

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri penyamakan kulit berkembang pesat di Indonesia termasuk Yogyakarta. Industri penyamakan kulit merupakan industri yang mengolah kulit menjadi barang jadi untuk melengkapi kebutuhan manusia sehari-hari seperti koper, tas, sepatu, jaket, kerajinan tangan dan lain-lain. Kulit jadi adalah kulit hewan yang mengalami penyamakan, yang sebelumnya telah dipisahkan dari bulu, urat, dan daging di bawah kulit. Penyamakan kulit menggunakan bahan kimia dan air dalam jumlah yang banyak, sehingga proses ini menghasilkan limbah cair yang mengandung berbagai zat organik dari bahan baku dan zat kimia dari bahan yang digunakan selama proses penyamakan.

PT Adi Satria Abadi di Banyakan, Sitimulyo, Piyungan, Bantul, merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pengolahan kulit mentah sampai menjadi kulit yang siap diolah untuk di proses lagi menjadi barang jadi. Bahan baku yang digunakan yaitu kulit kambing dan domba. Proses penyamakan kulit terdiri dari tiga proses utama yaitu proses pra penyamakan (*Beam House*), penyamakan (*Tanning*) pasca penyamakan (*Finnishing*). Agar menghasilkan jenis kulit yang kuat dan tahan terhadap efek lingkungan seperti degradasi mikroba, panas, keringat, atau uap air dan lain lain, dilakukan proses dengan penambahan asam, garam, dan kemudian penyamakan dengan garam

kromium (Wahyulis dkk, 2014). Jenis limbah yang dihasilkan dalam kegiatan produksi kulit samak yaitu limbah cair, lumpur dan limbah padat (Sugihantoro, 2016).

Dampak negatif proses penyamakan kulit menurut Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (BAPEDAL) Provinsi Jawa Barat yaitu limbah cair dengan kandungan bahan organik yang tinggi, dan berbagai polutan seperti sulfat, kromium, tannin sintetik, minyak, dan resin. Sehingga menghasilkan limbah padat yang berupa gumpalan daging, bulu, dan lemak yang cukup besar. Hanya 20% dari kulit yang dapat dirubah menjadi kulit komersial. Berdasarkan hasil Pemeriksaan kualitas air limbah penyamakan kulit dengan menggunakan krom oleh Balai Laboratorium Kesehatan Yogyakarta (BLK) menggunakan teknik pengambilan sampel *grab sampling* pada bulan Agustus 2019 terdapat parameter yang melebihi NAB yaitu parameter krom total sebesar 1 mg/l dan COD 5281 mg/l. Hasil tersebut melebihi baku mutu berdasarkan Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Penyamakan Kulit yaitu Cr sebesar 0,5 mg/l dan COD sebesar 110 mg/l.

Kegiatan penyamakan kulit yang menghasilkan limbah cair yaitu penyamakan dan air sisa pencucian pada drum dan air bilasan pada saat pembersihan drum. Krom (Cr) dalam limbah cair industri penyamakan kulit berasal dari proses produksi penyamakan kulit, menggunakan senyawa kromium sulfat antara 60-70% dalam bentuk larutan kromium sulfat, tetapi pada proses penyamakan tidak semuanya dapat terserap oleh kulit sehingga

sisanya dikeluarkan dalam bentuk cairan sebagai limbah cair (Jati dan Aviandharie, 2015). Industri Penyamakan kulit menghasilkan volume cukup besar yang mengandung beban polutan organik dan anorganik yang tinggi. Kandungan zat organik yang tidak dapat teroksidasi dalam limbah penyamakan kulit menyebabkan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dalam limbah tinggi (Srinivan dkk, 2010).

Salah satu logam berat yang membahayakan adalah kromium (Cr). Cr umumnya ditemukan pada limbah industri elektroplating, *finishing* logam (mencapai 10 mg/L), serta penyamakan kulit. Cr trivalent dan heksavalen yang paling banyak terdapat di dalam lingkungan air. Cr trivalent mempunyai toksisitas yang lebih rendah dibanding Cr heksavalen. Dampak yang ditimbulkan bagi organisme akuatik yaitu terganggunya metabolisme tubuh akibat terhalangnya enzim dalam proses fisiologis. Cr dapat menumpuk dalam tubuh dan bersifat kronis yang mengakibatkan kematian akuatik (Palar, 2012). Bagi manusia Cr dapat menyebabkan *ulkus* pada hidung dan kulit, kanker kulit dan mengindikasi *nekrosis tubulus* ginjal (Nurdiana dkk, 2017).

Ion-ion Cr dalam proses metabolisme tubuh menghalangi atau mampu menghambat kerja dari enzim *benzopiren hidroksilase*. Penghalangan kerja enzim *benzopiren hidroksilase* dapat mengakibatkan perubahan dalam kemampuan pertumbuhan sel, sehingga sel-sel menjadi tumbuh secara liar dan tidak terkontrol, atau lebih dikenal dengan istilah kanker. Enzim *benzopiren hidroksilase* ini berfungsi untuk menghambat pertumbuhan kanker yang disebabkan oleh asbestos (Palar, 2012).

Inhalasi garam kromium (Cr) heksavalen yang mudah larut dalam air seperti asam kromat, natrium dikromat, dan kalium dikromat dapat mengakibatkan absorpsi sistematis yang substansial. Garam kromium (Cr) yang kurang larut dalam air dapat mengakibatkan efek pada paru seperti gangguan faal paru (Soedirman dan Suma'mur, 2014).

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Bahan organik dioksidasi oleh Kalium bichromat menjadi gas CO_2 dan H_2O serta sejumlah ion Chrom. Kalium bichromat $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (Wardana, 2009). Tingginya kadar COD pada suatu sungai menyebabkan terganggunya kehidupan biota yang hidup di sungai tersebut. Hal ini dikarenakan kadar oksigen yang rendah sebagai akibat oksigen yang terdapat di sungai tersebut yang dapat mengoksidasi zat-zat organik (Sulhan, 2017).

Pengolahan air limbah industri kebanyakan menggunakan bahan kimia. Padahal pemakaian bahan kimia sebagai bahan utama maupun bahan pembantu. Proses pengolahan ini memerlukan lahan yang luas dan ketersediaan bahan kimia secara terus menerus. Koagulasi kimia memerlukan biaya yang tinggi untuk instalasi, bahan koagulan dan menghasilkan volume lumpur yang besar. Koagulasi kimiawi cenderung meningkatkan kandungan *Total Dissolved Solid* (TDS) dan *effluent*, sehingga diperlukan metode yang efisien dan murah untuk pengolahan limbah cair (Triandarto dan Mardiyanto,

2015). Selain itu, proses pengolahan limbah cair penyamakan kulit dapat dilakukan menggunakan pengolahan secara fisik yaitu elektrolisis.

Proses elektrolisis adalah penguraian sesuatu elektrolit oleh arus listrik. Prinsip kerja yang terjadi pada elektrolisis secara umum seperti teori *double layer*. Pada teori *double layer* lingkaran terdalam diisi oleh koagulan bermuatan positif dan menyerap ion-ion negatif yang terdapat pada lingkaran lebih luar, karena adanya muatan positif dan negatif bertemu terjadi gaya tarik menarik antara ion positif dan ion negatif sehingga terjadi ikatan yang sangat kuat antar ion-ion, sehingga membentuk koagulan. Koagulan-koagulan membentuk flok yang akhirnya menurunkan senyawa organik dan logam yang ada dalam limbah cair. Ion-ion logam yang terdapat pada limbah seperti logam berat teradsorpsi oleh koagulan dan terbentuk flok yang membantu menurunkan parameter logam berat (Asmadi dan Suharno, 2011).

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis yaitu waktu kontak, luas elektroda, ketebalan plat, jarak elektroda dan beda potensial atau tegangan. Beda potensial (tegangan) adalah usaha yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah muatan positif, satuan volt. Semakin tinggi tegangan mempengaruhi kuat arus yang dihasilkan. Semakin tinggi kuat arus maka semakin banyak flok yang menempel pada elektroda sehingga menurunkan kadar logam didalam air limbah (Fakhrudin, Nurdiana dan Wijayanti, 2017).

Penelitian Fakhrudin (2017) menggunakan variasi tegangan 6 volt, 9 volt dan 12 volt didapatkan tegangan efektif menurunkan Kadar Cr (Chromium), Fe (Besi) dan Mn (Mangan) pada limbah cair laboratoium yaitu

tegangan 12 volt untuk menurunkan kadar Cr sebesar 85,08% dan kadar Mn 78,00%, sedangkan penelitian Syawalian (2019) menggunakan variasi tegangan 3.6 Volt, 6.6 Volt dan 9.6 Volt didapatkan tegangan efektif menurunkan kadar Cr dalam lindi yaitu 9,6 volt persentase penurunan sebesar 45%.

Berdasarkan permasalahan, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai pengolahan limbah cair penyamakan kulit menggunakan metode elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 15 volt, 20 volt dan 25 volt.

B. Rumusan Masalah

“Seberapa besar efektivitas penggunaan variasi tegangan listrik pada proses elektrolisis dalam menurunkan kadar Cr dan COD limbah cair penyamakan kulit ?”.

C. Tujuan

1. Tujuan Umum

Diketahui efektivitas variasi tegangan listrik pada metode elektrolisis dalam menurunkan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit.

2. Tujuan Khusus.

- a. Diketahui efektivitas tegangan listrik 15 volt pada metode elektrolisis dalam menurunkan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit.
- b. Diketahui efektivitas tegangan listrik 20 volt pada metode elektrolisi dalam menurunkan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit
- c. Diketahui efektivitas tegangan listrik 25 volt pada metode elektrolisis dalam menurunkan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit.

D. Manfaat

1. Bagi Pengelola Industri Penyamakan Kulit

Memberikan informasi kepada pengelola alternatif pengelolaan limbah cair penyamakan kulit model elektrolisis terhadap penurunan kadar Cr dan COD.

2. Bagi Ilmu Pengetahuan

Menambah informasi tentang pengaruh tegangan pengolahan limbah cair dengan model elektrolisis dalam menurunkan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit

3. Bagi Peneliti

Menambah ilmu pengetahuan dan ketrampilan dalam bidang pengolahan limbah cair penyamakan kulit.

E. Ruang Lingkup

1. Lingkup Materi

Lingkup materi dalam penelitian ini adalah kesehatan lingkungan dalam bidang pengolahan limbah cair penyamakan kulit dengan model elektrolisis.

2. Lingkup Obyek

Penelitian ini menggunakan limbah cair yang berasal dari PT Adi Satria Abadi Banyak, Sitimulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta.

3. Lingkup Lokasi

- a. Lokasi penelitian dan pengambilan sampel limbah penyamakan kulit dilakukan di PT Adi Satria Abadi, Desa Bayakan, Kelurahan Sitimulyo, Kecamatan Piyungan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta.
- b. Pengujian kadar Cr dan COD limbah cair penyamakan kulit dilakukan di Balai Laboratorium Kesehatan Yogyakarta.

4. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2019-Januari 2020

F. Keaslian Penelitian

Tabel 1. Keaslian Penelitian

No	Nama, Tahun	Judul	Persamaan	Perbedaan	Hasil
1.	Syawalian, 2019	Pengaruh Kuat Arus dan Tegangan terhadap Perubahan Kandungan Logam pada Lindi TPA Sampah dengan Metode Elektrolisis	Variabel bebas: Tegangan	Variabel bebas : Penelitian yang dilaksanakan menggunakan variasi tegangan 15 volt, 20 volt dan 25 volt. Sedangkan penelitian ini menggunakan variasi tegangan 3.6 volt, 6.6 volt dan 9.6 volt dan waktu kontak 30 menit, 45 menit dan 60 menit.	Kadar Fe pada 30 menit ialah 0.1064 mg/L, pada 45 menit ialah 0.1157 dan 60 menit ialah 0.1084 mg/L. Sedangkan variasi waktu dan tegangan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan kandungan logam dalam air lindi.
2.	Yudhistira (2018)	Efisiensi Penurunan Kadar Logam Berat (Cr dan Ni) dalam Limbah Elektroplating secara Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium	Variabel terikat: Penurunan kadar Cr	Variabel bebas : Penelitian yang dilaksanakan menggunakan variasi tegangan 15 volt, 20 volt dan 25 volt. Sedangkan penelitian ini menggunakan variasi jarak elektroda (1, 2, 3, 4, dan 5 cm), variasi pH (5, 6, 7, 8, dan 9) dan variasi waktu kontak (20; 40; 60; 80; dan 100 menit).	Waktu elektrolisis optimum yang digunakan untuk mengendapkan logam krom dan nikel dalam limbah elektroplating dan limbah artificial yaitu 80 menit. Efisiensi penurunan kadar logam berat pada limbah elektroplating dan artificial pada krom sebesar 73,47 dan 60,63%, sedangkan pada logam nikel sebesar 17,04 dan 52,68%. Jarak antar elektroda optimum logam krom dan logam nikel dalam limbah elektroplating dan

					limbah artificial yaitu pada jarak 1 cm
3.	Fakhrudin, 2017	Analisis Penurunan Kadar Cr (Chromium), Fe (Besi) dan Mn (Mangan) pada Limbah Cair Laboratoium Teknologi Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda dengan menggunakan Metode Elektrolisis	Variabel bebas: Penurunan kadar Cr	Variabel bebas: Penelitian yang dilaksanakan menggunakan variasi tegangan listrik 15 Volt, 20 Volt dan 25 Volt Sedangkan penelitian ini menggunakan variasi tegangan (6V, 9V, dan 12V) dan waktu kontak (30 menit, 60 menit, dan 90 menit).	Efektifitas penurunan chromium pada variasi tegangan 12 Volt dengan waktu pengolahan 60 menit sebesar 85,08%, mangan pada variasi tegangan 12 Volt dengan waktu pengolahan 90 menit sebesar 78,00%.
4.	Hamid, 2017	Penggunaan Metode Elektrolisis menggunakan Elektroda Karbon dengan Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Elektrolisis dalam Penurunan Konsentrasi TSS dan COD pada Pengolahan Air Limbah Domestik	Variabel bebas: Variasi tegangan listrik	Variabel bebas: Penelitian yang dilaksanakan menggunakan variasi tegangan listrik 15 Volt, 20 Volt dan 25 Volt Sedangkan penelitian ini menggunakan variasi tegangan listrik 3, 6, 9, dan 12 volt	Parameter TSS dari konsentrasi awal sebesar 154 mg/l turun menjadi 87 mg/l dengan efisiensi penyisihan sebesar 44 % dan untuk parameter COD dari konsentrasi awal sebesar 192,96 mg/l turun menjadi 85,92 mg/l dengan efisiensi penyisihan sebesar 55 %.

5.	Suyata, 2015	Penerapan Metode Elektrokimia untuk Penurunan <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) dan <i>Total Suspended Solid</i> (TSS) Limbah Cair Industri Tahu	Variabel terikat : Menurunkan kadar COD	Variabel bebas: Penelitian yang dilaksanakan menggunakan metode elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 15 Volt, 20 Volt dan 25 Volt Sedangkan penelitian ini menggunakan variasi tegangan 4-12 Volt	penurunan kadar COD dan TSS mencapai 96,33% dan 87,87%
----	--------------	--	---	---	--

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

A. Industri Penyamakan Kulit

Industri penyamakan kulit adalah industri yang mengolah berbagai macam kulit mentah, kulit setengah jadi (kulit piket, kulit *wetblue*, kulit kras) menjadi kulit jadi. Industri penyamakan kulit dapat dimasukkan dalam industri kimia, karena 90% dari proses penyamakan menyangkut dan/atau mempergunakan bahan-bahan kimia sehingga usaha ini akan menghasilkan limbah cair yang mengandung berbagai polutan organik dari bahan baku dan polutan kimia dari bahan pembantu proses. Di samping itu juga dihasilkan limbah padat dari hasil pembersihan daging, bulu dan gumpalan lemak. Limbah padat juga banyak mengandung kapur, garam dan bahan kimia pembantu dalam proses penyamakan (Sulhan, 2017).

Proses penyamakan menurut Setiyono dan Yudo (2014) sebagai berikut:

1. Pra-Penyamakan (*Beam house*)

Proses yang ada pada pra-penyamakan adalah sebagai berikut:

- a. Pencelupan kulit dalam air selama satu malam untuk menghilangkan darah, kotoran, larutan garam dan protein.
- b. Menghilangkan bulu dengan perendaman dalam kapur, proses pengapuran pada prinsipnya untuk menghilangkan bagian kulit yang tidak diperlukan dan sodium sulfida sebagai bahan pembengkak kulit.

- c. Pengolahan menggunakan kapur kembali (*reliming*).
 - d. Pencukuran dan penghilangan mekanis jaringan ekstra dari sisi daging kulit, selanjutnya pemisahan (menggunakan kapur) 2/3 lapisan atas dari bagian bawah.
 - e. Penghilangan kapur dengan menggunakan asam lemah (*latic acid*) dan pemukulan/*bating* dengan menggunakan bahan kimia pembantu untuk menghilangkan sisa-sisa bulu dan protein yang hancur.
 - f. Pengawetan memakai larutan garam dan asam sulfur untuk pengasaman sampai pH tertentu guna mencegah pengendapan garam-garam krom pada serat kulit.
2. Penyamakan (*Tanning*)
- Penyamakan krom dilakukan dengan menggunakan krom sulfat. Proses ini untuk menstabilkan jaringan protein (*Collagen*) dari kulit.
3. Pasca Penyamakan (*Finnishing*)
- Proses yang ada pada pasca penyamakan adalah sebagai berikut:
- a. *Pressing (sammying)* untuk menghilangkan kelembaban kulit segar.
 - b. Pencukuran (*shaving*).
 - c. Pewarnaan dan pelembutan kulit yang sudah disamak menggunakan minyak-minyak emulsi (*fatliquoring*), terkadang dilakukan penyamakan sekunder menggunakan tanin sintesis (*syntans*) dan ekstrak penyamakan.
 - d. Pengeringan dan pencukuran akhir.

4. Pelapisan permukaan dan *buffing* (*finishing*)

Limbah cair dan padatan pada usaha ini dihasilkan dari berbagai sumber dan setiap sumber yang ada menghasilkan limbah dengan karakteristik yang berlainan.

B. Limbah Cair Penyamakan Kulit

Limbah cair penyamakan kulit menurut Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (BAPEDAL) Jawa barat dikelompokkan berdasarkan unit proses sebagai berikut:

Proses	Limbah Cair
Perendaman	Mengandung garam, dan kotoran
Penghilangan bulu, pemrosesan dengan kapur	Mengandung amon, asam
Penghilangan kapur dan balting	Mengandung Asam, ammonium
Pengawetan	Mengandung Asam, garam
Penyamakan krom	Mengandung Cr, garam, sytan, bacterisit, Na format
Penyamakan sekunder, pewarnaan, fatliquoring	Mengandung Cr , ekstrak penyamakan, sytan, pewarna

Tabel 2. Limbah Cair Penyamakan Kulit.

C. Kromium (Cr)

Kata kromium berasal dari bahasa Yunani (=Chroma) yang berarti warna. Kromium dilambangkan dengan “Cr”. Salah satu unsur logam berat, kromium mempunyai nomor atom (NA) 24 dan mempunyai berat atom (BA) 51,996. Logam Cr pertama kali ditemukan oleh Vagueline pada tahun 1797. Satu tahun setelah unsur ini ditemukan, diperoleh cara untuk mendapatkan logam Cr. Khromium telah dimanfaatkan secara luas dalam kehidupan

manusia. Logam ini banyak digunakan sebagai bahan pelapis (plating) pada bermacam-macam peralatan, mulai dari peralatan rumah tangga sampai ke mobil. Cr banyak dibentuk untuk menjadi alloy. Bentuk alloy dari Cr sangat banyak dan juga mempunyai fungsi pemakaian yang sangat luas dalam kehidupan (Palar, 2012).

Kondisi *heksavalen*, sifat logam ini dapat larut dalam air. Kondisi *trivalent*, logam kromium cenderung untuk teradsorpsi pada mineral tanah atau mengalami presipitasi akibat kondisi lingkungan yang basa maupun asam (Dhal dkk, 2013). Kromium heksavalen banyak dihasilkan dari kegiatan manusia terutama industri. Beberapa jenis industri seperti pertambangan, manufaktur, tekstil, pewarnaan kulit menghasilkan Cr (VI) dalam effluent limbah.

Keberadaan logam kromium di alam mengalami siklus kromium. yang dilepaskan ke lingkungan mengalami beberapa proses seperti oksidasi-reduksi, perpindahan serta reaksi dengan senyawa lain yang terkandung di alam (Dhal et al., 2013).

1. Sifat-sifat Cr

Kromium mempunyai konfigurasi elektron $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 4s^2, \text{ dan } 3d^4$, sangat keras, mempunyai titik leleh dan didih tinggi di atas titik leleh dan titik didih unsur-unsur transisi deretan pertama lainnya. Bilangan oksidasi yang terpenting adalah +2, +3, dan +6, disebut terpenting karena reaksi dan senyawa kromium yang sering ditemukan hanya menyangkut kromium dengan bilangan oksidasi +2,

+3, dan +6. Bilangan oksidasi +2, +3, dan +6 adalah bilangan yang menyatakan sifat muatan ketika terbentuk dari atom-atomnya yang netral. Apabila dalam keadaan murni melarut dengan lambat sekali dalam asam encer membentuk garam kromium (II).

a. Kromium (+2)

Logam kromium biasanya larut dalam asam klorida atau asam sulfat yang membentuk larutan $(\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6)^{2+}$ dengan warna larutan biru langit. Di dalam larutan air ion Cr^{2+} merupakan reduktor yang kuat dan mudah dioksidasi di udara menjadi senyawa Cr^{3+} . Ion Cr^{2+} dapat juga bereaksi dengan H^+ dan dengan air jika terdapat katalis berupa serbuk logam.

b. Kromium (+3)

Senyawa kromium $3+$ adalah ion yang paling stabil diantara kation logam transisi yang mempunyai bilangan oksidasi +3. Kompleks Cr^{3+} umumnya berwarna hijau dapat berupa kompleks anion atau kation. Larutan mengandung Cr^{3+} $(\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6)^{3+}$ berwarna ungu, apabila dipanaskan menjadi hijau.

c. Kromium (+6)

Kromium (VI) oksida (CrO_3) bersifat asam sehingga dapat bereaksi dengan basa membentuk kromat. Jika larutan ion kromat diasamkan dihasilkan ion dikromat yang berwarna jingga. Dalam larutan asam, ion kromat atau ion dikromat adalah oksidator kuat. Sesuai dengan tingkat valensi yang dimilikinya ion-ion kromium

yang telah membentuk senyawa mempunyai sifat yang berbeda-beda sesuai dengan tingkat ionitasnya. Senyawa yang terbentuk dari ion Cr^{2+} bersifat basa, ion Cr^{3+} bersifat amfoter, dan senyawa yang terbentuk dari ion Cr^{6+} bersifat asam.

Cr^{3+} dapat mengendap dalam bentuk hidroksida. Kromium hidroksida ini tidak larut, kondisi optimal Cr^{3+} dicapai dalam air dengan pH antara 8,5–9,5. Kromium hidroksida larut lebih tinggi apabila kondisi pH rendah atau asam. Cr^{6+} sulit mengendap, sehingga dalam penanganannya memerlukan zat pereduksi untuk mereduksi menjadi Cr^{3+} .

Senyawa kromium umumnya dapat berbentuk padatan (kristal CrO_3 , Cr_2O_3 larutan dan gas (uap dikromat). Kromium dalam larutan biasanya berbentuk trivalen Cr^{3+} dan ion heksavalen (Cr^{6+}). Dalam larutan yang bersifat basa dengan pH 8-10 terjadi pengendapan Cr dalam bentuk $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Sebenarnya kromium dalam bentuk ion trivalen tidak begitu berbahaya dibandingkan dengan bentuk heksavalen, tetapi apabila bertemu dengan oksidator dan kondisinya memungkinkan untuk Cr^{3+} tersebut berubah menjadi sama bahayanya dengan Cr^{6+} .

2. Cr dalam Lingkungan

Cr dapat masuk ke dalam badan air melalui dua cara, yaitu secara alamiah dan non alamiah. Secara alamiah disebabkan oleh beberapa faktor fisika, seperti erosi yang terjadi pada batuan mineral dan

partikel-partikel Cr yang ada di udara dibawa turun oleh air hujan. Cr masuk secara non alamiah merupakan dampak dari aktivitas manusia, seperti limbah atau buangan industri sampai buangan rumah tangga (Palar, 2012).

3. Keracunan Cr

Logam berat Cr termasuk logam yang mempunyai daya racun tinggi. Daya racun yang dimiliki oleh logam Cr ditentukan oleh valensi ionnya. Ion Cr^{6+} merupakan logam Cr yang paling banyak dipelajari sifat racunnya, bila dibandingkan dengan ion-ion Cr^{2+} dan Cr^{3+} . Sifat racun yang dibawa oleh logam ini juga dapat mengakibatkan terjadinya keracunan akut dan keracunan kronis. Keracunan akut yang disebabkan oleh senyawa $K_2Cr_2O_7$ pada manusia ditandai dengan kecenderungan terjadinya pembengkakan pada hati. Tingkat keracunan Cr pada manusia diukur melalui kadar atau kandungan Cr dalam urine, kristal asam khromat yang sering digunakan sebagai obat untuk kulit, tetapi penggunaan senyawa tersebut seringkali mengakibatkan keracunan yang fatal. Banyaknya jumlah Cr dengan lambatnya proses penghapusan Cr dari paru-paru, menjadi dasar suatu hipotesis bahwa Cr merupakan salah satu bahan yang dapat menyebabkan timbulnya kanker paru-paru. Cr digolongkan sebagai bahan karsinogen (Palar, 2012).

Paparan kromium terhadap pekerja pelapisan logam menyebabkan gangguan fungsi ginjal dan gangguan faal paru. berdasarkan penelitian yang dilakukan menyebutkan ada hubungan antara pajanan Kromium

(Cr) dengan gangguan fungsi ginjal pada pekerja pelapisan logam (Sudarsana and Setiani, 2013). Kromium (Cr) menimbulkan kerusakan struktur pada *nefron* terutama pada *selepitel tubulus proksimal*. Hal ini dapat disertai dengan gangguan fungsi ginjal yang umumnya ditandai dengan penurunan laju *filter-si glomerulus*, sehingga zat sisa metabolisme seperti *kreatinin*, *ureum* maupun kreatinin yang harusnya dibuang oleh ginjal kadarnya menurun dalam urine akibatnya kadar tersebut meningkat dalam darah. Paparan Kromium (Cr) menimbulkan gangguan faal paru pada pekerja di industri elektroplating, semakin lama terpapar kromium (Cr) semakin besar risiko terkena gangguan faal paru (Bhakti, Dewi dan Sujoso, 2016). Inhalasi garam kromium (Cr) *heksevalen* yang mudah larut dalam air seperti asam kromat, natrium dikromat, dan kalium dikromat dapat mengakibatkan absorpsi sistemik yang substansial. Sementara garam kromium (Cr) yang kurang larut dalam air dapat mengakibatkan efek pada paru seperti gangguan faal paru (Soedirman dan Suma'mur, 2014).

Kromium masuk ke dalam tubuh melalui paru, saluran pencernaan, dan kulit. Paparan utama melalui inhalasi. Paparan akut Cr (VI) pada manusia menimbulkan sesak nafas, batuk, bersin, *perforasi* dan *ulcerasi septum*, *bronchitis*, penurunan fungsi paru, pneumonia asma, gatal dan nyeri pada hidung. Paparan kronis dapat menyebabkan fibrosis paru dan kanker paru. Fibrosis paru adalah timbulnya jaringan

paru di paru, kerusakan ini menyebabkan paru menjadi kaku dan bernafas menjadi lebih sulit (Wulandari dkk , 2013).

Keberadaan Cr di ekosistem akuatik telah lama diketahui dapat memberikan dampak negatif bagi kehidupan organisme air. Menurut Lal Shah (2010) ikan yang terpapar toksik dapat diketahui dari tingkah laku ikan tersebut, yaitu dengan gerakan hiperaktif, menggelepar, dan lumpuh. Hal tersebut sebagai suatu cara untuk memperkecil proses biokimia dalam tubuh yang teracuni, sehingga efek *lethal* yang terjadi lebih lambat. Salah satu yang berdampak adalah ikan nila. Tingkah laku ikan nila yang mati akibat terpapar Cr^{6+} selama percobaan ditandai dengan operculum terbuka lebar, sering berada di permukaan air, berenang tidak teratur dan selanjutnya mati, permukaan kulit dari ikan nila nampak kemerahan (iritasi) sebagai akibat terpaparnya oleh logam Cr^{6+} berbeda halnya pada ikan kontrol yang tidak ditemukan iritasi pada kulit ikan nila. Nilai toksisitas letal (LC_{50} -96 jam) Cr^{6+} pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*), yaitu sebesar 61,2 ppm yang dapat dikategorikan ke dalam golongan dengan daya racun yang sedang (*medium toxic*). Ikan nila yang telah terpapar logam kromium membahayakan kesehatan bagi manusia yang mengonsumsinya (Tyas, Batu dan Affandi, 2016).

Pengolahan limbah cair yang mengandung Krom dapat dilakukan dengan cara diendapkan sesudah direduksi menjadi naik tiga, yang kurang beracun. Pada pH rendah belerang dioksida, natrium bisulfit,

ferosulfat, atau metabisulfat dapat digunakan untuk mereduksi krom bermartabat enam, larutan krom tereduksi yang dihasilkan biasanya dicampur dengan larutan sianida yang telah diolah dan limbah pelapisan lainnya untuk diolah lebih lanjut. Pengolahan krom salah satunya pengendapan dan elektrolisis (Fakrudin, 2017).

4. Toksisitas Logam Cr

Logam kromium dibutuhkan sebagai micro-nutrient pada manusia dan hewan yang berperan dalam metabolisme gula, lemak dan protein. Namun, peningkatan konsentrasi kromium dapat menimbulkan sifat toksik. Cr (VI) memiliki sifat toksisitas yang tinggi dan berpengaruh bila terserap dalam tubuh makhluk hidup. Bioakumulasi logam krom pada makhluk hidup dapat mempengaruhi kesehatan, efek mutagenik pada bakteri serta efek mutagenik dan karsinogenik pada hewan dan manusia. Dalam kondisi dosis yang tinggi, Cr (VI) dapat menyebabkan kematian (Dhal et al., 2013). Toksisitas logam Cr (VI) sangat dipengaruhi oleh sifat logam tersebut yang mudah berdifusi melewati membran sel, baik sel eukariotik maupun prokariotik. Cr (III) memiliki sifat toksik yang lebih rendah (10 hingga 100 kali) dibandingkan dengan Cr (VI) karena sifat membran sel yang cukup impermeable terhadap Cr (III) kompleks. Namun, di dalam sel sendiri terjadi reduksi Cr (VI) menjadi Cr (III) yang dapat mengakibatkan sifat toksik terutama potensi efek mutagenik (Dhal et al., 2013).

D. *Chemical Oxgen Demand (COD)*

Chemical Oxgen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Bahan organik dioksidasi oleh Kalium bichromat menjadi gas CO_2 dan H_2O serta sejumlah ion Chrom. Kalium bichromat $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (Wardana, 2009).

Warna larutan air lingkungan yang mengandung bahan buangan zat organik sebelum reaksi oksidasi adalah kuning. Setelah reaksi oksidasi selesai maka menjadi hijau. Jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi oksidasi terhadap bahan buangan bahan organik sama dengan jumlah *kalium bichromat* yang dipakai pada reaksi oksidasi, berarti semakin banyak oksigen yang diperlukan. Hal ini berarti bahwa air lingkungan makin banyak tercemar oleh bahan buangan organik.

Tingginya kadar COD pada suatu sungai menyebabkan terganggunya kehidupan biota yang hidup di sungai tersebut. Hal ini dikarenakan kadar oksigen yang rendah sebagai akibat oksigen yang terdapat di sungai tersebut yang dapat mengoksidasi zat-zat organik (Sulhan, 2017).

Kadar COD pada limbah cair penyamakan kulit berasal dari proses penyamakan dengan penambahan asam, garam, dan kemudian penyamakan dengan garam kromium. Pada industri penyamakan kulit, senyawa krom merupakan bahan penyamak kulit yang banyak digunakan. Apabila sisa larutan dibuang ke lingkungan, berarti menambah jumlah ion logam pada lingkungan air (Wahyulis dkk, 2014).

E. Metode Penurunan Cr dan COD Limbah Cair

1. Elektrolisis

a. Pengertian Elektrolisis

Pengolahan limbah cair penyamakan kulit secara kimia biasanya dilakukan dengan menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun, dengan membubuhkan bahan kimia tertentu yang diperlukan. Penyisihan bahan-bahan tersebut pada prinsipnya berlangsung melalui perubahan sifat bahan-bahan tersebut, yaitu dari tak dapat diendapkan menjadi mudah diendapkan (flokulasi-koagulasi), baik dengan atau tanpa oksidasi-reduksi, dan berlangsung sebagai hasil reaksi oksidasi. Pengolahan kimia-fisik salah satunya yaitu dengan cara oksidasi dan atau reduksi. Oksidasi dan atau reduksi dapat dilakukan dengan cara oksidasi kimia atau reduksi, aerasi, ozonisasi, UV, dan elektrolisis (Asmadi dan Suharno, 2012).

Elektrolisis adalah hantaran listrik melalui larutan disertai suatu reaksi. Elektrolisis merupakan peristiwa penguraian suatu elektrolit oleh arus listrik. Reaksi tersebut dapat berlangsung karena pengaruh energi listrik. Pada Proses elektrolisis, terjadi perubahan energi listrik menjadi energi kimia (Sutrianda, 2011). Air mengandung ion-ion H^+ dan OH^+ yang beratraksi secara elektrik dengan elektroda logam yang dihubungkan dengan suatu sumber listrik.

Pada proses elektrolisis membutuhkan sel-sel yang disebut elektroda. Elektroda adalah logam yang dapat menerima ion-ion dimana logam tercelup di dalam suatu larutan elektrolit. Pada kutub katoda terjadi proses oksidasi dan pada kutub anoda terjadi proses reduksi (Palar, 2012). Elektroda dalam proses elektolisis 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.

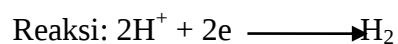
b. Reaksi yang Terjadi pada Katoda

Reaksi yang terjadi pada elektroda tersebut sebagai berikut:

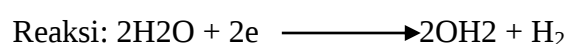
1) Reaksi pada katoda

Pada katoda terjadi reaksi-reaksi reduksi terhadap kation, yang termasuk dalam kation ini adalah ion H^+ dan ion-ion logam.

Ion H^+ dari suatu asam direduksi menjadi gas hydrogen yang bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, alkali tanah, maka ion-ion ini tidak dapat direduksi dari larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hydrogen (H) pada katoda.

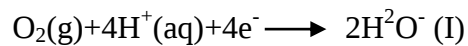
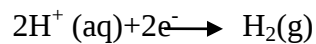
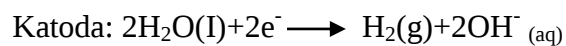


Dari daftar E_0 (deret potensial logam/deret volta), maka diketahui bahwa reduksi terhadap air limbah lebih mudah berlangsung dari pada reduksi pelarutnya (air).

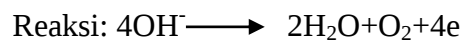
2) Reaksi pada Anoda

Anoda tersebut dari logam aluminium teroksidasi

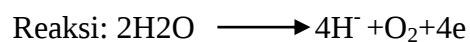
Reaksi:



Ion OH^- dan basa mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O_2):



Anion-anion lain (SO_4^{2-} , SO_3^{2-}) tidak dapat dioksidasi dari larutan, yang mengalami oksidasi adalah pelarutnya (H_2O) membentuk gas oksigen (O_2) pada anoda:



Reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrolisis, maka pada katoda dihasilkan gas hydrogen dan reaksi ion logamnya. Pada anoda dihasilkan gas-gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk. Kelarutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ sangat rendah, jadi pengendapan terjadi dalam bentuk flok. Senyawa yang terbentuk bermuatan

positif dan dapat berinteraksi terhadap kotoran seperti koloid (Asmadi dan Suharno, 2011).

2. Prinsip Kerja Elektrolisis

Prinsip kerja elektrolisis dalam menurunkan kadar Cr dan COD yaitu dengan pembentukan reaksi koagulasi dan flokulasi. Mekanisme pembentukan terjadi pada batangan anoda dan katoda. Proses ini yang membantu menurunkan kadar Cr dan COD yang terjadi karena pada saat elektrolisis proses koagulasi dan flokulasi juga terjadi. Molekul-molekul yang terdapat pada limbah penyamakan kulit terbentuk flok-flok dimana partikel-partikel koloid pada limbah bersifat adsorbsi (penyerapan) terhadap partikel atau senyawa yang lain yang ada pada limbah (Asmadi dan Suharno, 2011).

Prinsip kerja yang terjadi pada elektrolisis secara umum sama seperti teori *double layer* yaitu pembentukan flokulasi partikel bersifat adsorbsi dimana elektroda positif yang teroksidasi sebagai koagulan, pada elektrolisis bermuatan positif menyerap ion-ion negatif (Asmadi, 2011). Pada teori *double layer* lingkaran terdalam diisi oleh koagulan bermuatan positif dan menyerap ion-ion negatif yang terdapat pada lingkaran lebih luar, karena adanya muatan positif dan negatif bertemu terjadi gaya tarik menarik antara ion positif dan ion negatif sehingga terjadi ikatan yang sangat kuat antar ion-ion tersebut, sehingga membentuk koagulan. Koagulan-koagulan tersebut membentuk flok yang akhirnya menurunkan senyawa organik dan logam yang ada

dalam limbah. Ion-ion logam yang terdapat pada limbah seperti logam berat teradsorpsi oleh koagulan dan terbentuk flok yang membantu menurunkan parameter logam berat. Flok yang terbentuk menempel pada plat elektroda, sehingga menurunkan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit (Asmadi dan Suharno, 2011).

3. Faktor-Faktor yang Berpengaruh dalam Elektrolisis

a. Luas Permukaan Elektroda

Luas elektroda merupakan ukuran panjang dikali lebar pada suatu lempeng atau olat, yang merupakan permukaan tempat menempelnya ion berlawanan. Luas pelat atau lempeng mempunyai jumlah garis medan yang memancar (Susanto dan Widjajanto, 2014).

Bersarkan penelitian Susanto, Rubiono dan Bunawi, (2016) didapatkan luas permukaan elektroda tercelup yang efektif yaitu $557,92 \text{ cm}^2$. Luas permukaan plat elektroda berpengaruh terhadap debit gas hasil elektrolisis air yaitu sebesar $0,00123 \text{ m}^3/\text{detik}$.

b. Jarak Elektroda

Jarak elektroda adalah jarak antara elektroda satu dengan elektroda yang lainnya. Dua muatan yang sejenis jika didekatkan saling tolak menolak, sebaliknya jika muatan berbeda jenis didekatkan maka saling tarik menarik. Gaya elektrolisis (gaya tarik atau gaya tolak) antara dua muatan listrik berbanding lurus dengan besar masing-masing muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat

jarak antara kedua muatan, jadi semakin dekat jarak antar elektroda gaya elektrolisisnya semakin besar. Berdasarkan penelitian Yudhistira dkk (2018) jarak antar elektroda yang optimum logam krom dan logam nikel dalam limbah elektroplating dan limbah artificial yaitu pada jarak 1 cm yaitu penurunannya sebesar 84,00%. Jarak antar elektroda mempengaruhi besarnya hambatan elektrolit, semakin besar jaraknya semakin besar hambatannya, sehingga semakin kecil arus yang mengalir. Arus yang kecil menyebabkan reaksi yang terjadi tidak maksimal karena jumlah Al^{3+} menjadi sedikit sehingga polutan yang terendapkan pun juga sedikit (Hamid dkk, 2017).

c. Beda Potensial

Beda potensial (tegangan) adalah usaha yang diperlukan untuk menggerakkan sebuah muatan positif, satuan volt. Semakin tinggi tegangan mempengaruhi kuat arus yang dihasilkan. Semakin tinggi kuat arus maka semakin banyak flok yang menempel pada elektroda sehingga menurunkan kadar logam didalam air limbah (Fakhrudin dkk, 2017).

Penelitian Fakhrudin dkk (2017) menggunakan variasi tegangan 6 volt, 9 volt dan 12 volt didapatkan tegangan yang efektif dalam menurunkan Kadar Cr (Chromium), Fe (Besi) Dan Mn (Mangan) pada Limbah Cair Laboratorium yaitu tegangan 12 volt untuk menurunkan kadar Cr sebesar 85,08% sedangkan untuk

kadar Mn 78,00%. Penelitian dkk (2017) menggunakan variasi tegangan 3.6 Volt, 6.6 Volt dan 9.6 Volt didapatkan tegangan yang efektif menurunkan kadar Cr dalam lindi yaitu 9,6 volt persentase penurunan sebesar 45%. Penelitian (Suyata, Irmanto dan Rastuti, 2015) menggunakan variasi tegangan 4 volt-12 volt didapatkan tegangan yang efektif 12 volt dalam menurunkan kadar COD limbah cair tahu sebesar 96,33%.

d. Lama Elektrolisis

Waktu kontak merupakan waktu yang diperlukan oleh suatu tahap pengolahan agar tujuan pengolahan dapat dicapai secara optimal. Penelitian Yudhistira dkk (2018) pada proses elektrokoagulasi dengan variasi waktu mulai 20, 40, 60, 80 dan 100 menit dalam menurunkan kadar Cr yaitu penurunannya sebesar 73,47%.

e. Lempeng Alumunium

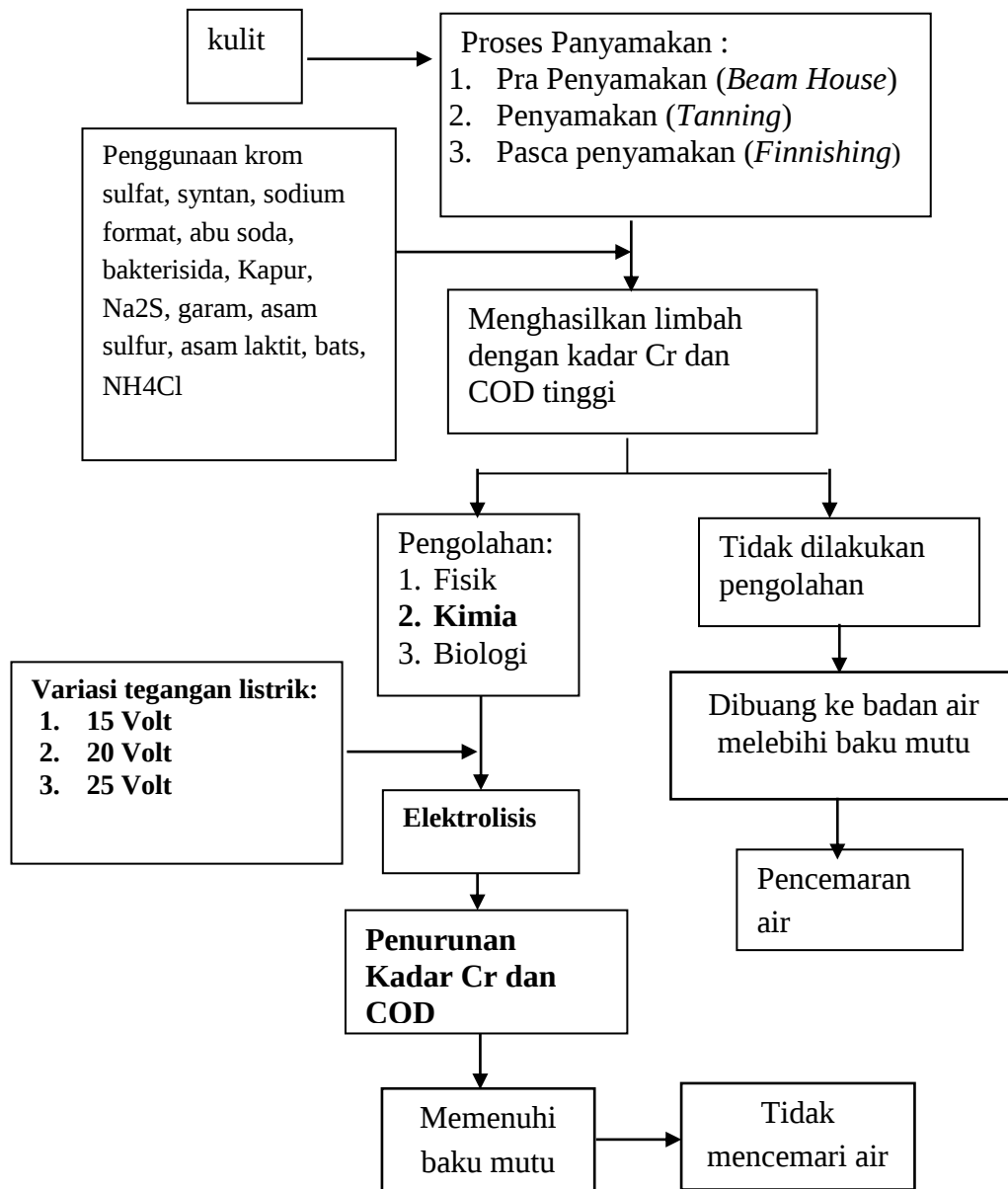
Jenis elektroda berpengaruh terhadap proses elektrolisis, karena kation yang dilepaskan oleh elektroda tersebut bereaksi dengan polutan dalam air. Penelitian ini menggunakan elektroda alumunium. Logam aluminium lebih reaktif, reduktor kuat daripada logam besi, berdasarkan potensial reduksinya: Li – K – Ba – Ca – Na – Mg – Al – Mn – Zn – Cr – Fe – Cd – Ni – Sn – Pb – H – Cu – Hg – Ag – Pt – Au. Kedudukan suatu logam dalam deret tersebut semakin ke kiri semakin reaktif, reduktor semakin kuat. Kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, semakin ke

kanan maka logam semakin kurang reaktif (semakin sulit melepas elektron), logam makin mudah tereduksi (nilai E_0) lebih positif (Ashari dkk., 2015).

f. Kebersihan Lempengan

Kebersihan lempengan alumunium sangat mempengaruhi kuat tidaknya lempengan itu mengelektrolisis limbah cair sebagai elektrolitnya, sehingga dikendalikan dengan cara membersihkan lempengan alumunium setiap kali pengulangan. Kejenuhan pada elektroda dan medan magnet yang terjadi sudah sangat kecil maka proses elektrolisis tidak bekerja pada kondisi maksimum terlihat pada variasi 9 volt dengan waktu 30 menit nilai efisiensi menurun dari 60,05% menjadi 56,76% pada variasi 12 volt dengan waktu 30 menit dan pada variasi 6 volt dengan waktu 60 menit nilai efisiensi menurun dari 60,05% menjadi 59,29% pada variasi 9 volt dengan waktu 60 menit. Hal ini bisa disebabkan dikarenakan sebagian besar flok *chromium* akhirnya menempel pada plat telah menebal di permukaan plat sehingga mengurangi kemampuan plat aluminium sebagai katoda dan anoda tempat proses penarikan kontaminan (Wahyulis dkk, 2014). Proses kompetitif antara logam berat yang menyebabkan peningkatan efisiensi logam berat *chromium* (Cr) memenuhi plat, maka proses penarikan logam berat lainnya tidak bekerja secara maksimal (Wahyulis dkk, 2014)

F. Kerangka Konsep



Gambar 1. Kerangka Konsep

Keterangan : Huruf yang tercetak tebal adalah variabel yang di teliti

G. Hipotesis

1. Hipotesis Mayor

Penggunaan variasi tegangan listrik pada metode elektrolisis dapat menurunkan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit.

2. Hipotesis Minor

- a. Tegangan listrik 15 volt pada metode elektrolisis dapat menurunkan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit.
- b. Tegangan listrik 20 volt pada metode elektrolisis dapat menurunkan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit.
- c. Tegangan listrik 25 volt pada metode elektrolisis dapat menurunkan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian dalam penelitian ini adalah *Pre-Experiment* dengan rancangan penelitian *One Group Pre-Test Post-Test Design* (Notoatmodjo, 2010). Rancangan penelitian sebagai berikut:

Pre	Eksperimen	Post
O_1	X_1	O_1^1
O_2	X_2	O_2^1
O_3	X_3	O_3^1

Keterangan :

O_1 = Kadar Cr dan COD pada kelompok eksperimen sebelum adanya perlakuan menggunakan metode elektrolisis tegangan 15 volt.

O_2 = Kadar Cr dan COD pada kelompok eksperimen sebelum adanya perlakuan menggunakan metode elektrolisis tegangan 20 volt.

O_3 = Kadar Cr dan COD pada kelompok eksperimen sebelum adanya perlakuan menggunakan metode elektrolisis tegangan 25 volt.

X_1 = Perlakuan menggunakan metode elektrolisis tegangan 15 volt.

X_2 = Perlakuan menggunakan metode elektrolisis tegangan 20 volt.

X_3 = Perlakuan menggunakan metode elektrolisis tegangan 25 volt.

O_1^1 = Kadar Cr dan COD pada kelompok eksperimen setelah adanya perlakuan menggunakan metode elektrolisis tegangan 15 volt.

O_2^1 = Kadar Cr dan COD pada kelompok eksperimen setelah adanya perlakuan menggunakan metode elektrolisis tegangan 20 volt.

O_3^1 = Kadar Cr dan COD pada kelompok eksperimen setelah adanya perlakuan menggunakan metode elektrolisis tegangan 25 volt.

B. Obyek Penelitian

Obyek dalam penelitian ini adalah seluruh limbah cair yang berasal dari industri penyamakan kulit PT Adi Satria Abadi di Banyakan Sitimulyo, Kabupaten Bantul. Sampel limbah cair penyamakan kulit yang digunakan dalam elektrolisis sebanyak 60 liter setiap perlakuan. Sampel limbah cair adalah sebagian limbah cair yang diambil secara *grab sample* atau pengambilan sesaat dari penampungan limbah sebelum dilakukan pengolahan. Tujuan penggunaan teknik ini adalah untuk menggambarkan karakteristik limbah cair penyamakan kulit pada saat pengambilan sampel.

Pengolahan limbah cair penyamakan kulit dilakukan menggunakan empat pasang (delapan buah) elektroda alumunium berukuran 15 cm x 30 cm pada bak elektrolisis, menggunakan variasi tegangan 15, 20, 25 volt dan waktu tinggal 1 jam dengan debit 300 ml/menit. Bak elektrolisis yang digunakan mempunyai volume 18 liter dengan ukuran panjang 30 cm, lebar 20 cm, dan tinggi 40 cm, dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali.

C. Variabel Penelitian dan Definisi Operasional

1. Variabel Bebas

Tegangan listrik pada pengolahan limbah cair penyamakan kulit.

Definisi Operasional :

Pengolahan limbah cair penyamakan kulit PT Adi Satria Abadi dengan metode elektrolisis menggunakan elektroda alumunium dan variasi tegangan listrik 15 volt, 20 volt, 25 volt menggunakan kuat arus 2 Ampere. Perlakuan dilakukan selama 1 jam dengan debit 400 ml/menit.

Skala: Ratio

Satuan: volt

2. Variabel Terikat

Penurunan kadar Cr dan kadar COD limbah cair penyamakan kulit PT Adi Satria Abadi.

Definisi Operasional:

a. Kadar Cr

Selisih Kadar Cr sebelum perlakuan (pre) dan sesudah perlakuan (post) menggunakan metode elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 15 volt, 20 volt dan 25 volt..

Skala: Ratio

Satuan: mg/L

b. Kadar COD

Selisih Kadar COD sebelum perlakuan (pre) dan sesudah perlakuan (post) menggunakan metode elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 15 volt, 20 volt dan 25 volt.

Skala: Ratio

Satuan: mg/L

3. Variabel Pengganggu

a. Luas Elektroda

Semakin luas elektroda aluminium yang digunakan, maka semakin banyak pula kation Al^{3+} yang dilepaskan selama elektrolisis. Penelitian ini terbatas pada penggunaan elektroda aluminium berukuran panjang 15cm x 30 cm.

b. Jarak antar plat

Jarak antar plat elektroda mempengaruhi elektrolisis, semakin dekat jarak elektroda maka semakin besar kuat arus yang dihasilkan. Maka pada penelitian ini dibatasi pada jarak antar plat adalah 1 cm.

c. Jenis Elektroda

Jenis elektroda berpengaruh terhadap proses elektrolisis, karena kation yang dilepaskan oleh elektroda tersebut bereaksi dengan polutan dalam air. Penelitian ini menggunakan elektroda aluminium. Logam aluminium lebih reaktif, reduktor kuat daripada logam besi, berdasarkan potensial reduksinya: Li – K – Ba – Ca – Na – Mg – Al – Mn – Zn – Cr – Fe – Cd – Ni – Sn – Pb – H – Cu – Hg – Ag – Pt – Au.

Kedudukan suatu logam dalam deret tersebut semakin ke kiri semakin reaktif, reduktor semakin kuat. Kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, semakin ke kanan maka logam semakin kurang reaktif (semakin sulit melepas elektron), logam makin mudah tereduksi (nilai E_o lebih positif (Ashari et al., 2015).

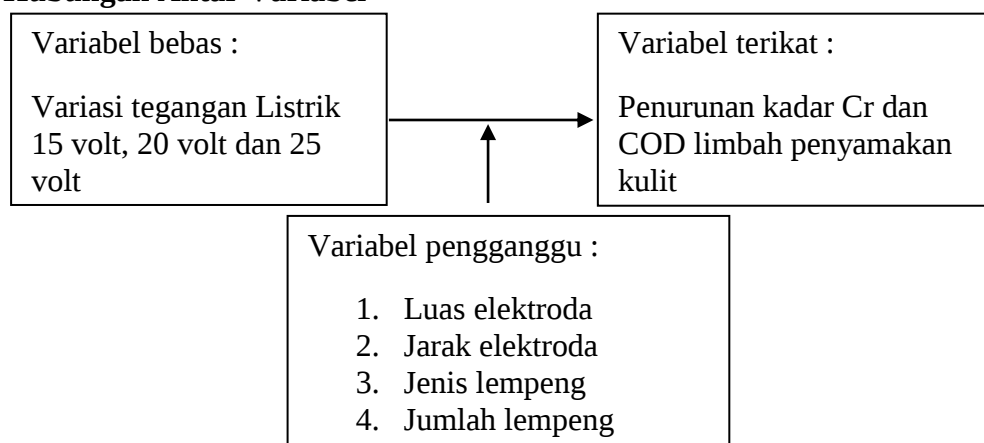
d. Jumlah Lempeng Elektroda

Jumlah lempeng elektroda alumunium menentukan besarnya luasan elektroda yang berbanding lurus jumlah kation Al^{3+} yang dilepaskan pada proses elektrolisis. Penelitian ini menggunakan 4 pasang elektroda alumunium. Lempeng yang digunakan setiap variasi masih baru.

e. Kebersihan Lempeng Elektroda

Kebersihan lempengan alumunium ini sangat mempengaruhi kuat tidaknya lempengan itu mengelektrolisis limbah cair sebagai elektrolitnya. Pengendalian yang dilakukan yaitu setiap dilakukan penggulangan lempeng elektroda dibersihkan terlebih dahulu menggunakan sikat.

D. Hubungan Antar Variabel



Gambar 2. Hubungan antar variabel

E. Jenis dan Teknik Pengumpulan Data

Data primer adalah data yang diperoleh dari pengolahan limbah cair penyamakan kulit menggunakan metode elektrolisis dengan variasi tegangan listrik. Cara yang digunakan untuk mengukur kadar Cr dan COD dalam limbah penyamakan kulit adalah dengan melakukan pemeriksaan di laboratorium. Untuk pengukuran kadar Cr dilakukan dengan metode Spektrometri Serapan Atom (SSA Flame) sesuai dengan SNI 6988.17:2009. Sedangkan untuk pengukuran kadar COD menggunakan metode *Titrimetri* sesuai dengan SNI 6989.73:2009. Kadar Cr dan COD yang dihasilkan sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan berbagai variasi tegangan listrik pada proses elektrolisis empat pasang elektroda aluminium. Data yang diperoleh dimasukkan ke dalam tabel yang telah disiapkan.

F. Instrumen dan Bahan Penelitian

1. Alat
 - a. Bak ekualisasi dengan volume 60 liter
 - b. Bak elektrolisis dengan volume 18 liter
 - c. *Stopwatch*
 - d. Botol sampel volume 100 ml
 - e. Gelas ukur
 - f. Adaptor
 - g. Volt meter
 - h. Label
 - i. Jerigen.

2. Bahan

- a. Limbah cair penyamakan kulit
- b. Delapan plat alumunium dengan ketebalan 0,6 mm ukuran 15 cm x 30 cm.

G. Prosedur Penelitian

1. Tahap Persiapan

- a. Mengurus perijinan
- b. Menyiapkan alat dan bahan untuk membuat bak elektrolisis

2. Tahap Pembuatan Alat

- a. Membuat bak equalisasi dari ember plastik dengan volume 60 liter untuk satu perlakuan.
- b. Membuat bak elektrolisis menggunakan kaca berukuran panjang 30 cm, lebar 20 cm, dan tinggi 40 cm.
- c. Membuat lubang pada sisi bawah bagian kiri kotak kaca untuk inlet limbah cair ukuran pipa $\frac{3}{4}$ inch
- d. Membuat lubang pada sisi atas bagian kanan kotak kaca untuk outlet limbah cair ukuran pipa $\frac{3}{4}$ inch
- e. Membuat tutup kotak kaca menggunakan kaca dengan diberi 8 lubang lurus untuk pemasangan plat alumunium dengan carak antar lubang 1 cm.
- f. Memotong plat alumunium dengan ukuran 15 cm x 30 cm sebanyak delapan buah.

- g. Melubangi sisi kiri dan sisi kanan plat alumunium menggunakan bor listrik.
- h. Merangkai plat alumunium dengan cara memasukan plat kedalam lubang tutup kaca. Luas permukaan plat yang terendam yaitu 9.320 mm^2 .
- i. Memasang plat plat pada bak elektrolisis.

3. Tahap pelaksanaan

- a. Pengambilan sampel limbah cair penyamakan kulit sebanyak 80 liter secara *grab* sampel atau sampel sesaat untuk menggambarkan karakteristik limbah penyamakan kulit pada saat pengambilan sampel
- b. Menampung limbah cair penyamakan kulit ke dalam 4 jerigen berukuran 20 liter.
- c. Merangkai bak equalisasi dan bak elektrolisis
- d. Memasukkan limbah cair penyamakan kulit sebanyak 18 liter kedalam bak equalisasi
- e. Homogenisasi limbah cair penyamakan kulit pada bak equalisasi menggunakan pengaduk pipa PVC.
- f. Mengambil 100 ml limbah penyamakan kulit pada bak equalisasi digunakan sebagai sampel sebelum perlakuan menggunakan metode elektrolisis (pre).
- g. Menghubungkan arus listrik antara kutub positif pada anoda dan kutub negatif pada katoda dari adaptor
- h. Mengukur besaran tegangan listrik menggunakan voltmeter

- i. Mengatur debit aliran limbah cair dari bak equalisasi menuju bak elektrolisis sebesar 300 ml/menit.
- j. Melakukan elektrolisis untuk masing-masing variasi tegangan listrik dengan waktu kontak 1 jam.
- k. Mengambil sampel limbah cair penyamakan kulit yang keluar dari *outlet* bak elektrolisis yang disebut sampel post dan diberi label sesuai variasi tegangan listrik.
- l. Membersihkan elektroda dengan cara disikat pada seluruh permukaan sebelum digunakan untuk pengulangan
- m. Mengulangi percobaan elektrolisis sebanyak 5 kali setiap variasi 15, 20 dan 25 volt.
- n. Pemeriksaan kadar Cr dan COD untuk sampel pre dan post.
 1. Pemriksaan kadar Cr
 - a) Bahan
 - 1) Air suling
 - 2) Asam nitrat (HNO_3)
 - 3) Larutan standar logam krom (Cr)
 - 4) Gas asetilena (C_2H_2)
 - b) Alat
 - 1) SSA
 - 2) Lampu holow katoda Cr
 - 3) Gelas piala 250 ml
 - 4) Pipet ukur 2 ml, 5 ml 10 ml, 20 ml, 30 ml, 40 ml dan 50 ml.

- 5) Labu ukur 100 mL
- 6) Corong gelas
- 7) Erlenmeyer
- 8) Pemanas listrik
- 9) Kertas saring *whatman* 40, dengan ukuran pori θ 0.42 μm
- 10) Labu semprot.

c) Persiapan Contoh Uji

Apabila contoh uji tidak dapat segera dianalisa, maka contoh uji diawetkan dengan penambahan HNO_3 sampai pH kurang dari 2 dengan waktu simpan maksimal 6 (enam) bulan.

- 1) Memasukkan 100 ml contoh uji yang sudah dikocok sampai homogen kedalam gelas piala.
- 2) Menambahkan 5 ml asam nitrat.
- 3) Memanaskan di pemanas listrik sampai larutan contoh uji hampir kering.
- 4) Menambahkan 50 ml air suling, masukan ke dalam labu ukur 100 ml melalui kertas saring dan ditepatkan 100 ml dengan air suling.

d) Pembuatan larutan baku logam Cr 100 mg/L

- 1) Pipet 10 mL larutan induk logam Cr 1000 mg/L ke dalam labu ukur 100 ml.
- 2) Tepatkan dengan larutan pengencer sampai tanda tera.

- e) Pembuatan larutan baku logam Cr 10 mg/L
 - 1) Pipet 50 mL larutan standar logam krom, Cr 100 mg/L ke dalam labu ukur 500 ml.
 - 2) Tepatkan dengan larutan pengencer sampai tanda tera.
- f) Pembuatan larutan kerja logam krom
 - 1) Pipet 0 ml, 2 ml, 5 ml, 10 ml, 20 ml, 30 ml, 40 ml dan 50 ml larutan baku Cr 10 mg/L masing-masing ke dalam labu ukur 100 ml.
 - 2) Tambahkan larutan pengencer sampai tepat tanda tera sehingga diperoleh konsentrasi logam besi 0,0 mg/L, 0,2 mg/L, 0,5 mg/L, 1,0 mg/L, 2,0 mg/L, 3,0 mg/L, 4,0 mg/L dan 5,0 mg/L.
- g) Prosedur dan pembuatan kurva kalibrasi
 - 1) Optimalkan alat SSA sesuai petunjuk penggunaan alat.
 - 2) Ukur masing-masing larutan kerja yang telah dibuat pada panjang gelombang 357,9 nm.
 - 3) Buat kurva kalibrasi untuk mendapatkan persamaan garis regresi.
 - 4) Lanjutkan dengan pengukuran contoh uji yang sudah dipersiapkan.

h) Perhitungan

1) Konsentrasi logam krom total

$$\text{Cr (mg/L)} = C \times f_p$$

Keterangan:

C = konsentrasi yang didapat hasil pengukuran (mg/L).

Fp = faktor pengenceran

2) Persen temu balik (% *recovery*, %)

$$\%R = \frac{A - B \times 100 \%}{C}$$

Keterangan :

A = kadar contoh uji yang di *spike*

B = kadar contoh uji yang tidak di *spike*

C = kadar standar yang diperoleh (*target value*).

2. Pemeriksaan kadar COD

a) Alat dan bahan

- 1) Sampel pre limbah cair penyamakan kulit
- 2) Sampel post limbah cair penyamakan kulit.
- 3) Kristal HgSO_4
- 4) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25 N
- 5) Aquades
- 6) Indikator Feroin
- 7) Ferro Amonium Sulfat 0,1 N
- 8) Sediakan 4 tabung reaksi (bertutup ulir), salah satu tabung diisi 2 ml aquadest (sebagai blanko), tabung

lainnya diisi 2 ml sampel pre limbah cair penyamakan kulit dan tabung lainnya diisi 2 ml sampel post pengolan limbah cair penyamakan kulit. Masing-masing ditambah 1 sepucuk sendok Kristal HgSO_4 3 ml HgSO_4 pro COD dan 1 ml $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,25 N, dicampur merata dan tutup tabung. Memansakan dalam COD reaktoreactora 2 jam.

- b) Mendinginkan sampel sampai suhu kamar, larutan dipindahkan ke dalam labu erlemeyer 100 ml secara kuantitatif (tabung dibilas dengan sedikit aquadest, air bilasan jadikan satu dalam labu erlemeyer).
- c) Tambahkan 1 tetes indikator ferroin, selanjutnya dititrasi dengan ferro ammonium sulfat 0,1 N sampai warna coklat kemerahan. Mencatat ml ferro ammonium sulfat 0,1 N yang dibutuhkan untuk blanko dan untuk sampel.

3) Perhitungan

$$\text{COD} = \frac{1000}{2} \times (\text{ml titrasi blanko} - \text{ml titrasi sampel}) \times 0,1$$

$$\times \text{Faktor FAS} \times 8.$$

H. Analisis Data

1. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif komperatif yang digunakan untuk mencari persentase penurunan kadar Cr sebelum dan sesudah perlakuan dan penurunan kadar

COD sebelum dan sesudah perlakuan. Data disajikan dalam bentuk tabel. Untuk mengetahui persentase penurunan kadar Cr dan COD pada masing-masing variasi tegangan listrik. Analisis deskriptif dilakukan untuk menggambarkan tegangan yang efektif dalam penurunan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit. Tegangan yang efektif adalah tegangan yang menghasilkan penurunan kadar Cr dan COD paling besar dengan volt yang paling kecil dan dapat menurunkan dibawah Nilai Ambang Batas (NAB).

2. Analisis analitik

- a. Data yang diperoleh diuji normalitas data menggunakan *Saphiro Wilk*
- b. Data penurunan kadar Cr dan COD berdistribusi normal, kemudian diuji menggunakan uji statistik *One Way Anava* untuk mengetahui perbedaan penurunan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit pada masing-masing tegangan listrik dan uji *Regresi Linier* untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan listrik terhadap persentase penurunan kadar Cr dan COD Limbah Penyamakan Kulit.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Penelitian

Pengolahan limbah cair di PT. Adi Satria Abadi terbagi menjadi 2 yaitu pengolahan limbah cair non krom dan pengolahan limbah cair krom. Limbah cair *non*-krom berasal dari proses produksi penyamakan kulit tanpa menggunakan krom. Kegiatan yang paling mendominasi dalam produksi limbah cair di PT. Adi Satria Abadi adalah kegiatan pada proses basah yaitu proses tanning non-krom, proses *dyieng non*-krom , serta air sisa pencucian pada drum dan air bilasan pada saat pembersihan drum. Limbah cair krom berasal dari tempat yang sama, namun dalam proses basah menggunakan bahan tambahan bahan kimia berupa krom.

Tahapan proses pengolahan limbah cair *non*-krom dan limbah cair krom:

1. Pengolahan limbah cair non-krom

a. Saringan kasar dan saringan halus

Pengolahan air limbah dari proses penyamakan sebelum menuju instalasi pengolahan air limbah disaring terlebih dahulu menggunakan saringan kasar dan saringan halus. Saringan ini bertujuan untuk menyaring, memisahkan, mengambil sisa-sisa kulit berukuran besar maupun kecil yang ikut dalam aliran limbah.

b. Bak equalisasi

Setelah air limbah melewati proses penyaringan, tahap selanjutnya adalah air masuk ke dalam bak equalisasi yaitu dimana air dari proses penyamakan tanpa kandungan krom ini terkumpul jadi satu pada bak tersebut. Bak equalisasi dengan volume bak sebesar $162,3 \text{ m}^3$ ini berfungsi sebagai bak penampung sementara serta sebagai tempat menghomogenkan air limbah dari berbagai unit proses penyamakan menggunakan *mixer* yang terdapat pada bak equalisasi berjumlah 2 buah dengan intensitas waktu yang dibutuhkan untuk memutar mixer ini adalah selama ± 8 jam.

c. *Grit chamber*

Air limbah yang ada di bak equalisasi dipompa menuju bak *Grit Chamber* berukuran 0,1 mm dan bekerja secara otomatis. *Grit chamber* ini berfungsi untuk memisahkan limbah padat yang masih dapat lolos dalam aliran limbah cair pada bak equalisasi melalui dua pipa *output*. Selanjutnya, air limbah yang sudah melalui proses pemisahan tersebut dialirkan melalui pipa *output* yang terpasang terpisah, pipa yang pertama mengalirkan limbah padat yang masih lolos pada aliran limbah ke dalam drum khusus, sedangkan pipa yang kedua mengalirkan air limbah yang sudah melewati proses pemisahan tersebut menuju bak penampung sementara.

d. Bak penampung

Air limbah dari proses pemisahan *Grit Chamber* dialirkan menuju bak penampungan sementara. Bak penampungan sementara berfungsi untuk menjaga pH air limbah agar tetap konstan. Selain itu, bak ini juga berfungsi untuk menjaga debit air limbah yang dialirkan ke bak koagulasi.

e. Bak koagulasi

Pada bak koagulasi terdapat 2 bak yaitu, bak untuk menambah bahan koagulan serta menampung air limbah dari bak penampungan sementara dan bak pengaduk menggunakan *mixer* dengan putaran cepat yang berguna untuk membuat partikel atau material kecil pada air limbah. Antara bak penampungan sementara dengan bak koagulasi terdapat perbedaan ketinggian yang cukup signifikan, untuk dapat mengalirkan air limbah ke bak koagulasi maka dibutuhkan mesin pompa untuk memompa air naik ke bak koagulasi. Pada bak koagulasi pertama, terdapat kegiatan penambahan bahan koagulan berupa *Best Chem WT ASA 100* dengan dosis larutan 15% dalam drum berukuran 200 L yang dialirkan menggunakan stop kran pada drum.

c. Bak flokulasi

Setelah air limbah melalui bak koagulasi, maka air limbah dialirkan menuju bak flokulasi. Pada bak ini, air limbah diharapkan dapat membentuk flok-flok dengan bantuan penambahan bahan flokulan berupa *Best Chem Flok 2.059* pada 2 buah drum masing-

masing dengan dosis 0,1 kg bubuk dalam larutan air 200 L. Air limbah yang telah diberi bahan flokulan tersebut diaduk dengan *mixer* dengan putaran pengadukan lambat.

d. Bak sedimentasi awal

Bak sedimentasi terdiri atas dua buah bak berbentuk tabung dengan volume masing-masing bak sebesar 17,5 m³. Seperti yang sudah dijelaskan pada bak flokulasi, flok-flok yang terbentuk pada bak sedimentasi awal melalui pipa vertikal. Air limbah yang terdapat flok-flok ini kemudian mengendap pada bagian dasar bak.

Endapan dibuang dan ditampung pada bak penampung lumpur sementara, sedangkan air limbahnya dialirkan menuju bak penampung melalui pipa. Waktu pembuangan lumpur dilaksanakan setiap 2 jam sekali. Endapan lumpur yang sudah ditampung pada bak penampung lumpur sementara, lalu dialirkan menuju bak pengering untuk dilakukan proses pengolahan lumpur tahap selanjutnya.

e. Bak penampung

Tahap selanjutnya setelah terjadi pemisahan endapan lumpur dengan air limbah, maka pada bak ini air limbah dari bak sedimentasi awal tertampung pada bak penampung. Bak ini tidak terdapat proses penambahan bahan kimia maupun biologi. Pada bak ini, air yang dialirkan menjadi tempat untuk menampung air limbah sebelum menuju bak aerasi. Fungsi dari bak ini adalah sebagai bak pengatur debit air limbah yang diproses secara biologi.

Penggunaan air proses produksi setiap harinya tidak sama, maka berpengaruh juga pada bak penampung. Penggunaan air proses produksi banyak, maka volume air limbah bak penampung banyak juga. Namun, jika volume air limbah yang masuk melebihi kapasitas, maka dapat terjadi *overload* sehingga air limbah dapat tumpah ke permukaan dan tidak mengikuti pengolahan selanjutnya.

f. Bak aerasi

Pada bak aerasi terdiri atas empat bak yang memiliki fungsi yang sama satu dengan yang lainnya, dengan volume per bak 65,3 m³ dengan debit air sebesar 5.409 L/jam. Air limbah yang telah ditampung pada bak penampung kemudian dialirkan menuju bak aerasi, dimana air limbah dihembuskan oleh udara yang keluar melalui aerator pada bak aerasi. Fungsi penghembusan udara ini bertujuan untuk membantu mikroorganisme dalam menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah. Kegiatan tersebut berlangsung selama ± 8 jam per harinya, atau sesuai dengan jam produksi industri.

Dalam bak ini, juga terjadi kegiatan penambahan bahan organik berupa tanah liat, kotoran sapi dan bekatul. Penambahan bahan organik ini bertujuan untuk mendegradasi senyawa organik dan anorganik dan sebagai media pertumbuhan bakteri. Sedangkan untuk mikroorganisme yang digunakan adalah mikroorganisme yang tahan dengan air limbah penyamakan kulit dan bersifat aerob. Mikroorganisme yang ada dalam bak aerasi tumbuh dan kembang

karena adanya udara dan kebutuhan makanan dari limbah yang cukup.

Kegiatan mikroorganisme inilah yang akhirnya menghasilkan endapan lumpur yang mengandung bakteri. Endapan lumpur ini diendapkan dalam bak sedimentasi dan diaktifkan kembali. Pengaktifan mikroorganisme dilakukan dengan penghembusan udara bertekanan dalam drum pembibitan bakteri. Mikroorganisme yang telah diaktifkan kembali dialirkan menuju bak aerasi dan melakukan fungsi sebagai pengurai.

g. Bak sedimentasi akhir

Endapan lumpur dan air limbah dari proses pengolahan bak aerasi selanjutnya masuk pada bak sedimentasi akhir. Bak sedimentasi akhir terdiri atas dua bak berbentuk persegi panjang dengan bagian bawah berbentuk kerucut. Endapan lumpur dan air limbah berasal dari bak aerasi dialirkan menggunakan pipa PVC yang terpasang pada bagian tengah bak sedimentasi.

Endapan lumpur yang mengendap pada dasar bak sedimentasi dan bakteri yang terkandung dalam bak sedimentasi terus aktif, sedangkan bakteri yang telah mati kemudian naik ke permukaan. Endapan lumpur yang mengandung bakteri aktif inilah kemudian dikembalikan lagi ke bak aerasi dan ikut pengolahan kembali seperti sebelumnya. Sementara endapan lumpur yang

mengandung bakteri mati dialirkan menuju bak pengering, dan untuk air limbah yang dihasilkan dialirkan menuju bak adsorpsi.

Bak sedimentasi terdapat beberapa jenis ikan yang dibiarkan hidup seperti ikan mas dan ikan patin. Ikan-ikan ini dijadikan sebagai indikator bahwa setelah ikan dimasukkan dalam air limbah, ikan masih dapat bertahan hidup dan berkembangbiak walaupun air limbah telah diberikan beberapa bahan kimia.

h. Bak adsorpsi

Bak adsorpsi terdiri atas enam bak meliputi 2 bak bervolume $6,3 \text{ m}^3$, 2 bak bervolume 6 m^3 dan bak bervolume $4,8 \text{ m}^3$. Bak adsorpsi ini terjadi proses penyerapan polutan air limbah oleh bahan aktif. Bahan aktif yang ada diletakkan pada drum, sehingga disebut sebagai media bio filter. Media bio filter ini terdiri atas tiga buah drum yang masing-masing terdapat isi yang berbeda-beda. Pada drum pertama berisi air tampungan dari bak sedimentasi akhir, drum kedua berisi media filter berupa kerikil; batu besar; pasir dan sekam yang disusun urut dari bawah ke atas dengan pembatas kain saring pada setiap jenis filter, serta drum terakhir berisi arang dari kayu.

Fungsi dari kerikil, batu besar, pasir dan sekam ini adalah sebagai filter membrane untuk menahan partikel-partikel yang ikut mengalir dalam limbah cair sehingga tidak lolos pada bak selanjutnya. Sedangkan arang kayu bertujuan untuk

menghilangkan atau menyerap bau yang terkandung dalam limbah cair. Setelah air melalui proses pengolahan pada bak sedimentasi akhir, kemudian mengalir melewati media bio-filter tersebut sebelum menuju bak adsorpsi. Air limbah mengalir dari bak satu menuju bak lainnya membentuk aliran zig-zag. Setelah melewati semua bak adsorpsi, air keluar melewati pipa yang telah diberi debit meter menuju bak output.

i. *Bak output*

Air yang keluar dari pipa outlet difiltrasi menggunakan bebatuan berukuran sedang. Air mengalir menuju bak kumbangan kecil dahulu, lalu sebagian air mengalir ke kolam *effluen* dan sisanya langsung dialirkan menuju badan air.

j. *Bak pengering*

Bak pengering pengolahan limbah berjumlah 7 bak pengering. Dalam penggunaannya, tidak semua bak digunakan semuanya pada setiap produksi. Penggunaan bak selalu menyisakan 1-2 bak kosong untuk proses selanjutnya. Sumber lumpur yang dikeringkan berasal dari bak sedimentasi awal dan akhir. Waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan minimal 7 hari dan satu bak pengering membutuhkan waktu 2 hari untuk penuh. Pengurasan bak pengering dilakukan satu kali dalam seminggu dengan jumlah bak yang dikuras 1-2 bak per minggunya. Pada bak pengering lumpur air terpisah, dimana air berada di bagian atas.

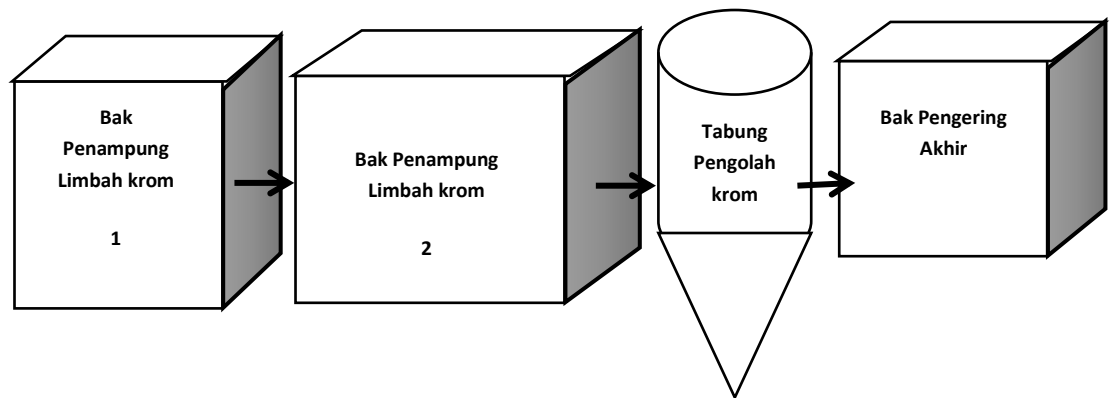
Air yang dihasilkan disedot dan dialirkan menuju bak pengolahan krom.

2. Pengolahan Limbah Cair Krom

Pengolahan limbah krom di PT. Adi Satria Abadi dilakukan secara terpisah antara limbah yang mengandung krom dengan yang tidak mengandung krom. Limbah krom yang berasal dari proses *tanning* dan *retanning* disalurkan ke selokan khusus limbah krom menuju bak limbah krom melewati bak kontrol. Setelah limbah krom ditampung dalam bak limbah krom kemudian disalurkan menuju bak penampung sementara. Dari bak penampung sementara, limbah krom tersebut dipompa menuju tabung khusus pengolah limbah krom oleh operator instalasi pengolahan air limbah. Setelah tabung terisi penuh oleh limbah krom, maka air limbah krom diaduk menggunakan mixer yang sudah terpasang dalam tabung.

Pada proses pengolahan limbah krom, terdapat penambahan bahan kimia berupa *caustic* soda dengan dosis 0,003 gram per liter dan *flokulan* dengan dosis 0,005 gram per liter, kemudian diaduk kembali selama 15 menit. Setelah proses pengadukan, kemudian didiamkan ± 30 menit sampai terbentuk endapan sehingga terjadi pemisahan antara air limbah dan endapan. Air limbah tersebut selanjutnya dialirkan melalui saluran dengan dipompa masuk dalam bak equalisasi limbah non-krom. Sementara endapannya, didiamkan selama ± 5 hari dalam bak pengering. Apabila endapan telah terbentuk lumpur (*pulp*),

dimasukkan ke dalam karung (25 kg) kemudian disimpan pada TPS limbah B3 yang telah disediakan.



Gambar 3. Alur Proses Pengolahan Limbah krom

B. Hasil

Penelitian ini dilakukan menurunkan Cr dan COD limbah penyamakan kulit menggunakan metode elektrolisis dengan variasi tegangan listrik. Metode elektrolisis prinsip proses kerja yang terjadi seperti teori *double layer* yaitu. Pada teori *double layer* lingkaran terdalam diisi oleh koagulan bermuatan positif dan menyerap ion-ion negatif yang terdapat pada lingkaran lebih luar, karena adanya muatan positif dan negatif bertemu terjadi gaya tarik menarik antara ion positif dan ion negatif sehingga terjadi ikatan yang sangat kuat antar ion-ion tersebut, kemudian membentuk koagulan. Koagulan-koagulan tersebut membentuk flok yang akhirnya menurunkan senyawa organik dan logam yang ada dalam limbah. Ion-ion logam yang terdapat pada limbah seperti logam berat teradsorpsi oleh koagulan dan terbentuk flok yang membantu menurunkan parameter logam berat (Asmadi dan Suharno, 2012).

Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari bak equalisasi limbah cair penyamakan kulit sebelum dilakukan pengolahan. Pengambilan sampel menggunakan metode *grab sampling*. Limbah cair yang telah diambil kemudian dimasukkan kedalam bak ekualisasi. Air limbah dari bak ekualisasi dialirkan ke bak elektrolisis dengan masa tinggal 1 jam.

Berdasarkan penelitian yang dilaksanakan, hasil laboratorium diperoleh penurunan kadar Cr dan COD sebagai berikut:

Tabel 2. Persentase Penurunan Kadar Cr Menggunakan Metode Elektrolisis dengan Variasi 15 Volt Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Pengulangan	Kadar Cr (mg/L)		Selisih (mg/L)	(%)
	Pre	Post		
1	17,7	9,6	8,1	45,7
2	14,4	11,2	3,2	22,2
3	10	8	2	20
4	20,1	17,6	2,5	12,4
5	12,1	13	-0,9	-7,4
Jumlah	74,3	59,4	14,9	93,3
Rata-rata	14,8	11,8	2,9	18,66

Tabel 2 menunjukkan terdapat perbedaan rata-rata kadar Cr sebelum dan sesudah perlakuan. Pengolahan limbah penyamakan kulit menggunakan elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 15 Volt terjadi penurunan kadar rata-rata dari 14,8 mg/L menjadi 11,8 mg/L sehingga penurunan rata-rata kadar Cr 2,9 mg/L atau 18,66%. Persentase penurunan kadar Cr tertinggi pada pengulangan ke-1 yaitu 45,7 % dan persentase penurunan terendah pada pengulangan ke-5 yaitu -7,4 % atau terjadi kenaikan sebesar 7,36%.

Kadar rata-rata Cr setelah perlakuan dengan elektrolisis menggunakan tegangan listrik 15 volt belum memenuhi Peraturan Daerah

Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah yaitu Cr sebesar 0,5 mg/L.

Tabel 3. Persentase Penurunan Kadar Cr Menggunakan Metode Elektrolisis dengan Variasi 20 Volt Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Pengulangan	Kadar Cr (mg/L)		Selisih (mg/L)	(%)
	Pre	Post		
1	17,7	3,2	14,5	81,9
2	14,4	4,5	9,9	68,7
3	10	6,1	3,9	39
4	20,1	11	9,1	45,2
5	12,1	8	4,1	33
Jumlah	74,3	32,8	41,5	267,8
Rata-rata	14,8	6,5	8,3	53,5

Tabel 3 menunjukkan terdapat perbedaan rata-rata kadar Cr sebelum dan sesudah perlakuan. Pengolahan limbah penyamakan kulit menggunakan elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 20 Volt terjadi penurunan kadar rata-rata dari 14,8 mg/L menjadi 6,5 mg/L sehingga penurunan rata-rata kadar Cr 8,3 mg/L atau 53,5%. Persentase penurunan kadar Cr tertinggi pada pengulangan ke-1 yaitu 81,9 % dan persentase penurunan terendah pada pengulangan ke-5 yaitu 33 %.

Kadar rata-rata Cr setelah perlakuan dengan elektrolisis menggunakan tegangan listrik 20 volt belum memenuhi Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah yaitu Cr sebesar 0,5 mg/L.

Tabel 4. Persentase Penurunan Kadar Cr Menggunakan Metode Elektrolisis dengan Variasi 25 Volt Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Pengulangan	Kadar Cr (mg/L)		Selisih (mg/L)	(%)
	Pre	Post		
1	17,7	0,02	17,6	99,8

2	14,4	0,2	14,2	98,6
3	10	0,4	9,6	96
4	20,1	4	16,1	80
5	12,1	3,1	9	74
Jumlah	74,3	7.7	66,5	448,4
Rata-rata	14,8	1,5	13,2	89,6

Tabel 4 menunjukkan terdapat perbedaan rata-rata kadar Cr sebelum dan sesudah perlakuan. Pengolahan limbah penyamakan kulit menggunakan elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 25 Volt terjadi penurunan kadar rata-rata dari 14,8 mg/L menjadi 1,5 mg/L sehingga penurunan rata-rata kadar Cr 13,2 mg/L atau 89,6%. Persentase penurunan kadar Cr tertinggi pada pengulangan ke-1 yaitu 99,8% dan persentase penurunan terendah pada pengulangan ke-5 yaitu 74%.

Pada proses pengulangan ke-1, ke-2, dan ke-3 kadar Cr sudah memenuhi baku mutu. Kadar rata-rata Cr setelah perlakuan dengan elektrolisis menggunakan tegangan listrik 25 volt belum memenuhi Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah yaitu Cr sebesar 0,5 mg/L.

Tabel 5. Persentase Penurunan Kadar COD Menggunakan Metode Elektrolisis dengan Variasi 15 Volt Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Pengulangan	Kadar COD (mg/L)		Selisih (mg/L)	(%)
	Pre	Post		
1	1.506,5	1.052,1	454.4	30,1
2	838,8	614,3	224.5	26,7
3	542,1	418,1	124	22,8
4	531,8	501,4	30.4	5,7
5	308,1	300,1	8	2,5
Jumlah	3.727,3	2886	841.3	87,8
Rata-rata	745,46	577,2	168,26	17,56

Tabel 5 menunjukkan terdapat perbedaan rata-rata kadar COD sebelum dan sesudah perlakuan. Pengolahan limbah penyamakan kulit menggunakan elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 15 Volt terjadi penurunan kadar rata-rata dari 745,46 mg/L menjadi 577,2 mg/L sehingga penurunan rata-rata kadar COD 168,26 mg/L atau 17,56%. Persentase penurunan kadar COD tertinggi pada penggulangan ke-1 yaitu 30,1% dan persentase penurunan terendah pada penggulangan ke-5 yaitu 18,66%.

Kadar rata-rata COD setelah perlakuan dengan elektrolisis menggunakan tegangan listrik 15 volt belum memenuhi Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah pada industri penyamakan kulit yaitu COD sebesar 110 mg/L.

Tabel 6. Persentase Penurunan Kadar COD Menggunakan Metode Elektrolisis dengan Variasi 20 Volt Sebelum dan Sesudah Perlakuan.

Penggulangan	Kadar COD (mg/L)		Selisih (mg/L)	(%)
	Pre	Post		
1	1.506,5	874	632,5	41,9
2	838,8	637	201,8	24
3	542,1	411,3	130,8	24,1
4	531,8	451,1	80,7	15,1
5	308,1	359	-50,9	-16,5
Jumlah	3.727,3	2732,4	994,9	88,6
Rata-rata	745,4	546,48	198,98	17,72

Tabel 6 menunjukkan terdapat perbedaan rata-rata kadar COD sebelum dan sesudah perlakuan. Pengolahan limbah penyamakan kulit menggunakan elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 20 Volt terjadi penurunan kadar rata-rata dari 745,46 mg/L menjadi 546,4 mg/L sehingga penurunan rata-rata kadar COD 198,98 mg/L atau 17,72 %. Persentase

penurunan kadar COD tertinggi pada pengulangan ke-1 yaitu 41,9 % dan persentase penurunan terendah pada pengulangan ke-5 yaitu -16,5% atau terjadi kenaikan sebesar 16,5%.

Kadar rata-rata COD setelah perlakuan dengan elektrolisis menggunakan tegangan listrik 20 volt belum memenuhi Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah pada industri penyamakan kulit yaitu COD sebesar 110 mg/L.

Tabel 7. Persentase Penurunan Kadar COD Menggunakan Metode Elektrolisis dengan Variasi 25 Volt Sebelum dan Sesudah Perlakuan

Pengulangan	Kadar COD (mg/L)		Selisih (mg/L)	(%)
	Pre	Post		
1	1.506,5	538	968,5	64,2
2	838,8	573,4	365,4	43,5
3	542,1	315	227,1	41,8
4	531,8	431,4	100,4	18,8
5	308,1	253,1	55	17,8
Jumlah	3.727,3	2010,9	1716,4	186,1
Rata-rata	745,46	402,18	343,28	37,22

Tabel 7 menunjukkan terdapat perbedaan rata-rata kadar COD sebelum dan sesudah perlakuan. Pengolahan limbah penyamakan kulit menggunakan elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 25 Volt terjadi penurunan kadar rata-rata dari 745,46 mg/L menjadi 402,18 mg/L sehingga penurunan rata-rata kadar COD 343,28 mg/L atau 37,22 %. Persentase penurunan kadar COD tertinggi pada pengulangan ke-1 yaitu 64,2 % dan persentase penurunan terendah pada pengulangan ke-5 yaitu 17,8 %. Kadar rata-rata COD setelah perlakuan dengan elektrolisis menggunakan tegangan listrik 25 volt belum memenuhi Peraturan Daerah Daerah Istimewa

Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah pada industri penyamakan kulit yaitu COD sebesar 110 mg/L.

Data yang akan diuji normalitasnya adalah persentase penurunan kadar Cr dan COD setiap kelompok perlakuan variasi tegangan listrik dilakukan uji normalitas data menggunakan *Shapiro Wilk* yang dapat disajikan dalam tabel berikut ini :

Tabel 8. Rangkuman Hasil Normalitas Data

Variabel	P-Value	Keterangan
Cr tegangan 15 Volt	0,868	Normal
Cr tegangan 20 Volt	0,444	Normal
Cr tegangan 25 Volt	0,148	Normal
COD tegangan 15 Volt	0,236	Normal
COD tegangan 20 Volt	0,478	Normal
COD tegangan 25 Volt	0,410	Normal

Berdasarkan Tabel 8 Hasil uji normalitas pada data yang telah diperoleh dinyatakan berdistribusi normal, karena nilai *p-value* untuk masing-masing kelompok $> 0,05$ sehingga dilakukan uji parametrik. Pengujian menggunakan *One Way Anava*. Uji *One Way Anava* menggunakan tingkat kepercayaan 95% dan taraf signifikan 5%. Data yang di uji hipotesis adalah persentase penurunan kadar Cr dan Persentase kadar COD limbah penyamakan kulit.

Uji *One Way Anava* untuk mengetahui beda kadar Cr antar variasi tegangan listrik dan beda kadar COD antar variasi tegangan listrik. Hasil uji *One Way Anava* pada kadar Cr didapatkan angka Sig. 0,000 dimana hasil tersebut $< 0,05$ yang berarti H_0 ditolak dan H_a diterima, artinya terdapat perbedaan penurunan kadar Cr dengan adanya perlakuan metode

elektrolisis dengan variasi tegangan listrik. Hasil uji *One Way Anava* pada kadar COD didapatkan angka Sig. 0,188 yang berarti $>0,05$ yang berarti H_0 diterima dan H_a ditolak artinya tidak ada perbedaan penurunan kadar COD dengan adanya perlakuan metode elektrolisis dengan variasi tegangan listrik.

Uji *Regresi Linier* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh setiap variasi tegangan terhadap persentase penurunan kadar Cr dan COD. Data yang diperoleh disajikan dalam tabel berikut ini :

Tabel 9. Rangkuman Uji *Regresi Linier*

Variabel	Sig.	Keterangan
Cr tegangan 15 Volt	0,571	Tidak ada pengaruh
Cr tegangan 20 Volt	0,435	Tidak ada pengaruh
Cr tegangan 25 Volt	0,911	Tidak ada pengaruh
COD tegangan 15 Volt	0,015	Tidak ada pengaruh
COD tegangan 20 Volt	0,35	Tidak ada pengaruh
COD tegangan 25 Volt	0,81	Tidak ada pengaruh

Berdasarkan Tabel 9 Hasil uji *Regresi Linier* pada data yang telah diperoleh didapatkan nilai signifikansi $> 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi tegangan listrik tidak berpengaruh terhadap persentase penurunan kadar Cr dan COD limbah penyamakan kulit.

C. Pembahasan

1. Kadar krom (Cr)

Kadar krom (Cr) pada limbah penyamakan kulit berasal dari proses penyamakan menggunakan senyawa kromium sulfat antara 60-70% dalam bentuk larutan kromium sulfat. Pengolahan dilakukan menggunakan metode elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 15 volt, 20 volt dan 25

volt. Pada proses elektrolisis menggunakan elektroda alumunium. Jenis elektroda berpengaruh terhadap proses elektrolisis, karena kation yang dilepaskan oleh elektroda tersebut bereaksi dengan polutan dalam air. Penelitian ini menggunakan elektroda alumunium. Logam aluminium lebih reaktif, reduktor kuat daripada logam besi (Ashari dkk, 2015).

Penelitian Fakhrudin dkk (2017) pengolahan limbah elektroplanting menggunakan metode elektrolisis dengan sistem *batch* menggunakan variasi tegangan 6 volt, 9 volt dan 12 volt pada skala laboratorium didapatkan tegangan yang efektif yaitu 12 volt menurunkan Cr sebesar 85,08%. Penelitian lain yang dilakukan oleh Ydhistira dkk (2018), tentang pengolahan limbah cair industri tahu pada skala laboratorium menggunakan sistem *batch* metode elektrolisis dapat menurunkan Cr sebesar 60,63%. Penelitian yang dilakukan menggunakan variasi 15 volt, 20 volt dan 25 volt dan waktu kontak 1 jam dengan sistem alir menggunakan pengaturan debit.

Analisis secara deskriptif pada Tabel 2, 3, 4 selisih kadar Cr pada variasi tegangan 15 volt, 20 volt dan 25 volt menunjukkan adanya penurunan konsentrasi Cr setelah dilakukan proses pengolahan limbah penyamakan kulit menggunakan metode elektrolisis. perbedaan rata-rata kadar Cr tegangan 15 volt diperoleh persentase penurunan sebesar 5,2 %, sehingga terdapat penurunan rata-rata dari 14 mg/L menjadi 11 mg/L. Perbedaan rata-rata kadar Cr tegangan listrik 20 volt diperoleh persentase 53,2 %, sehingga terdapat penurunan rata-rata kadar Cr dari 14,8 mg/L

menjadi 6,5 mg/L. Perbedaan rata-rata kadar Cr tegangan 25 volt diperoleh persentase penurunan sebesar 89,6% sehingga terdapat penurunana kadar rata-rata dari 14,8 mg/L menjadi 1,5 mg/L. Penurunan konsentrasi Cr yang dihasilkan dari variasi tegangan 15 volt dan 20 volt belum memenuhi standar baku mutu limbah cair industri penyamakan kulit yang ditetapkan Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah pada industri penyamakan kulit yaitu Cr sebesar 0,5 mg/L. Pengolahan menggunakan tegangan listrik 25 volt pada pengulangan ke-1, ke-2 dan ke-3 kadar Cr yang dihasilkan sesuai dengan baku mutu. Terjadi kenaikan kadar Cr lagi pada pengulangan ke-4 dan ke-5 hal ini sejalan dengan penelitian Yudhistira dkk (2018) pengolahan limbah elektroplating menggunakan metode elektrolisis bahwa pada pengulangan ke-4 terjadi kenaikan kadar krom setelah perlakuan. Hal ini dapat dikarenakan lempeng elektroda yang mengalami kejenuhan sesuai dengan penelitian Hamid dkk (2018) menyatakan ketika tegangan diberikan ke dalam larutan terus menerus akan menghasilkan jumlah Al^{3+} dari elektroda yang terbentuk semakin bertambah sehingga jumlah flok $Al(OH)_3$ pun juga bertambah. Jumlah flok yang terlalu banyak menyebabkan kejenuhan pada plat elektroda, sehingga kemampuan elektroda untuk menarik ion-ion kromium dalam limbah berkurang. Dampak dari kondisi ini menyebabkan penurunan medan magnet.

Analisis dengan menggunakan *One Way Anava* pada setiap variasi tegangan listrik 15 volt, 20 volt dan 25 volt terdapat beda kadar Cr yang

dihasilkan. Secara deskriptif penurunan persentase rata-rata tertinggi untuk menurunkan kadar Cr terdapat pada variasi tegangan listrik 25 volt dengan persentase penurunan 89,6%. Semakin tinggi tegangan mempengaruhi kuat arus yang dihasilkan. Semakin tinggi kuat arus maka semakin banyak flok yang menempel pada elektroda sehingga menurunkan kadar logam didalam air limbah (Fakhrudin dkk, 2017).

Apabila voltase atau tegangan diperbesar maka reaksi reduksi dan oksidasi (redoks) yang terjadi didalam reaktor elektrolisis tersebut semakin cepat terjadi. Semakin cepat reaksi redoks maka jumlah senyawa organik yang teroksidasi juga semakin banyak. voltase merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi proses elektrolisis (Klamklang dkk, 2012).

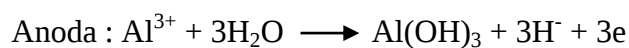
Konsentrasi kadar Cr yang dihasilkan menunjukkan hasil yang fluktuatif (naik turun). Hal ini disebabkan karena terjadi kejenuhan pada lempeng elektroda dan mengurangi kemampuan elektroda dalam menarik ion-ion Cr dalam limbah penyamakan kulit sehingga terjadi kenaikan kadar Cr. Menurut Wahyulis dkk (2014) kenaikan konsentrasi Cr dalam filtrat dikarenakan terjadi kejenuhan pada plat elektroda yang digunakan yaitu semua permukaan plat elektroda tertutup oleh flok yang terbentuk, sehingga sudah berkurang kemampuannya untuk menarik logam Cr dalam limbah, dampaknya menyebabkan terjadinya penurunan besarnya kuat medan. Selain itu, pencucian pada elektroda yang kurang bersih juga mempengaruhi kemampuan elektroda untuk menarik logam Cr.

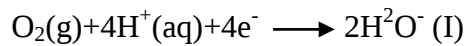
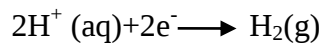
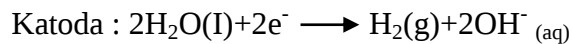
Penelitian ini menggunakan pengulangan sebanyak 5 kali, yang setiap kali pengulangan dilakukan pencucian ulang pada elektroda alumunium dan bak elektrolisis. Pencucian yang kurang bersih dapat menyebabkan kenaikan Cr.

Proses pencucian alumunium pada penelitian ini dilakukan dengan penyemprotan dan menggunakan sikat yang lembut. Menurut penelitian (Hamid dkk, 2017) pencucian plat yang digunakan dalam elektrolisis harus dibersihkan, dicuci dan dikeringkan serta dipreparasi terlebih dahulu. Tujuan dari preparasi ini adalah untuk menghilangkan kontaminasi logam dan bahan organik yang menempel pada elektroda tersebut. Proses preparasi dengan cara merendam elektroda karbon direndam kedalam larutan HCL 1 M selama satu hari kemudian dibilas dengan menggunakan aquades. Setelah itu elektroda direndam kembali ke dalam larutan NaOH 1M selama 1 hari kemudian dilakukan pembilasan dengan menggunakan aquades. Elektroda direndam dalam larutan aquades hingga saat digunakan sebagai katoda dan anoda.

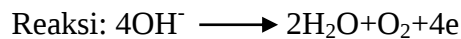
Proses elektrolisis dilakukan selama 1 jam. Proses yang terjadi yaitu reaksi reduksi oksidasi, dimana *filtrat* hasil hidrolisis yang mengandung logam Cr direduksi dan diendapkan di kutub negatif (katoda) sedangkan elektroda positif (anoda) teroksidasi menjadi Al(OH)_3 yang berfungsi sebagai koagulan.

Reaksinya sebagai berikut :

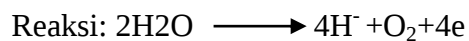




Ion OH⁻ dan basa mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O₂):



Anion-anion lain (SO₄⁻, SO₃⁻) tidak dapat dioksidasi dari larutan, yang mengalami oksidasi adalah pelarutnya (H₂O) membentuk gas oksigen (O₂) pada anoda:



Pada permukaan elektroda positif Al melepaskan elektronnya menjadi Al₃₊ yang mengikat OH⁻ membentuk Al(OH)₃. Pada katoda dihasilkan gas hidrogen dan reaksi ion logamnya. Gas hidrogen yang diakibatkan dari katoda membentuk kontaminan mengapung dan terangkat. Pada anoda dihasilkan gas-gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk. Kelarutan Al(OH)₃ sangat rendah, jadi pengendapan terjadi dalam bentuk flok. Senyawa yang terbentuk bermuatan positif dapat berinteraksi terhadap kotoran seperti koloid (Asmadi dan Suharno, 2011).

Setelah perlakuan selama 1 jam terlihat bahwa larutan yang semula bening berubah warna menjadi keruh, terdapat endapan dan terdapat partikel-partikel yang mengapung ke permukaan sehingga menurunkan kadar Cr. Menurut Wahyulis (2014) setelah 30 menit perlakuan menggunakan metode elektrolisis terjadi perubahan warna pada air limbah

dan terbentuknya endapan. Perubahan warna tersebut mengindikasikan adanya Cr yang berhasil dipisahkan dari filtrate hasil hidrolisis.

2. Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Limbah penyamakan kulit dilakukan pengolahan menggunakan metode elektrolisis dengan variasi tegangan listrik 15 volt, 20 volt dan 25 volt. Pada proses elektrolisis menggunakan elektroda alumunium. Jenis elektroda berpengaruh terhadap proses elektrolisis, karena kation yang dilepaskan oleh elektroda tersebut bereaksi dengan polutan dalam air. Penelitian ini menggunakan elektroda alumunium. Logam aluminium lebih reaktif, reduktor kuat daripada logam besi (Ashari dkk, 2015).

Penelitian Hamid dkk (2017) Pengolahan dengan metode elektrolisis menggunakan variasi tegangan 6 volt, 9 volt dan 12 volt didapatkan tegangan yang efektif yaitu 12 volt dapat menurunkan COD 55%. Penelitian ini menggunakan variasi 15volt, 20 volt dan 25 volt dan waktu kontak 1 jam dengan sistem alir menggunakan pengaturan debit. Penelitian lain yang dilakukan oleh Suyata (2015), tentang pengolahan limbah cair industri tahu pada skala laboratorium dengan sistem *kontiyu* menggunakan metode elektrolisis dapat menurunkan COD sebesar 96,33%.

Hasil penelitian secara deskriptif berdasarkan Tabel 5, 6, dan 7 persentase penurunan kadar COD elektroda alumunium variasi tegangan 15 volt, 20 volt dan 25 volt menunjukkan adanya penurunan kadar COD setelah dilakukan proses pengolahan limbah penyamakan kulit dengan elektrolisis. Analisis deskriptif perbedaan rata-rata kadar COD tegangan listrik 15 volt

diperoleh persentase penurunan sebesar 17,56% sehingga terdapat penurunan rata-rata 745,46 mg/L menjadi 577,2 mg/L. perbedaan rata-rata nilai COD tegangan listrik 20 volt diperoleh persentase penurunan 17,72 %, sehingga terdapat penurunan rata-rata kadar COD dari 745,46 mg/L menjadi 546,4 mg/L. Perbedaan rata-rata kadar COD tegangan listrik 25 volt diperoleh persentase penurunan 37,22%, sehingga terdapat penurunan rata-rata kadar COD dari 745,46 mg/L menjadi 402,18 mg/L. Penurunan konsentrasi COD yang dihasilkan dari ketiga variasi tegangan listrik belum memenuhi standar baku mutu limbah cair industri penyamakan kulit yang ditetapkan Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah pada industri penyamakan kulit yaitu COD sebesar 110 mg/L.

Analisis menggunakan *One Way Anava* pada setiap variasi tegangan listrik 15 volt, 20 volt dan 25 volt tidak terdapat beda kadar COD yang dihasilkan. Secara deskriptif penurunan persentase rata-rata tertinggi untuk menurunkan kadar COD terdapat pada variasi tegangan listrik 25 volt dengan persentase penurunan 37,22%. Semakin tinggi tegangan mempengaruhi kuat arus yang dihasilkan. Semakin tinggi kuat arus maka semakin banyak flok yang menempel pada elektroda sehingga menurunkan kadar logam didalam air limbah (Fakhrudin dkk, 2017).

Apabila voltase atau tegangan diperbesar maka reaksi reduksi dan oksidasi (redoks) yang terjadi didalam reaktor elektrolisis tersebut semakin cepat terjadi. Semakin cepat reaksi redoks maka jumlah senyawa organik

yang teroksidasi juga semakin banyak. Indikator banyaknya senyawa organik yang teroksidasi adalah semakin besar penurunan nilai konsentrasi COD (Suyata, 2015). Ion alumunium (Al^{3+}) yang keluar dari anoda dan berfungsi sebagai koagulan terlalu banyak/berlebih pada tegangan listrik 25 volt. Kadar COD yang dihasilkan oleh industri penyamakan kulit tinggi sehingga beban yang diterima oleh elektroda semakin besar dan memperlambat reaksi redoks sehingga jumlah senyawa yang teroksidasi juga semakin sedikit.

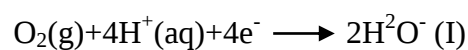
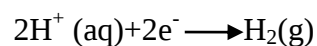
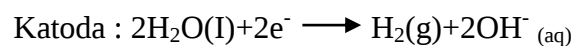
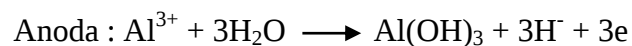
Nilai konsentrasi COD yang dihasilkan menunjukkan hasil yang fluktuatif (naik turun). Hal ini disebabkan karena adanya gejala desorpsi, yaitu proses melepaskan kembali zat organik yang telah diadsorpsi, karena koagulan yang dihasilkan dari reaksi oksidasi reduksi pada proses elektrolisis ini telah mengalami titik jenuh yang diakibatkan zat organik (Suyata, 2015). Penelitian ini menggunakan pengulangan sebanyak 5 kali, yang setiap kali pengulangan dilakukan pencucian ulang pada elektroda alumunium dan bak elektrolisis. Pencucian yang kurang bersih dapat menyebabkan kenaikan COD.

Proses pencucian alumunium pada penelitian ini dilakukan dengan penyemprotan dan menggunakan sikat yang lembut. Menurut penelitian (Hamid dkk, 2017) pencucian plat yang digunakan dalam elektrolisis harus dibersihkan, dicuci dan dikeringkan serta dipreparasi terlebih dahulu. Tujuan dari preparasi ini adalah untuk menghilangkan kontaminasi logam dan bahan organik yang menempel pada elektroda tersebut. Proses preparasi dengan

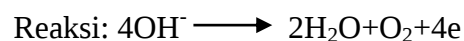
cara merendam elektroda karbon direndam kedalam larutan HCL 1 M selama satu hari kemudian dibilas dengan menggunakan aquades. Setelah itu elektroda direndam kembali ke dalam larutan NaOH 1M selama 1 hari kemudian dilakukan pembilasan dengan menggunakan aquades. Elektroda direndam dalam larutan aquades hingga saat digunakan sebagai katoda dan anoda.

Penurunan kadar COD ini dikarenakan proses oksidasi dan reaksi reduksi dalam bak elektrolisis. Pada elektroda terbentuk gas, gas seperti oksigen dan hidrogen ini mempengaruhi reduksi COD. Berdasarkan teori *double layer*, penurunan COD dikarenakan flok yang terbentuk oleh senyawa ion senyawa organik berikatan dengan ion koagulan yang bersifat positif.

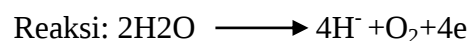
Anoda tersebut dari logam aluminium teroksidasi reaksi :



Ion OH⁻ dan basa mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O₂):



Anion-anion lain (SO₄⁼, SO₃⁼) tidak dapat dioksidasi dari larutan, yang mengalami oksidasi adalah pelarutnya (H₂O) membentuk gas oksigen (O₂) pada anoda:



Pada permukaan elektroda positif Al melepaskan elektronnya menjadi Al_{3+} yang mengikat OH^- membentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$. Reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrolisis, maka pada katoda dihasilkan gas hydrogen dan reaksi ion logamnya. Gas hydrogen yang diakibatkan dari katoda membentuk kontaminan mengapung dan terangkat. Pada anoda dihasilkan gas-gas halogen dan pengendapan flok-flok yang terbentuk. Kelarutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ sangat rendah, jadi pengendapan terjadi dalam bentuk flok. Senyawa yang terbentuk bermuatan positif dapat berinteraksi terhadap kotoran seperti koloid (Asmadi dan Suharno, 2011).

Limbah cair industri penyamakan kulit memiliki kandungan bahan organik yang tinggi, dan polutan seperti sulfat, kromium, tannin sintetik, minyak, dan resin. Keberadaan Cr di ekosistem dapat berdampak negatif bagi kehidupan organisme air. Cr (VI) memiliki sifat toksisitas yang tinggi apabila terserap dalam tubuh makhluk hidup. Bioakumulasi logam krom pada makhluk hidup mempengaruhi kesehatan, efek mutagenik pada bakteri serta efek mutagenik dan karsinogenik pada hewan dan manusia. Dalam kondisi dosis yang tinggi, Cr (VI) dapat menyebabkan kematian (Al Shah, 2010). Tingginya kadar COD pada suatu sungai menyebabkan terganggunya kehidupan biota yang hidup di sungai tersebut. Hal ini dikarenakan kadar oksigen yang rendah sebagai akibat oksigen yang terdapat di sungai tersebut yang dapat mengoksidasi zat-zat organik (Sulhan, 2017).

Perbedaan persentase penurunan dengan penelitian Fakrudin dkk (2017) pengolahan limbah elektroplanting menggunakan tegangan 12 volt menurunkan Cr sebesar 85,08%, sedangkan penelitian yang dilakukan menggunakan variasi tegangan 15 volt dapat menurunkan krom sebesar 18,66%, hal ini dapat terjadi karena penelitian Fakrudin dkk (2017) menggunakan sistem batch sedangkan penelitian ini menggunakan sistem kontiyu dengan adanya pengaturan debit. Hal ini sejalan dengan penelitian Nurdijanto dkk (2011) tentang Rancangan Bangun dan Rekayasa Pengolahan Limbah Cair. Penelitian tersebut membandingkan pengolahan menggunakan sistem *batch* dan sistem kontiyu, didapatkan hasil untuk skala laboratorium lebih efektif penggunaan sistem *batch* sedangkan sistem kontiyu lebih efektif pada pengolahan limbah skala besar. Hal ini sejalan dengan penelitian Prasetyaningrum dan Dharmawan (2018) tentang Aplikasi Teknologi Elektrokoagulasi pada Pengolahan Industri Elektroplanting menggunakan sistem kontiyu dapat menurunkan kadar krom sebesar 26%.

Menurut Febriani (2018) tentang Pengaruh Variasi Waktu terhadap Penurunan Kadar Krom pada Air Limbah Industri Penyamakan Kulit dengan Metode Elektrokoagulasi untuk pengolahan limbah dengan sistem *kontiyu* dapat menurunkan kadar krom sebesar 70,9% pada variasi tegangan 12 volt dengan kuat arus 5 Amphere daya 60 watt dan waktu kontak 210 menit. Hal ini sejalan dengan penelitian Trapsilasiwi (2011) metode elektrokoagulasi secara *kontiyu* dipengaruhi oleh waktu kontak dan kuat

arus, sehingga untuk memperoleh efisiensi penurunan parameter yang tinggi pada sistem kontiyu digunakan waktu kontak yang divariasikan secara meningkat. Hal tersebut digunakan untuk memperlama waktu kontak yang terjadi pada proses elektrokoagulasi dengan sistem kontiyu.

Penelitian ini menggunakan kuat arus 2 A KandunganCr dan COD yang tinggi menyebabkan beban yang diterima oleh elektroda semakin berat. Proses elektrolisis menggunakan kuat arus 2 A, belum menunjukkan penyerapan COD dan Cr, sehingga perlu adanya penambahan kuat arus. Rapat arus berbanding terbalik dengan peningkatan luas penampang elektroda pada penggunaan kuat arus yang sama. Rapat arus yang terjadi pada elektroda dipengaruhi oleh kuat tegangan (beda potensial) dan luas permukaannya. Kuat tegangan berbanding lurus dengan besarnya arus listrik yang mengalir pada elektroda. Arus listrik yang menyebabkan terjadinya reaksi reduksi dan oksidasi pada elektroda sehingga semakin besar arus listrik, semakin banyak pula aluminium hidroksida atau $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan gelembung H_2 yang terbentuk. Semakin tinggi kerapatan arus maka semakin besar laju pelepasan ion Al^{3+} akibat proses oksidasi elektrolisis (Wahyulis dkk, 2014).

Penggunaan variasi tegangan listrik 15 volt, 20 volt dan 25 volt belum menunjukkan perbedaan penurunan kadar COD limbah penyamakan kulit, sehingga perlu adanya penambahan rentang tegangan listrik. Proses elektrolisis pada setiap variasi hampir sama, sehingga proses koagulasi dan adsorpsi yang dihasilkan tidak jauh berbeda. Zat organik yang bereaksi

terhadap koagulan, menyebabkan proses koagulasi dan flokulasi terganggu, selama zat organik berada di air mengakibatkan proses koagulasi semakin sukar tercapai Asmadi dan Suharno (2012).

Menurut Triandarto dan Mardyanto (2015) adanya variasi tegangan dan kuat arus sangat berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi Cr. Hal ini disebabkan karena variasi tegangan dan kuat arus merupakan suplai arus listrik pada proses elektrolisis. Suplai arus listrik tersebut yang kemudian dialirkan menuju elektroda. Semakin tinggi suplai arus yang diberikan, maka semakin besar penurunan Cr. Hal ini disebabkan karena semakin besar suplai arus listrik yang diberikan membuat gaya-gaya listrik yang terjadi pada elektroda semakin banyak. Gaya-gaya tersebut mempercepat terjadinya reaksi kimia yang terjadi pada larutan. Dari hasil penelitian untuk kuat arus 2 Ampere dan variasi tegangan 15 volt, 20 volt dan 25 volt masih mempunyai tingkat efisiensi yang tidak terlalu besar, dan masih dapat ditingkatkan lagi. Untuk itu perlu dilakukan peningkatan kuat arus yang lebih besar.

Hasil kadar Cr dan COD mengalami kenaikan antar antar variasi tegangan listrik dapat disebabkan saat proses pengiriman sampel limbah tidak diperiksa secara langsung ke laboratorium. Pengiriman ke laboratorium dilakukan hari berikutnya, hal ini dapat dikarenakan laboratorium hanya melayani sampai jam 12.00. sampel kimia yang tidak dikirim secara langsung dapat mempengaruhi hasil pemeriksaan apabila lebih dari 12 jam. Berdasarkan SNI 6989.59.2008 tentang Air dan Limbah

pada metode pengambilan contoh air limbah Sampel kimia perlu dilakukan penyimpanan pada lemari asam dan sebelum disimpan dipindahkan pada wadah yang bersih dan diasamkan dengan HCL atau H_2SO_4 pekat untuk mengurangi adsorpsi pada wadah.

Waktu elektrolisis dapat berpengaruh pada proses penurunan konsentrasi Cr dan COD, semakin lama proses elektrolisis maka akan semakin banyak ion-ion yang teroksidasi yang menyebabkan flok-flok menempel pada lempeng elektroda dan terjadinya endapan. Menurut Yudhistira dkk, (2018) semakin lama waktu proses elektrokoagulasi maka penurunan parameter pencemaran semakin baik, ini juga sesuai hukum *faraday* yang menyatakan semakin lama waktu proses maka semakin banyak koagulan yang terbentuk. Koagulan yang terbentuk semakin banyak maka semakin baik penurunan parameter pencemaran. Semakin lama waktu kontak membentuk massa partikel lebih besar dan berat, sehingga mempengaruhi jumlah COD yang ada pada air limbah tersebut. Selain hal tersebut proses elektrolisis dengan waktu yang lama memberikan kesempatan partikel partikel dalam air limbah menempel pada gelembung-gelembung gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis sehingga kualitas air yang diolah semakin baik. Prinsip proses kerja pereduksian TSS secara umum yaitu adanya pertumbuhan massa partikel sehingga berat jenis partikel menjadi besar dan akhirnya mengendap (Hamid dkk, 2017). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Hal ini sesuai dengan pernyataan Hudha, dkk. (2014) yakni pengaruh waktu terhadap TSS secara umum dapat

dilihat bahwa semakin lama waktu elektrolisis % removal TSS dalam air limbah semakin bertambah yang mengindikasikan TSS dalam air limbah semakin berkurang. Semakin lama waktu elektrolisis menyebabkan semakin banyak jumlah gelembung-gelembung udara atau gas yang terbentuk, dimana gelembung-gelembung gas ini menyebabkan partikel-partikel dalam air limbah tersebut menempel atau kontak langsung dengan waktu yang lebih lama, sehingga partikel-partikel dalam air limbah tersebut banyak yang terflotasi ke atas permukaan dan sebagian ada yang mengendap akibat lamanya waktu elektrolisis, sehingga dari hal tersebut kandungan TSS pada air limbah menurun.

Waktu kontak pada proses elektrolisis juga berpengaruh pada kuat arus yang dihasilkan. Semakin lama waktu kontak maka semakin besar arus yang dihasilkan. Semakin besar arus yang dihasilkan maka semakin banyak pembentukan flok-flok pada lempeng elektroda. Berdasarkan penelitian Lestari dan Agung (2014) semakin lama waktu kontak dan semakin besar kuat arus maka penurunan COD juga semakin besar. Hal ini disebabkan proses oksidasi dan reduksi didalam reaktor elektrokoagulasi. Pada elektroda-elektroda terbentuk gas oksigen dan hidrogen yang mempengaruhi reduksi COD. Berdasarkan teori double layer, penurunan COD disebabkan flok yang terbentuk oleh ion senyawa organik berikatan dengan ion koagulan yang bersifat positif. Molekul-molekul pada limbah batik terbentuk menjadi flok, partikel koloid pada limbah bersifat mengikat partikel. Perlakuan selama 1 jam belum efektif menurunkan kadar Cr dan

COD limbah penyamakan kulit sehingga perlu dilakukan penambahan variasi waktu kontak elektrolisis.

B. Faktor Pendukung dan Penghambat

1. Faktor Pendukung

- a. Kemudahan izin melakukan penelitian di industri penyamakan kulit.
- b. Kemudahan dalam mendapatkan alat dan bahan penelitian.

2. Faktor Penghambat

- a. Pengaturan debit yang terlalu kecil sehingga harus hati-hati dan teliti.
- b. Penggunaan adaptor *adjustable* menyebabkan tegangan yang tidak stabil sehingga adaptor terbakar.

3. Keterbatasan penelitian

Pada proses pencucian plat aluminum dan bak pengolahan, flok yang menempel sulit dibersihkan, sehingga pada proses elektrolisis dapat mengalami titik jenuh yang diakibatkan oleh zat organik dan logam yang menempel. Menurut Yudhistira (2018) semakin banyak jumlah flok yang menempel pada elektroda menyebabkan kejenuhan pada plat elektroda, sehingga kemampuan elektroda untuk menarik ion-ion kromium dalam limbah berkurang, sehingga menyebabkan penurunan medan magnet.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Tegangan listrik 15 volt dapat menurunkan kadar Cr sebesar 18,66% dan COD sebesar 17,56%
2. Tegangan listrik 20 volt dapat menurunkan kadar Cr sebesar 53,5% dan COD sebesar 17,72%.
3. Tegangan listrik 25 volt dapat menurunkan kadar Cr sebesar 89,6% dan COD sebesar 37,22%.
4. Ada beda Kadar Cr yang dihasilkan oleh variasi tegangan listrik 15 volt, 20 volt dan 25 volt.
5. Tidak ada beda kadar COD yang dihasilkan oleh variasi tegangan listrik 15 volt, 20 volt dan 25 volt.

B. Saran

Bagi peneliti lain:

- a. Memperbesar tegangan listrik dengan sistem alir dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya, dikarenakan penggunaan tegangan listrik 15 volt, 20 volt dan 25 volt belum efektif untuk menurunkan kadar Cr dan COD sesuai baku mutu.
- b. Variasi kuat arus dengan sistem alir dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya, dikarenakan penggunaan kuat arus 2 A belum efektif untuk menurunkan kadar Cr dan COD sesuai baku mutu.

- c. Melakukan perhitungan sludge yang menempel pada plat elektroda untuk menentukan titik jenuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashari, D. Budiantara., D. Setiabudidaya (2015) Efektivitas Elektroda pada Proses Elektrokoagulasi untuk Pengolahan Air Asam Tambang. *Jurnal Penelitian Sains*, 17 (2): 45-50
- Asmadi and Suharno (2012) *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. cetakan 1. Edited by A. GP. Yogyakarta: Gosyen.
- Bhakti, A. N., Dewi, A. and Sujoso, P. (2016) ‘Pajanan Kromium (Cr) dan Gangguan Faal Paru Pekerja di Industri Elektroplating Villa Chrome Kabupaten Jember, *Jurnal Sanitasi*, 12(5):43–144.
- Fakhrudin, Nurdiana, J. dan Wijayanti, D. W. (2017) ‘Analisis Penurunan Kadar Cr (Chromium), Fe (Besi) dan Mn (Mangan) pada Limbah Cair Laboratoium Teknologi’, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 4(10):10–15.
- Febriani, N. (2018) ‘Pengaruh Variasi Waktu terhadap Penurunan Kadar Krom pada Air Limbah Industri Penyamakan Kulit dengan Metode Elektrokoagulasi Tahun 2018’, *Jurnal Sanitasi*, 2(5):23–36.
- Hamid, R. A., Purwono dan Oktiawan, W. (2017) ‘Penggunaan Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Karbon dengan Variasi Tegangan Listrik dan Waktu Elektrolisis dalam Penurunan Konsentrasi TSS dan COD pada Pengolahan Air Limbah Domestik’, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1): 1–18.
- Jati, B. N. dan Aviandharie, S. A. (2015) ‘Kombinasi Teknologi Elektrokoagulasi dan Fotokatalisis dalam Mereduksi Limbah Berbahaya dan Beracun Cr (VI)’, *Teknik Kimia*, 6(2):15-30.
- Lal Shah, S. (2010) ‘Hematological changes in Tinca tinca after exposure to lethal and sublethal doses of Mercury, Cadmium and Lead’, *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 9(3): 434–443.
- Lestari, N. D. dan Agung, T. (2014) ‘Penurunan Tss dan Warna Limbah Industri Batik secara Elektrokoagulasi’, *Jurnal Ilmiah dan Teknik Lingkungan*, 6(1):37–44.
- Nurdijanto, S. A., Purwanto dan Sasongko, S. B. (2011) ‘Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit (Studi Kasus Rumah Sakit Kristen Tayu , Pati)’, *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(1):25-30.
- Palar, H. (2012) *Pencemaran dan Toksikologi Logam Bera*. Cetakan 4. Jakarta:

Rineka Cipta.

Prasetyaningrum, A. Dan Dharmawan, Y. (2018) ‘Aplikasi Teknologi Elektrokoagulasi pada Pengolahan Limbah Industri Elektroplating sebagai Upaya Menghasilkan Produksi Kerajinan Logam Berbasis’, 12(1):37–44.

Setiyono dan Yudo, S. (2014) *Daur Ulang Air Limbah Industri Penyamakan Kulit (Studi Kasus di Lingkungan Industri Kulit, Magetan, Jawa Timur)*. Pertama. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.

Soedirman dan Suma'mur (2014) *Kesehatan Kerja Dalam Perspektif Hiperkes Dan Keselamatan Kerja*. Jakarta: Erlangga.

Srinivan (2010) *Combined Advanced Oxidation an Biological Treatment of Tannery Effluent, Clean Technologies and Enviromental Policy*. Jakarta: Erlangga.

Sudarsana, E. dan Setiani, O. (2013) ‘Hubungan Riwayat Paparan Kromium dengan Gangguan Fungsi Ginjal pada Pekerja Pelapisan Logam di Kabupaten Tegal’, *Jurnal Sanitasi*. 12(1):34–41.

Sugihantoro (2016) ‘Pengaruh Waktu Paparan Sinar UV dan pH Reaksi pada Proses Foto-Fenton terhadap Penurunan Nilai COD Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit’. *Jurnal Sanitasi*. 12(6):34-40.

Sulhan, M. H. (2017) ‘Analisis Nilai Chemical Oxygen Demand (COD) pada Buangan Limbah Penyamakan Kulit dengan Metode Spektrofotometri UV-VIS’, *Jurnal Sanitasi*. 4(6):12-25.

Susanto, A., Rubiono, G. dan Bunawi (2016) ‘Pengaruh Variasi Luas Permukaan Plat Elektroda dan Konsentrasi Larutan Elektrolit KOH terhadap Debit Gas Hasil Elektrolisis Air’, *Jurnal Teknik Mesin*, 1(2):12-20.

Susanto dan Widjajanto, D. (2014) ‘Perbandingan Efisiensi Bak Proses Dua Sel dan Tiga Sel dalam Menurunkan Kandungan Besi (Fe) dalam Air Limbah Secara Elektrokoagulasi dengan Katoda dari Karbon Bekas Bartai’, *Poli-Teknologi*, 14(1):1–7.

Suyata, Irmanto dan Rastuti, U. (2015) ‘Penerapan Metode Elektrokimia untuk Penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) dan Total Suspended Solid (TSS) Limbah cair Industri Tahu’, *Jurnal Molekul*, 10(1):74–81.

Syawalain, M. A. R., Yohana dan Kahar, A. (2019) ‘Pengaruh Kuat Arus dan Tegangan terhadap Perubahan Kandungan Logam pada Lindi TPA Sampah dengan Metode Elektrolisis’, *Jurnal Chemurgy*, 03(1): 6–10.

- Trapsilasiwi, R. (2011) 'Aplikasi Elektrokoagulasi Pasangan Elektroda Alumunium untuk Pengolahan Air dengan Sistem Kontiyu.', *Jurnal Sanitasi*, 2(1):13–17.
- Triandarto, F. dan Agus Mardyanto (2015) 'Pengaruh Kuat Arus dan Tegangan Pada Proses Elektrolisis Untuk Menurunkan Logam Berat Cu', *Jurnal Teknik Kimia*, 6(2):175–180.
- Tyas, N. M., Batu, D. T. F. L. dan Affandi, R. (2016) 'The lethal toxicity test of Cr6+ on (*Oreochromis niloticus*)', *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 21(2):128–132.
- Wahyulis, N. C., Ulfen, I. dan Harmami (2014) 'Optimasi Tegangan pada Proses Elektrokoagulasi Penurunan Kadar Kromium dari Filtrat Hasil Hidrolisis Limbah Padat Penyamakan Kulit.', *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 3(2): 9–11.
- Wardana, W. A. (2009) *Dampak Pencemaran Lingkungan*. 3rd edn. Edited by Andi. Yogyakarta: Andi Offset.
- Wulandari, D. R., Hadisaputro, S. dan Suhartono (2013) 'Berbagai Faktor yang Berhubungan dengan Kejadian Gangguan Fungsi Paru dalam Ruang Kerja (Studi Kasus Pekerja Industri Rumahan Electroplating di Kecamatan Talang Kabupaten Tegal), *Jurnal Keseharan Lingkungan Indonesia*, 12(1):23-44.
- Pemerintah Daerah Istimewa Yogyakarta (2016) 'Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah', in: 1689–1699.
- Yudhistira, Y. G., Susilaningsih, E. dan Widiarti, N. (2018) 'Efisiensi Penurunan Kadar Logam Berat (Cr dan Ni) dalam Limbah Electroplating secara Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium', *Journal of Chemical Science*, 7(1):28–34.

