses	Limbah
Kulit mentah kering, 200-1000% air, 1 g/L obat pembersih dan antiseptik (tepol, molescal) dan cysmolan.	Perendaman (<i>soaking</i>)	Sisa daging, darah, bulu, garam, mineral, debu dan kotoran lain
Kulit yang sudah direndam 300-400% air, 6-10% kapur tohor ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), 3-6% natrium sulfida (Na_2S).	Pembuangan bulu dan Pengapuran (<i>liming</i>)	Air yang berwarna putih kehijauan dan kotor mengandung natrium sulfida dan albumin, bulu, sisa daging dan lemak
Kulit 200-300% air, 0,75-1,5% asam (H_2SO_4 , KCOOH , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, Dektal).	Pembuangan kapur (<i>deliming</i>)	Nitrogen amonia
Kulit, 200-300% air hangat 35°C , 0,8-1,5% Oropnon atau Enzylon	Pengikisan protein (<i>batting</i>)	Lemak
Kulit, 80-100% air, 10-12% garam dapur, 0,5-1% asam (H_2SO_4 , H_2CO_3)	Pengasaman (<i>pickling</i>)	Protein, sisa garam dan sejumlah kecil mineral
Kromium sulfat, garam, syntan, Sodium format, Abu soda, bakterisit	Penyamakan krom (<i>chrome tanning</i>)	Kromium, garam, syntan, bakterisit, Sodium format

(Bapedal, 1993)

Nilai baku mutu tentang limbah cair industri penyamakan kulit disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.2 Baku mutu limbah cair industri penyamakan kulit (Kep-51/MENLH/10/1995)

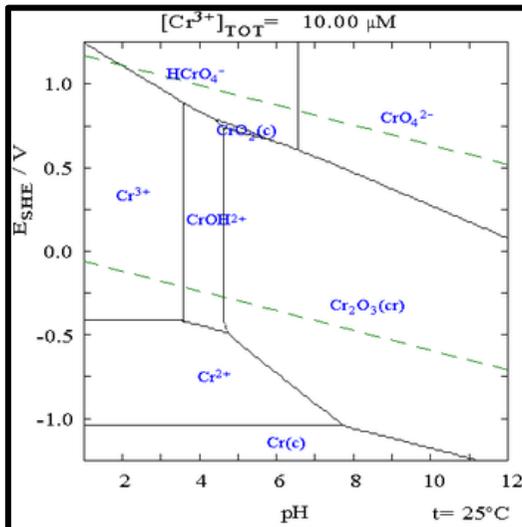
Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton)
BOD₅	50	2,0
COD	110	4,4
TSS	60	2,4
Krom Total (Cr)	0,60	0,024
Minyak dan Lemak	5,0	0,20
N total (sebagai N)	10	0,40
Amoniak Total (sebagai N)	0,50	0,02
Sulfida (sebagai S)	0,8	0,032
pH	6,0-9,0	
Debit Limbah Maksimum	40 m ³ /ton bahan baku	

(Bapedal, 1993)

2.2 Logam Kromium

Kromium merupakan logam transisi yang penting, senyawanya berupa senyawa kompleks yang memiliki berbagai warna yang menarik, berkilau, titik lebur pada suhu yang tinggi serta tahan terhadap perubahan cuaca. Selain itu pelapisan logam dengan kromium menghasilkan paduan logam yang indah, keras, dan melindungi logam lain dari korosi. Sifat-sifat kromium inilah yang menyebabkan logam ini banyak digunakan dalam industri *electroplating*, penyamakan kulit, cat tekstil, fotografi, pigmen (zat warna), besi baja, dan industri kimia.

Kromium merupakan salah satu logam berat unsur transisi golongan VIB, mempunyai nomor atom 24, massa atom 51,996 sma, massa jenis $7,9 \text{ g/cm}^3$, titik didih $2.658 \text{ }^\circ\text{C}$, dan titik leleh $1.875 \text{ }^\circ\text{C}$ (Cotton dan Wilkinson 1989). Kromium dapat membentuk tiga macam senyawa yang berasal dari proses oksidasi kromium oksida (CrO), yaitu kromium divalen (+2), kromium trivalen (+3), dan kromium heksavalen (+6). Kromium divalen bersifat kurang stabil, sedangkan kromium trivalen dan heksavalen stabil. Bentuk kromium heksavalen adalah CrO_4^{2-} dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, sedangkan bentuk kromium trivalen adalah Cr^{3+} , $[\text{Cr}(\text{OH})]^{2+}$, $[\text{Cr}(\text{OH})_2]^+$, dan $[\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$ (Sugiyarto, 2003). Gambar 2.1 merupakan diagram pourbaix untuk kromium.



Gambar 2.1 Diagram pourbaix kromium

(Herdman, 2010)

Kromium terdapat dalam industri penyamakan kulit dan tekstil dalam bentuk heksavalen atau trivalent, sedangkan pada industri elektroplating mengandung kromium dalam bentuk trivalent (Kocaoba, 2005). Senyawa kromium masing-masing

memiliki peranan berbeda di lingkungan dan efek berbeda pula terhadap kesehatan manusia sesuai bilangan oksidasinya. Kromium trivalen termasuk logam esensial yang dalam dosis 20–50 μg per 100 gram bobot badan berperan dalam proses metabolisme karbohidrat, lipid, asam nukleat, pengaturan kadar glukosa, dan sintesis protein (Mertz, 1987). Sebaliknya kromium heksavalen bersifat sangat toksik yang dapat menyebabkan kerusakan hati, ginjal, pendarahan dalam tubuh, dermatis, saluran pernafasan dan kanker paru-paru (Manahan, 1990).

2.3 Elektrokoagulasi

Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid dengan penambahan koagulan yang memiliki muatan berlawanan dengan muatan partikel koloid. Proses ini biasa disebut juga dengan proses netralisasi partikel koloid yang dibantu dengan pengadukan cepat sehingga menghasilkan flok (gumpalan). Sedangkan flokulasi adalah proses penggabungan partikel-partikel yang tidak stabil dengan pengadukan lambat, membentuk gumpalan yang lebih besar sehingga dapat lebih cepat dipisahkan (Teng, 2000).

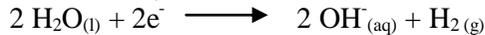
Elektrokoagulasi adalah proses penggumpalan dan pengendapan partikel-partikel halus yang terdapat dalam air dengan menggunakan energi listrik. Proses elektrokoagulasi dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat dua buah penghantar arus listrik searah yang dikenal sebagai elektroda. Elektroda yang biasa digunakan dalam proses elektrokoagulasi adalah alumunium atau besi. Adapun bagian dari elektroda yang tercelup ke dalam larutan limbah akan dijadikan sebagai elektrolit. Reaksi kimia yang terjadi pada proses elektrokoagulasi yaitu reaksi reduksi oksidasi, sebagai akibat adanya arus listrik (DC). Apabila dalam satu larutan elektrolit ditempatkan dua elektroda kemudian elektroda tersebut dialiri oleh arus listrik searah maka akan terjadi suatu proses elektrokimia yang berupa gejala dekomposisi elektrolit, yaitu ion

positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi serta ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi.

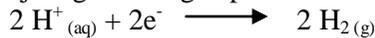
Elektroda dalam proses elektrokoagulasi merupakan salah satu alat untuk menghantarkan atau menyampaikan arus listrik ke dalam larutan agar larutan tersebut terjadi suatu reaksi (perubahan kimia). Elektroda tempat terjadi reaksi reduksi disebut katoda, sedangkan tempat terjadinya reaksi oksidasi disebut anoda. Reaksi pada katoda adalah reduksi pada kation. Sehingga yang akan menjadi pusat perhatian hanyalah pada bagian kation saja.

a. Reaksi Pada Katoda

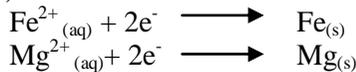
1. Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, ion-ion logam alkali tanah, ion logam Al^{3+} dan ion Mg^{2+} , maka ion-ion logam alkali ini dapat direduksi dari larutan. Yang akan mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen. Berikut reaksinya:



2. Jika larutan mengandung asam, maka ion H dari asam akan direduksi menjadi gas hidrogen pada katoda.



3. Jika larutan mengandung ion-ion lain, maka ion-ion logam ini akan direduksi menjadi logamnya dan logam yang terbentuk itu diendapkan pada permukaan batang katoda, (Suaib, 1994).

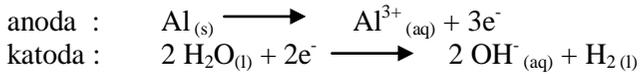


b. Reaksi Pada Anoda

1. Elektroda pada anoda, elektrodanya dioksidasi menjadi ionnya.



2. Dalam sistem elektrokimia dengan anoda terbuat dari aluminium, reaksi elektroda dapat terjadi sebagai berikut :

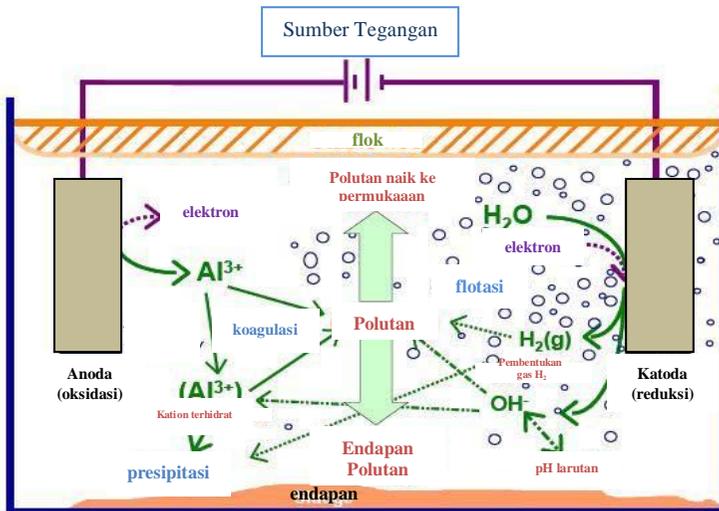


Menurut Holt *et al.* (2006) terdapat berbagai kemungkinan mekanisme yang terjadi dalam elektrokoagulasi (interaksi dalam larutan) yaitu :

- a) Migrasi ke muatan elektroda yang berlawanan (*electrophoresis*) dan penggabungan (*aggregation*) untuk membentuk senyawa netral.
- b) Kation atau ion hidroksi (OH^{-}) membentuk endapan dengan polutan.
- c) Kation logam berinteraksi dengan OH^{-} membentuk hidroksida yang memiliki sifat adsorpsi sekaligus mengikat polutan (jembatan koagulasi).
- d) Hidroksida membentuk struktur yang lebih besar dan membersihkan polutan.
- e) Oksidasi polutan untuk mengurangi toksisitas.
- f) Pemindahan melalui elektroflotasi dan adhesi gelembung udara.

Dari reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi, maka pada katoda akan dihasilkan gas hidrogen dan reaksi ion logamnya. Sedang pada anoda akan dihasilkan gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk. Proses elektrokoagulasi dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat katoda dan anoda sebagai penghantar arus listrik searah yang disebut elektroda, adapun bagian dari elektroda yang tercelup dalam larutan limbah sebagai elektrolit. Karena dalam proses elektrokoagulasi ini menghasilkan gas yang berupa gelembung-gelembung gas, maka kotoran-kotoran yang terbentuk yang ada dalam air akan terangkat ke atas permukaan air. Flok-flok terbentuk mempunyai ukuran yang relatif kecil, sehingga flok-flok yang terbentuk tadi lama-kelamaan akan bertambah

besar ukurannya kemudian terjadi proses pengendapan. Flok-flok tersebut berfungsi untuk mengendapkan partikel-partikel karena memiliki sifat adsorpsi sekaligus mengikat polutan. Proses elektrokoagulasi dapat digambarkan seperti yang tersaji pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses Elektrokoagulasi

(Holt, 2002)

Susunan elektroda yang akan digunakan dipertimbangkan dari penelitian sebelumnya. Diketahui bahwa elektroda yang paling baik untuk penanganan warna adalah Fe sedang untuk penanganan kekeruhan adalah Al, sehingga dengan penggunaan keduanya secara bersamaan diharapkan warna dan kekeruhan akan tertangani secara simultan (Simanjuntak, 2004).

Beberapa keuntungan dan kerugian dari penggunaan metode elektrokoagulasi ini telah dikemukakan oleh Mollah *et al.* (2001) yaitu sebagai berikut :

- a) Elektrokoagulasi membutuhkan peralatan yang sederhana dan mudah dioperasikan.

- b) Effluent dari proses elektrokoagulasi jernih, tidak berwarna dan tidak berbau.
- c) Endapan yang dihasilkan relatif sedikit, stabil dan mudah dipisahkan.
- d) Flok yang terbentuk memiliki kesamaan dengan yang dihasilkan dari koagulasi kimia, tetapi flok dari elektrokoagulasi berukuran lebih besar dengan kandungan air yang sedikit, lebih stabil dan mudah dipisahkan secara cepat dengan filtrasi.
- e) Dapat mengolah partikel koloid yang berukuran sangat kecil karena pemakaian arus listrik menyebabkan proses koagulasi lebih mudah terjadi dan lebih cepat.
- f) Gelembung gas yang dihasilkan selama proses elektrolisis membantu membawa polutan yang diolah untuk naik ke permukaan dan dapat berfungsi untuk pengadukan.

Sedangkan kerugian dari penggunaan elektrokoagulasi yaitu :

- a) Elektroda yang digunakan dalam elektrokoagulasi harus diganti secara teratur.
- b) Penggunaan listrik yang terkadang mahal pada beberapa daerah.
- c) Terbentuknya lapisan pada elektroda dapat mengurangi efisiensi pengolahan limbah.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk menurunkan kadar logam kromium dari limbah cair industri penyamakan kulit dalam penelitian ini adalah elektrokoagulasi. Optimasi dari masing-masing variasi dilakukan pada limbah sintesis sebelum diaplikasikan pada limbah cair penyamakan kulit yang sebenarnya.

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian diantaranya peralatan gelas yaitu, gelas beker, labu ukur, kaca arloji, corong, pipet ukur, pipet gondok dan pipet tetes, serta peralatan pendukung yaitu, neraca analitik, *magnetic stirrer*, pH meter, kertas saring, dan rangkaian alat untuk proses elektrokoagulasi yaitu *power supply*, kabel, bejana elektrokoagulasi dengan elektroda besi. Untuk analisis kadar logam kromium digunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) Shimadzu tipe AA-6800.

3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampel limbah cair industri penyamakan kulit, padatan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, asam nitrat (HNO_3) 65 %, padatan natrium hidroksida (NaOH) dan aquades.

3.2 Metodologi

3.2.1 Pembuatan Larutan Standar Kromium

Larutan induk kromium 1.000 mg/L dibuat dengan melarutkan padatan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 0,7704 gram dalam aquades dan diencerkan pada labu ukur 100 mL sampai tanda

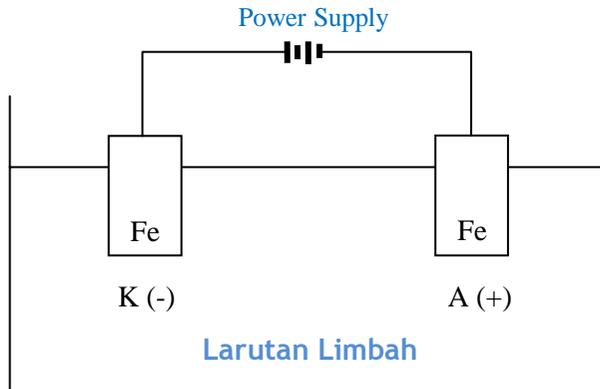
batas. Larutan standar kromium yang digunakan untuk analisis dibuat dengan mengencerkan larutan induk 1.000 mg/L hingga didapatkan konsentrasi kromium 0,5; 1; 2; 5 dan 8 mg/L. Absorbansi masing-masing larutan standar kromium diukur kemudian dibuat kurva kalibrasi dan digunakan untuk menentukan kadar kromium dalam sampel limbah penyamakan kulit.

3.2.2 Pembuatan Larutan Limbah Sintetis Kromium

Larutan limbah sintetis kromium 2.000 mg/L dibuat dengan melarutkan padatan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 15,4022 gram dalam aquades dan diencerkan pada labu ukur 1000 mL sampai tanda batas. Larutan tersebut kemudian dianalisis kadar kromiumnya dengan SSA pada panjang gelombang 357,9 nm.

3.2.3 Elektrokoagulasi

Percobaan optimasi pada limbah sintetis kromium dengan metode elektrokoagulasi ini digunakan elektroda Fe–Fe. Rangkaian alat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1. Larutan limbah yang digunakan pada penentuan kondisi optimum merupakan limbah sintetis kromium kemudian hasil optimasi diaplikasikan pada limbah cair penyamakan kulit.



Gambar 3.1 Rangkaian alat elektrokoagulasi

3.2.3.1 Variasi pH Larutan

Sampel limbah sintetis kromium sebanyak 50 mL dimasukkan dalam bejana elektrokoagulasi. Kemudian larutan diatur pada pH 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12 dan 13 (Benefield, 1990) menggunakan NaOH 0,1 M. Proses elektrokoagulasi dilakukan selama 30 menit dan digunakan tegangan sebesar 12 V. Larutan limbah yang telah melalui proses elektrokoagulasi didiamkan selama satu malam kemudian disaring dengan kertas saring whatman No. 42. Selanjutnya filtrat dianalisis kadar kromiumnya dengan SSA pada panjang gelombang 357,9 nm.

3.2.4 Analisis Konsentrasi Logam Kromium dalam Limbah Cair Penyamakan Kulit

Sampel limbah cair penyamakan kulit sebanyak 50 mL dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan HNO₃ 65 %. Campuran diaduk hingga homogen, kemudian dididihkan hingga diperoleh larutan yang jernih. Larutan hasil destruksi didinginkan kemudian ditempatkan dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan

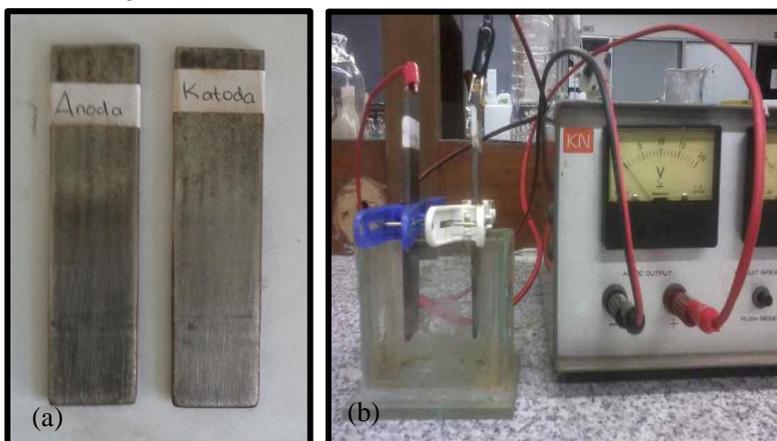
HNO₃ 1 % sampai tanda batas. Larutan tersebut kemudian dianalisis kadar kromiumnya pada panjang gelombang 357,9 nm.

3.2.5 Elektrokoagulasi pada Limbah Cair Penyamakan Kulit

Limbah cair penyamakan kulit diencerkan hingga didapatkan sampel dengan kadar kromium sebesar 2.000 ppm digunakan sebagai larutan kerja pada proses elektrokoagulasi dengan elektroda Fe-Fe. Limbah cair penyamakan kulit diambil sebanyak 50 mL kemudian dimasukkan ke dalam bejana elektrokoagulasi. Larutan tersebut diatur pada kondisi pH optimum yaitu pada pH 8 menggunakan NaOH 0,1 M. Proses elektrokoagulasi dilakukan selama 30 menit dengan tegangan sebesar 12 V. Larutan kemudian didiamkan selama satu malam dan disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42. Filtrat yang diperoleh selanjutnya dianalisis kadar kromium yang tidak teradsorb dengan menggunakan SSA pada panjang gelombang 357,9 nm.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini dilakukan penurunan konsentrasi kromium dari larutan limbah sintesis yang dibuat dari padatan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Metode yang digunakan yaitu elektrokoagulasi dengan elektroda Fe-Fe. Metode ini memiliki kelebihan yaitu penggunaan bahan kimia yang minimum dalam prosesnya. Parameter yang dioptimasi dalam proses elektrokoagulasi yaitu pH yang digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh terhadap penurunan konsentrasi kromium dari larutan limbah sintesis. Data yang diperoleh dari optimasi tersebut nantinya akan digunakan dalam proses elektrokoagulasi limbah cair penyamakan kulit. Penentuan jumlah kromium yang masih terdapat dalam filtrat diukur dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada λ 357,9 nm. Gambar 4.1 menunjukkan rangkaian alat dan elektroda yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi.



Gambar 4.1 (a) Elektroda besi, (b) Rangkaian alat elektrokoagulasi

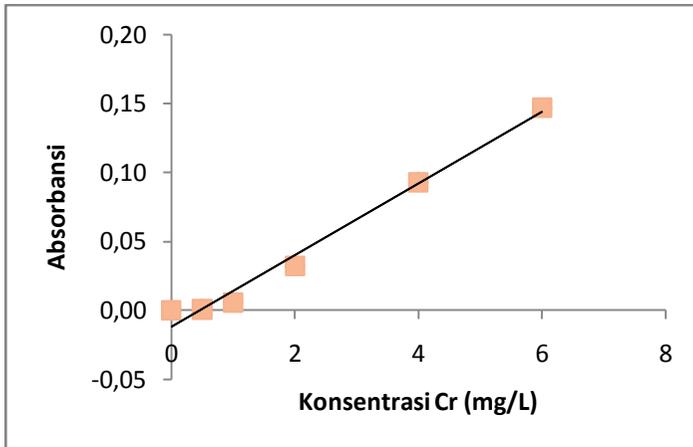
4.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi Kromium

Kurva kalibrasi kromium digunakan untuk menghitung kadar kromium dalam filtrat limbah yang telah melalui proses elektrokoagulasi. Kurva kalibrasi dibuat dengan mengukur absorbansi dari larutan standar kromium pada konsentrasi 0,5; 1; 2; 4 dan 6 mg/L. Absorbansi diukur dengan SSA pada λ 357,9 nm dan didapatkan hasil pengukuran yang disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data absorbansi larutan standar kromium untuk kurva kalibrasi

Konsentrasi Cr(III) (mg/L)	Absorbansi
0	0,0000
0,5	0,0009
1	0,0086
2	0,0335
5	0,1214
8	0,1934

Berdasarkan data dalam Tabel 4.1, dibuat kurva kalibrasi dengan mengalurkan konsentrasi larutan standar kromium (sumbu x) terhadap absorbansinya (sumbu y) dan ditentukan persamaan garis regresi linearnya (lampiran C). Kurva kalibrasi larutan standar kromium ditunjukkan pada Gambar 4.2.



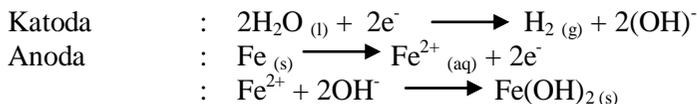
Gambar 4.2 Kurva kalibrasi kromium

Keabsahan dari kurva kalibrasi tersebut diuji dengan menentukan harga koefisien korelasi (r^2) atau uji kelinearan yang menyatakan ukuran kesempurnaan hubungan antara konsentrasi larutan standar kromium dengan absorbansinya. Korelasi dapat dikatakan sempurna apabila nilai r^2 mendekati nilai +1, sedangkan tidak adanya korelasi antara dua variabel yang diamati dinyatakan dengan nilai nol (0). Berdasarkan perhitungan dan data (lampiran C) didapatkan persamaan regresi linear dari larutan standar kromium adalah $y = 0,0255 x - 0,0105$ dengan nilai $r^2 = 0,9965$. Dari harga r^2 yang didapat yaitu mendekati +1, maka dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien korelasi layak. Hal ini berarti titik-titik dari kurva kalibrasi larutan kromium mendekati garis lerengnya.

4.2 Pengaruh pH Larutan Limbah Sintetis pada Proses Elektrokoagulasi

Metode elektrokoagulasi yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan elektroda yang sama yaitu pada katoda dan anoda masing-masing menggunakan lempeng besi (Fe). Pada

proses elektrokimia, adanya arus listrik pada katoda akan menyebabkan terjadinya reaksi reduksi dan reaksi oksidasi pada anoda. Reaksi oksidasi yang terjadi pada permukaan anoda akan menghasilkan ion Fe^{2+} yang kemudian berinteraksi dengan ion hidroksi (OH^-) yang berasal dari reduksi molekul H_2O membentuk koagulan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ sesuai reaksi dibawah ini

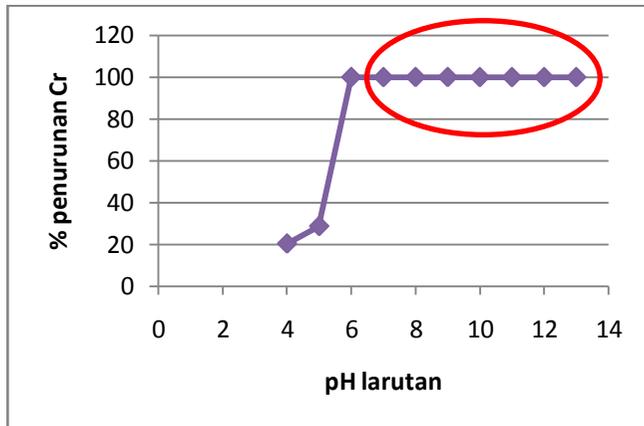


Pada beberapa penelitian yang menggunakan sampel limbah cair penyamakan kulit sebelumnya terukur konsentrasi logam krom yang beragam yaitu 86,076 mg/L (Wardhani dkk., 2012), 544 mg/L, 2600,97 mg/L (Kusumawati, 2006) dan 8541 mg/L (Priyanto, 2006). Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan limbah sintesis kromium dengan konsentrasi 2000 mg/L yang dibuat dari padatan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ sesuai dengan perhitungan yang ada pada lampiran B.

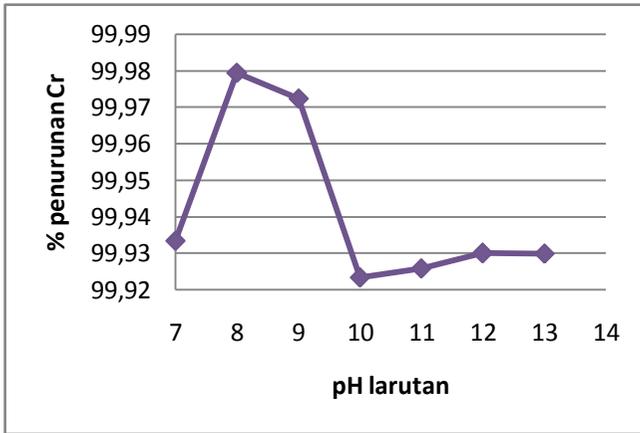
Studi mengenai optimasi penurunan logam kromium dengan metode elektrokoagulasi dimulai dengan mengamati variasi pH dari limbah sintesis kromium. Optimasi pH limbah sintesis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dan kondisi optimal pH dalam proses elektrokoagulasi. Variasi yang digunakan yaitu 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 dan 13. Penelitian ini dilakukan pada rentang pH tersebut karena sebelumnya dilaporkan bahwa $\text{Cr}(\text{OH})_3$ akan melarut dengan minimum pada pH antara 7,5–10 (Benefield, 1990), serta digunakan rentang pH 4-6 dan 11-13 yaitu untuk mengetahui pengaruhnya pada kondisi tersebut. Selain itu mengacu pada baku mutu limbah industri penyamakan kulit yang diperbolehkan adalah berada pada rentang pH 6,0–9,0. (Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995).

Larutan kerja disiapkan sebanyak 50 mL untuk masing-masing variasi pH. Larutan kerja yang digunakan yaitu larutan

limbah sintetis dengan konsentrasi logam kromium 2000 mg/L. Hasil yang didapatkan dari variasi pH pada prosentase penurunan kromium dari limbah sintetis kromium setelah melalui proses elektrokoagulasi ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan 4.4:



Gambar 4.3 Grafik prosentase penurunan kadar kromium terhadap variasi pH

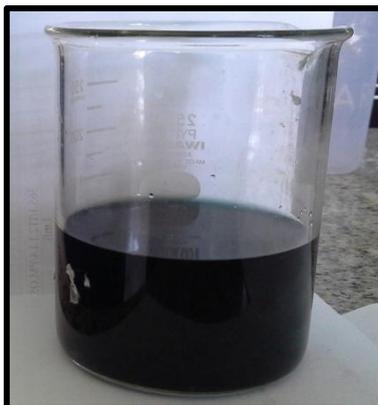


Gambar 4.4 Perbesaran grafik prosentase penurunan kadar kromium pada rentang pH 7 - 13

Gambar 4.3 menunjukkan prosen penurunan yang signifikan mulai terjadi pada pH 6 dan prosen penurunan paling besar terjadi pada pH 8 (Gambar 4.4). Hal ini disebabkan karena sedikitnya ion OH^- yang terdapat dalam limbah sintesis dengan kondisi pH 4 dan 5 sehingga koagulan yang terbentuk tidak terlalu banyak. Sesuai dengan pernyataan Mukimin (2006) dalam penelitiannya, kenaikan pH akan memudahkan pembentukan ion hidroksi dan proses elektrokoagulasi akan optimum pada pH antara 8-9. Kenneth H. Lanoute dalam jurnalnya juga menyatakan bahwa $\text{Cr}(\text{OH})_3$ akan mengendap sempurna pada pH antara 7,5–8,0, sedangkan menurut Benefield $\text{Cr}(\text{OH})_3$ adalah senyawa yang bersifat amfoter dan akan melarut dengan minimum pada pH antara 7,5–10. Pada pH optimum yaitu pH 8 dapat dilihat prosen penurunan atau efisiensinya mencapai 99,98% dan mulai menurun pada pH 9, sehingga untuk perlakuan variasi selanjutnya digunakan pH 8 dalam proses elektrokoagulasi.

4.3 Analisis Konsentrasi Kromium dalam Limbah Cair Penyamakan Kulit

Limbah cair penyamakan kulit yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi ini diambil dari salah satu pabrik di kabupaten Magetan, Jawa Timur. Gambar 4.5 menunjukkan limbah cair penyamakan kulit dan karakteristik dari limbah tersebut disajikan pada Tabel 4.2.



Gambar 4.5 Limbah cair penyamakan kulit

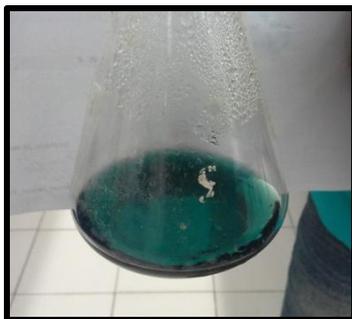
Tabel 4.2 Karakteristik limbah penyamakan kulit

No.	Parameter	Pengamatan
Karakter Fisika		
1.	Wujud	Cair
2.	Warna	Hijau pekat
3.	Bau	Berbau menyengat (asam)
Karakter kimia		
1.	pH	3,63
2.	Kadar kromium total	6052,3 mg/L

Sebelum limbah cair penyamakan kulit dianalisis kadar kromiumnya menggunakan SSA, perlu dilakukan proses destruksi terlebih dahulu karena pada umumnya limbah cair penyamakan kulit mengandung kromium sulfat, garam, sytan, bakterisit dan

sodium format. Destruksi yang dilakukan pada penelitian ini merupakan metode destruksi basah yaitu pemanasan sampel dengan adanya pengoksidasi kuat seperti asam-asam mineral baik tunggal maupun campuran. Jika sampel dimasukkan zat pengoksidasi, kemudian dipanaskan pada temperatur yang cukup tinggi dan dilakukan secara kontinu pada waktu yang cukup lama, maka sampel akan teroksidasi sempurna sehingga meninggalkan berbagai elemen-elemen pada larutan asam dalam bentuk senyawa anorganik yang sesuai untuk dianalisis (Anderson, 1987).

Pada penelitian digunakan HNO_3 65% sebagai pengoksidasi dan dimasukkan ke dalam cuplikan limbah sampel sebanyak 50 mL. Selanjutnya sampel dipanaskan hingga didapatkan larutan yang jernih. Asam nitrat pekat digunakan dalam proses destruksi karena dalam keadaan panas, asam nitrat merupakan oksidator kuat yang dapat melarutkan kromium dan dapat mencegah pengendapan kromium kembali serta dapat mempercepat proses destruksi (Diana dkk., 2002). Wujud fisik limbah cair penyamakan kulit setelah didestruksi dapat dilihat pada Gambar 4.6.



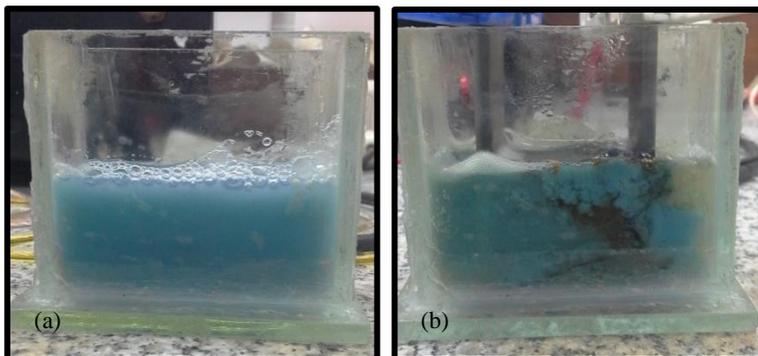
Gambar 4.6 Limbah cair penyamakan kulit setelah didestruksi

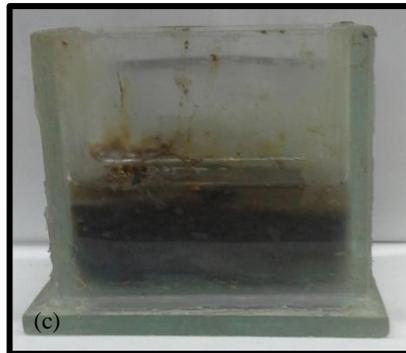
Limbah yang telah didestruksi berwarna hijau menunjukkan bahwa dalam limbah tersebut banyak mengandung senyawa kromium (III). Hasil analisis konsentrasi larutan limbah dengan 3 kali pengukuran seperti yang dijelaskan pada Lampiran E mengandung kromium rata-rata sebesar 6.052,3 mg/L. Sampel

limbah cair tersebut merupakan limbah sebelum memasuki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Kadar kromium tersebut sangat jauh diatas baku mutu yang diperbolehkan untuk limbah cair industri penyamakan kulit, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menurunkan kadar kromium dalam limbah cair penyamakan kulit.

4.4 Elektrokoagulasi pada Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit

Sampel limbah cair penyamakan kulit yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi merupakan hasil pengenceran dari limbah awal. Cuplikan limbah cair diencerkan hingga didapatkan sampel dengan kadar kromium sebesar 2.000 mg/L. Proses elektrokoagulasi dilakukan pada kondisi optimum yang diperoleh dari optimasi menggunakan limbah sintesis kromium yaitu pada pH 8 dan tegangan sebesar 12 V selama 30 menit. Gambar 4.7 menunjukkan limbah penyamakan kulit sebelum melalui elektrokoagulasi (diatur pada pH 8), pada saat proses elektrokoagulasi dan setelah melalui proses elektrokoagulasi.





Gambar 4.7 (a) Limbah sebelum dilakukan proses elektrokoagulasi, (b) Limbah saat proses elektrokoagulasi, (c) Limbah setelah dilakukan proses elektrokoagulasi

Gambar 4.7(a) menunjukkan limbah dalam keadaan keruh karena terbentuknya $\text{Cr}(\text{OH})_3$ pada saat penambahan NaOH . Pada proses elektrokoagulasi flok $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang terbentuk lama-kelamaan akan bertambah besar ukurannya kemudian terjadi proses pengendapan. Flok-flok tersebut juga berfungsi untuk mengadsorpsi $\text{Cr}(\text{OH})_3$ karena memiliki sifat adsorpsi sekaligus mengikat polutan seperti yang telah dijelaskan pada tinjauan pustaka.

Hasil yang didapatkan dari analisis menggunakan SSA menunjukkan bahwa antara prosentase penurunan kadar kromium dari limbah sintesis kromium dan limbah cair penyamakan kulit tidak jauh berbeda. Pada limbah sintesis kromium dengan kondisi optimum didapatkan kadar kromium dalam filtrat setelah proses elektrokoagulasi yaitu sebesar 0,5665 mg/L, sedangkan pada limbah cair penyamakan kulit sebesar 0,5580 mg/L, sehingga diperoleh prosentase penurunan yang sama yaitu 99,97%. Kadar kromium dalam filtrat setelah melalui proses elektrokoagulasi ini sudah berada dalam rentang baku mutu limbah cair penyamakan kulit yang diperbolehkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Kondisi optimum pada limbah sintesis kromium dengan konsentrasi 2.000 ppm yaitu pada pH 8 dengan prosentase penurunan kadar kromium 99,97%.
2. Prosentase penurunan kadar kromium pada limbah cair penyamakan kulit mencapai 99,97%.

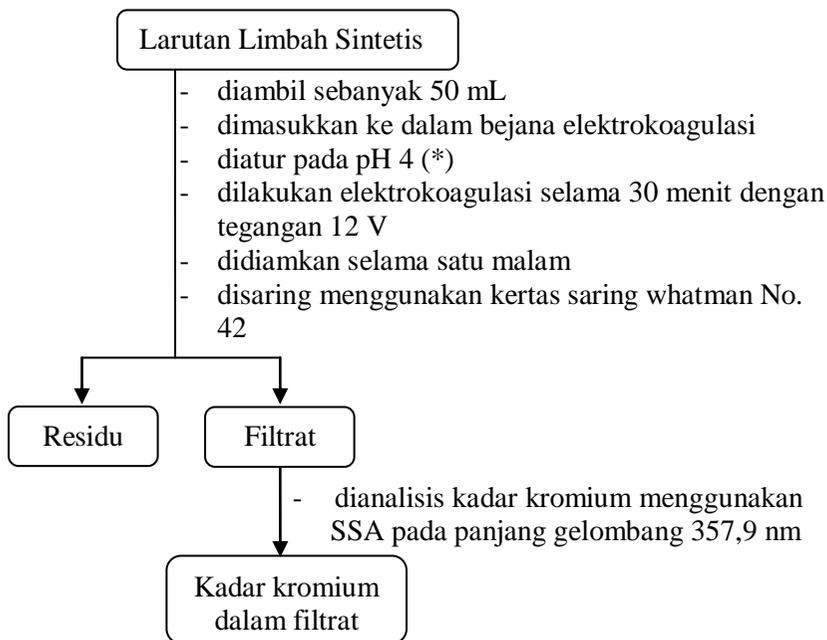
5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk kondisi limbah cair penyamakan kulit tanpa dilakukan pengenceran dengan optimasi pada variasi jarak elektroda. Selain itu diperlukan penelitian lanjutan dengan jenis dan jumlah elektroda untuk mendapatkan kondisi optimum yang lebih efisien sehingga dapat diterapkan sebagai metode pengolahan limbah cair industri penyamakan kulit atau bidang industri lain.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

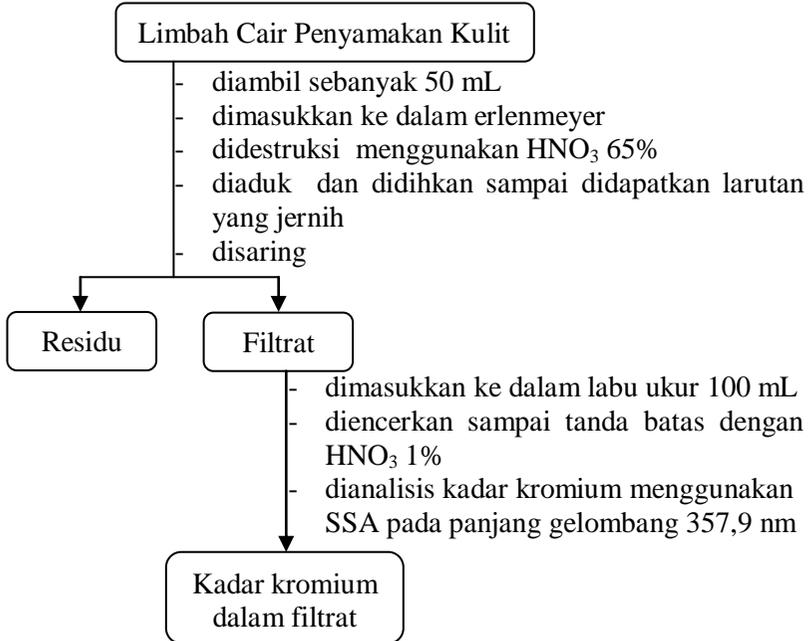
LAMPIRAN

LAMPIRAN A : 1. Optimasi pada Limbah Sintetis Kromium



(*)dilakukan cara yang sama untuk pH 5, 6, 7, 8, 9,10, 11, 12 dan 13

2. Analisis Konsentrasi Logam Kromium dalam Limbah Cair Penyamakan Kulit



3. Elektrokoagulasi pada Limbah Cair Penyamakan Kulit



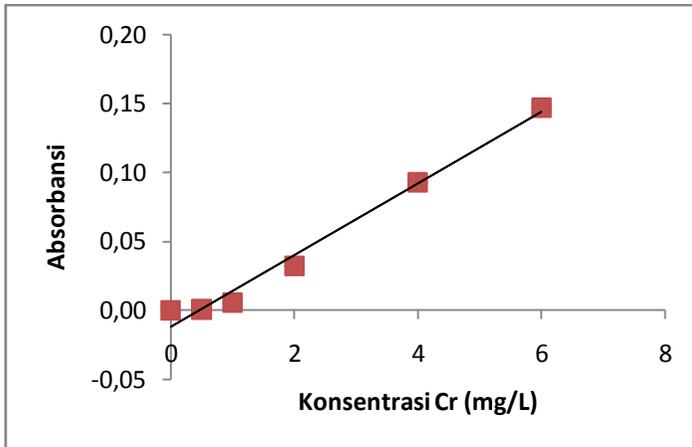
LAMPIRAN B : PEMBUATAN KURVA KALIBRASI**1. Pembuatan Kurva Kalibrasi Kromium**

Kurva kalibrasi kromium dibuat dengan mengukur absorbansi larutan standar kromium pada konsentrasi 0; 0,5; 1; 2; 5; 8 mg/L menggunakan SSA pada λ 357,9 nm. Data absorbansi dari masing-masing larutan standar kromium dapat dilihat pada Tabel B.1.

Tabel B.1 Data absorbansi larutan standar kromium untuk kurva kalibrasi

Konsentrasi Cr(III) (mg/L)	Absorbansi
0	0,0000
0,5	0,0009
1	0,0086
2	0,0335
5	0,1214
8	0,1934

Berdasarkan Tabel B.1 tersebut, dibuat kurva kalibrasi dengan mengalurkan konsentrasi larutan standar kromium (sumbu x) terhadap absorbansinya (sumbu y). Kurva kalibrasi kromium ditunjukkan pada Gambar B.1.



Gambar C.1 Kurva kalibrasi larutan standar kromium

Dari kurva tersebut diperoleh persamaan garis regresi linearnya yaitu $y = 0,0255 x - 0,0105$ dengan koefisien korelasi sebesar 0,9965. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,9965 menunjukkan bahwa antara absorbansi dan konsentrasi memiliki korelasi yang linear dan memenuhi syarat sebagai kurva kalibrasi karena nilai r^2 terletak antara $0,9 < r^2 < 1$.

LAMPIRAN C : PERHITUNGAN PROSENTASE PENURUNAN KADAR KROMIUM

Perhitungan prosentase penurunan kadar kromium dari limbah sintetis kromium pada pH 4 yaitu :

$$\begin{aligned} \% \text{ penurunan} &= \frac{\text{konsentrasi } Cr_{awal} - \text{konsentrasi } Cr_{akhir}}{\text{konsentrasi } Cr_{awal}} \times 100 \\ \% \text{ penurunan} &= \frac{2000 - 1597,76}{2000} \times 100 \\ &= 20,29 \% \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama, maka didapatkan prosentase penurunan untuk masing-masing variasi yaitu pH (Tabel C.1) berikut ini :

Tabel C.1 Prosentase Penurunan Kadar Kromium untuk Variasi pH (waktu elektrokoagulasi = 30 menit, tegangan = 12V)

pH	Kadar Kromium		Rata-rata konsentrasi kromium dalam filtrat (mg/L)	% penurunan kromium (%)
	1	2		
4	1597,76	1590,66	1594,21*	20,29
5	1429,52	1423,89	1426,705*	28,66
6	0,7120	0,6280	0,6700	99,97
7	1,1040	1,5570	1,3305	99,93
8	0,4040	0,4220	0,4130	99,98
9	0,6660	0,4370	0,5515	99,97
10	1,4010	1,6600	1,5305	99,92
11	1,1570	1,8100	1,4835	99,93
12	1,5760	1,2230	1,3995	99,93
13	1,4080	1,3930	1,4005	99,93

*) Hasil pengenceran dari 500 x

**LAMPIRAN D : PERHITUNGAN KONSENTRASI
KROMIUM DALAM LIMBAH CAIR
PENYAMAKAN KULIT**

**1. Perhitungan Konsentrasi Kromium dalam Limbah Cair
Penyamakan Kulit**

Konsentrasi kromium dalam limbah cair penyamakan kulit sebelum dilakukan proses elektrokoagulasi dapat dihitung berdasarkan kurva kalibrasi yang didapatkan dalam Lampiran C. Pengukuran pada limbah cair penyamakan kulit ini dilakukan dengan 3 kali pengulangan sehingga diperoleh absorbansi sebesar 0,0665, 0,0668 dan 0,0667. Dengan memasukkan nilai absorbansi hasil pengukuran cuplikan menggunakan spektrofotometer serapan atom ke dalam persamaan regresi yaitu :

$$y = 0,0255 x - 0,0105$$

maka,

$$\begin{aligned} 0,0665 &= 0,0255 x - 0,0105 \\ x &= 3,0196 \end{aligned}$$

Konsentrasi kromium dalam limbah cair penyamakan kulit yang didapat yaitu sebesar 3,0218 mg/L. Hasil tersebut merupakan pengenceran cuplikan limbah 2000x karena limbah penyamakan kulit tersebut sangat pekat dan dikhawatirkan kadar kromium terlalu besar. Konsentrasi kromium dalam limbah setelah dilakukan perhitungan pengenceran disajikan dalam Tabel D.1

Tabel D.1 Data analisis konsentrasi kromium dalam limbah penyamakan kulit

Pengulangan	Absorbansi	Konsentrasi kromium terukur (mg/L)	Konsentrasi kromium dalam limbah (mg/L)
1	0,0665	3,0196	6039,2
2	0,0668	3,0314	6062,8
3	0,0667	3,0274	6054,8
Rata - rata			6052,3

2. Perhitungan Prosentase Penurunan Konsentrasi Kromium dari Limbah Cair Penyamakan Kulit

Hasil analisis dari filtrat limbah penyamakan kulit setelah melalui proses elektrokoagulasi dapat dilihat dalam Tabel D.2

Tabel D.2 Data analisis konsentrasi kromium dalam filtrat setelah proses elektrokoagulasi

Pengulangan	Konsentrasi kromium dalam filtrat (mg/L)	% penurunan kromium
1	0,5480	99,97
2	0,5680	99,97
Rata – rata	0,5580	99,97