

**PEMISAHAN KROMIUM DARI LIMBAH CAIR
INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT DENGAN
KOAGULAN FeSO_4**

Nama Mahasiswa : Elissa Rahmawati
NRP : 1410100022
Jurusan : Kimia FMIPA-ITS
Pembimbing : Dra. Ita Ulfin, M.Si

Abstrak

Penurunan kromium dari limbah cair industri penyamakan kulit telah dilakukan dengan koagulan FeSO_4 . Optimasi dilakukan pada limbah cair sintesis kromium 2000 mg/L dengan variasi pH 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12 dan 13. Berdasarkan data hasil penelitian didapatkan kondisi optimum pada proses koagulasi limbah sintesis kromium yaitu dengan pH 10 dapat menurunkan kadar kromium sebesar 99,989%. Kondisi optimum tersebut diaplikasikan pada limbah cair industri penyamakan kulit dan diperoleh prosentase penurunan kromium sebesar 99,963%.

Kata kunci: koagulasi, pH, kromium

SEPARATION OF CHROM FROM TANNERY WASTEWATER WITH FeSO_4 COAGULANT

Student's Name : Elissa Rahmawati
NRP : 1410100022
Department : Chemistry, Faculty of
Mathematics and Science-ITS
Supervisor : Dra. Ita Ulfin, M.Si

Abstract

Reduction of chromium from tannery wastewater was carried out by FeSO_4 coagulant. Optimization of coagulation process was used 2000 mg/L synthetic chromium wastewater with various pH of synthetic chromium wastewater were 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12 and 13. Result of experimental showed that optimum condition was pH 10 can reduced the chromium until 99,989%. That optimum condition applied at tannery wastewatter and obtained the precentage reduction of chromium 99,963%.

Key word: coagulation, pH, chromium.

**LEMBAR PENGESAHAN
PEMISAHAN KROMIUM DARI LIMBAH CAIR
INDUSTRI PENYAMAKAN KULIT DENGAN
KOAGULAN FeSO_4**

TUGAS AKHIR

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

Elissa Rahmawati

NRP 1410100022

Surabaya, 04 Agustus 2014
Dosen Pembimbing,



Dra. Ita Ulfin, M.Si

NIP. 19650426 198903 2 002

Mengetahui :

Ketua Jurusan Kimia,



Hamzah Fansuri, M.Si., Ph.D.

NIP. 19691017 199412 1 001



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	vi
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 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penyamakan Kulit	5
2.1.1 Proses produksi industri penyamakan kulit	7
2.2 Koagulasi	9
2.3 Logam Berat Kromium	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Alat dan Bahan	13
3.2 Prosedur Kerja	13
3.2.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi	13
3.2.2 Analisis Konsentrasi Logam Kromium dalam Sampel Limbah Cair	13
3.2.3 Pembuatan FeSO ₄	14
3.2.4 Percobaan Koagulasi	14
3.2.4.1 Pembuatan Limbah Sintetis	14

3.2.4.2 Penentuan pH optimum Koagulasi	14
3.2.4.3 Penurunan Kadar Chrom pada pada Limbah Cair	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi Kromium (III)	15
4.2 Pengaruh pH	17
4.3 Karakteristik Limbah Penyamakan Kulit	20
4.4 Hasil Koagulasi pada Limbah Cair Penyamkan Kulit	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	25
5.1 Kesimpulan	25
5.2 Saran	25
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN	31
BIOGRAFI PENULIS	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul Lampiran	Halaman
A	PROSEDUR KERJA	31
B	PEMBUATAN KURVA KALIBRASI	34
C	PERHITUNGAN PROSENTASE PENURUNAN KADAR KROMIUM	37
D	PERHITUNGAN KONSENTRASI KADAR KROMIUM	38
E	TABEL UJI T	40

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penyamakan Kulit

Penyamakan kulit (*tanning*) merupakan salah satu proses untuk melindungi kulit dari beberapa pengaruh lingkungan seperti panas matahari, kelembaban, maupun degradasi mikroba (Morera, 2007). Secara prinsip, ditinjau dari bahan penyamak yang digunakan, maka ada beberapa jenis penyamakan yaitu:

- a. Penyamakan Nabati
Penyamakan dengan menggunakan bahan nabati ini berasal dari tumbuhan yang mengandung bahan penyamak misalnya kulit akasia, tengguli, mahoni, buah pinang, dll.
- b. Penyamakan Mineral
Penyamakan dengan bahan penyamak mineral ini sering menggunakan penyamak krom.
- c. Penyamakan Minyak
Penyamakan dengan bahan penyamak minyak ini biasanya berasal dari minyak ikan hiu atau ikan lain, biasa juga disebut minyak kasar.

Proses penyamakan kulit banyak menggunakan air sebagai pelarut maupun sebagai pembersih sehingga air bekas proses penyamakan akan terbuang sebagai limbah cair. Limbah cair penyamakan kulit berasal dari larutan yang digunakan unit pemrosesan itu sendiri yaitu perendaman air, penghilangan bulu, pemberian bubuk kapur, perendaman ammonia, pengasaman, penyamakan, pemucatan, pemberian warna coklat, dan pewarnaan dari bekas cuci. Pada Tabel 2.1 menunjukkan baku mutu limbah penyamakan kulit menurut Menteri Lingkungan Hidup.

Penghilangan bulu dengan kapur dan sulfida biasanya merupakan penyumbang utama beban pencemaran dalam pabrik penyamakan kulit. Limbah dengan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan TSS (*Total Suspended Solid*) yang tinggi berasal dari cairan bekas perendaman, cairan kapur bekas dan cairan penyamakan nabati. Cairan samak kromium mengandung kromium(III) dengan kadar yang tinggi. Perendaman ammonia meninggalkan banyak campuran nitrogen-amonia dan sedikit bahan organik. Limbah cair dari operasi penghilangan bulu mengandung bulu dan sulfida.

Tabel 2. 1 Berdasarkan KEPMENLH
no.51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu
Limbah Cair Penyamakan Kulit

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (kg/ton)
BOD ₅	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	

Menurut Wahyuningtyas (2001), senyawa kromium (Cr) dalam limbah cair 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.

2.1.1 Proses Produksi Industri Penyamakan Kulit

Proses industri penyamakan kulit secara garis besar terdiri dari 3 tahapan :

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*)
Perendaman bertujuan untuk mengembalikan sifat-sifat kulit mentah menjadi seperti semula.
- b. Pengapuran (*Liming*)
Proses ini bertujuan untuk meregangkan dan membuka kulit serta melepaskan bulu-bulu dan membuat kulit lebih kenyal.
- c. Pembuangan Daging (*Fleshing*)
Fleshing merupakan proses pembuangan *sludge* (koyoran, gajih) dan bertujuan untuk membuka kulit.
- d. Pembelahan (*Splitting*)
Proses ini juga bertujuan untuk menghemat bahan kimia pada tahap penyamakan.
- e. Pencucian (*Washing*)
Proses ini bertujuan untuk membersihkan kulit dari kapur dan bahan kimia lain.
- f. Pembuangan Kapur (*Deliming*)
Proses ini dilakukan karena semua proses penyamakan dapat dikatakan berlangsung dalam

lingkungan asam, maka kapur didalam kulit harus dibersihkan semua.

- g. Pengikisan Protein (*Bating*)
Proses ini dilakukan untuk melonggarkan permukaan serat kulit dan menghilangkan lemak.
- h. Pengasaman (*Pickling*)
Proses pengasaman untuk mengasamkan kulit pada pH 3-3,5 agar kulit dapat menyesuaikan dengan pH bahan penyamak yang akan dipakai nanti.

2. Tahapan Proses Penyamakan (*Tanning*)

Urutan proses pada tahap penyamakan beserta tujuannya antara lain :

- a. Penyamakan
Pada tahap penyamakan ini dilakukan untuk mengubah kulit yang tidak tahan lama.
- b. Pemerasan (*Samyng*)
Pemerasan dilakukan untuk mengurangi jumlah air yang terkandung dalam kulit.
- c. *Shaving*
Shaving merupakan pengetaman dengan mesin ketam pada bagian daging guna mengatur tebal kulit agar rata.
- d. *Netralizing*/Netralisasi
Proses ini bertujuan untuk menyetarakan keadaan kulit.
- e. *Rechrom Tanning*
Proses ini bertujuan untuk menyamakan kadar kromium yang bermacam-macam
- f. *Dyzing*
Tujuan *dyzing* ialah untuk memnberikan warna dasar pada kulit agar pemakaian cat tutup nantinya tidak terlalu tebal.
- g. Peminyakan (*Fat liguoring*)

Tujuan proses peminyakan pada kulit adalah untuk melemaskan kulit.

h. *Setting*

Bertujuan untuk menghaluskan kulit, meregangkan kulit, dan memeras cairan berlebih yang tersisa pada kulit.

i. Vakum

Merupakan proses pengurangan kadar air yang bertujuan untuk memadatkan kulit.

j. *Drying/Hanging*

Drying bertujuan untuk mengeringkan kulit.

k. *Milling*

Tujuan dari proses *milling* adalah untuk melemaskan kulit.

l. *Toggling*

Toggling bertujuan untuk meregangkan dan melonggarkan kulit.

m. *Trimming*

Trimming dilakukan 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.

2.2 Koagulasi

Salah satu proses kimiawi untuk meningkatkan efisiensi unit sedimentasi dalam pengolahan air limbah adalah koagulasi dan flokulasi. Koagulasi adalah proses mendestabilisasi partikel-partikel koloid sehingga

tubrukan partikel dapat menyebabkan pertumbuhan partikel. Menurut Ebeling dan Ogden (2004), koagulasi merupakan proses menurunkan atau menetralkan muatan listrik pada partikel-partikel tersuspensi atau *zeta-potential*-nya. Muatan-muatan listrik yang sama pada partikel-partikel kecil dalam air menyebabkan partikel-partikel tersebut saling menolak sehingga membuat partikel-partikel koloid kecil terpisah satu sama lain dan menjaganya tetap berada dalam suspensi. Proses koagulasi berfungsi untuk menetralkan atau mengurangi muatan negatif pada partikel sehingga mengijinkan gaya tarik van der waals untuk mendorong terjadinya agregasi koloid dan zat-zat tersuspensi halus untuk membentuk *microfloc*. Reaksi-reaksi koagulasi biasanya tidak tuntas dan berbagai reaksi-reaksi samping lainnya dengan zat-zat yang ada dalam air limbah dapat terjadi bergantung pada karakteristik air limbah tersebut dan akan terus berubah seiring berjalannya waktu. Semua reaksi dan mekanisme yang terlibat dalam pendestabilisasian partikel dan pembentukan partikel yang lebih besar melalui flokulasi perikinetik termasuk sebagai koagulasi. Koagulan adalah bahan kimia yang ditambahkan untuk mendestabilisasi partikel koloid dalam air limbah agar flok dapat terbentuk. Unit proses koagulasi-flokulasi biasanya terdiri dari tiga langkah pengolahan yang terpisah yaitu (Metcalf and Eddy, Inc. 1991 dalam Ebeling dan Ogden 2004):

1. Pada proses pengadukan cepat, bahan-bahan kimia yang sesuai ditambahkan ke dalam aliran air limbah yang kemudian diaduk pada kecepatan tinggi secara intensif,
2. Pada proses pengadukan lambat, air limbah diaduk pada kecepatan sedang supaya membentuk flok-flok besar sehingga mudah diendapkan,

3. Pada proses sedimentasi, flok yang terbentuk selama flokulasi dibiarkan mengendap kemudian dipisahkan dari aliran *effluent*.

2.3 Logam Berat Kromium

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan berat jenis lebih besar dari 5 gr/cm^3 , mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari periode 4 sampai 7 (Marganof, 2003). Menurut Taufan (1994), urutan toksisitas logam paling tinggi ke paling rendah terhadap manusia yang mengkonsumsi ikan adalah sebagai berikut $\text{Hg}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Ag}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{As}^{2+} > \text{Cr}^{2+} > \text{Sn}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$.

Sebagian logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) merupakan zat pencemar yang berbahaya. Afinitas yang tinggi terhadap unsur S menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim, sehingga enzim bersangkutan menjadi tidak aktif. Gugus karboksilat (-COOH) dan amina (-NH₂) juga bereaksi dengan logam berat. Kadmium, timbal, dan tembaga terikat pada sel-sel membran yang menghambat proses transformasi melalui dinding sel (Marganof, 2003).

Sifat toksisitas logam berat menurut Badan Kementrian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990) dikelompokkan dalam 3 kelompok, yaitu bersifat toksik tinggi (Hg, Cd, Pb, Cu, Zn), bersifat toksik sedang (Cr, Ni, Co), dan bersifat toksik rendah (Mn dan Fe).

Kromium ($A_r : 51,996$) yang merupakan salah satu jenis dari logam berat merupakan logam kristalin berwarna putih, tidak begitu liat, dan tidak dapat ditempa. Titik lebur kromium adalah 1765°C . Kromium larut dalam asam klorida encer ataupun pekat. Jika tidak terkena udara akan terbentuk ion-ion kromium (II). Dalam

asam sulfat pekat dan panas, kromium larut dengan mudah dan menghasilkan ion-ion Cr (III) dan belerang dioksida.

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 elektroplating, penyamakan kulit, cat, tekstil, fotografi, pigmen (zat warna), besi baja, dan industri kimia.

Kromium terdapat dalam industri penyamakan kulit dan tekstil dalam bentuk heksavalen atau trivalen, sedangkan pada industri elektroplating mengandung kromium dalam bentuk trivalen (Kocaoba, 2005). Air yang mengandung ion kromium (III) akan menimbulkan masalah karena ion logam ini dapat berubah menjadi ion kromium yang bervalensi enam (heksavalen) yang bersifat toksik (racun), karena jika terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan kanker dan perubahan genetik. Hal ini dapat terjadi karena kromium dapat merusak sel-sel di dalam tubuh. Batas maksimum kromium (VI) yang diperbolehkan dalam air bersih 0,05 mg/L sedangkan dalam air limbah 0,1 mg/L (Hariani, 2009). Menurut KEPMENLH no.51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair penyamakan kulit, batas maksimal kromium dalam limbah tidak lebih dari 0,6 mg/L.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sampel limbah cair industri penyamakan kulit, padatan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, FeSO_4 , natrium hidroksida (NaOH), HNO_3 dan aquades. Sedangkan peralatan yang digunakan dalam penelitian diantaranya gelas beker, labu ukur, pipet ukur, pipet tetes, pH meter, neraca analitik, *magnetic stirrer*, corong, dan kertas saring whatman ukuran 42. Untuk analisis kadar logam kromium digunakan instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

3.2 Prosedur Kerja

3.2.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi

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. Selanjutnya dari larutan induk tersebut dibuat larutan standar kromium yang digunakan untuk pembuatan kurva kalibrasi dengan konsentrasi 0,5; 1; 2; 5 dan 8 mg/L.

3.2.2 Analisis Konsentrasi Logam Kromium dalam Sampel Limbah Cair

Sampel limbah cair diambil sebanyak 50 mL dan dimasukkan dalam erlenmeyer. Kemudian kedalam erlenmeyer ditambahkan HNO_3 65% dan campuran diaduk hingga homogen. Selanjutnya campuran dididihkan hingga didapat larutan yang jernih. Larutan hasil destruksi didinginkan lalu dimasukkan dalam labu ukur 100 mL dan ditambahkan HNO_3 1% sampai tanda batas. Larutan tersebut kemudian dianalisis kadar kromiumnya dengan SSA pada panjang gelombang 357,9 nm.

3.2.3 Pembuatan FeSO₄

Larutan FeSO₄ 1000 mg/L dibuat dengan cara menimbang FeSO₄ sebanyak 1,8309 gram kemudian dilarutkan dengan aquades lalu diencerkan pada labu ukur 1000 mL dengan aquades sampai tanda batas.

3.2.4 Percobaan Koagulasi

3.2.4.1 Pembuatan Limbah Sintetis

Limbah sintetis yang mengandung kromium 2.000 mg/L dibuat dengan melarutkan padatan Cr(NO₃)₃·9H₂O sebanyak 15,4022 gram dalam aquades dan diencerkan pada labu ukur 1000 mL sampai tanda batas.

3.2.4.2 Penentuan pH Optimum koagulasi

Dipipet 50 mL sampel limbah sintetis 2000 mg/L dan diletakkan dalam gelas beker. Diatur pH dengan menambahkan NaOH dengan variasi pH 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; dan 13. Selanjutnya ditambahkan 25 mL FeSO₄ 1000 mg/L. Diaduk dengan *magnetic stirrer* 300 rpm selama 20 menit. Dibiarkan larutan sampai terjadi pemisahan kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh selanjutnya dianalisis kadar krom yang tidak terkoagulasi dengan SSA pada panjang gelombang 357,9 nm.

3.2.4.3 Penurunan Kadar Kromium pada Limbah Cair

Sampel limbah cair yang telah dianalisis kadar kromiumnya diencerkan sampai konsentrasinya menjadi 2000 mg/L. Diatur pH dengan menambahkan NaOH sampai mencapai pH 10. Selanjutnya ditambahkan 25 mL FeSO₄ dan diaduk dengan kecepatan 300 rpm 30 menit. Dibiarkan larutan sampai terjadi pemisahan kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh selanjutnya dianalisis kadar kromnya dengan SSA pada panjang gelombang 357,9 nm.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini telah dilakukan penurunan kadar kromium dari limbah sintetis yang dibuat dari padatan $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dengan koagulan FeSO_4 . Konsentrasi limbah sintetis yang digunakan adalah 2000 mg/L, dengan menentukan kondisi optimum dari pH proses elektrokoagulasi. Kadar kromium yang tidak terkoagulasi pada filtrat diukur dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) pada λ 357,9 nm. Hasil optimasi dari percobaan ini nantinya akan diaplikasikan pada penurunan kadar kromium limbah cair penyamakan kulit.

4.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi Kromium (III)

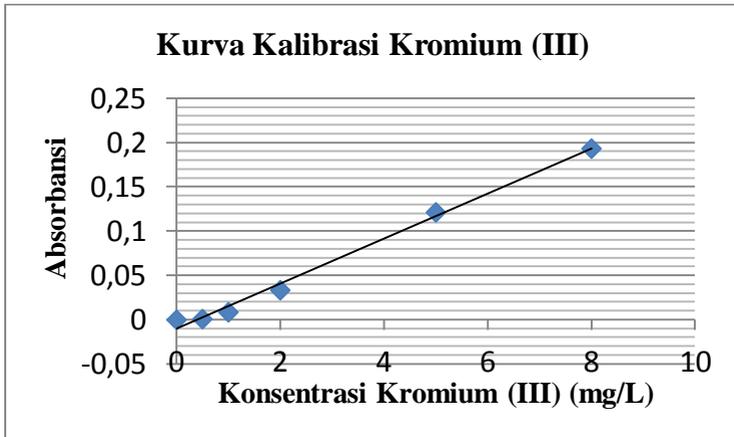
Kurva kalibrasi kromium (III) dibuat dengan mengukur absorbansi larutan standar kromium (III) pada konsentrasi 0,5; 1; 2; 5; dan 8 mg/L yang diukur dengan SSA pada 357,9 nm. Data hasil pengukuran absorbansi larutan standar kromium (III) ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1 Data absorbansi kromium (III) pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi kromium (III) (mg/L)	Absorbansi $\lambda = 357,9$
0	0,0000
0,5	0,0009
1	0,0086
2	0,0335
5	0,1214
8	0,1934

Berdasarkan Tabel 4.1 tersebut, dibuat kurva kalibrasi dengan mengalurkan konsentrasi larutan standar kromium

(III) pada sumbu x dan absorbansi pada sumbu y sehingga dapat ditentukan persamaan garis regresi linearnya. Dan kurva kalibrasi larutan standar kromium (III) ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut :



Gambar 4. 1 Kurva Kalibrasi Kromium (III)

Keabsahan kurva kalibrasi di atas diuji dengan menentukan harga koefisien korelasi (R^2) atau uji kelinieran yang menyatakan ukuran kesempurnaan hubungan antara konsentrasi larutan standar kromium (III) dengan absorbansinya.

Korelasi dikatakan sempurna jika nilai R^2 mendekati +1, sedangkan nilai nol menyatakan tidak ada korelasi antara dua variabel yang diamati. Berdasarkan data dan perhitungan (lampiran C) didapatkan persamaan regresi linear larutan standar kromium (III) adalah $y = 0,0264 x - 0,0155$ dengan nilai $R^2 = 0,9989$. Nilai koefisien korelasi sebesar 0,9989 menunjukkan bahwa antara absorbansi dan konsentrasi memiliki korelasi yang linear dan memenuhi syarat sebagai kurva kalibrasi karena terletak antara $0,9 < R^2 < 1$. Harga R^2 yang diperoleh mendekati +1, maka dapat disimpulkan bahwa

nilai koefisien korelasi layak, artinya titik-titik pada kurva kalibrasi larutan kromium (III) mendekati garis lerengnya.

Berdasarkan persamaan garis regresi kurva kalibrasi dilakukan uji keberartian (uji-t) terhadap nilai-nilai koefisien regresi dengan selang kepercayaan 95%, dimana H_0 menyatakan bahwa tidak ada korelasi antara konsentrasi (x) dan absorbansi (y). Dengan derajat kebebasan $n = 5$ diperoleh hasil $t_{hitung} > t_{tabel}$ (lampiran C) maka H_0 ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa ada korelasi yang linear antara konsentrasi larutan standar kromium (III) (x) dengan harga absorbansinya (y), sehingga kurva kalibrasi ini dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi kromium (III) dalam padatan dan filtrat.

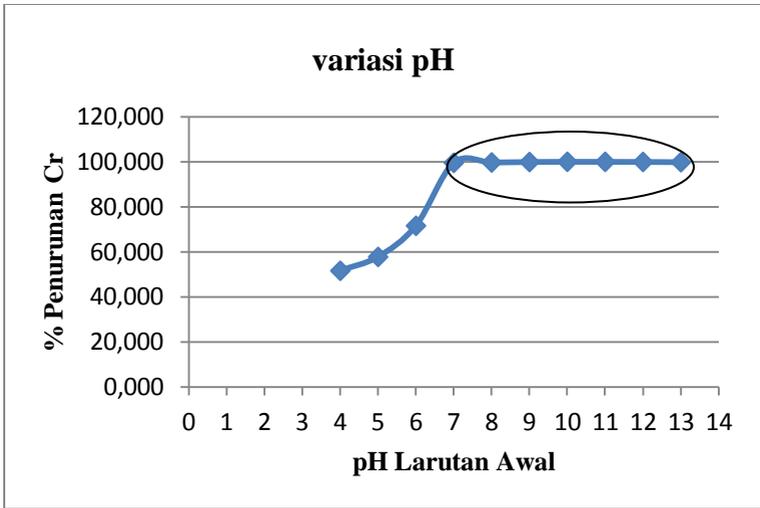
4.2 Pengaruh pH

Proses koagulasi merupakan proses adsorpsi oleh koagulan terhadap partikel-partikel koloid sehingga menyebabkan destabilisasi partikel. Proses ini biasa disebut juga proses netralisasi partikel. Koagulan yang mengandung muatan berlawanan dengan muatan partikel koloid akan mengadsorpsi koloid tersebut pada permukaannya dan menurunkan gaya tolak menolak antara koloid sehingga partikel tidak terhalang lagi untuk terkoagulasi, membentuk partikel yang lebih besar dan dapat mengendap (Aminzadeh et al. 2007). Studi penurunan kadar kromium (III) dengan $FeSO_4$ sebagai koagulan dimulai dengan mengamati variasi pH agar dapat diketahui pH optimum koagulasi. Variasi pH yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pH 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12 dan 13. Larutan kerja yang digunakan sebagai limbah cair sintesis merupakan larutan kromium dengan konsentrasi 2000 mg/L diatur pH awalnya dengan penambahan NaOH. Setelah itu masing-masing larutan yang telah diatur pH nya ditambah larutan $FeSO_4$ 1000 mg/L yang berfungsi sebagai koagulan. Selanjutnya masing-masing larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan

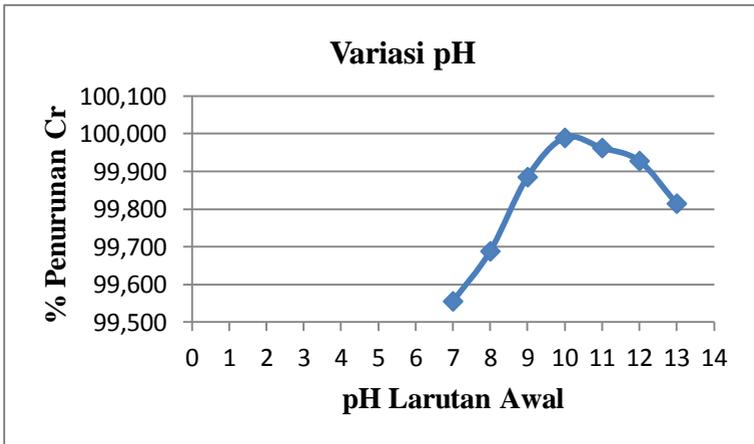
kecepatan 600 rpm selama 2 menit, proses pengadukan cepat ini bertujuan untuk membentuk inti flok, kemudian dilanjutkan pengadukan lambat dengan kecepatan 300 rpm selama 20 menit, proses pengadukan lambat akan memperpendek jarak antar partikel sehingga gaya tarik-menarik antar partikel menjadi lebih besar dan dominan dibandingkan gaya tolaknya. Setelah proses pengadukan selesai larutan dibiarkan sampai terjadi pengendapan yang sempurna. Setelah proses pengendapan selesai, dilakukan proses penyaringan agar terjadi pemisahan antara filtrat dan endapan. Filtrat yang diperoleh merupakan kadar Cr yang tidak terkoagulasikan kemudian dianalisis dengan SSA pada λ 357,9 nm. Berikut merupakan data dari hubungan pH dengan prosen penurunan kromium yang terdapat pada filtrat, untuk perhitungan % penurunan Cr ada pada lampiran D :

Tabel 4. 2 Presentase Penurunan Kromium dengan Variasi pH Limbah Sintetis

pH	% Penurunan Cr
4	51,564
5	57,734
6	71,556
7	99,555
8	99,688
9	99,885
10	99,989
11	99,992
12	99,928
13	99,814



Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Variasi pH terhadap % Penurunan Cr



Gambar 4. 3 Perbesaran Grafik pada pH 7-13

Dari Gambar 4.2 terlihat bahwa prosen penurunan terkecil terjadi pada pH 4, hal ini terjadi karena pada pH tersebut ion OH⁻ yang terkandung pada larutan tidak cukup banyak sehingga tidak banyak Cr yang terendapkan pada kondisi pH tersebut. Dari Gambar 4.3 juga dapat dilihat bahwa prosen penurunan terbesar terjadi pada pH 10 dengan prosen penurunannya mencapai 99,989%. Pada pH 10 nilai Q dari Fe(OH)₃ adalah $0,0325 \times 10^{-12}$ dan nilai Q dari Cr(OH)₃ adalah $0,00375 \times 10^{-12}$. Dari nilai Q yang telah diperoleh dapat diketahui bahwa Fe(OH)₃ mengendap terlebih dahulu, Fe(OH)₃ ini nantinya dapat membantu proses koagulasi dan flokulasi dengan memperkuat flok-flok agar dapat mengendap lebih mudah. Menurut Benefield Cr(OH)₃ adalah senyawa yang bersifat amfoter dan akan melarut minimum pada pH antara 7,5⁻¹⁰.

4.3 Karakteristik Limbah Penyamakan Kulit

Limbah penyamakan kulit didapatkan dari pabrik kulit PT. X, di Magetan, Jawa Timur. Karakteristik limbah penyamakan kulit dapat dilihat pada Tabel 4.3.



Gambar 4. 4 Sampel Limbah Cair Penyamakan Kulit

Gambar 4.4 menunjukkan limbah cair penyamakan kulit yang diambil dari pabrik kulit PT. X, di Magetan, Jawa Timur. Sebelum ditentukan jumlah kromium dengan

instrumen SSA maka diperlukan proses destruksi terlebih dahulu

Tabel 4. 3 Karakteristik Limbah Penyamakan Kulit

No.	Parameter	Pengamatan
Karakter Fisika		
1.	Wujud	Cair
2.	Warna	Hijau Pekat
3.	Bau	Menyengat
Karakter kimia		
1.	pH	3,63
2.	Kadar kromium total	6047,8 mg/L

Destruksi merupakan salah satu proses pemutusan ikatan organologam menjadi ion organik bebas. Pada penelitian ini metode destruksi yang digunakan adalah metode destruksi basah, yaitu pemanasan cuplikan dengan adanya pengoksidasi kuat seperti asam-asam kuat, dan pada penelitian ini menggunakan HNO_3 65 % sebagai pengoksidasi. HNO_3 pekat sebanyak 3 mL dimasukkan ke dalam cuplikan limbah penyamakan kulit sebanyak 50 mL, kemudian dipanaskan hingga mendidih dan larutan menjadi jernih. Penggunaan HNO_3 kuat untuk proses destruksi dikarenakan dalam keadaan panas HNO_3 merupakan oksidator kuat yang dapat melarutkan kromium dan dapat mencegah pengendapan kromium kembali serta dapat mempercepat proses destruksi (Diana, dkk., 2002). Hasil pengujian konsentrasi kromium pada limbah penyamakan kulit menunjukkan bahwa pada 50 mL larutan limbah mengandung kromium sebanyak 6047,8 mg/L, hasil tersebut merupakan hasil dari limbah cair langsung proses penyamakan kulit dan belum memasuki IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah). Hasil kadar kromium pada limbah cair tersebut sangat tinggi, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengurangi kadar kromium dalam limbah cair

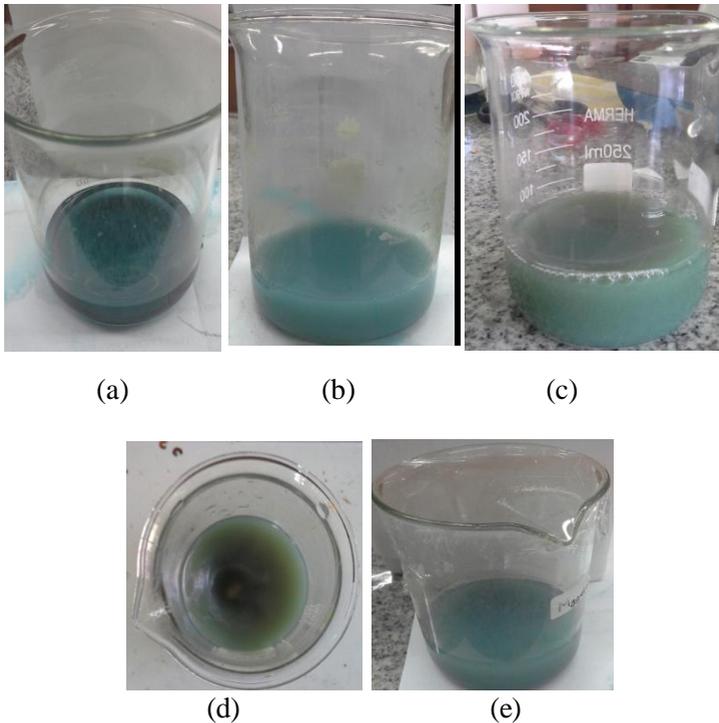
penyamakan kulit dengan kondisi optimum yang sudah didapatkan dari percobaan sebelumnya.

4.4 Hasil Koagulasi pada Limbah Cair Penyamakan Kulit

Limbah cair yang dianalisis dari percobaan sebelumnya diencerkan konsentrasinya menjadi 2000 mg/L. Perlakuan sampel limbah cair penyamakan kulit dibuat menjadi 2000 mg/L bertujuan untuk membandingkan koagulasi kromium dengan koagulan FeSO_4 pada larutan kerja atau limbah sintesis dengan cuplikan sampel limbah cair yang telah didapat. Kondisi yang dipakai dalam percobaan ini adalah kondisi optimum yang didapat dari percobaan optimasi sebelumnya, yaitu limbah cair penyamakan kulit diatur pH sampai pH 10, kemudian ditambahkan koagulan FeSO_4 , setelah itu larutan diaduk dengan kecepatan 300 rpm selama 30 menit. Setelah proses pengadukan selesai larutan dibiarkan selama satu malam sampai terjadi proses pengendapan yang sempurna. Kemudian larutan disaring agar endapan dan filtrat terpisah. Filtrat yang diperoleh dianalisis kadar kromiumnya dengan menggunakan SSA. Hasil analisis menggunakan SSA menunjukkan bahwa pada 2000 mg/L cuplikan sampel limbah cair penyamakan kulit kromium yang mampu terkoagulasikan adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Prosentase Penurunan Kadar Kromium pada Sampel Limbah Cair Penyamakan Kulit

Filtrat Cr 1 (mg/L)	Filtrat Cr 2 (mg/L)	Filtrat Cr rata-rata (mg/L)	Cr yang mengendap (mg/L)	% Penuurunan Cr
0,7398	0,732	0,7358	1999,2640	99,963



Gambar 4.5 (a) Sampel limbah cair penyamakan kulit; (b) setelah penambahan NaOH; (c) setelah penambahan FeSO_4 ; (d) saat proses pengadukan; (e) setelah proses pengadukan

Dari Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa kromium yang mampu terkoagulasikan dalam sampel limbah cair penyamakan kulit sebesar 1999,2640 mg/L dengan nilai efisiensi penurunan sebesar 99,963%. Kromium yang dihasilkan dapat digunakan kembali sebagai bahan baku industri penyamakan kulit (Ferreira et al., 2010). Sedangkan jika dibandingkan dengan larutan kerja atau limbah sintesis dengan konsentrasi 2000 mg/L kromium yang mampu terkoagulasikan adalah sebesar 1999,7780 mg/L dengan nilai

efisiensi penurunan kromium sebesar 99,989%. Terdapat sedikit perbedaan nilai penurunan kromium pada dua larutan tersebut, hal ini dimungkinkan karena terjadi kompetisi antara logam kromium dengan logam-logam lain saat proses koagulasi berlangsung karena pada limbah cair penyamakan kulit tidak terdapat logam kromium saja tetapi terdapat logam-logam yang lain.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

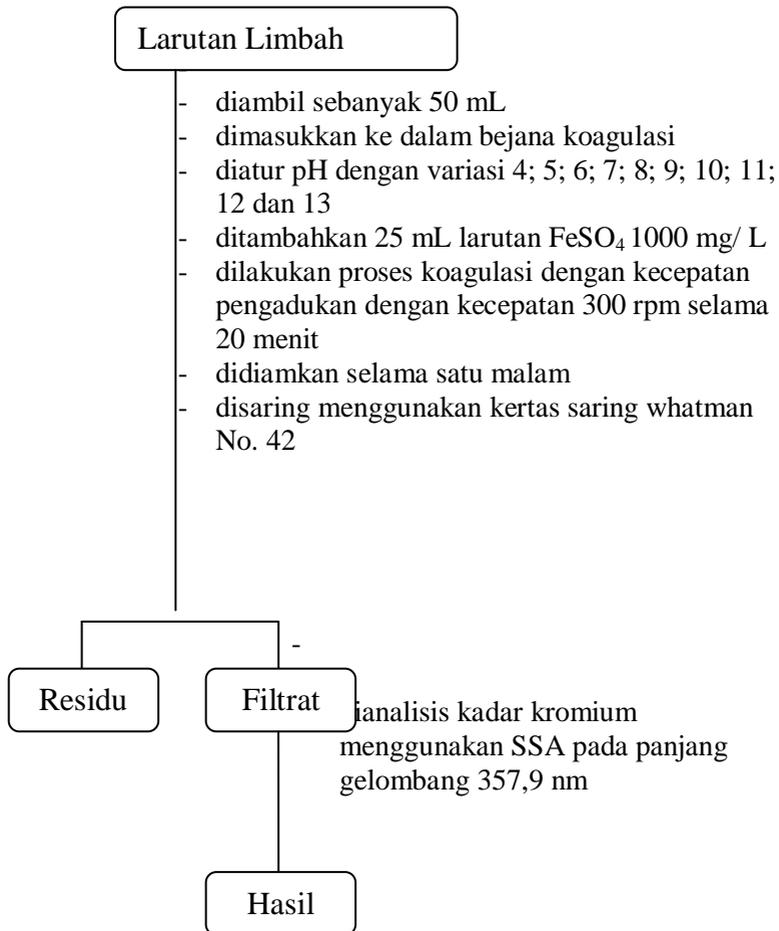
1. Proses penurunan kromium dengan koagulan FeSO_4 optimal pada pH 10 dengan prosentase penurunan Cr sebesar 99,989%.
2. Dalam limbah cair penyamakan kulit prosentase penurunan kromium yang dapat terjadi pada keadaan optimal adalah sebesar 99,963%

5.2 Saran

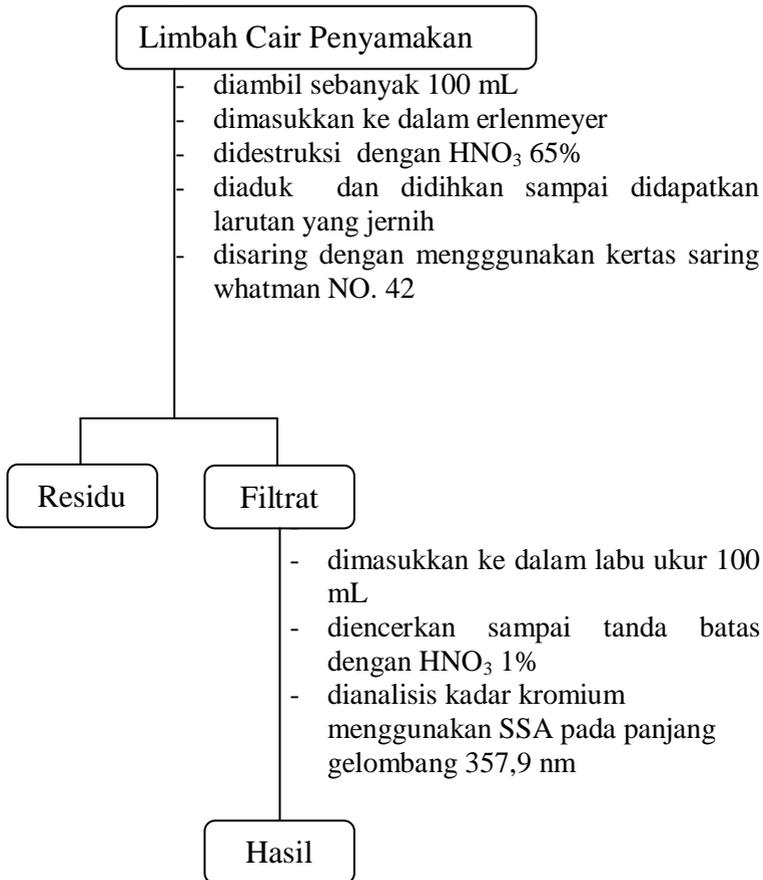
Koagulasi logam kromium dengan koagulan FeSO_4 pada limbah cair penyamakan kulit telah dilakukan untuk menurunkan kadar kromium, namun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambah variasi atau dengan mencari koagulan lain agar dapat menurunkan kadar kromium dalam limbah cair sampai kadarnya sesuai dengan nilai baku mutu kromium total dalam limbah cair yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

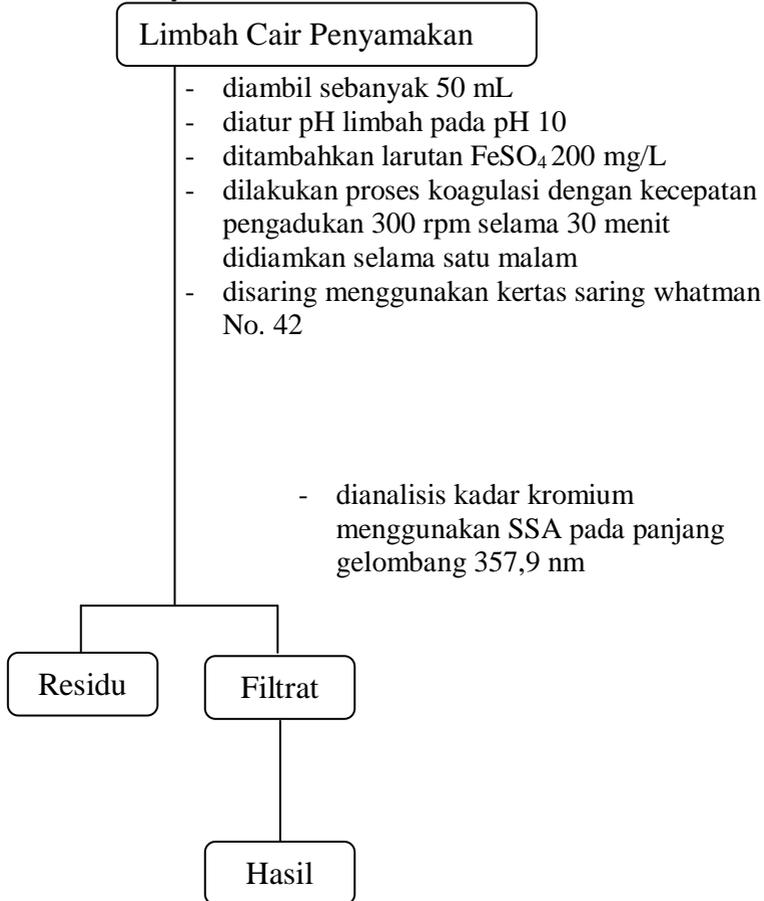
LAMPIRAN A:
PROSEDUR KERJA
1. Pengaruh Variasi pH Larutan



2. Analisis Konsentrasi Logam Kromium dalam Limbah Cair Penyamakan Kulit



3. Koagulasi pada Limbah Cair Penyamakan Kulit



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

Kurva kalibrasi kromium dibuat dengan mengalurkan antara konsentrasi larutan standar kromium dengan absorbansi yang diperoleh melalui pengukuran menggunakan spektroskopi serapan atom (SSA) pada panjang gelombang maksimum kromium yaitu pada 357,9 nm. Berikut merupakan hasil absorbansi krom pada berbagai konsentrasi.

Tabel B.1 Data serapan krom pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi standar kromium (mg/L)	Absorbansi ($\lambda = 357,9$)
0,5	0,0009
1	0,0086
2	0,0335
5	0,1214
8	0,1934

Berdasarkan hasil pada Tabel C.1, maka dibuat persamaan garis antara konsentrasi larutan krom (sumbu-x) terhadap absorbansinya (sumbu-y) melalui persamaan $y=bx+a$.

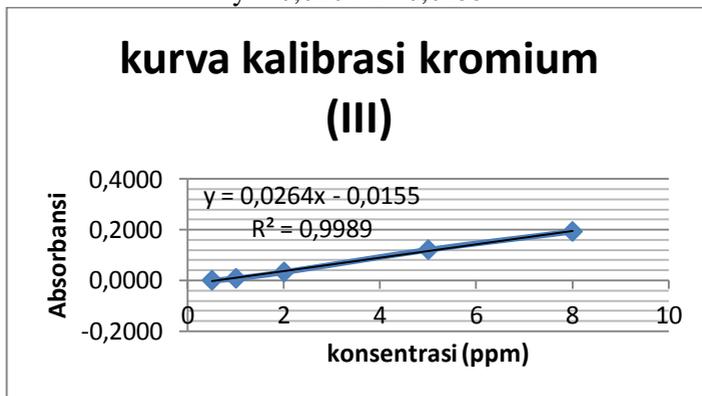
Tabel B.2 Analisis regresi untuk krom

No.	X	Y	$(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})$	$(X - \bar{X})^2$	$(Y - \bar{Y})^2$
1	0,5	0,0009	0,1978	7,84	0,0050
2	1	0,0086	0,1448	5,29	0,0040
3	2	0,0335	0,0495	1,69	0,0014
4	5	0,1214	0,0847	2,89	0,0025
5	8	0,1934	0,5726	22,09	0,0148
Σ	16,5	0,3578	1,0495	39,8	0,0277

$$\begin{aligned}
 b &= \frac{\sum\{(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})\}}{\sum X-\bar{X}^2} \\
 &= \frac{1,0495}{39,8} \\
 &= 0,0264
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \bar{y} - b \bar{x} \\
 &= 0,0716 - 0,036206 \times 3,3 \\
 &= -0,0155
 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh persamaan regresi linear yaitu :
 $y = 0,0264 x - 0,0155$



Gambar B.1 Kurva kalibrasi kromium

Untuk menentukan seberapa baik kumpulan titik pada data tersebut dengan garis lurus dari kurva kalibrasi, maka berdasarkan Tabel C.2 diperoleh nilai r yaitu :

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{\sum\{(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})\}}{[\{\sum(X-\bar{X})^2\}\{\sum(Y-\bar{Y})^2\}]^{1/2}} \\
 &= \frac{1,0495}{(39,8 \times 0,0277)^{1/2}} \\
 &= 0,9989
 \end{aligned}$$

Maka nilai koefisien korelasi (r) yang diperoleh dari larutan standar krom yaitu 0,9989. Sedangkan uji t terhadap kurva kalibrasi larutan standar dilakukan untuk mengetahui apakah koefisien korelasi memang berarti. Dengan $n=5$, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} t_{\text{hit}} &= \frac{|r^2| \sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}} \\ &= \frac{(0,9989) \sqrt{5-2}}{\sqrt{(1-0,9989)}} \\ &= 52,1659 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Derajat kebebasan} &= N - 2 \\ &= 5 - 2 \\ &= 3 \end{aligned}$$

Dimana :

H_0 : tidak ada korelasi antara konsentrasi (x) dan absorbansinya (y)

H_1 : ada korelasi antara konsentrasi (x) dan absorbansinya (y)

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan nilai t_{hitung} sebesar 52,1659 yang kemudian dibandingkan dengan nilai t_{tabel} , dimana selang kepercayaan 95% dengan derajat kebebasan 3 diketahui nilai kritik sebaran t adalah sebesar 3,18 (nilai t_{tabel} pada Lampiran F). karena nilai $t_{\text{hitung}} > t_{\text{tabel}}$ maka H_0 ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi yang linear antara konsentrasi larutan standar Cr (sumbu- x) dengan adsorbansi (sumbu- y).

LAMPIRAN C : PERHITUNGAN PROSENTASE PENURUNAN KADAR KROMIUM

Perhitungan prosentase penurunan kadar kromium dari limbah sintetis kromium yaitu :

$$\% \text{ penurunan} = \frac{\text{konsentrasi } Cr_{awal} - \text{konsentrasi } Cr_{akhir}}{\text{konsentrasi } Cr_{awal}} \times$$

100

$$\begin{aligned} \% \text{ penurunan} &= \frac{2000 - 968,7250}{2000} \times 100 \\ &= 51,5638 \% \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama, maka didapatkan prosentase penurunan untuk masing – masing variasi yaitu pH (Tabel D.1), Konsentrasi Koagulan (Tabel D.2) dan Waktu Kontak (Tabel D.3) berikut ini :

Tabel C.1 Prosentase Penurunan Kadar Kromium untuk Variasi pH

pH	Filtrat 1 (ppm)	Filtrat 2 (ppm)	Filtrat rata-rata (ppm)	Cr yang terendapkan (ppm)	% Penurunan
4	997,70	939,750	968,7250	1031,28	51,5638
5	886,65	803,990	845,3200	1154,68	57,7340
6	563,90	573,850	568,8750	1431,13	71,5563
7	10,18	7,610	8,8950	1991,11	99,5553
8	7,25	5,229	6,2385	1993,76	99,6881
9	2,29	2,321	2,3050	1997,70	99,8848
10	0,15	0,298	0,2220	1999,78	99,9889
11	0,73	0,797	0,7610	1999,24	99,9620
12	1,76	1,144	1,4500	1998,55	99,9275
13	3,32	4,103	3,7115	1996,29	99,8144

LAMPIRAN D : PERHITUNGAN KONSENTRASI KADAR KROMIUM

1. Perhitungan Konsentrasi Kromium dalam Cuplikan Limbah Penyamakan Kulit

Berdasarkan kurva kalibrasi yang diperoleh oleh Lampiran C, maka dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi kromium dalam cuplikan limbah penyamakan kulit yaitu dengan memasukkan nilai adsorbansi hasil pengukuran cuplikan menggunakan spektroskopi serapan atom (SSA) ke dalam masing-masing persamaan regresi.

Persamaan regresi untuk kromium :

$$y = 0,0264 x - 0,0155$$

Sedangkan hasil pengukuran menggunakan spektroskopi serapan atom (SSA) pada limbah penyamakan kulit dengan dua kali pengulangan diperoleh absorbansinya yaitu 0,1355 dan 0,1396. Dari kedua nilai absorbansi tersebut dapat ditentukan konsentrasi kromium melalui cara berikut :

$$\begin{aligned} y &= 0,0264 x - 0,0155 \\ 0,0642 &= 0,0264 x - 0,0155 \\ x &= 3,0201 \end{aligned}$$

Sehingga hasil konsentrasi kromium 3,0201 mg/L, hasil tersebut merupakan pengenceran cuplikan limbah 2000x karena dikhawatirkan kadar kromium dalam limbah penyamakan kulit terlalu besar. Maka untuk menentukan konsentrasi kromium (mg/L) dalam limbah penyamakan kulit dilakukan perhitungan pengenceran yaitu :

$$\begin{aligned} M_1 \cdot V_1 &= M_2 \cdot V_2 \\ M_1 \times 0,5 &= 3,0201 \times 1000 \\ M_1 \times 0,5 &= 30201 \\ M_1 &= 6040,2 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama juga dilakukan pada nilai absorbansi lainnya sehingga diperoleh data yang ditunjukkan pada **Tabel D.1** berikut

Tabel D.1 Hasil analisis konsentrasi kromium dalam cuplikan limbah penyamakan limbah

No.	Pengulangan	Absorbansi	konsentrasi kromium terukur (mg/L)	Konsentrasi kromium pada limbah (mg/L)
1	Ke-1	0,0642	3,0201	6040,2
2	Ke-2	0,0644	3,0277	6055,4
Rata-rata konsentrasi kromium (mg/L) limbah penyamakan kulit				= 6047,8 mg/L

Setelah didapatkan konsentrasi limbah awal , maka limbah awal diencerkan menjadi 2000 ppm dengan perhitungan pengenceran sebagai berikut :

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$6047,8 \times V_1 = 2000 \times 250$$

$$6047,8 V = 500000$$

$$V_1 = 82,67 \text{ mL} \approx 82,7 \text{ mL}$$

Berikut merupakan tabel hasil koagulasi dari sampel limbah cair penyamakan kulit dengan konsentrasi 2000 ppm.

Tabel D.2 Prosentase Penurunan Kadar Kromium pada Sampel Limbah Cair Penyamakan Kulit

Filtrat 1 (ppm)	Filtrat 2 (ppm)	Filtrat rata-rata (ppm)	Cr yang terendapkan (ppm)	% Penurunan
0,7398	0,732	0,7358	1999,264	99,9632

LAMPIRAN E : TABEL UJI T**Tabel E.1** Tabel Uji t

Nilai t untuk selang kepercayaan	90 %	95 %	98 %	99 %
Nilai kritis $ t $ pada harga P	0,10	0,05	0,02	0,01
Jumlah derajat kebebasan				
1	6,31	1,17	3,86	63,66
2	2,92	4,30	6,96	9,92
3	2,35	3,18	4,54	5,84
4	2,13	2,78	3,75	4,60
5	2,02	2,57	3,36	4,03
6	1,94	2,45	3,14	3,71
7	1,89	2,36	3,00	3,50
8	1,86	2,31	2,90	3,36
9	1,83	2,26	2,82	3,25
10	1,81	2,23	2,76	3,17
12	1,78	2,18	2,68	3,05
14	1,76	2,14	2,62	2,98
16	1,75	2,12	2,58	2,92
18	1,73	2,10	2,55	2,88
20	1,72	2,09	2,53	2,85
30	1,70	2,04	2,46	2,75
50	1,68	2,01	2,40	2,68
∞	1,64	1,94	2,33	2,58

DAFTAR PUSTAKA

- Ajeng Dwi A., 2012
Pemanfaatan Kulit Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* L.) Untuk Adsorpsi Kromium Dalam Larutan Berair Dengan Metode Batch. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Aminzadeh B., et al, 2007
Pretreatment of municipal wastewater by enhanced chemical coagulation. *International Journal of Environmental Research*. 1:104-113.
- Benefield LD, Borro LW, Joseph., 1990.
Proses Chemistry for Water and Wastewater Treatment, New Jersey. Prentice Hall .
- Bahri, S. dan Raimon, 1995.
Efisiensi Penurunan COD Air Limbah Tekstil dengan Proses Koagulasi dan Flokulasi, Laporan Penelitian Departemen Perindustrian (BIPA), Palembang
- Diana, W. Farobie, Obie. S.M., Wawensyah, J.A., 2002
Perbandingan Metode Destruksi Kering dan Basah untuk Penetapan Logam Besi dan Zink pada Tepung Terigu. Departemen Kimia, IPB, Bogor.
- Djakfar, A.M., 1990.
Polielektrolit dari Pati Ubi Kayu sebagai Bahan Koagulan Pada Penjernihan Air, Laporan Penelitian Departemen Perindustrian (BIPA), Palembang.

- Ebeling, James M. dan Sarah R. Ogden 2004
Application of Chemical Coagulation Aids for the Removal of Suspended Solids (TSS) and Phosphorus from the Microscreen Effluent Discharge of an Intensive Recirculating Aquaculture System”, North American Journal of Aquaculture 66:198-207.
- Gode, F., E. Pehlivan, 2006.
Removal of Chromium (III) from Aqueous Solutions Using Lewatit S 100: The Effect of pH, Time, Metal Concentration and Temperature. Journal of Hazard Material. B136, 330–337.
- Hariani, Poedji, Nurlisa Hidayati, Melly Oktaria, 2009.
Penurunan Konsentrasi Cr(VI) Dalam Air Dengan Koagulan FeSO₄. Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan.
- Kocaoba, S., G. Akcin, 2005.
Removal of Chromium (III) and Cadmium (II) from Aqueous Solutions. Desalination. 180, 151–156.
- Kusumawati, T., 2006
Jerapan Kromium Limbah Penyamakan Kulit oleh Zeolit Cikembar dengan Metode Lapik Tetap. Skripsi Departemen Kimia, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Marganof, 2003.
Potensi Limbah Udang sebagai Penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium, dan Tembaga) di Perairan. Makalah pribadi pengantar ke filsafah

Sains (PP702), Program Pasca Sarjana/S3 ITB, Bandung.

Metcalf dan Eddy, Inc. 2004
Wastewater Engineering, Treatment and Reuse. Ed. IV. McGraw-Hill, Singapura.

Svehla, G., 1990.
Analisa Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro, Bagian I, Edisi kelima. Penerbit Kalman Media Pusaka, Jakarta.

Wahyuningtyas, N., 2001.
Pengolahan Limbah Cair Khromium dari Proses Penyamakan Kulit Menggunakan Senyawa Alkali Natrium Karbonat (Na_2CO_3). STTL. Yogyakarta

Wardhani, E., Dirgawati M., Valyana K.P., 2012
Penerapan Metode Elektrokoagulasi dalam Pengolahan Air Limbah.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”