

Kode Nama Rumpun Ilmu:
359/ Kesehatan Lingkungan

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**



**ELEKTROKOAGULASI SEBAGAI REDUKTOR LOGAM BERAT Pb, dan Hg DALAM
AIR**

Tim Peneliti :

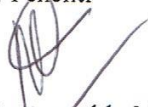
Ketua : Ferry Kriswandana, SST. MT. (NIP. 197007111994031003)
Anggota 1: S.B. Eko Warno, SKM., M.Kes. (NIP. 195508271982031003)
Anggota 2: Winarko, SKM, MKes (NIP. 196302021987031004)

**UNIT PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT
POLITEKNIK KESEHATAN KEMENKES SURABAYA
Oktober, 2019**


PENGESAHAN LAPORAN AKHIR PENELITIAN

1. **Judul** : ELEKTROKOAGULASI SEBAGAI REDUKTOR LOGAM BERAT Pb DAN Hg DALAM AIR
2. **Jenis Penelitian** : Terapan Unggulan Perguruan Tinggi
3. **Peneliti Utama**
- a. Nama Lengkap : Ferry Kriswandana, SST., MT.
 - b. NIP : 197007111994031003
 - c. Golongan/Pangkat : III d / Penata Tingkat I
4. **Anggota Peneliti**
- | No. | Nama dan Gelar | Bidang Keahlian | Program Studi | Alokasi Waktu/Minggu |
|-----|---------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|
| 1. | Suroso Bambang Eko Warno, SKM, M.Kes. | Kesehatan Masyarakat | D3 Kesehatan Lingkungan | 10 jam/minggu |
| 2. | Winarko, SKM., MKes. | Kesehatan Masyarakat | D4 Kesehatan Lingkungan | 10 jam/minggu |
5. **Obyek Penelitian** : Limbah Cair
6. **Jangka Waktu Penelitian** : April – Oktober 2019
7. **Biaya Penelitian** : Rp 40.000.000,00 (Empat puluh juta rupiah)

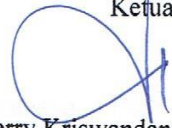
Pakar Peneliti


DR. Ririh Yudhastuty, drh. M.Sc.
NIP. 196304211985031005


Mengetahui,
Kepala Unit PPM


(Setiawan, SKM, M.Kes)
NIP. 196304211985031005

Surabaya, Oktober 2019
Ketua,


Ferry Kriswandana, SST., MT.
NIP. 197007111994031003

Direktur Poltekkes
Poltekkes Kemenkes Surabaya


(Drg Bambang Had Sugito, M.Kes)
NIP. 196204291993031002



KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadirat Allah SWT, dengan segala kerendahan hati atas segala rachmat dan hidayah-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Akhir Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi dengan Judul **“Elektrokoagulasi Sebagai Reduktor Logam Berat Pb dan Hg dalam Air”** ini tepat pada waktunya.

Kegiatan penelitian ini merupakan salah satu upaya Tri Dharma Perguruan Tinggi di Poltekkes Kemenkes Surabaya khususnya di Jurusan Kesehatan Lingkungan dalam mengembangkan keilmuan bidang kesehatan lingkungan di kampus dan masyarakat sekitarnya. Penyusunan penelitian eksperimen ini tentunya masih banyak kekurangan, yang kami harapkan dari Saudara pembaca dapat memberikan masukan yang dapat menyempurnakan rencana kegiatan penelitian ini. Semoga Allah SWT memberikan Rahmat dan Hidayah-Nya kepada semua pihak yang telah membantu proses penyusunan laporan akhir penelitian ini hingga terselesaikanya dengan baik dan tepat waktu.

Semoga laporan akhir penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan atau referensi dalam kegiatan penelitian selanjutnya yang bermanfaat bagi perkembangan ilmu kesehatan lingkungan. Demikian atas perhatian dan kerjasamanya kami menyampaikan terima kasih.

Surabaya, 4 Oktober 2019

Peneliti,

SUMMARY

Heavy metals in certain levels can reduce the quality of air, water, and soil. Furthermore, causing health problems for plants, animals and humans, when there is accumulation as a result of industrial activity. Until now, the reduction of heavy metal content in liquid waste has been carried out physically, chemically and biologically. Therefore it is deemed necessary to reduce levels of heavy metals in liquid waste by electrocoagulation. The purpose of this study is to study the performance of electrocoagulation as a reducing agent in reducing Pb and Hg levels in water, so that it can provide references and input for the electroplating industry, batik industry, and others. This study is a true experimental study with a post test only control group design design that is a research design consisting of a control group and an experimental group. The research sample will be examined in a laboratory. The samples used in this study are preparations that have been made by dissolving Pb and Hg such that the waste originating from the batik industry or electroplating waste or factory waste accu ... Variations in this study are the current / voltage strength (16, 20, and 24) volts and detention time (30, 40, 50, and 60) minutes. In this study, including the independent variable is electrocoagulation which is equipped with cathode and anode. This variable will affect the change in the dependent variable. The dependent variable in this study is the quality of the waste after the electrocoagulation process by observing the parameters Pb and Hg. The collected data is then processed descriptively and analytically. Analyze data using the One-way Anova test.

The results of this study indicate that electrocoagulation as a reducing agent at 16 Volts, 20 Volts, and 24 Volts with a contact time of 30 minutes, 40 minutes, 50 minutes and 60 minutes has a significant effect on Pb and Hg reduction with $\alpha = 0.05$. The most significant reduction in average Pb occurs in processing with a 20 volt electricity voltage and 60 minutes contact time. Meanwhile, the most significant decrease in Hg levels occurs in processing with a 24 volt electricity voltage and contact time for 30 minutes. From the results of this study it can be recommended for future studies to use different treatments from this study, such as variations in electrode spacing, variations in electrode types, or even can combine electrocoagulation methods with other wastewater treatment methods.

Keywords: electrocoagulation, voltage, contact time, heavy metals.

RINGKASAN

Logam berat dalam kadar tertentu dapat menurunkan kualitas udara, air, dan tanah. Selanjutnya menyebabkan masalah kesehatan bagi tanaman, hewan, dan manusia, ketika terjadi penumpukan sebagai hasil aktivitas industri. Sampai saat ini penurunan kadar logam berat dalam limbah cair banyak dilakukan secara fisik, kimia dan biologi. Oleh karena itu dianggap perlu untuk mengurangi kadar logam berat dalam limbah cair secara elektrokoagulasi. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari kinerja elektrokoagulasi sebagai reduktor dalam menurunkan kadar Pb dan Hg dalam air, sehingga dapat memberikan referensi dan masukan bagi para pelaku industri elektroplating, industri batik, dan lain-lain.

Penelitian ini merupakan penelitian *true eksperimental* dengan rancangan *post test only control group design* yaitu suatu desain penelitian yang terdiri dari kelompok control dan kelompok eksperimen. Sampel penelitian akan dilakukan pemeriksaan di laboratorium. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sediaan yang telah dibuat dengan melarutkan Pb dan Hg sehingga seperti limbah yang berasal dari industri batik atau limbah elektroplating atau limbah pabrik accu.. Variasi dalam penelitian ini adalah kuat arus / tegangan (16, 20, dan 24) volt dan waktu detensi (30, 40, 50, dan 60) menit. Dalam penelitian ini yang termasuk variabel bebas adalah elektrokoagulasi yang dilengkapi dengan katoda dan anoda. Variabel ini akan mempengaruhi perubahan variabel terikat. Adapun yang menjadi variabel terikat dalam penelitian ini adalah kualitas limbah setelah proses elektrokoagulasi dengan pengamatan parameter Pb dan Hg. Data yang terkumpul selanjutnya diolah secara deskriptif dan analitik. Analisa data dengan menggunakan uji Anova Satu Jalur atau *One-way Anova*.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa elektrokoagulasi sebagai reduktor pada tegangan 16 Volt, 20 Volt, dan 24 Volt dengan waktu kontak 30 menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan Pb dan Hg dengan $\alpha = 0.05$. Penurunan kadar Pb rata-rata yang paling signifikan terjadi pada pengolahan dengan tegangan listrik 20 volt dan waktu kontak 60 menit. Sedangkan, penurunan kadar Hg yang paling signifikan terjadi pada pengolahan dengan tegangan listrik 24 volt dan waktu kontak selama 30 menit. Dari hasil penelitian ini dapat direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya menggunakan perlakuan yang berbeda dari penelitian ini, seperti variasi jarak elektroda, variasi jenis elektroda, atau bahkan dapat mengkombinasikan metode elektrokoagulasi dengan metode pengolahan limbah cair yang lain.

Kata kunci : elektrokoagulasi, tegangan, waktu kontak, logam berat.

DAFTAR ISI

	Hal
Halaman Sampul	i
Halaman Pengesahan	ii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	
BAB 1 . PENDAHULUAN	
A. Latar belakang	1
B. Permasalahan	3
C. Rumusan dan Batasan Masalah	3
D. Tujuan Penelitian	4
E. Manfaat Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Penelitian Terdahulu	6
B. Logam Berat	6
C. Peran Biologis	7
D. Toksisitan	7
E. Logam Berat Lingkungan	7
F. Elektrokoagulasi	9
G. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Elektrokoagulasi	12
H. Kerangka Konsep	14
I. Hipotesis	15
BAB 3. METODE PENELITIAN	
A. Tahapan Penelitian dan Bagan Alir	16
B. Rancangan Penelitian	17
C. Desain Penelitian	18
D. Besar Sampel dan Replikasi Sampel	18
E. Variabel Penelitian	19
F. Perubahan yang Diamati/Diukur	20
G. Lokasi Penelitian	20
H. Teknik Pengumpulan Data	20
I. Pengolahan dan Analisis Data	21
BAB 4 HASIL PENEL DAN PEMBAHASAN	
A Pengukuran Kadar Pb dalam air setelah Proses Elektrokoagulasi	22
B. Hasil Pengukuran Kadar Hg Setelah Proses Elektrokoagulasi	24
C. Analisis Statistik Kadar Pb dan Hg pada Limbah Cair Industri setelah Proses Elelektrokoagulasi	26

D.	Analisis Penurunan Kadar Pb dan Hg dalam Air Setelah Diolah Menggunakan Metoda Elektrokoagulasi	29
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
A.	Kesimpulan	31
B.	Saran	32
	DAFTAR PUSTAKA	33
	LAMPIRAN-LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Definisi Operasional Penelitian	19
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Kadar Pb dalam Air Sebelum dan Sesudah Pengolahan Menggunakan Metoda Elektrokoagulasi	22
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran Kadar Hg dalam Air Sebelum dan Sesudah Pengolahan Menggunakan Metoda Elektrokoagulasi	24
Tabel 4.3	Hasil Uji Normalitas Data Kadar Pb dan Hg dalam Air pada waktu detensi 30 menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit setelah Pengolahan dengan Metoda Elektrokoagulasi	27
Tabel 4.4	Hasil Uji Kruskal Wallis Kadar Pb dan Hg dalam Air Setelah Pengolahan dengan Metoda Elektrokoagulasi	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Mekanisme Elektrokoagulasi	10
Gambar 2.2.	Kerangka Konsep Penelitian	14
Gambar 3.1.	Bagan Alir Penelitian	16
Gambar 3.2.	Reaktor Percobaan	17
Gambar 3.3.	Desain Penelitian	18
Gambar 4.1.	Grafik Penurunan Kadar Pb dalam Air Setelah Pengolahan dengan Metoda Elektrokoagulasi	18
Gambar 4.1.	Grafik Penurunan Kadar Hg dalam Air Setelah Pengolahan dengan Metoda Elektrokoagulasi	18

BAB 1 : PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Logam berat dapat didefinisikan berdasarkan kerapatan, sedangkan pada fisika, kriteria pembeda adalah nomor atom. Sejumlah relik membutuhkan beberapa logam berat, yang diperlukan untuk proses biologis tertentu. Misal : [besi](#) dan [tembaga](#) (untuk transportasi oksigen dan [elektron](#)); [kobalt](#) ([sintesis kompleks dan metabolisme sel](#)). seng (hidroksilasi) [vanadium](#) dan [mangan](#) (fungsi dan [pengatur enzim kromium](#) (pemanfaatan [glukosa](#)); [nikel](#) ([reproduksi sel](#)); [arsenik](#) (pertumbuhan metabolik pada beberapa hewan dan mungkin pada manusia). Disisi lain logam berat dapat menimbulkan efek toksik yang lebih serius, termasuk kanker, kerusakan otak atau kematian, dan bukan hanya bahaya yang dapat menyebabkan salah satu dari kulit, paru-paru, perut, ginjal, hati, atau jantung. Logam berat sering dianggap sangat beracun atau merusak lingkungan, sementara beberapa lainnya beracun jika dan hanya jika dikonsumsi berlebihan atau ditemui dalam bentuk tertentu.

Logam berat lingkungan (kromium, arsenik, kadmium, merkuri), dan timbal memiliki potensi terbesar yang dapat menyebabkan kerusakan karena penggunaannya yang luas, [toksisitas](#) beberapa bentuk gabungan atau unsurnya, dan penyebarannya yang luas di lingkungan. [Kromium heksavalen](#), misalnya, sangat beracun seperti uap raksa dan banyak senyawa raksa. Kelima unsur ini memiliki affinitas yang kuat terhadap belerang; dalam tubuh manusia mereka biasanya terikat pada [enzim](#), melalui gugus [tiol](#) (-SH), yang bertanggung jawab untuk mengendalikan laju reaksi metabolik. Ikatan belerang-logam yang dihasilkan menghambat fungsi enzim yang terlibat; memperburuk kesehatan manusia, kadang-kadang berakibat fatal. Kromium (dalam bentuk heksavalennya) dan arsenik adalah [karsinogen](#); kadmium menyebabkan [penyakit tulang degeneratif](#); dan raksa dan timbal merusak [sistem saraf pusat](#).

Menurut Etty Riani (2010) dalam jurnal J. Tek. Ling. Volumen 11 No. 2 bahwa hasil penelitian di perairan Ancol, teluk Jakarta menunjukkan kandungan merkuri pada semua titik stasiun penelitian tidak terdeteksi. Hal ini berarti perairan tersebut mengandung merkuri, tetapi nilainya lebih kecil dari 0,00001 ppm (batas deteksi alat). Berdasarkan nilai tersebut maka dapat dikatakan bahwa kandungan merkuri di perairan masih sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan Kep. MENLH No. 51 tahun 2004 yaitu sebesar 0,001 ppm. Secara umum dapat

dikatakan bahwa terdapatnya merkuri dalam perairan tidak hanya karena adanya buangan limbah ke perairan, tetapi merkuri ada secara alami yang berasal dari kegiatan-kegiatan gunung api, rembesan-rembesan air tanah yang melewati daerah deposit merkuri dan lain-lainnya.

Logam berat lainnya mempunyai sifat bahaya sebagai polutan toksik lingkungan, termasuk mangan (kerusakan sistem saraf pusat); kobalt dan [nikel \(karsinogen\)](#) tembaga, seng, selenium dan [perak](#) (gangguan [endokrin](#), [kelainan bawaan](#), atau efek keracunan umum pada ikan, tumbuhan, unggas, atau organisme air lainnya); timah, sebagai [organotimah](#) (kerusakan sistem saraf pusat); antimon (ditengarai karsinogen); dan [talium](#) (kerusakan sistem saraf pusat).

Logam berat yang penting untuk kehidupan bisa menjadi racun jika dikonsumsi berlebihan; beberapa memiliki bentuk beracun yang sangat penting. [Vanadium pentoksida](#) (V_2O_5) bersifat karsinogenik pada hewan dan, bila dihirup, menyebabkan kerusakan [DNA](#). Ion ungu [permanganat](#) MnO_4^- adalah racun [liver](#) dan [ginjal](#). Menelan lebih dari 0,5 gram zat besi dapat menyebabkan gagal jantung; Overdosis semacam itu paling sering terjadi pada anak-anak dan bisa berakibat kematian dalam waktu 24 jam. [Nikel karbonil](#) ($Ni_2(CO)_4$), dengan kadar 30 ppm, dapat menyebabkan kegagalan pernafasan, kerusakan otak dan kematian. Mengonsumsi 1 gram atau lebih [tembaga sulfat](#) ($Cu(SO_4)_2$) dapat berakibat fatal; korban selamat mungkin mengalami kerusakan organ yang parah. Lebih dari lima miligram selenium sangat beracun; ini kira-kira sepuluh kali dari asupan harian maksimum yang direkomendasikan (0,45 mg); keracunan jangka panjang bisa mengakibatkan efek parolitik.

Hasil penelitian di selat Madura oleh Ahyar dkk (2017) yang diterbitkan dalam jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis Vol. 9 No. 2, Hlm. 631-643, Desember 2017 terbukti adanya kandungan Pb dalam air di selat Madura. Konsentrasi Pb di air selat Madura masih berada di bawah baku mutu, sedangkan di sedimen telah jauh melebihi baku mutu Pb sebesar 62,06 mg/kg). Konsentrasi Pb pada A. nodifera sebesar 60,10 mg/kg, M. lyrata sebesar 51,48 mg/kg, dan S. lamarckii sebesar 45,29 mg/kg. Hasil ini menunjukkan bahwa konsentrasi pada ketiga jenis kerang telah melebihi batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan (Pb sebesar 1,5 mg/kg).

Hasil penelitian Manna Wanna dkk tentang Analisis Kualitas Air dan Cemaran Logam Berat Merkuri (Hg) dan Timbal (Pb) Pada Ikan di Kanal Daerah Hertasing Kota Makasar dimuat dalam jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian, Vol. 3 (2017), menunjukkan kadar merkuri (Hg) pada kedua titik pengambilan sampel adalah sama yaitu masing-masing dengan

nilai dibawah dari 0,0003 mg/L. Begitu juga dengan kadar timbal (Pb) pada kedua titik pengambilan sampel air menunjukkan nilai Pb di bawah 0,002 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa Merkuri (Hg) dan Timbal (Pb) telah masuk perairan umum sehingga dalam terakumulasi dalam tumbuhan air dan binatang yang pada akhir dapat masuk kedalam tubuh manuisis melalui rantai makanan.

Logam berat dapat menurunkan kualitas udara, air, dan tanah, selanjutnya menyebabkan masalah kesehatan bagi tanaman, hewan, dan manusia, ketika terjadi penumpukan sebagai hasil aktivitas industri. Sumber logam berat yang umum dalam konteks ini meliputi aktivitas pertambangan dan limbah industri; gas buang kendaraan; [baterai asam timbal](#); pupuk; [cat](#); dan [kayu olahan](#), [infrastruktur pasokan air yang sudah tua](#) dan [mikroplastik](#) yang terapung di samudera dunia. Contoh terkini kontaminasi logam berat dan risiko kesehatan meliputi kasus [penyakit Minamata](#), Jepang; [bencana bendungan Bento Rodrigues](#) di Brazil, kandungan timbal yang tinggi pada pasokan air minum kepada penduduk [Flint](#), Michigan, di timur laut Amerika Serikat. Sampai saat ini penurunan kadar logam berat dalam limbah cair banyak dilakukan secara fisik, kimia dan biologi, oleh karena itu dianggap perlu untuk menmgurangi kadar logam berat dalam limbah cair secara elektrokoagulasi dengan judul: **“ELEKTROKOAGULASI SEBAGAI REDUKTOR LOGAM BERAT Pb dan Hg DALAM AIR “**

B. Permasalahan

Logam berat merupakan jenis logam yang dibutuhkan oleh makhluk hidup (manusia, hewan dan tumbuhan) dalam dosis yang sangat kecil, disisi lain logam berat juga merupakan zat yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia, antara lain : menyebabkan terjadinya keracunan, kematian, gangguan syaraf, tulang, kerusakan kulit, hati, ginjal, paru dan kerusakan lingkungan. Sampai saat ini penurunan kadar logam berat dalam limbah cair banyak dilakukan secara fisik, kimia dan biologi.

C. Rumusan dan Batasan Masalah

1. Rumusan Masalah

Permasalahan penelitian sesuai dengan judul dapat dirumuskan sebagai berikut :
“Apakah Elektrokoagulasi Sebagai Reduktor Mampu Menurunkan Logam Berat Pb dan Hg Dalam Air ?”.

2. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada upaya penurunan kadar Pb dan Hg pada limbah cair industri menggunakan metode elektrokoagulasi, meliputi :

- a. Metode elektrokoagulasi hanya digunakan untuk menurunkan kadar Pb dan Hg pada limbah cair.
- b. Variabel Bebas adalah tegangan (16 Volt, 20 Volt, dan 24 Volt) dan waktu kontak (30 Menit, 40 Menit, 50 Menit, dan 60 Menit).
- c. Jenis elektroda yang digunakan adalah Aluminium – Aluminium dengan memperhatikan deret volta, dimana aluminium akan bertindak sebagai agen koagulan .
- d. Menggunakan jarak elektroda 20 cm
- e. Menggunakan sistem *batch*.
- f. Kuat Arus ditetapkan 10 Ampere.
- g. Limbah cair berasal dari sediaan buatan yang diasumsikan sama seperti limbah cair industri.

D. Tujuan Penelitian

1. Tujuan umum

Tujuan umum dalam penelitian ini adalah mempelajari kinerja elektrokoagulasi sebagai reduktor dalam menurunkan kadar Pb dan Hg dalam air.

2. Tujuan khusus, untuk mencapai tujuan umum tersebut dilakukan pencapaian tujuan khusus sebagai berikut :

- a. Mengukur penurunan kadar Pb dan Hg sebelum dengan sesudah perlakuan pada elektrokoagulasi sebagai reduktor pada tegangan 16 Volt, 20 Volt, dan 24 Volt dengan waktu kontak 30 Menit.
- b. Mengukur penurunan kadar Pb dan Hg sebelum dengan sesudah perlakuan pada elektrokoagulasi sebagai reduktor pada tegangan 16 Volt, 20 Volt, dan 24 Volt dengan waktu kontak 40 Menit.

- c. Mengukur penurunan kadar Pb dan Hg sebelum dengan sesudah perlakuan pada elektrokoagulasi sebagai reduktor pada tegangan 16 Volt, 20 Volt, dan 24 Volt dengan waktu kontak 50 Menit.
- d. Mengukur penurunan kadar Pb dan Hg sebelum dengan sesudah perlakuan pada elektrokoagulasi sebagai reduktor pada tegangan 16 Volt, 20 Volt, dan 24 Volt dengan waktu kontak 60 Menit.
- e. Menganalisis pengaruh elektrokoagulasi sebagai reduktor pada tegangan 16 Volt, 20 Volt, dan 24 Volt dengan waktu kontak 30 Menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit pada penurunnan kadar Pb dan Hg dalam air
- f. Mengevaluasi kemampuan elektrokoagulasi dalam penurunan kadar Pb dan Hg dalam limbah cair industri.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan referensi dan masukan bagi para pelaku industri elektroplating, industri batik, dan lain-lain. dalam hal ini penerapan teknologi elektrokoagulasi pada pengolahan limbah cair industri yang efektif dan efisien, kelebihan dan kekurangannya serta dampaknya terhadap masyarakat dan lingkungan.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Penelitian yang pernah dilakukan dengan cara elektrokoagulasi yaitu penurunan kadar TSS dan COD. Proses elektrokoagulasi ini dilakukan dengan sistem *batch*. Limbah yang digunakan adalah limbah COD sisa analisis laboratorium. Sampel sebanyak 500 mL dimasukkan ke dalam gelas piala 1 liter.

Alat elektrokoagulasi yang terdiri dari pembangkit tegangan (*power supply*) dipasang beserta dua elektroda besi berukuran 10 cm x 1.5 cm x 0.3 cm. Tegangan arus listrik menyebabkan elektroda melepaskan unsur-unsur yang membantu penggumpalan (Butler, 2011).

Arus listrik yang berada pada *power supply* akan mengalir melalui kabel yang dililitkan pada elektroda. Penelitian ini menggunakan variasi tegangan adalah 6, 9, dan 12 volt serta waktu kontak 1, 2, 3, dan 4 jam (Hendrianti, 2011). Analisis logam berat berupa kadar krom (Cr), kadar perak (Ag), kadar merkuri (Hg), dan kadar besi (Fe) menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

B. Logam Berat

Logam berat dapat didefinisikan berdasarkan kerapatan, sedangkan pada fisika, kriteria pembeda adalah nomor atom. Logam yang paling awal dikenal—logam biasa seperti [besi](#), [tembaga](#), dan [timah](#), dan logam mulia seperti [perak](#), [emas](#), dan [platina](#) adalah logam berat. Sejak tahun 1809 dan seterusnya, ditemukan [logam ringan](#), seperti [magnesium](#), [aluminium](#), dan [titanium](#), dan juga logam berat yang kurang terkenal termasuk [galium](#), [talium](#), dan [hafnium](#). Beberapa logam berat ada yang merupakan nutrisi esensial (biasanya besi, [kobalt](#), dan [seng](#)), atau relatif tidak berbahaya (seperti [ruthenium](#), perak, dan [indium](#)), tetapi dapat beracun dalam jumlah besar atau dalam bentuk tertentu. Logam berat lainnya, seperti [kadmium](#), raksa, dan timbal, sangat beracun. Sumber potensi keracunan logam berat antara lain [limbah penambangan dan industri](#), [limpasan pertanian](#), [paparan kerja](#), dan [cat](#) serta [pengawetan kayu](#).

Karakterisasi fisika dan kimia logam berat harus dilakukan dengan hati-hati, karena logam yang terlibat tidak selalu didefinisikan dengan baik. Selain relatif padat, logam berat cenderung kurang [reaktif](#) daripada logam yang lebih ringan dan memiliki [sulfida](#) dan [hidroksida terlarut](#) yang jauh lebih sedikit. Meskipun relatif mudah untuk mengenali logam berat seperti tungsten dari logam yang lebih ringan seperti [natrium](#), beberapa logam berat seperti seng, raksa, dan timbal memiliki karakteristik logam yang lebih ringan, sebaliknya logam yang lebih ringan seperti [berilium](#), [skandium](#), dan titanium memiliki beberapa karakteristik logam berat. Logam berat relatif langka di [kerak bumi](#) tetapi hadir dalam banyak aspek kehidupan modern. Mereka digunakan pada [tongkat golf](#), [mobil](#), [antiseptik](#), oven yang dapat membersihkan sendiri, [plastik](#), [panel surya](#), [telepon genggam](#), dan partikel (Goldsmith, 2012).

C. Peran Biologis

Sejumlah renik membutuhkan beberapa logam berat yang diperlukan untuk proses biologis tertentu. Logam tersebut adalah [besi](#) dan [tembaga](#) (untuk transportasi oksigen dan [elektron](#)); [kobalt](#) ([sintesis kompleks dan metabolisme sel](#)); [seng](#) ([hidroksilasi](#)); [vanadium](#) dan [mangan](#) (fungsi dan [pengatur enzim](#)); [kromium](#) (pemanfaatan [glukosa](#)); [nikel](#) ([reproduksi sel](#)); [arsenik](#) (pertumbuhan metabolik pada beberapa hewan dan mungkin pada manusia) (Renk, 2009).

D. Toksisitas

Efek toksik logam berat yang lebih serius, termasuk kanker, kerusakan otak atau kematian, dan bukan bahaya yang dapat menyebabkan salah satu dari kulit, paru-paru, perut, ginjal, hati, atau jantung. Logam berat sering dianggap sangat beracun atau merusak lingkungan, beberapa lainnya beracun jika dan hanya jika dikonsumsi berlebihan atau ditemui dalam bentuk tertentu (Koparal, 2012).

E. Logam berat lingkungan

Kadmium, merkuri, dan timbal memiliki potensi terbesar yang dapat menyebabkan kerusakan karena penggunaannya yang luas, [toksisitas](#) beberapa bentuk gabungan atau unsurnya, dan penyebarannya yang luas di lingkungan, misalnya, sangat beracun seperti uap

raksa dan banyak senyawa raksa. Unsur ini memiliki affinitas yang kuat terhadap belerang; dalam tubuh manusia mereka biasanya terikat pada [enzim](#), melalui gugus [tiol](#) (-SH), yang bertanggung jawab untuk mengendalikan laju reaksi metabolik. Ikatan belerang-logam yang dihasilkan menghambat fungsi enzim yang terlibat; memperburuk kesehatan manusia, kadang-kadang berakibat fatal. Kadmium menyebabkan [penyakit tulang degeneratif](#); dan raksa dan timbal merusak [sistem saraf pusat](#).

Timbal adalah kontaminan logam berat yang paling umum Tingkatannya di lingkungan perairan masyarakat industri diperkirakan dua sampai tiga kali tingkatan di masa pra-industri. Sebagai komponen [tetraetil timbal](#), $(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4\text{Pb}$, timbal digunakan secara luas dalam [bensin](#) selama tahun 1930-1970. Logam berat lainnya yang dicatat untuk sifat potensi bahayanya, biasanya sebagai polutan toksik lingkungan, termasuk mangan (kerusakan sistem saraf pusat. [Nikel](#) ([karsinogen](#)), tembaga, seng, selenium dan [perak](#) (gangguan [endokrin](#), [kelainan bawaan](#), atau efek keracunan umum pada ikan, tumbuhan, unggas, atau organisme air lainnya); timah, sebagai [organotimah](#) (kerusakan sistem saraf pusat); antimon (ditengarai karsinogen); dan [talium](#) (kerusakan sistem saraf pusat) (Mukimin, 2009).

1. Sebagai nutrisi esensial

Logam berat yang penting untuk kehidupan bisa menjadi racun jika dikonsumsi berlebihan; beberapa memiliki bentuk beracun yang sangat penting. [Vanadium pentoksida](#) (V_2O_5) bersifat karsinogenik pada hewan dan, bila dihirup menyebabkan kerusakan [DNA](#), Ion ungu [permanganat](#) MnO^{4-} adalah racun [liver](#) dan [ginjal](#). Menelan lebih dari 0,5 gram zat besi dapat menyebabkan gagal jantung. Overdosis semacam itu paling sering terjadi pada anak-anak dan bisa berakibat kematian dalam waktu 24 jam. [Nikel karboni](#) ($\text{Ni}_2(\text{CO})_4$), dengan kadar 30 ppm, dapat menyebabkan kegagalan pernafasan, kerusakan otak dan kematian. Mengonsumsi 1 gram atau lebih [tembaga sulfat](#) ($\text{Cu}(\text{SO}_4)_2$) dapat berakibat fatal; korban selamat mungkin mengalami kerusakan organ yang parah. Lebih dari lima miligram selenium sangat beracun; ini kira-kira sepuluh kali dari asupan harian maksimum yang direkomendasikan (0,45 mg); keracunan jangka panjang bisa mengakibatkan efek parolitik.

2. Penggunaan

Logam berat hadir di hampir semua aspek kehidupan modern. Besi mungkin yang paling umum karena menyumbang 90% dari semua logam olahan. Platina bisa jadi yang

paling banyak dijumpai, atau digunakan untuk memproduksi, 20% dari semua barang konsumsi. Beberapa penggunaan logam berat yang umum bergantung pada karakteristik umum logam seperti [konduktivitas listrik](#) dan [reflektivitas](#) atau karakteristik umum logam berat seperti densitas, kekuatan, dan daya tahan.

Kegunaan lainnya bergantung pada karakteristik unsur tertentu, seperti peran biologisnya sebagai nutrisi atau racun atau beberapa sifat atom tertentu lainnya. Penggunaan logam berat yang umum dapat dikelompokkan secara luas ke dalam enam kategori berikut.

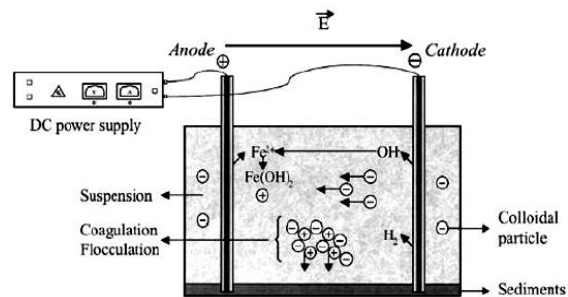
Beberapa penggunaan logam berat, termasuk di bidang olahraga, [teknik mesin](#), [persenjataan militer](#), dan [teknik nuklir](#), memanfaatkan kerapatan mereka yang relatif tinggi. Dalam [dunia penyelaman](#), timbal digunakan sebagai [ballast](#); dalam [pacuan kuda cacat](#) masing-masing kuda harus membawa timbal dengan bobot yang telah ditentukan, berdasarkan faktor termasuk kinerja sebelumnya, sehingga dapat mengimbangi peluang berbagai pesaing. Dalam [golf](#), sisipan tungsten, [kuningan](#), atau tembaga pada [tongkat golf](#) (club) untuk [fair way](#) menurunkan pusat gravitasi club sehingga memudahkan untuk melayangkan bola ke udara; dan bola golf dengan inti tungsten diklaim memiliki karakteristik layang yang lebih baik. Dalam [fly fishing](#) umpan lalat memiliki lapisan [PVC](#) yang dicampur dengan bubuk tungsten, sehingga mereka tenggelam pada tingkat yang dibutuhkan. Dalam olahraga lapangan, bola baja yang digunakan dalam event [lontar martil](#) dan [tolak peluru](#) diisi dengan timbal untuk mencapai berat minimum yang dibutuhkan berdasarkan peraturan internasional. Tungsten digunakan dalam bola lontar martil setidaknya sampai tahun 1980; ukuran bola minimum meningkat pada tahun 1981 untuk menghilangkan kebutuhan akan logam mahal (tiga kali lipat biaya martil lainnya) yang umumnya tidak tersedia di semua negara. Martil tungsten sangat padat sehingga mereka menembus terlalu dalam ke rumput (Njiki, 2010)

F. Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi adalah suatu teknik pemisahan yang menggunakan sel elektrokimia yang biasa digunakan untuk menangani air (Gameissa 2012). Proses elektrokoagulasi merupakan gabungan dari proses elektrokimia dan proses flokulasi-koagulasi (Renk, 2009). Ketiga proses dasar ini saling berinteraksi dan berhubungan untuk menjalankan

elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi diduga dapat menjadi pilihan metode pengolahan limbah B3 cair fase air alternatif mendampingi metode-metode pengolahan yang lain yang telah dilaksanakan.

Prinsip kerja metode elektrokoagulasi adalah dengan menggunakan dua buah lempeng elektroda yang dimasukkan ke dalam bejana berisi limbah cair yang akan dijernihkan. Kedua elektroda dialiri arus listrik searah (DC) sehingga terjadi proses elektrokimia yang menyebabkan ion positif (kation) bergerak menuju katoda yang bermuatan negatif. Ion-ion negatif (anion) bergerak menuju anoda yang bermuatan positif selanjutnya akan terbentuk suatu flokulan yang akan mengikat kontaminan maupun partikel-partikel dari limbah cair tersebut. Suatu aliran listrik mampu menyebabkan destabilisasi unsur-unsur partikel atau senyawa terikat, diantaranya senyawa logam, hidrokarbon, dan organik. Aliran listrik saat tidak stabil menyebabkan muatan partikel dan ion menarik unsur atau senyawa lain hingga terbentuk senyawa yang sangat stabil (Mukimin, 2009). Gambar 2.1. menunjukkan mekanisme yang terjadi di dalam reaktor elektrokoagulasi.



Gambar 2.1.

Mekanisme Elektrokoagulasi (Ni'am *et al.* 2007)

Elektrokoagulasi digunakan untuk mengolah limbah cair yang mempunyai sifat elektrolit cukup tinggi dikarenakan akan adanya hubungan singkat antar elektroda, besarnya reduksi logam berat dalam cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus voltase listrik searah pada elektroda, luas sempitnya bidang kontak elektroda dan jarak antar elektroda, penggunaan listrik yang mungkin mahal dan plat elektroda dapat terlarut sehingga harus selalu diganti.

Menurut Rusdianasari (2013), kelebihan proses pengolahan limbah dengan elektrokoagulasi antara lain:

- 1 Flok yang dihasilkan elektrokoagulasi ini sama dengan flok yang dihasilkan koagulasi biasa,
- 2 Lebih cepat mereduksi kandungan koloid atau partikel yang paling kecil, hal ini disebabkan pengaplikasian listrik ke dalam air akan mempercepat pergerakan partikel di dalam air dengan demikian akan memudahkan proses,
- 3 Gelembung-gelembung gas yang dihasilkan pada proses elektrokoagulasi ini dapat membawa polutan ke atas air sehingga dapat dengan mudah dihilangkan,
- 4 Mampu memberikan efisiensi proses yang cukup tinggi untuk berbagai kondisi dikarenakan tidak dipengaruhi temperatur,
- 5 Tidak memerlukan pengaturan pH,
- 6 Tidak perlu menggunakan bahan kimia tambahan.
- 7 Tidak perlu menggunakan bahan kimia tambahan.

Rusdianasari (2013) menambahkan kekurangan dari proses pengolahan limbah dengan metode elektrokoagulasi adalah:

- 1 Tidak dapat digunakan untuk mengolah limbah cair yang mempunyai sifat elektrolit cukup tinggi dikarenakan akan terjadi hubungan singkat antar elektroda.
- 2 Besarnya reduksi logam berat dalam limbah cair dipengaruhi oleh besar kecilnya arus voltase listrik searah pada elektroda,
- 3 Luas sempitnya bidang kontak elektroda dan jarak antar elektroda,
- 4 Penggunaan listrik yang mungkin mahal,
- 5 Batangan anoda yang mudah mengalami korosi.

Hawkes (2010) menyatakan elektroda merupakan salah satu perantara untuk menghantarkan atau menghubungkan arus listrik ke dalam larutan agar larutan tersebut terjadi suatu reaksi (perubahan kimia). Prinsip dasar dari elektrokoagulasi adalah reaksi reduksi dan oksidasi (redoks). Peristiwa oksidasi terjadi di elektroda positif yaitu anoda, sedangkan reduksi terjadi di elektroda negatif yaitu katoda. Menurut Hendriarianti (2011), faktor yang terlibat dalam reaksi elektrokoagulasi selain elektroda adalah air yang diolah yang berfungsi sebagai larutan elektrolit. Berikut adalah reaksi yang terjadi pada proses elektrokoagulasi. Proses elektrokoagulasi dipengaruhi oleh tegangan dan waktu kontak.

Pada teknik elektrokoagulasi ini menggunakan elektroda aluminium, pada saat elektrokoagulasi berlangsung reaksi yang terjadi pada kedua elektrodanya adalah sebagai berikut :

1. Pada Anoda (Positif) Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi dari logam penyusun elektrodanya, dalam penelitian ini yang akan mengalami oksidasi adalah aluminium.

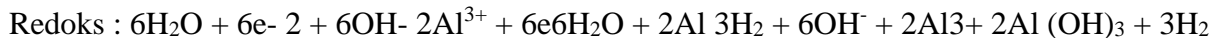
$$\text{Al(s)}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{e}^- \rightarrow \text{Al}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{O}$$

$$\text{Al(OH)}_3 + 3\text{H}^+(\text{aq})$$
2. Pada Katoda (Negatif) Pada katoda akan terjadi reaksi reduksi $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-$
 Reaksi reduksi pada ion H^+ akan menghasilkan gas hidrogen yang akan membantu proses pencampuran dan koagulasi.

Gas hidrogen membantu flok mengalami flotasi sehingga flok yang terbentuk akan berada di permukaan cairan. Ketidakstabilan muatan pada limbah cair menyebabkan zat yang terdapat di dalamnya membentuk flok untuk mencapai kestabilannya kembali. Flok – flok yang terbentuk jika mencapai bobot yang cukup akan mengendap sedangkan yang ringan akan terbawa gas hidrogen dan terflotasi. (Hendriarianti, 2011). Lalu ion Al dan OH^- yang dihasilkan pada elektroda akan bereaksi dalam air limbah membentuk Aluminium Hidroksida.



Persamaan redoks yang terjadi pada keseluruhan proses elektrokoagulasi:



Selanjutnya aluminium hidroksida akan mendestabilisasi partikel pencemar dan membentuk flok yang berfungsi sebagai adsorben dan dapat menyebabkan presipitasi ion logam sehingga dapat menurunkan partikel pencemar. Pengolahan limbah cair dengan teknik elektrokoagulasi adalah dengan cara penggumpalan dan pengendapan partikel-partikel halus dalam air menggunakan energi listrik. Sampel setelah dilakukan proses elektrokoagulasi kemudian diendapkan sehingga terbentuk flotasi dan endapan.

G. Faktor - faktor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi

1. Suhu

Semakin tinggi suhu dalam cairan semakin cepat proses oksidasi yang dilakukan karena semakin besarnya energi aktifasinya. Namun, terdapat efek negatif jika suhu terlalu tinggi akan menyebabkan terpecahnya flok yang sudah terbentuk.

2. Kuat Arus Listrik dan Densitas Arus

Menurut Novita, (2017) kuat arus listrik memiliki pengaruh dalam pembentukan flok karena kuat arus listrik lah yang akan mempengaruhi banyaknya ion Al^{3+} yang berasal dari anoda dilepaskan sebagai agen koagulan. Kuat arus listrik semakin besar maka mampu menghasilkan efisiensi penurunan COD dan warna pada limbah cair batik, namun kuat arus listrik berkaitan dengan pemakaian listrik untuk proses. Densitas atau kerapatan arus listrik adalah satuan yang menyatakan besarnya arus listrik yang mengalir dalam suatu permukaan. Menurut Saptati & Himma, (2017) kerapatan arus listrik memiliki kaitan erat dengan pemeliharaan elektroda. Pemeliharaan elektroda dapat diminimasi dengan penggunaan densitas arus antara 20-25 A.

3. Jarak Elektroda

Besarnya jarak elektroda mempengaruhi hambatan proses elektrolisis sehingga semakin renggang jarak elektroda semakin besar pula hambatan yang diakibatkan oleh larutan. Jarak elektroda yang besar akan mengakibatkan kerugian ohmik sehingga akan menyebabkan berkurangnya optimalisasi proses.

4. Jenis Elektroda

Jenis elektroda dalam hal ini adalah jenis logam penghantar listrik yang terdiri dari anoda dan katoda. Anoda dan katoda harus memiliki penjumlahan energi potensial (yang dilihat berdasarkan deret volta) lebih dari 0 agar terpenuhi syarat terjadinya reaksi spontan. Pemilihan elektroda menjadi faktor penting dalam optimalisasi proses elektrokoagulasi. Elektroda yang biasanya digunakan dalam proses elektrokoagulasi umumnya adalah Aluminium-Ferri, Ferri-Aluminium, dan logam lainnya. Elektroda semakin lama akan semakin pasif atau akan semakin menurun kemampuannya dalam melakukan proses elektrolisis oleh karena itu jika diperlukan dapat dilakukan pencucian elektroda secara berkala untuk perawatan elektroda (Saptati & Himma, 2017)

5. Waktu Kontak

Waktu kontak elektrokoagulasi adalah lamanya perlakuan pada limbah cair dengan metode elektrokoagulasi. Menurut penelitian Dwi & Agung, (2012) semakin lama waktu kontak limbah pada elektroda maka semakin banyak pula ion-ion yang menempel pada elektroda. Sedangkan menurut Novita, (2017), waktu kontak memiliki pengaruh terhadap banyaknya ion yang berasal dari elektroda yang dilepaskan ke limbah cair.

6. Tegangan

Proses elektrokoagulasi memanfaatkan perubahan kimia oleh alur listrik pada medium yang disebabkan beda potensial maka perlu diperhatikan jarak antar medium, dan jenis medium yang digunakan. Tegangan listrik pada elektroda mempengaruhi konsumsi listrik yang diperlukan dalam proses elektrokoagulasi. Semakin tinggi tegangan konsumsi listrik juga semakin besar.

7. Kadar Keasaman Larutan (pH)

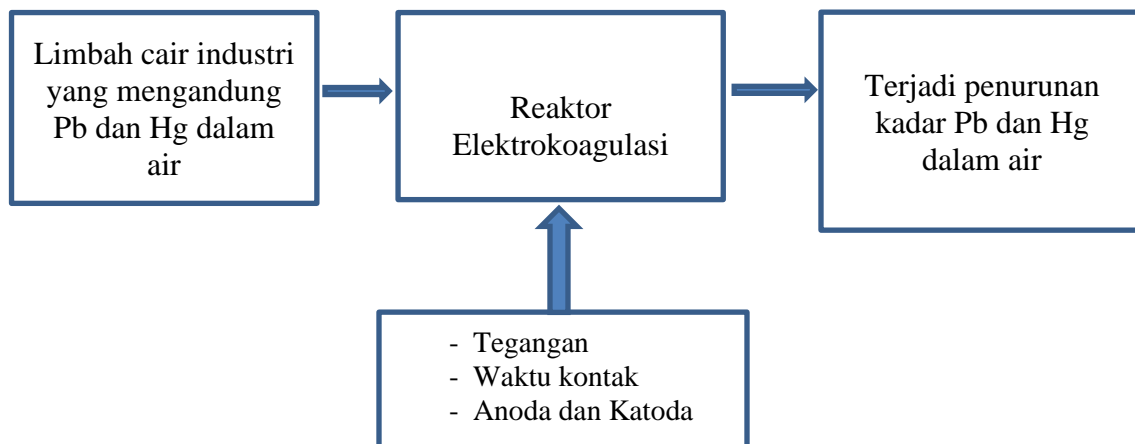
Proses elektrolisis pada metode elektrokoagulasi ini akan menghasilkan gas hidrogen dan ion hidroksida. Jika semakin banyak hidrogen dan ion hidroksida maka akan berdampak pada pH yang akan cenderung naik (bersifat basa). Menurut penelitian Merzouk *et al.*, (2009) dekolonisasi pewarna pada limbah cair tekstil tidak maksimal pada $\text{pH} \pm 3,16$ sedangkan pH optimum untuk proses dekolonisasi warna sebesar 80-90% ketika pH antara 4,1-9,0.

8. Luas Permukaan Elektroda Efektif

Luas permukaan elektroda efektif adalah luas permukaan elektroda yang tercelup pada suatu larutan atau air limbah yang diolah. Semakin besar luas permukaan elektroda tercelup, maka semakin mudah elektroda tersebut dalam mentransfer elektron-elektronnya. Sedangkan apabila luas permukaan elektroda yang tercelup kecil, maka akan mempersulit elektroda untuk mentransfer elektron, yang mengakibatkan proses elektrolisis akan berjalan lambat (Atina, 2015).

H. Kerangka Konsep

Kerangka konseptual dalam penelitian ini ditunjukkan pada gambar 2.2. berikut ini :



Gambar 2.2.
Kerangka Konsep Penelitian

Air yang terkontaminasi bahan pencemar baik secara fisik maupun kimia akan menurunkan kualitas air tersebut. Parameter seperti Pb dan Hg dapat diturunkan dengan proses elektrokoagulasi dengan mengalirkan arus listrik searah (anoda katoda) ke dalam air tersebut. Efisiensi penyisihan kontaminan yang ada dalam air yang terkontaminasi tersebut dipengaruhi oleh jenis anoda dan katoda yang digunakan. Disamping itu perbedaan tegangan arus listrik yang dialirkan dan waktu detensi atau lama kontak juga berpengaruh terhadap kemampuan pembentukan kontaminan tersebut. Pembentukan flok yang terjadi pada proses elektrokoagulasi merupakan proses pengurangan terhadap koloid-koloid kontaminan yang ada dalam air tersebut. Hasil proses elektrokoagulasi akan dianalisis dan diketahui tingkat efisiensi penyisihan kontaminan yang ada dalam air tersebut. Dalam penelitian ini parameter yang diukur dan diteliti adalah kandungan Pb dan Hg yang ada dalam limbah cair. Variasi penelitian yang dilakukan adalah pengaturan tegangan arus listrik dan waktu kontak yang dipaparkan dalam proses tersebut.

I. Hipotesis

Berdasarkan uraian tersebut didapatkan hipotesis bahwa metode elektrokoagulasi dapat digunakan untuk mengolah limbah cair industri, dalam menurunkan parameter pencemar Pb dan Hg.

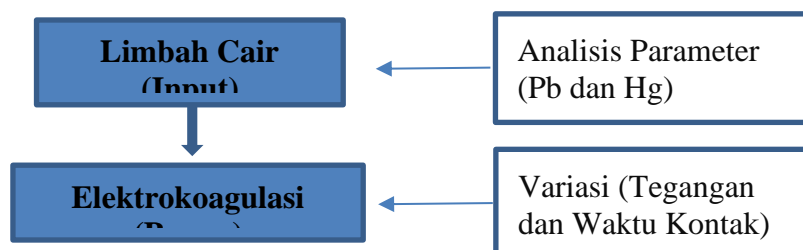
BAB 3 : METODE PENELITIAN

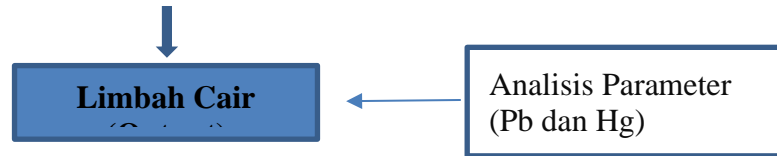
A. Tahapan Penelitian dan Bagan Alir

Proses elektrokoagulasi dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan reaktor berupa kotak kaca. Adapun tahapan dalam rancangan percobaan proses elektrokoagulasi dilakukan sebagai berikut :

1. Tahap Pertama adalah penelitian pendahuluan, yaitu pengukuran sampel limbah cair industri sehingga didapat karakteristik berupa parameter pencemar khususnya dalam penelitian ini adalah Pb dan Hg yang kemudian data tersebut dijadikan penunjang untuk penelitian selanjutnya.
2. Tahap kedua yaitu pengolahan limbah cair menggunakan metode elektrokoagulasi dengan memvariasikan nilai tegangan dan waktu kontak,
3. Tahap terakhir yaitu pengecekan/analisis kadar Pb dan Hg hasil proses elektrokoagulasi sehingga didapatkan kondisi optimum dan efisiensi penurunan nilai Pb dan Hg.

Untuk lebih jelasnya penelitian dilakukan berdasarkan bagan alir sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 3.1.





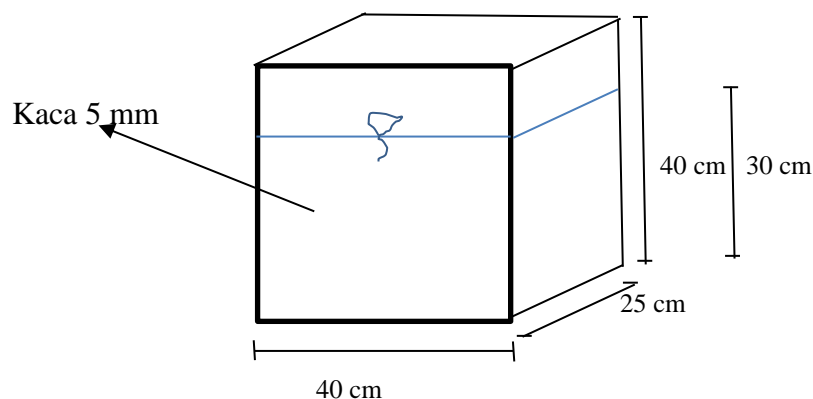
Gambar 3.1

Bagan Alir Penelitian

Limbah cair sebagai input merupakan limbah buatan dari aquades yang dikondisikan ditambahkan baku Pb dan Hg hingga melebihi kadar baku mutu effluent limbah cair. Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan memvariasikan tegangan dan waktu kontak dalam reaktor tersebut. Setelah intervensi proses elektrokoagulasi dilakukan dengan variasi yang dikondisikan. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel untuk dianalisis parameter Pb dan Hg. Kemudian hasilnya akan dianalisis menggunakan uji statistik *two way anova* dan dilanjutkan dengan uji Post-Hoc *Tukey's*.

B. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian dilakukan dengan memasukkan limbah cair sebanyak 15 liter ke dalam reaktor berupa kotak kaca berkapasitas 40 liter (Dimensi p x l x t = 40 cm x 25 cm x 40 cm). Kemudian ditambahkan air sebanyak 15 liter (perbandingan 1:1). Kemudian dimasukkan sepasang elektroda aluminium ke dalam reaktor tersebut yang telah diatur jaraknya yaitu 20 cm. Untuk mendapatkan hasil yang optimal tegangan divariasikan dengan waktu kontak. Setelah selesai, sumber arus dimatikan, dilakukan pengambilan sampel, kemudian sampel dianalisis di laboratorium.



Gambar 3.2
Reaktor Percobaan

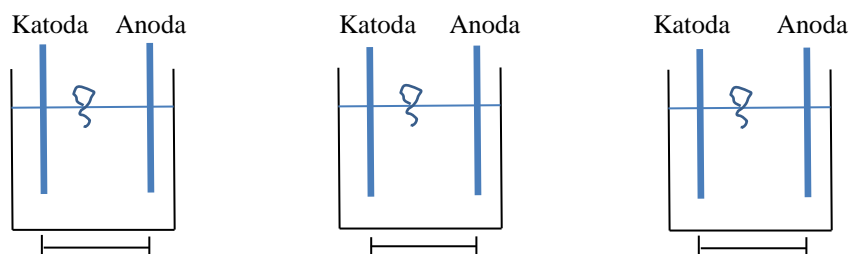
Pengukuran nilai pemeriksaan dan perhitungan kadar Pb dan Hg dilakukan secara kualitatif dengan test warna dan secara kuantitatif dengan spektrophotometri. Proses elektrokoagulasi dilakukan untuk menjernihkan limbah cair dengan jarak elektroda 20 cm. Waktu penjernihan divariasikan sebesar 30 menit sampai 60 menit dengan interval 10 menit.

C. Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian *True eksperimental* dengan rancangan *post test only control group design* yaitu suatu desain penelitian yang terdiri dari kelompok control dan kelompok eksperimen. Adapun disain penelitiannya sebaga berikut :

- (R1) X O1 (Perlakuan 1)
- (R2) X O 2 (Perlakuan 2)
- (R3) X O 3 (Perlakuan 3)
- (R) Oo (Kontrol)

Sampel percobaan diambil setelah air kontak dengan proses elektrokoagulasi dengan variasi tegangan 16 volt, 20 volt, dan 24 volt, selama waktu kontak 30 menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit serta dilakukan pemeriksaan di laboratorium. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sediaan yang telah dibuat dengan melarutkan Pb dan Hg sehingga seperti limbah yang berasal dari industri batik atau limbah electroplating atau limbah pabrik accu. Berikut ini merupakan gambaran desain penelitian divariasikan seperti ditunjukkan pada gambar 3.3. dibawah ini.



20 cm
Tegangan 16 volt
20 cm
Tegangan 20 volt
20 cm
Tegangan 24 volt

Gambar 3.3

Desain Penelitian

Tegangan dalam penelitian ini divariasikan sebesar 16 volt , 20 volt, dan 24 volt dengan waktu kontak masing–masing 30 menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit.

D. Besar Sampel dan Replikasi Sampel

Replikasi digunakan untuk melakukan validasi dan homogenisasi terhadap sampel. Oleh karena itu replikasi diperlukan untuk melakukan homogenisasi sampel. Replikasi perlakuan menurut Prihanti, (2016) dihitung menggunakan rumus Federer sebagai berikut.

$$(t-1) \times (r-1) \geq 15$$

r= jumlah replikasi

t = jumlah perlakuan

Dalam penelitian ini terdapat 12 perlakuan dan 1 kontrol. Maka jumlah replikasinya yaitu :

$$\begin{aligned}
 (13-1) \times (r-1) &\geq 15 \\
 12(r-1) &\geq 15 \\
 12r - 12 &\geq 15 \\
 12r &\geq 15 + 12 \\
 12r &\geq 27 \\
 \mathbf{r} &\geq \mathbf{2,25 \sim 3}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, didapatkan hasil replikasi 2,25 kali, dibulatkan menjadi 3 kali replikasi untuk satu perlakuan. Jumlah sampel penelitian didapatkan dari jumlah replikasi dikali jumlah perlakuan (12) ditambah kontrol (1), total replikasi adalah $13 \times 3 = 39$ sampel.

E. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini yang termasuk variabel bebas adalah elektrokoagulasi yang dilengkapi dengan katoda dan anoda. Variabel ini akan mempengaruhi perubahan variabel terikat. Adapun yang menjadi variabel terikat dalam penelitian ini adalah kualitas limbah setelah proses elektrokoagulasi dengan pengamatan parameter Pb dan Hg.

Untuk lebih jelasnya dalam penelitian ini diuraikan definisi operasional sebagaimana table 3.1

Tabel 3.1
Definisi Operasional Penelitian

No	Variabel	Definisi	Parameter	Skala
1	Elektro-koagulasi	Proses pengikatan kontaminan (penggumpalan dan pengendapan) logam berat dengan menggunakan muatan listrik anoda (positif) dan katoda (negatif) dengan tegangan (volt) tertentu, sehingga terbentuk flok yang dapat dipisahkan dari filtratnya.	Pb dan Hg	Rasio
2	Reduksi	Pengurangan kadar kontaminan (logam berat) sebelum dan sesudah perlakuan (elektrokoagulasi) dalam satuan mg/L	Persen	Rasio
3	Pb	Timbal, yang merupakan kontaminan limbah cair dan merupakan parameter yang dianalisis dalam satuan mg/L	Mg/L	Rasio
4	Hg	Raksa yang merupakan kontaminan limbah cair dan merupakan parameter yang dianalisis dalam satuan mg/L	Mg/L	Rasio
5	Limbah Cair	Sampel dalam penelitian yang mengandung Pb, dan Hg yang berasal dari sampel buatan dalam satuan liter.	Liter	Rasio
7.	Tegangan	Kuat arus yang digunakan dalam penelitian ini dalam satuan volt. (16 volt, 20 volt, dan 24 volt)	Volt	Rasio
8.	Waktu kontak	Waktu yang dibutuhkan limbah cair berada dalam reaktor untuk proses elektrokoagulasi dalam satuan menit. (30, 40, 50, dan 60) menit	Menit	Rasio

F. Perubahan yang Diamati/Diukur

Untuk mengevaluasi penelitian ini dilakukan analisis terhadap perubahan sampel percobaan yang diambil sebelum dan sesudah proses elektrokoagulasi. Parameter yang diperiksa dalam percobaan ini adalah Pb dan Hg. Parameter yang dikendalikan dalam penelitian ini adalah pH sampel, kuat arus, jenis elektroda, luas permukaan elektroda, dan jarak elektroda.

G. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Surabaya. Waktu penelitian dilaksanakan lebih kurang selama 7 bulan mulai bulan Maret s/d September 2019.

H. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini data dikumpulkan berdasarkan jenis datanya, yang terdiri dari :

1. Data primer, yang termasuk data ini yaitu data yang didapatkan langsung dari hasil penelitian, yaitu karakteristik limbah cair, kualitas efluen limbah setelah diintervensi yang merupakan hasil analisis laboratorium yang akan digunakan untuk pembahasan dalam penelitian ini. Selain itu data primer juga berupa reaktor yang digunakan dalam percobaan beserta dengan perlengkapannya.
2. Data sekunder, yang termasuk data ini yaitu data pendukung yang digunakan untuk proses penelitian dan pembahasan, berupa referensi dan penelitian sejenis yang akan menunjang proses analisis data.

I. Pengolahan dan Analisis Data

Data yang telah terkumpul dalam kegiatan penelitian selanjutnya diolah dan dianalisis sebagai berikut :

1. Pengolahan Data

Data dari hasil penelitian laboratorium dilakukan pengkodean setiap kelompok penelitian (tabulasi), kemudian dilakukan rekapitulasi seluruh hasil penelitian. Data yang terkumpul selanjutnya diolah secara deskriptif dan analitik.

2. Analisis Data

Pada penelitian ini analisa data dengan menggunakan uji Anova Satu Jalur atau *Two-way Anova*. *Two-way Anova* memiliki tujuan untuk menguji beda mean data yang memiliki 2 variabel bebas dan minimal 1 variabel terikat. Asumsi uji dilakukan jika data berdistribusi normal dan data bersifat numerik. Apabila data dalam penelitian ini tidak berdistribusi normal, maka uji yang dilakukan menggunakan uji *Kruskal Wallis*. Dalam penelitian ini memperhatikan satu perubahan saja yaitu penurunan kadar logam berat limbah industri setelah mendapatkan perlakuan elektrokoagulasi. Apabila pada uji perbedaan didapatkan

hasil yaitu terdapat perbedaan kadar Pb dan Hg dari setiap perlakuan yang diberikan saat pengolahan dengan metode elektrokoagulasi, maka perlu dilakukan uji lanjutan yaitu menggunakan uji *Post-Hoc Tukey* yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan mean penurunan parameter uji.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran Kadar Pb dalam air setelah Proses Elektrokoagulasi

Pengukuran kadar Pb pada air sampel dilakukan di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi Baristand Industri Surabaya. Berikut ini hasil pengukuran kadar Pb dalam air sebelum perlakuan (*pretest*) dan sesudah perlakuan (*posttest*) menggunakan metode elektrokoagulasi. Hasil pengukuran kadar Pb dalam air sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi ditunjukkan pada table 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1
Hasil Pengukuran Kadar Pb dalam air Sebelum dan Sesudah Pengolahan
Menggunakan Metode Elektrokoagulasi

Parameter	Keterangan	Waktu Pengujian	Hasil Pengukuran Replikasi (1,2,3) (ppm)			Rata-rata Penurunan (ppm)	Persentase Penurunan (%)
Pb	Kontrol	30'	3,386	3,371	3,350	3,369	
		40'	3,327	3,287	3,331	3,315	
		50'	3,248	3,224	3,256	3,242	
		60'	3,229	3,188	3,210	3,209	

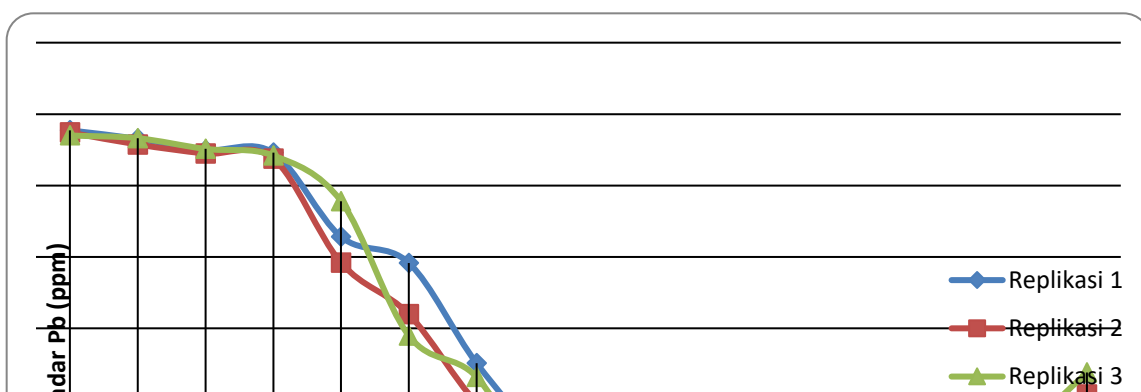
Parameter	Keterangan	Waktu Pengujian	Hasil Pengukuran Replikasi (1,2,3)			Rata-rata Penurunan (ppm)	Persentase Penurunan (%)
			(ppm)	(ppm)	(ppm)		
	Pretest	30'	3,461	3,434	3,390	3,428	
		40'	3,310	3,331	3,342	3,327	
		50'	3,317	3,394	3,349	3,353	
		60'	3,326	3,303	3,314	3,314	
	16V	30'	2,641	2,459	2,890	2,663	22,31
		40'	2,457	2,098	1,948	2,167	34,86
		50'	1,755	1,477	1,659	1,630	51,38
		60'	1,227	1,091	,944	1,087	67,19
	20V	30'	0,984	0,899	0,832	0,905	73,59
		40'	0,822	0,735	0,966	0,841	74,72
		50'	0,710	0,688	0,881	0,759	77,36
		60'	0,520	0,455	0,497	0,490	85,21
	24V	30'	1,134	0,931	1,078	1,047	69,45
		40'	1,289	0,873	0,956	1,039	68,77
		50'	,980	1,098	1,259	1,112	66,83
		60'	1,003	1,537	1,690	1,410	57,45

$$(*) \text{ Persentase Penurunan} = \frac{\text{Rata-rata kadar Pb hasil uji waktu ke-n}}{\text{Rata-rata kadar Pb pretest waktu ke-n}} \times 100\%$$

Berdasarkan Tabel 4.1 diketahui bahwa terjadi penurunan kadar Pb dalam sampel air setelah dilakukan pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi dengan variabel tegangan listrik divariasikan sebesar masing-masing 16 volt, 20 volt, dan 24 volt serta variabel waktu kontak divariasikan selama 30 menit, 40 menit, 50 menit, dan 60 menit. Persentase penurunan kadar Pb rata-rata terkecil terjadi pada perlakuan yang menggunakan besar tegangan listrik 16 volt dengan waktu kontak 30 menit yaitu sebesar 22,31% (2,663 ppm). Sedangkan persentase penurunan terbesar kadar Pb rata-rata terjadi pada proses pengolahan sampel limbah cair yang menggunakan tegangan listrik 20 volt dan waktu kontak 60 menit yaitu sebesar 85,21% (0,490 ppm).

Dari data diatas juga menunjukkan bahwa tegangan dan waktu optimum dalam penurunan logam Pb pada limbah cair dengan metode elektrokoagulasi terjadi pada pengolahan dengan tegangan listrik 20 volt dengan waktu kontak 60 menit tersebut. Sementara itu, pada pengolahan dengan tegangan 24 volt dan waktu kontak 30 menit, 40 menit, 50 menit, serta 60 menit menunjukkan hasil penurunan efisiensi penyisihan dalam setiap periode waktu yang diamati. Hal ini dimungkinkan terjadi kejenuhan dalam proses elektrokoagulasi pada tegangan 24 volt. Karena kejenuhan proses tersebut, penurunan kadar Pb menjadi tidak optimal dan cenderung stagnan. Untuk lebih jelasnya, berikut ini grafik penurunan kadar Pb pada limbah cair setelah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi.

Grafik penurunan kadar Pb dalam air setelah pengolahan dengan metode elektrokoagulasi ditunjukkan pada grafik 4.1 berikut ini.



Gambar IV.1
Grafik Penurunan Kadar Pb dalam Air
Setelah Pengolahan dengan Metode Elektrokoagulasi

B. Hasil Pengukuran Kadar Hg Setelah Proses Elektrokoagulasi

Pengukuran kadar Hg dalam air dilakukan di Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi Baristand Industri Surabaya. Berikut ini hasil pengukuran kadar Hg dalam air sebelum perlakuan (*pretest*) dan sesudah perlakuan (*posttest*) menggunakan metode elektrokoagulasi. Hasil pengukuran kadar Hg dalam air sebelum dan sesudah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi ditunjukkan pada table 4.2 sebagai berikut.

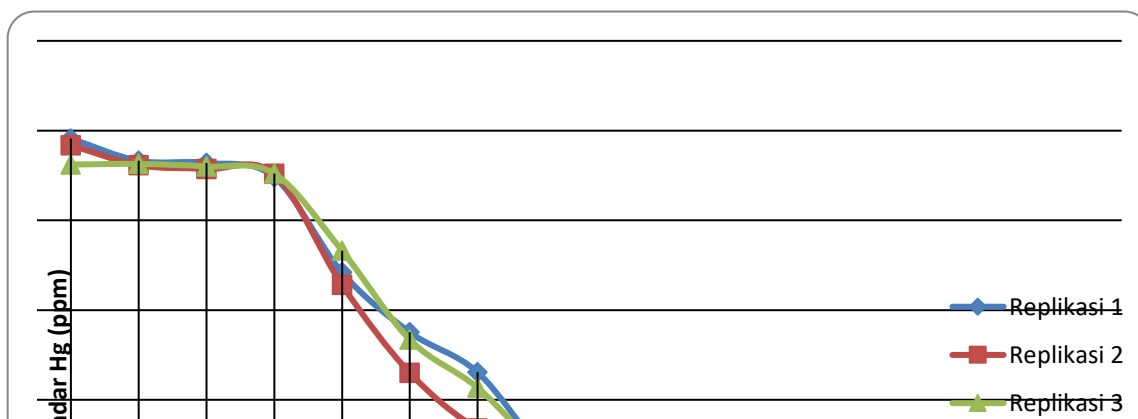
Tabel 4.2
Hasil Pengukuran Kadar Hg dalam Air Sebelum dan Sesudah Pengolahan
Menggunakan Metode Elektrokoagulasi

Parameter	Keterangan	Waktu Pengujian	Hasil Pengukuran Replikasi (1,2,3) (ppm)			Rata-rata (ppm)	Persentase Penurunan (%)
Hg	Kontrol	30'	2,955	2,918	2,811	2,894	
		40'	2,832	2,807	2,814	2,817	
		50'	2,820	2,786	2,800	2,802	
		60'	2,741	2,758	2,760	2,753	
	Pretest	30'	2,982	2,977	2,903	2,954	
		40'	2,983	2,958	2,921	2,980	
		50'	2,836	2,821	2,819	2,825	

Parameter	Keterangan	Waktu Pengujian	Hasil Pengukuran Replikasi (1,2,3)			Rata-rata (ppm)	Persentase Penurunan (%)
			(ppm)	(ppm)	(ppm)		
	16V	60'	2,806	2,812	2,874	2,830	
		30'	2,209	2,140	2,331	2,226	24,64
		40'	1,876	1,650	1,835	1,787	40,03
		50'	1,653	1,339	1,567	1,519	46,23
		60'	1,198	1,209	1,198	1,201	57,56
	20V	30'	0,902	0,977	0,975	0,951	67,80
		40'	0,893	0,807	0,821	0,840	71,81
		50'	0,714	0,726	0,664	0,701	75,18
		60'	0,520	0,505	0,556	0,527	81,37
	24V	30'	0,456	0,491	0,510	0,485	83,58
		40'	0,876	1,193	0,897	0,988	66,84
		50'	1,008	1,198	1,259	1,155	59,11
60'		1,003	1,335	1,235	1,191	57,91	

$$(*) \text{ Persentase Penurunan} = \frac{\text{Rata-rata kadar Hg hasil uji waktu ke-n}}{\text{Rata-rata kadar Hg pretest waktu ke-n}} \times 100\%$$

Berdasarkan Tabel 4.2 diketahui bahwa terjadi penurunan kadar Hg pada sampel air setelah dilakukannya pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi dengan variabel tegangan listrik dengan variasi tegangan sebesar 16 volt, 20 volt, dan 24 volt serta variabel waktu kontak dengan variasi waktu masing-masing selama 30 menit, 40, menit, 50 menit, dan 60 menit. Persentase penurunan kadar Hg rata-rata terkecil terjadi pada perlakuan yang menggunakan besar tegangan listrik 16 volt dengan waktu kontak 30 menit yaitu sebesar 24,64% (2,226 ppm). Sedangkan persentase penurunan terbesar kadar Hg rata-rata terjadi pada proses pengolahan sampel limbah cair yang menggunakan tegangan listrik 24 volt dan waktu kontak 30 menit yaitu sebesar 83,58% (0,485 ppm). Dari data diatas, juga dapat diketahui bahwa tegangan dan waktu optimum dalam penurunan logam Hg pada dalam air dengan metode elektrokoagulasi terjadi pada pengolahan dengan tegangan listrik 24 volt dengan waktu kontak 30 menit tersebut. Hal ini karena terjadinya kejenuhan pada saat pengolahan dengan tegangan 24 volt dan waktu kontak 40 menit, 50 menit, serta 60 menit. Karena kejenuhan proses tersebut, penurunan kadar Hg menjadi tidak optimal dan cenderung stagnan. Untuk lebih jelasnya, berikut ini grafik penurunan kadar Hg pada limbah cair setelah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi. Grafik penurunan kadar Hg dalam air setelah pengolahan dengan metode elektrokoagulasi ditunjukkan pada gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.2
Grafik Penurunan Kadar Hg dalam air
Setelah Pengolahan dengan Metode Elektrokoagulasi

C. Analisis Statistik Kadar Pb dan Hg pada Limbah Cair Industri Setelah Diolah dengan Metode Elektrokoagulasi

1. Uji Normalitas (*Kolmogorov-Smirnov*)

Berikut ini hasil pengujian normalitas data kadar Pb dan Hg dalam air setelah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi dengan variasi 3 tegangan listrik yang berbeda, yaitu 16 volt, 20 volt, 24 volt serta waktu kontak selama 30 menit, 40 menit, 50 menit, dan 60 menit. Hasil uji normalitas data kadar Pb dan Hg dalam air pada waktu detensi 30 menit, 40 menit, 50 menit, dan 60 menit setelah pengolahan dengan metode elektrokoagulasi ditunjukkan pada table 4.3 sebagai berikut.

Tabel 4.3

Hasil Uji Normalitas Data Kadar Pb dan Hg dalam Air pada waktu detensi 30 menit, 40 menit, 50 menit, dan 60 menit Setelah Pengolahan Dengan Metode Elektrokoagulasi

Besar Tegangan		<i>Kolmogorov-Smirnov</i>		
		Statistik	Df	Sig. (ρ -value)
Kadar Pb	Kontrol (0 Volt)	0,161	12	0,200
	6 Volt	0,148	12	0,200
	9 Volt	0,156	12	0,200
	12 Volt	0,196	12	0,200

Kadar Hg	Kontrol (0 Volt)	0,238	12	0,059
	6 Volt	0,137	12	0,200
	9 Volt	0,131	12	0,200
	12 Volt	1,170	12	0,200
Waktu Kontak		<i>Kolmogorov-Smirnov</i>		
		Statistik	Statistik	Statistik
Kadar Pb	30'	0,283	12	0,009
	40'	0,215	12	0,131
	50'	0,223	12	0,103
	60'	0,202	12	0,192
Kadar Hg	30'	0,244	12	0,046
	40'	0,222	12	0,105
	50'	0,197	12	0,200
	60'	0,285	12	0,008

Keterangan :

df (*degree of freedom*) : banyaknya pengamatan bebas pada sampel.

Sig. (ρ -value) : nilai peluang kebenaran suatu hipotesis.

Hipotesis :

H_0 = tidak ada perbedaan distribusi sampel dengan distribusi normal.

H_1 = ada perbedaan distribusi sampel dengan distribusi normalitas.

$\alpha = 0.05$; Daerah tolak H_0 jika ρ -value $< \alpha$

Berdasarkan Tabel 4.3 menunjukkan bahwa ada beberapa data yang memiliki nilai Sig. (ρ -value) atau nilai peluang kebenaran suatu hipotesis pada yang bernilai $< 0,05$, sehingga H_0 ditolak, yang berarti ada perbedaan distribusi sampel dengan distribusi normal. Dikarenakan data tidak berdistribusi normal, maka pengujian dilanjutkan dengan Uji *Kruskal Wallis* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh metode elektrokoagulasi terhadap perbedaan penurunan kadar Pb dan Hg dalam air perlakuan yang diberikan.

2. Uji *Kruskal-Wallis*

Berikut ini hasil pengujian perbedaan rata-rata kadar Pb dan Hg dalam air setelah dilakukannya pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi dengan 3 tegangan listrik yang berbeda, yaitu 16 volt, 20 volt, 24 volt serta waktu kontak selama 30 menit, 40 menit, 50 menit, dan 60 menit. Hasil uji *Kruskal-Wallis* kadar Pb dan Hg dalam air setelah pengolahan dengan metode Elektrokoagulasi ditunjukkan dalam tabel 4.4 sebagai berikut.

Tabel 4.4
Hasil Uji *Kruskal-Wallis* Kadar Pb dan Hg dalam Air
Setelah Pengolahan Dengan Metode Elektrokoagulasi

Parameter	Variabel	df	Asymp. Sig. (p-value)
Kadar Pb	Waktu Kontak	2	0,040
	Besar Tegangan	2	0,000
Kadar Hg	Waktu Kontak	1	0,027
	Besar Tegangan	1	0,000

Keterangan :

df (*degree of freedom*) : banyaknya pengamatan bebas pada sampel.

Sig. (p-value) : nilai peluang kebenaran suatu hipotesis.

Hipotesis :

H_0 : Tidak ada perbedaan rata-rata kadar Pb dan Hg dalam air pada sampel kontrol dan setelah pengolahan dengan metode elektrokoagulasi.

H_1 : Terdapat perbedaan rata-rata kadar Pb dan Hg dalam air pada sampel kontrol dan setelah pengolahan dengan metode elektrokoagulasi.

$\alpha = 0.05$; Daerah tolak H_0 jika $|F_{hit}| > F_{v_1, v_2, \alpha}$; $p\text{-value} < \alpha$

Berdasarkan Tabel 4.4 menunjukkan bahwa dari hasil uji statistik *Kruskal-Wallis* nilai *Asymp.Sig. (p)* atau nilai peluang kebenaran suatu hipotesis $< 0,05$ yang berarti H_0 ditolak. Sehingga dapat dinyatakan bahwa terdapat perbedaan rata-rata antara kadar Pb dan Hg limbah cair industri pada sampel kontrol dengan kadar Pb dan Hg setelah pengolahan dengan metode elektrokoagulasi.

D. Analisis Penurunan Kadar Pb dan Hg dalam Air Setelah diolah Menggunakan Metode Elektrokoagulasi

Berdasarkan Tabel 4.1 dan 4.2 menunjukkan hasil pengukuran kadar Pb dan Hg pada limbah cair industri setelah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi diketahui bahwa terjadi penurunan kadar Pb dan Hg pada limbah cair industri setelah dilakukannya pengolahan dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Hal tersebut diperkuat dengan analisis menggunakan uji statistik *Kruskal Wallis* yang didapatkan hasil yaitu nilai Asymp. Sig. (p -value) atau nilai peluang kebenaran suatu hipotesis bernilai $< 0,05$ yang berarti bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kadar Pb dan Hg limbah cair industri pada sampel kontrol dan setelah pengolahan dengan metode elektrokoagulasi.

Penurunan kadar Pb dan Hg menggunakan metode elektrokoagulasi dengan elektroda Aluminium berasal dari proses reaksi redoks dimana pada anoda (dalam pH asam) akan membentuk reaksi $\text{Al}_{(s)} \rightarrow \text{Al}^{3+}_{(aq)} + 3e^-$ dan pada katoda akan membentuk $3\text{H}^+_{(aq)} + 3e^- \rightarrow 1,5\text{H}_2_{(g)}$. setelah anoda dan katoda bereaksi maka akan terjadi pembentukan flok yang berfungsi sebagai bahan koagulan yang akan mengikat Pb (Al-qodah & Al-shannag, 2017).

Penurunan kadar Pb pada limbah cair yang diolah menggunakan metode elektrokoagulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : tegangan dan waktu kontak proses. Menurut (Al-qodah & Al-shannag, 2017), kuantitas penurunan kadar logam berat pada limbah yang diolah dipengaruhi oleh waktu kontak dimana semakin lama waktu kontak maka semakin banyak penurunan kadar logamnya. Namun, terdapat kejenuhan waktu kontak dimana ketika keadaan optimum telah tercapai maka penurunan dari kadar logam yang diolah akan stagnan. Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian ini dimana waktu kontak optimum untuk penurunan kadar Pb adalah 60 Menit dengan voltase sebesar 24 V dalam keadaan pH asam. Perlu studi lebih lanjut untuk mengetahui apakah setelah 60 menit proses elektrokoagulasi masih optimum menurunkan kadar Pb dalam air.

Penurunan kadar Hg pada limbah cair yang telah diolah dengan metode elektrokoagulasi pada prinsipnya sama dengan penurunan kadar pencemar Pb. Yakni melalui proses terbentuknya agen koagulan oleh anoda dan katoda. Menurut Vasudevan & Lakshmi, (2012) elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium efektif menurunkan kadar Hg dalam air minum. Kadar Hg akan dihilangkan oleh agen koagulan yang berasal dari proses reduksi oksidasi aluminium. Namun, terdapat kerugian dari penggunaan elektroda sejenis adalah terbentuknya klorida dan sulfat yang bersifat asam yang akan mereduksi kemampuan pembentukan koagulan seiring lamanya waktu kontak, karena pengaruh sulfat dan klorida yang terbentuk. Hal tersebut

yang diduga terjadi pada proses ini ketika waktu kontak diberikan semakin lama, tidak terjadi penurunan kadar Hg yang signifikan. Hal ini dibuktikan dengan hasil uji yang menyatakan bahwa perlakuan yang paling efektif untuk menurunkan kadar Hg dalam air adalah 30 menit dengan voltase sebesar 24V.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan sebagaimana tujuan dalam penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Prosentase penurunan kadar Pb dan Hg sebelum dengan sesudah perlakuan pada elektrokoagulasi sebagai reduktor selama 30 menit :
 - a. Prosentase penurunan Pb pada tegangan 16 Volt sebesar 22,31 %, 20 Volt sebesar 73, 59 %, dan 24 Volt sebesar 69, 45 %.
 - b. Prosentase penurunan Hg pada tegangan 16 Volt sebesar 24,64 %, 20 Volt sebesar 67, 20 %, dan 24 Volt sebesar 83,58 %.
2. Prosentase penurunan kadar Pb dan Hg sebelum dengan sesudah perlakuan pada elektrokoagulasi sebagai reduktor selama 40 menit :
 - a. Prosentase penurunan Pb pada tegangan 16 Volt sebesar 34,86 %, 20 Volt sebesar 74, 72 %, dan 24 Volt sebesar 68, 77 %.
 - b. Prosentase penurunan Hg pada tegangan 16 Volt sebesar 40,03 %, 20 Volt sebesar 71, 81 %, dan 24 Volt sebesar 66, 84 %.
3. Prosentase penurunan kadar Pb dan Hg sebelum dengan sesudah perlakuan pada elektrokoagulasi sebagai reduktor selama 50 menit :
 - a. Prosentase penurunan Pb pada tegangan 16 Volt sebesar 51,38 %, 20 Volt sebesar 77, 36 %, dan 24 Volt sebesar 66, 83 %.
 - b. Prosentase penurunan Hg pada tegangan 16 Volt sebesar 46,23 %, 20 Volt sebesar 75, 18 %, dan 24 Volt sebesar 59, 11 %.
4. Prosentase penurunan kadar Pb dan Hg sebelum dengan sesudah perlakuan pada elektrokoagulasi sebagai reduktor selama 60 menit :
 - a. Prosentase penurunan Pb pada tegangan 16 Volt sebesar 67,19 %, 20 Volt sebesar 85,21 %, dan 24 Volt sebesar 57,45 %.
 - b. Prosentase penurunan Hg pada tegangan 16 Volt sebesar 57,56 %, 20 Volt sebesar 81,37 %, dan 24 Volt sebesar 57,91 %.
5. Elektrokoagulasi sebagai reduktor pada tegangan 16 Volt, 20 Volt, dan 24 Volt dengan waktu kontak 30 menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit berpengaruh secara signifikan terhadap penurun Pb dan Hg dengan $\alpha = 0.05$.

6. Penurunan kadar Pb rata-rata yang paling signifikan terjadi pada pengolahan dengan tegangan listrik 20 volt dan waktu kontak 60 menit. Sedangkan, penurunan kadar Hg yang paling signifikan terjadi pada pengolahan dengan tegangan listrik 24 volt dan waktu kontak selama 30 menit.

B. Saran

Bagi peneliti lain yang ingin melanjutkan penelitian sejenis, sebaiknya lebih memperhatikan variabel-variabel yang dapat mempengaruhi hasil pengolahan, agar proses pengolahan limbah cair dengan elektrokoagulasi dapat berjalan secara optimal. Peneliti lain juga dapat melakukan penelitian sejenis dengan menggunakan perlakuan yang berbeda dari penelitian ini, seperti variasi jarak elektroda, variasi jenis elektroda, atau bahkan dapat mengkombinasikan metode elektrokoagulasi dengan metode pengolahan limbah cair yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung Prabowo, Gagah Hasan Basrori, Purwanto, 2012. *Pengolahan Limbah Cair yang mengandung minyak dengan Proses Elektrokoagulasi dengan Elektroda Besi.*, Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 1, No. 1. Hal. 352 - 355
- Ahyar, Dietriech G. Bengen , dan Yusli Wardiatno (2017). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. Sebaran dan Bioakumulasi Logam Berat Pb dan Cd Pada Bivalvia Anadara nodifer, Meretrix lyrata, dan Solen lamarckii di Perairan Pesisir Selat Madura Barat. Vol. 9 No. 2, Hlm. 631-643, Desember 2017 ISSN Cetak : 2087-9423 <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnalikt>
- Ashari, Dedik Budianta, Dedy Setiabudidaya, 2015, *Efektifitas Elektroda pada Proses Elektrokoagulasi untuk Pengolahan Air Asam Tambang*, Jurnal Sains, Vol. 17, No. 2, Hal 45 -50
- Butler, E,Y Hung, R Yu-Li Yeh and MS Al Ahmad. 2011. *Electrocoagulation in Water Treatment*, Water (3). Doi:10.3390/3020495; 495-525.
- Darmawan, 2014. Treatmen of coal stockpile wastewater by electrocoagulation using Aluminium electrodes. Journal Advanced Material Research, Vol. 896:145-148
- Eddy Wiyanto, 2014. Penerapan Elektrokoagulasi dalam Proses Penjernihan Limbah Cair, Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Vol 16, No. 1, Hal 19 – 36.
- Etty Riani (2010), Jurnal Teknik Lingkungan, Kontaminasi Merkuri (Hg) dalam Organ Tubuh Ikan Petek (*Leiognathus equulus*) di Perairan Ancol, Teluk Jakarta. Hal 313-322 (Mei 2010), ISSN 1441-318X.
- Goldsmith R. H. 2012, "Metalloids", *Journal of Chemical Education*, vol. 59, no. 6,
- Hawkes S. J. 2010, "What is a "heavy metal"?", *Journal of Chemical Education*, vol. 74.
- Hendriarianti, Evy. 2011.pengaruh jenis elektroda dan jarak antar elektroda dalam penurunan cod dan tss limbah cair Laundry menggunakan elektrokoagulasi konfigurasi Monopolar aliran kontinyu. Institut Teknologi Nasional, Malang.
- Koparal, A. S. dan Ogutveren, U. B. 2012. Removal of nitrate from water By electroreduction and electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, B89,83-94
- Manna Wanna, Subari Yanto, Kadirman (2017), Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian, Vol. 3 Analisis Kualitas Air dan Cemaran Logam Berat Merkuri (Hg dan Timbal (Pb) pada Ikan di Kanal Daerah Hertasing Kota Makasar. S197-S210, S198, P ojs unnm.ac.id >ptp

- Masthura, Ety Jumiati, 2017, Peningkatan Kualitas Air menggunakan Metoda Elektrokoagulasi dan Filter Karbon, Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi, Vol. 1, No. 2, Hal 1 – 6.
- Mukimin, A.2009, *Pengolahan Limbah Industri berbasis Logam dengan Teknologi Elektrokoagulasi Floatasi*. Tesis Magister, Pascasarjana Universitas Diponegoro , Semarang
- Novianti Dwi Lestari, Tuhu Agung, 2012, Penurunan TSS dan Warna Limbah Industri Batik secara Elektrokoagulasi, Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan, Vol. 6. No. 1 Hal.37 – 44.
- Novie Putri Setianingrum, Agus Prasetyo, Parto, 2016, ***Pengaruh Tegangan dan Jarak Antar Elektroda terhadap Pewarna Remazol Red RB dengan metoda Elektrokoagulasi., Jurnal***, Inovasi Teknik Kimia, Vol. 1, No. 2, Hal. 93 – 97
- Novita, S (2017), Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik dan Waktu Pengadukan pada Proses Elektrokoagulasi untuk Penjernihan Air Baku PDAM Tirtanadi IPA Sunggal.
- Njiki, 2010, C, P, N.,SW.R Tehamango, P.C. Ngom, A. Darchen and E, Ngameni, 2009 *Mercury (II) Removal from Water by Electrocoagulation Using Aluminium and Iron Electrodes*. International Journal os Environmental Research. Vol. 4(2): 201-208
- Renk, R. R. 2009. *Treatment of hazardous wastewater by electrocoagulation. In: 3rd Annual Conference Proceedings (1989)*. Colorado Hazardous Waste Management Society.
- Rusdianasari. 2013. *Reduction of metal contents in coal stockpile wastewater by usnig electrocoagulation* . Journal Applied Mechanics and Materials. Vol.391: 29-33

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ferry Kriswandana, SST. MT.
NIP : 197007111994031003
Judul Penelitian : **ELEKTROKOAGULASI SEBAGAI REDUKTOR LOGAM
BERAT Pb DAN Hg DALAM AIR**

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penelitian ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan atas karya orang lain, maka saya bersedia bertanggung jawab sekaligus menerima sanksi.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

Surabaya, Oktober 2019

Yang menyatakan,



Ferry Kriswandana, SST. MT.
NIP. 197007111994031003
















LOG BOOK KEGIATAN PENEITIAN






Penelitian berjudul :

“Elektrokoagulasi Sebagai Reduktor Logam Berat Pb, Dan Hg Dalam Air”

Peneliti :

1. Ferry Kriswandana, SST., MT.
2. Suroso Bambang Eko W., SKM., M.Kes.
3. Winarko, SKM., M.Kes.

No	J	Kegiatan	Verifikator
1.	Mei 2019	Persiapan Survei kualitas limbah cair industri sebagai bahan penelitian	
2.	Mei 2019	Survei limbah cair industri untuk mengetahui karakteristik kadar Pb dan Hg pada air limbah	
3.	Mei 2019	Analisis limbah cair industri untuk menentukan kadar Pb dan Hg dalam air	
4.	Juni 2019	Pengkondisian dan uji coba Power Supply. Pengaturan tegangan dan kuat arus	
5.	Juni 2019	Pembuatan Reaktor Penelitian	
6.		Penyiapan dan pengadaan lempeng aluminium sebagai katoda dan anoda proses elektrokoagulasi	
7.	Juni 2019	Setting Uji coba penelitian	
8.	Juni 2019	Persiapan pembuatan sampel penelitian. Penimbangan baku Pb dan Hg.	
9.	Juni 2019	Pembuatan sampel Penelitian : Pencampuran baku Pb dan Hg pada Aquades yang disesuaikan dengan kondisi limbah cair industri	
10.	Juni 2019	Merangkai anoda dan katoda dalam reaktor	
11.	Juni 2019	Uji coba peralatan dan normalisasi reaktor serta power supply	
12.	Juli 2019	Pelaksanaan Penelitian proses elektokoagulasi	
13.	Juli 2019	Pengambilan Sampel Penelitian berdasarkan variasi tegangan dan waktu detensi.	
14.	Juli 2019	Pengamatan kestabilan tegangan pada Power Supply serta Proses Elektrokoagulasi	
15.	Juli 2019	Pengumpulan sampel lengkap dengan etiket dan siap dikirim untuk di analisis kadar Pb dan Hg di Laboratorium.	

No	J	Kegiatan	Verifikator
16.	Juli 2019	Pengiriman sampel ke Laboratorium	
17.	Juli 2019	Pengambilan hasil analisis sampel di Laboratorium	
18.	Agustus 2019	Analisis Hasil Laboratorium	
19.	September 2019	Pembahasan Hasil Penelitian	
20.	Oktober 2019	Finalisasi Laporan Penelitian	

JUSTIFIKASI ANGGARAN PENELITIAN

Judul Penelitian : ELEKTROKOAGULASI SEBAGAI REDUKTOR LOGAM
BERAT Pb, dan Hg DALAM AIR

Peneliti Utama : Ferry Kriswandana, SST., MT.

Peneliti 1 : S.B. Eko Warno, SKM., M.Kes.

Peneliti 2 : Winarko, SKM., M.Kes.

No.	Uraian	Rincian	Jumlah (Rp)
1.	Honor Pembantu Peneliti / Teknisi	3 org x 8 jam x 10 mgg x Rp 25.000	6.000.000
2.	Pemeriksaan Sampel Awal (Laboratorium)	1 paket x 1 kali x Rp 5.000.000	5.000.000
3.	Pemeriksaan Sampel Akhir ke-1 (Lab.)	1 paket x 1 kali x Rp 1.660.000	1.660.000
4.	Pemeriksaan Sampel Akhir ke-2 (Lab.)	1 paket x 1 kali x Rp 4.980.000	4.980.000
5.	Alat Penunjang Penelitian	1 paket x 1 kali x Rp 10.500.000	10.500.000
6.	ATK	1 paket x 1 kali x Rp 760.000	760.000
7.	Penggandaan	7 bendel x 3 kali x Rp 100.000	2.100.000
8.	Transport Peneliti	2 org x 15 kl x 150.000	4.500.000
9.	Transport Pembantu Peneliti	3 orang x 10 kl x 150.000	4.500.000
Total			40.000.000

A. Biaya Penelitian

Biaya penelitian yang dibutuhkan sebagaimana berikut ini :

Tabel 1
Honorarium Petugas

Honor	Honor/jam (Rp)	Waktu (jam/minggu)	Minggu	Jumlah (Rp)
Tenaga teknis	25.000	8	10	2.000.000
Pengumpul data	25.000	8	6	1.200.000
Operator	25.000	8	6	1.200.000
Sub Total 1				4.400.000

Tabel 2
Bahan Habis Pakai

Materia	Justifikasi Pemakaian	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
Kertas HVS A4	Penyusunan proposal, protokol dan laporan penelitian dan penjiilidan	5 rim	50.000	250.000
Tinta Printer		4 cartrid	150.000	600.000
Ballpoint + Cor pen		1 dosin	100.000	100.000
Penggandaan Laporan dan Penjiilidan		20 eksemplar	50.000	1.000.000
Pemeriksaan Sampel Pendahuluan	Sampel Awal	1 paket	5.000.000	5.000.000
Pembuatan Reaktor dan Perlengkapan Penelitian	Proses Elektrokoagulasi	1 paket	5.000.000	5.000.000
Pemeriksaan Sampel Parameter Pb	Sebelum dan sesudah proses	30 sampel	150.000	4.500.000
Pemeriksaan Sampel Parameter Hg	Sebelum dan sesudah proses	30 sampel	150.000	4.500.000
Sub Total 1				20.950.000

Tabel 3
Operasional Penelitian

Komponen Kegiatan	Volume	Frekuensi	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
Survei dan sampling	3 orang	2 kali	300.000	1.800.000
Seminar/Workshop	3 orang	1 kali	1.000.000	3.000.000
Akomodasi/Konsumsi	3 orang	3 kali	50.000	450.000
Lumpsum	3 orang	2 kali	250.000	1.500.000
Transport	3 orang	2 kali	250.000	1.500.000
Sub Total 1				8.250.000

Tabel 4
Lain-lain

Komponen	Volume	Frekuensi	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
Lain-lain	Paket	1 kali	2.425.000	2.425.000

Jadi total biaya yang diperlukan untuk kegiatan penelitian ini sebagaimana ditunjukkan pada table 5 berikut ini.

Tabel 5
Total Anggaran Penelitian

Nomor	Komponen	Jumlah (Rp)	Persentase	Persentase Maksimal
1.	Honorarium Petugas	8.375.000	20,93 %	30 %
2.	Bahan habis pakai	20.950.000	52,38 %	60 %
3.	Operasional Penelitian	8.250.000	20,63 %	40 %
4.	Lain-lain	2.425.000	6,06 %	40 %
Total Biaya		40.000.000	100 %	
Empat puluh juta rupiah				

Elektrokoagulasi Sebagai Reduktor Logam Berat Pb, Dan Hg Dalam Air

*Ferry Kriswandana, Suroso Bambang Eko Warno, Winarko
Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Surabaya*

ABSTRACT

Heavy metals in certain levels can reduce the quality of air, water, and soil. Furthermore, causing health problems for plants, animals and humans, when there is accumulation as a result of industrial activity. Until now, the reduction of heavy metal content in liquid waste has been carried out physically, chemically and biologically. Therefore it is deemed necessary to reduce levels of heavy metals in liquid waste by electrocoagulation. The purpose of this study is to study the performance of electrocoagulation as a reducing agent in reducing Pb and Hg levels in water, so that it can provide references and input for the electroplating industry, batik industry, and others.

This study is a true experimental study with a post test only control group design design that is a research design consisting of a control group and an experimental group. The research sample will be examined in a laboratory. The samples used in this study are preparations that have been made by dissolving Pb and Hg such that the waste originating from the batik industry or electroplating waste or factory waste accu ... Variations in this study are the current / voltage strength (16, 20, and 24) volts and detention time (30, 40, 50, and 60) minutes. In this study, including the independent variable is electrocoagulation which is equipped with cathode and anode. This variable will affect the change in the dependent variable. The dependent variable in this study is the quality of the waste after the electrocoagulation process by observing the parameters Pb and Hg. The collected data is then processed descriptively and analytically. Analyze data using the One-way Anova test.

The results of this study indicate that electrocoagulation as a reducing agent at 16 Volts, 20 Volts, and 24 Volts with a contact time of 30 minutes, 40 minutes, 50 minutes and 60 minutes has a significant effect on Pb and Hg reduction with $\alpha = 0.05$. The most significant reduction in average Pb occurs in processing with a 20 volt electricity voltage and 60 minutes contact time. Meanwhile, the most significant decrease in Hg levels occurs in processing with a 24 volt electricity voltage and contact time for 30 minutes. From the results of this study it can be recommended for future studies to use different treatments from this study, such as variations in electrode spacing, variations in electrode types, or even can combine electrocoagulation methods with other wastewater treatment methods.

Keywords: electrocoagulation, voltage, contact time, heavy metals.

Pendahuluan

Logam berat dapat menurunkan kualitas udara, air, dan tanah, selanjutnya menyebabkan masalah kesehatan bagi tanaman, hewan, dan manusia, ketika terjadi penumpukan sebagai hasil aktivitas industri. Sumber logam berat yang umum dalam konteks ini meliputi aktivitas pertambangan dan limbah industri; gas buang kendaraan; [baterai asam timbal](#); pupuk; [cat](#); dan [kayu olahan](#), [infrastruktur pasokan air yang sudah tua](#) dan [mikroplastik](#) yang terdapat di samudera dunia. Contoh terkini kontaminasi logam berat dan risiko kesehatan meliputi kasus [penyakit Minamata](#), Jepang; [bencana bendungan Bento Rodrigues](#) di Brazil, kandungan timbal yang tinggi pada pasokan air minum kepada penduduk [Flint](#), Michigan, di timur laut Amerika Serikat. Sampai saat ini penurunan kadar logam berat dalam limbah cair banyak dilakukan secara fisik, kimia dan biologi, oleh karena itu dianggap perlu untuk menurunkan kadar logam berat dalam limbah cair secara elektrokoagulasi.

Logam berat merupakan jenis logam yang dibutuhkan oleh makhluk hidup (manusia, hewan dan tumbuhan) dalam dosis yang sangat kecil, disisi lain logam berat juga merupakan zat yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia, antara lain : menyebabkan terjadinya keracunan, kematian, gangguan syaraf, tulang, kerusakan kulit, hati, ginjal, paru dan kerusakan lingkungan. Sampai saat ini penurunan kadar logam berat dalam limbah cair banyak dilakukan secara fisik, kimia dan biologi. Tujuan umum dalam penelitian ini adalah mempelajari kinerja elektrokoagulasi sebagai reduktor dalam menurunkan kadar Pb dan Hg dalam air.

Penelitian ini bermanfaat dalam memberikan referensi dan masukan bagi para pelaku industri elektroplating, industri batik, dan lain-lain. dalam hal ini penerapan teknologi elektrokoagulasi pada pengolahan limbah cair industri yang efektif dan efisien, kelebihan dan kekurangannya serta dampaknya terhadap masyarakat dan lingkungan.

Metoda Penelitian

Proses elektrokoagulasi dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan reaktor berupa kotak kaca. Adapun tahapan dalam rancangan percobaan proses elektrokoagulasi dilakukan sebagai berikut : tahap pertama adalah penelitian pendahuluan, yaitu pengukuran sampel limbah cair industri sehingga didapat karakteristik berupa parameter pencemar khususnya dalam penelitian ini adalah Pb dan Hg yang kemudian data tersebut dijadikan penunjang untuk penelitian selanjutnya, tahap kedua yaitu pengolahan limbah cair menggunakan metode elektrokoagulasi dengan memvariasikan nilai tegangan dan waktu kontak, tahap terakhir yaitu pengecekan/analisis kadar Pb dan Hg hasil proses elektrokoagulasi sehingga didapatkan kondisi optimum dan efisiensi penurunan nilai Pb dan Hg.

Limbah cair sebagai input merupakan limbah buatan dari aquades yang dikondisikan ditambahkan baku Pb dan Hg hingga melebihi kadar baku mutu effluent limbah cair. Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan memvariasikan tegangan dan waktu kontak dalam reaktor tersebut. Setelah intervensi proses elektrokoagulasi dilakukan dengan variasi yang dikondisikan. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel untuk dianalisis parameter Pb dan Hg. Kemudian hasilnya akan dianalisis menggunakan uji statistik *two way anova* dan dilanjutkan dengan uji *Post-Hoc Tukey's*.

Penelitian ini merupakan penelitian *True eksperimental* dengan rancangan *post test only control group design* yaitu suatu desain penelitian yang terdiri dari kelompok control dan kelompok eksperimen. Sampel percobaan diambil setelah air kontak dengan proses elektrokoagulasi dengan variasi tegangan 16 volt, 20 volt, dan 24 volt, selama waktu kontak 30 menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit serta dilakukan pemeriksaan di laboratorium.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sediaan yang telah dibuat dengan melarutkan Pb dan Hg sehingga seperti limbah yang berasal dari industri batik atau limbah electroplating atau limbah pabrik accu.

Dalam penelitian ini yang termasuk variabel bebas adalah elektrokoagulasi yang dilengkapi dengan katoda dan anoda. Variabel ini akan mempengaruhi perubahan variabel terikat. Adapun yang menjadi variabel terikat dalam penelitian ini adalah kualitas limbah setelah proses elektrokoagulasi dengan pengamatan parameter Pb dan Hg. Untuk mengevaluasi penelitian ini dilakukan analisis terhadap perubahan sampel percobaan yang diambil sebelum dan sesudah proses elektrokoagulasi. Parameter yang diperiksa dalam percobaan ini adalah Pb dan Hg. Parameter yang dikendalikan dalam penelitian ini adalah pH sampel, kuat arus, jenis elektroda, luas permukaan elektroda, dan jarak elektroda.

Analisa data dengan menggunakan uji Anova Satu Jalur atau *Two-way Anova*. *Two-way Anova* memiliki tujuan untuk menguji beda mean data yang memiliki 2 variabel bebas dan minimal 1 variabel terikat. Asumsi uji dilakukan jika data berdistribusi normal dan data bersifat numerik. Apabila data dalam penelitian ini tidak berdistribusi normal, maka uji yang dilakukan menggunakan uji *Kruskal Wallis*. Dalam penelitian ini memperhatikan satu perubahan saja yaitu penurunan kadar logam berat limbah industri setelah mendapatkan perlakuan elektrokoagulasi. Apabila pada uji perbedaan didapatkan hasil yaitu terdapat perbedaan kadar Pb dan Hg dari setiap perlakuan yang diberikan saat pengolahan dengan metode elektrokoagulasi, maka perlu dilakukan uji lanjutan yaitu menggunakan uji *Post-Hoc Tukey* yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan mean penurunan parameter uji.

Hasil Penelitian

Terjadi penurunan kadar Pb dalam sampel air setelah dilakukan pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi dengan variabel tegangan listrik divariasikan sebesar masing-masing 16 volt, 20 volt, dan 24 volt serta variabel waktu kontak divariasikan selama 30 menit, 40 menit, 50 menit, dan 60 menit. Persentase penurunan kadar Pb rata-rata terkecil terjadi pada perlakuan yang menggunakan besar tegangan listrik 16 volt dengan waktu kontak 30 menit yaitu sebesar 22,31% (2,663 ppm). Sedangkan persentase penurunan terbesar kadar Pb rata-rata terjadi pada proses pengolahan sampel limbah cair yang menggunakan tegangan listrik 20 volt dan waktu kontak 60 menit yaitu sebesar 85,21% (0,490 ppm).

Dari data diatas juga menunjukkan bahwa tegangan dan waktu optimum dalam penurunan logam Pb pada limbah cair dengan metode elektrokoagulasi terjadi pada pengolahan dengan tegangan listrik 20 volt dengan waktu kontak 60 menit tersebut. Sementara itu, pada pengolahan dengan tegangan 24 volt dan waktu kontak 30 menit, 40 menit, 50 menit, serta 60 menit menunjukkan hasil penurunan efisiensi penyisihan dalam setiap periode waktu yang diamati. Hal ini dimungkinkan terjadi kejenuhan dalam proses elektrokoagulasi pada tegangan 24 volt. Karena kejenuhan proses tersebut, penurunan kadar Pb menjadi tidak optimal dan cenderung stagnan. Untuk lebih jelasnya, berikut ini grafik penurunan kadar Pb pada limbah cair setelah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi.

Terjadi penurunan kadar Hg pada sampel air setelah dilakukannya pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi dengan variabel tegangan listrik dengan variasi tegangan sebesar 16 volt, 20 volt, dan 24 volt serta variabel waktu kontak dengan variasi waktu masing-masing selama 30 menit, 40, menit, 50 menit, dan 60 menit. Persentase penurunan kadar Hg rata-rata terkecil terjadi pada perlakuan yang menggunakan besar tegangan listrik 16 volt dengan waktu kontak 30 menit yaitu sebesar 24,64% (2,226 ppm). Sedangkan persentase penurunan terbesar kadar Hg rata-rata terjadi pada proses pengolahan sampel limbah cair yang menggunakan tegangan listrik 24 volt dan waktu kontak 30 menit yaitu sebesar 83,58% (0,485 ppm). Dari data diatas, juga dapat diketahui bahwa tegangan dan waktu optimum dalam penurunan logam Hg pada dalam air dengan metode elektrokoagulasi terjadi pada pengolahan dengan tegangan

listrik 24 volt dengan waktu kontak 30 menit tersebut. Hal ini karena terjadinya kejenuhan pada saat pengolahan dengan tegangan 24 volt dan waktu kontak 40 menit, 50 menit, serta 60 menit. Karena kejenuhan proses tersebut, penurunan kadar Hg menjadi tidak optimal dan cenderung stagnan.

Pembahasan

Hasil pengukuran kadar Pb dan Hg pada limbah cair industri setelah pengolahan menggunakan metode elektrokoagulasi diketahui bahwa terjadi penurunan kadar Pb dan Hg pada limbah cair industri setelah dilakukannya pengolahan dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Hal tersebut diperkuat dengan analisis menggunakan uji statistik *Kruskal Wallis* yang didapatkan hasil yaitu nilai Asymp. Sig. (p -value) atau nilai peluang kebenaran suatu hipotesis bernilai $< 0,05$ yang berarti bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kadar Pb dan Hg limbah cair industri pada sampel kontrol dan setelah pengolahan dengan metode elektrokoagulasi.

Penurunan kadar Pb dan Hg menggunakan metode elektrokoagulasi dengan elektroda Aluminium berasal dari proses reaksi redoks dimana pada anoda (dalam pH asam) akan membentuk reaksi $Al_{(s)} \rightarrow Al^{3+}_{(aq)} + 3e^-$ dan pada katoda akan membentuk $3H^+_{(aq)} + 3e^- \rightarrow 1,5H_{2(g)}$. setelah anoda dan katoda bereaksi maka akan terjadi pembentukan flok yang berfungsi sebagai bahan koagulan yang akan mengikat Pb (Al-qodah & Al-shannag, 2017).

Penurunan kadar Pb pada limbah cair yang diolah menggunakan metode elektrokoagulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain : tegangan dan waktu kontak proses. Menurut (Al-qodah & Al-shannag, 2017), kuantitas penurunan kadar logam berat pada limbah yang diolah dipengaruhi oleh waktu kontak dimana semakin lama waktu kontak maka semakin banyak penurunan kadar logamnya. Namun, terdapat kejenuhan waktu kontak dimana ketika keadaan optimum telah tercapai maka penurunan dari kadar logam yang diolah akan stagnan. Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian ini dimana waktu kontak optimum untuk penurunan kadar Pb adalah 60 Menit dengan voltase sebesar 24 V dalam keadaan pH asam. Perlu studi lebih lanjut untuk mengetahui apakah setelah 60 menit proses elektrokoagulasi masih optimum menurunkan kadar Pb dalam air.

Penurunan kadar Hg pada limbah cair yang telah diolah dengan metode elektrokoagulasi pada prinsipnya sama dengan penurunan kadar pencemar Pb. Yakni melalui proses terbentuknya agen koagulan oleh anoda dan katoda. Menurut Vasudevan & Lakshmi, (2012) elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium efektif menurunkan kadar Hg dalam air minum. Kadar Hg akan dihilangkan oleh agen koagulan yang berasal dari proses reduksi oksidasi aluminium. Namun, terdapat kerugian dari penggunaan elektroda sejenis adalah terbentuknya klorida dan sulfat yang bersifat asam yang akan mereduksi kemampuan pembentukan koagulan seiring lamanya waktu kontak, karena pengaruh sulfat dan klorida yang terbentuk. Hal tersebut yang diduga terjadi pada proses ini ketika waktu kontak diberikan semakin lama, tidak terjadi penurunan kadar Hg yang signifikan. Hal ini dibuktikan dengan hasil uji yang menyatakan bahwa perlakuan yang paling efektif untuk menurunkan kadar Hg dalam air adalah 30 menit dengan voltase sebesar 24V.

Simpulan dan Saran

Elektrokoagulasi sebagai reduktor pada tegangan 16 Volt, 20 Volt, dan 24 Volt dengan waktu kontak 30 menit, 40 menit, 50 menit dan 60 menit berpengaruh secara signifikan terhadap penurun Pb dan Hg dengan $\alpha = 0.05$. Penurunan kadar Pb rata-rata yang paling signifikan terjadi pada pengolahan dengan tegangan listrik 20 volt dan waktu kontak 60 menit. Sedangkan, penurunan kadar Hg yang paling signifikan terjadi pada pengolahan dengan tegangan listrik 24 volt dan waktu kontak selama 30 menit.

Saran

Bagi peneliti lain yang ingin melanjutkan penelitian sejenis, sebaiknya lebih memperhatikan variabel-variabel yang dapat mempengaruhi hasil pengolahan, agar proses pengolahan limbah cair dengan elektrokoagulasi dapat berjalan secara optimal. Peneliti lain juga dapat melakukan penelitian sejenis dengan menggunakan perlakuan yang berbeda dari penelitian ini, seperti variasi jarak elektroda, variasi jenis elektroda, atau bahkan dapat mengkombinasikan metode elektrokoagulasi dengan metode pengolahan limbah cair yang lain.

Daftar Pustaka

Agung Prabowo, Gagah Hasan Basrori, Purwanto, 2012. *Pengolahan Limbah Cair yang mengandung minyak dengan Proses Elektrokoagulasi dengan Elektroda Besi.*, Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol. 1, No. 1. Hal. 352 - 355

Ahyar, Dietriech G. Bengen , dan Yusli Wardiatno (2017). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. Sebaran dan Bioakumulasi Logam Berat Pb dan Cd Pada Bivalvia Anadara nodifer, Meretrix lyrata, dan Solen lamarckii di Perairan Pesisir Selat Madura Barat. Vol. 9 No. 2, Hlm. 631-643, Desember 2017 ISSN Cetak : 2087-9423 <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnalikt>

Ashari, Dedik Budianta, Dedy Setiabudidaya, 2015, *Efektifitas Elektroda pada Proses Elektrokoagulasi untuk Pengolahan Air Asam Tambang*, Jurnal Sains, Vol. 17, No. 2, Hal 45 -50

Butler, E,Y Hung, R Yu-Li Yeh and MS Al Ahmad. 2011. *Electrocoagulation in Water Treatment*, Water (3). Doi:10.3390/ 3020495; 495-525.

Darmawan, 2014. Treatmen of coal stockpile wastewater by electrocoagulation using Aluminium electrodes. Journal Advanced Material Research, Vol. 896:145-148

Eddy Wiyanto, 2014. Penerapan Elektrokoagulasi dalam Proses Penjernihan Limbah Cair, Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Vol 16, No. 1, Hal 19 – 36.

Etty Riani (2010), Jurnal Teknik Lingkungan, Kontaminasi Merkuri (Hg) dalam Organ Tubuh Ikan Petek (*Leiognathus equulus*) di Perairan Ancol, Teluk Jakarta. Hal 313-322 (Mei 2010), ISSN 1441-318X.

Goldsmith R. H. 2012, "Metalloids", *Journal of Chemical Education*, vol. 59, no. 6, Hawkes S. J. 2010, "What is a "heavy metal"?", *Journal of Chemical Education*, vol. 74.

Hendriarianti, Evy. 2011. pengaruh jenis elektroda dan jarak antar elektroda dalam penurunan cod dan tss limbah cair Laundry menggunakan elektrokoagulasi konfigurasi Monopolar aliran kontinyu. Institut Teknologi Nasional, Malang.

Koparal, A. S. dan Ogutveren, U. B. 2012. Removal of nitrate from water By electroreduction and electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials, B89,83-94

Manna Wanna, Subari Yanto, Kadirman (2017), Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian, Vol. 3 Analisis Kualitas Air dan Cemaran Logam Berat Merkuri (Hg dan Timbal (Pb) pada Ikan di Kanal Daerah Hertasing Kota Makasar. S197-S210, S198, P ojs unm.ac.id >ptp

Masthura, Ety Jumiati, 2017, Peningkatan Kualitas Air menggunakan Metoda Elektrokoagulasi dan Filter Karbon, *Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi*, Vol. 1, No. 2, Hal 1 – 6.

Mukimin, A.2009, *Pengolahan Limbah Industri berbasis Logam dengan Teknologi Elektrokoagulasi Floatasi*. Tesis Magister, Pascasarjana Universitas Diponegoro , Semarang

Novianti Dwi Lestari, Tuhu Agung, 2012, Penurunan TSS dan Warna Limbah Industri Batik secara Elektrokoagulasi, *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, Vol. 6. No. 1 Hal.37 – 44.

Novie Putri Setianingrum, Agus Prasetyo, Parto, 2016, ***Pengaruh Tegangan dan Jarak Antar Elektroda terhadap Pewarna Remazol Red RB dengan metoda Elektrokoagulasi.***, *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, Vol. 1, No. 2, Hal. 93 – 97

Novita, S (2017), Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik dan Waktu Pengadukan pada Proses Elektrokoagulasi untuk Penjernihan Air Baku PDAM Tirtanadi IPA Sunggal.
Njiki, 2010, C, P, N.,SW.R Tehamango,

P.C. Ngom, A. Darchen and E, Ngameni, 2009 *Mercury (II) Removal from Water by Electrocoagulation Using Aluminium and Iron Electrodes*. *International Journal of Environmental Research*. Vol. 4(2): 201-208

Renk, R. R. 2009. *Treatment of hazardous wastewater by electrocoagulation*. In: *3rd Annual Conference Proceedings (1989)*. Colorado Hazardous Waste Management Society.

Rusdianasari. 2013. *Reduction of metal contents in coal stockpile wastewater by usnig electrocoagulation* . *Journal Applied Mechanics and Materials*. Vol.391: 29-33