

LAPORAN PENELITIAN
OPTIMASI PROSES ELEKTROKOAGULASI UNTUK
PENGOLAHAN LIMBAH CIPROFLOXACIN



Disusun oleh :

DZIKRI SURYA WARDANA (3335190016)

MUHAMMAD RIJAL ALFARISI (3335190055)

TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2022

LAPORAN PENELITIAN
OPTIMASI PROSES ELEKTROKOAGULASI UNTUK PENGOLAHAN
LIMBAH CIPROFLOXACIN

disusun oleh

DZIKRI SURYA WARDANA 3335190016

MUHAMMAD RIJAL ALFARISI 3335190055

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing

Dosen Pembimbing I



Dr. Indar Kustiningsih, S.T., M.T
NIP: 197607052002122002

tanggal 11 Januari 2022

Dosen Pembimbing II



Muhammad Triyogo Adiwibowo, S.T., M.T
NIP: 199010022019031013

tanggal 11 Januari 2022

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat sehingga penulisan laporan penelitian yang berjudul “OPTIMASI PROSES ELEKTROKOAGULASI UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CIPROFLOXACIN”

Tujuan penyusunan laporan ini yaitu untuk mendapatkan kondisi optimum pada proses elektrokoagulasi untuk penyisihan limbah Ciprofloxacin dengan menggunakan *stainless steel* sebagai katoda dan alumunium sebagai anoda. Pada kesempatan ini penulis hendak menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moril maupun materil sehingga laporan penelitian ini dapat selesai. Ucapan terima kasih ini penulis tunjukkan kepada:

1. Dr. Indar Kustiningsih, S.T., M.T. dan Muhammad Triyogo Adiwibowo, S.T., M.T. selaku Dosen yang telah mendidik dan memberikan bimbingan selama masa pembuatan laporan.
2. Orang tua, kakak, adik, dan kerabat penulis yang telah memberikan doa, dorongan dan semangat selama penyusunan laporan ini.

Pembuatan laporan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan karena pengalaman dan pengetahuan penulis yang terbatas. Oleh karena itu, kritik dan saran dari semua pihak sangat kami harapkan demi terciptanya penelitian yang lebih baik lagi untuk masa mendatang.

Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu, dan penulis berharap Allah SWT senantiasa membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

Penulis

ABSTRAK

**OPTIMASI PROSES ELEKTROKOAGULASI UNTUK
PENGOLAHAN LIMBAH CIPROFLOXACIN**

Oleh:

Dzikri Surya Wardana (3335190016)

Muhammad Rijal Alfarisi (3335190055)

Air limbah yang berasal dari sarana pelayanan kesehatan seperti rumah sakit mengandung bahan kimia dan obat-obatan yang dapat menyebabkan kanker. Ciprofloxacin (CIP) adalah salah satu limbah antibiotik yang dapat mencemari kehidupan ekosistem air. Metode yang dapat digunakan dalam pengolahan limbah ciprofloxacin adalah elektrokoagulasi. Adapun tujuan penelitian ini yaitu mendapatkan kondisi optimum proses elektrokoagulasi untuk penyisihan CIP dan mendapatkan pengaruh pH terhadap hasil proses elektrokoagulasi. Pada elektrokoagulasi dilakukan optimasi dengan 2 variasi tegangan dan pH. Pada Variasi tegangan dilakukan pada 20, 30, dan 50 volt dan didapatkan hasil optimal yaitu pada tegangan 50 volt dengan penyisihan sebesar 60 %. Lalu dilanjutkan dengan variasi pH 4, 6, dan 11 dengan hasil optimal yang didapatkan yaitu pada pH 6 dengan total penyisihan sebesar 65,83%. Adapun hasil optimal yang didapatkan pada elektrokoagulasi limbah ciprofloxacin dengan konsentrasi 10 ppm pada tegangan 50 volt dan pH 6 dengan total penyisihan sebesar 65,83%. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi voltase dengan kondisi pH netral maka semakin besar total penyisihan limbah yang didapatkan.

Kata Kunci: *Electrokoagulasi, Ciprofloxacin*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Ruang lingkup	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Limbah Ciprofloxacin	3
2.2 Elektrokoagulasi	4
2.3 Plat Elektroda	10
2.4 Reaksi Kimia Pada Elektroda	10
2.5 Katoda dan Anoda	11
2.6 Parameter Proses Pada Elektroda	12
2.6.1 Jenis Plat Elektroda	12
2.6.2 Kuat Tegangan	13
2.6.3 Kuat Arus	13
2.6.4 Waktu Kontak	13
2.6.5 Konduktivitas	13
2.6.6 Kondisi pH	14
2.6.7 Jarak Antar Elektroda	14
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Tahap Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan	17
3.3 Prosedur Penelitian	17

3.4 Variabel	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil dan Pembahasan	18
4.1.1 Pengaruh pH Terhadap Konsentrasi Limbah Ciprofloxacin	19
4.1.2 Pengaruh Voltase Terhadap Konsentrasi limbah Ciprofloxacin	21
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	23
5.2 Saran	23
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Review Jurnal	7
Tabel 2.2 Reaksi Anoda alumunium dan Tembaga	12

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Elektrokoagulasi	5
Gambar 3.1 Tahap Penelitian	16
Gambar 3.2 Skema Proses Elektrokoagulasi	17
Gambar 4.1 Pengaruh Voltase Terhadap Konsentrasi Limbah Ciprofloxacin	19
Gambar 4.2 Pengaruh pH Terhadap Konsentrasi Limbah Ciprofloxacin	21

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri farmasi beberapa tahun terakhir mengalami peningkatan di berbagai dunia, sehingga kegiatan rumah sakit akan mengalami peningkatan juga salah satunya akan menghasilkan residu obat-obatan, yaitu antibiotik (Lee et al., 2019). Antibiotik merupakan bagian terpenting dalam pengobatan, karena dapat membantu mengobati gejala infeksi pada manusia (Vasquez et al., 2015).

Ciproloxacin (CIP) merupakan salah satu fluorokuinolon yang paling banyak digunakan di dunia pada pengobatan manusia, terutama pada infeksi saluran kemih pada laki-laki (Smart et al., 2019, Wagenlehner et al., 2018). Limbah antibiotik yang menjadi kontaminan pada air permukaan dan air tanah karena polusi yang dihasilkan akan terus masuk $\mu\text{g/L}$ ke dalam ekosistem perairan bahkan pada konsentrasi rendah, kandungan antibiotik mencapai 65% dengan CIP sebagai komponen yang paling sering terdeteksi (Lee et al., 2019, Rusch et al., 2019). Limbah CIP yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit yaitu $50 \mu\text{g/L}^{-1}$ sampai 150mg/L^{-1} , sedangkan untuk ambang batas konsentrasi limbah CIP dalam baku mutu lingkungan yaitu $1 < \mu\text{g/L}^{-1}$ (El-Shafey et al., 2012). Kehadiran CIP di lingkungan akuatik dapat mengakibatkan kematian pada flora dan fauna akuatik (Xiong et al., 2017, González-Pleiter et al., 2013). Sementara itu Magdaleno menjelaskan, CIP sebagai antibiotik paling beracun untuk kerusakan jantung yang diinduksi diamati pada ikan setelah 24 jam paparan air yang terkontaminasi CIP (Magdaleno et al., 2015). Studi juga menunjukkan bahwa konsentrasi CIP 1700nmol/L menghambat degradasi komunitas sedimen bakteri *pyreneby* sebesar 50%. Limbah CIP juga dapat menghambat pertumbuhan spesies akuatik fotoautotrofik karena paparan media CIP yang tercampur (Rusch et al., 2019). Berdasarkan hal tersebut, CIP memiliki efek lingkungan negatif ketika dilepaskan dalam ekosistem.

Berbagai literatur mengungkapkan bahwa banyak penelitian berfokus pada pengembangan prosedur yang efisien dan ekonomis untuk menghilangkan

kontaminasi CIP dari air limbah sebelum dilepaskan ke lingkungan. Adapun CIP telah terdeteksi dalam perairan Sungai Musi di Kota Palembang dimana telah dilakukan Analisa dan terdeteksi 2 jenis antibiotic yaitu Ciprofloxacin dan Netilmicin (Ian Kurniawan., 2019). Karena CIP tahan terhadap metabolisme mikroba, tidak dapat terdegradasi secara efisien melalui proses biologis. Beberapa penelitian termasuk proses oksidasi lanjutan seperti UV/H₂O₂, O₃ (Almomani et al., 2018).

Terdapat beberapa proses untuk menghilangkan limbah cair seperti koagulasi, oksidasi kimia, proses elektrokimia, oksidasi kimia, dan teknik adsorpsi (Wanchantuheuk R, dkk. 2011). Namun teknologi tersebut memiliki beberapa kekurangan diantaranya polutan tidak sepenuhnya menjadi tidak berbahaya, efisiensi rendah, polusi sekunder dapat mudah terjadi, konsumsi energinya yang cukup tinggi, dan hanya dapat diterapkan pada polutan tertentu (Palupi E, dkk. 2006). Salah satu teknologi pengolahan limbah adalah elektrokoagulasi yang merupakan proses pelepasan koagulan aktif yang berupa ion logam ke dalam larutan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi elektrolisis yaitu berupa pelepasan gas *hydrogen* (Ahmad Afif, dkk. 2019).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi optimum elektrokoagulasi dan mendapatkan pengaruh pH dan voltase dalam mendgradasi limbah CIP. Pada penelitian ini akan dimati efek pH, voltase.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kondisi optimum dari pengaruh pH dan voltase dari proses elektrokoagulasi pada limbah CIP.

1.4 Ruang Lingkup

Berikut adalah ruang lingkup pada penelitian ini:

1. Limbah yang digunakan adalah CIP
2. Sumber arus berasal dari *DC Power Supply*
3. Proses reaksi dilakukan di dalam reaktor elektrokoagulasi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Ciprofloxacin

Bakteri *Escherichia coli* (*E. coli*) merupakan penyebab terbanyak infeksi saluran kemih dengan persentase 70-95%. CIP adalah salah satu antibiotik lini pertama pada pengobatan ISK yang bekerja dengan cara bakterisida, yang memiliki efek interfensi pada DNA gyrase dan enzim topoisomerase IV yang merupakan substansi penting pada bakteri untuk melakukan sintesis. Penggunaan antibiotik yang tidak rasional seperti tidak sesuai dengan anjuran maupun dosis yang diberikan, indikasi yang tidak tepat, dan penggunaan dalam jangka panjang dapat menimbulkan dampak negatif seperti timbulnya efek samping atau toksisitas, mempercepat terjadinya resistensi dan risiko kegagalan terapi. Karena CIP tidak dapat dimetabolisme sepenuhnya dalam tubuh manusia, sebagian besar antibiotik ini telah terbukti diekskresikan ke dalam urin dan feses dalam bentuk aktif dan kemudian dibuang ke saluran pembuangan kota (Paul dkk., 2010, Price SA et al., 2006).

Dari berbagai industri terutama farmasi limbah yang dihasilkan telah mencemari di beberapa sektor seperti di permukaan air. Salah satu limbah yang terdeteksi adalah CIP yang merupakan antibiotik fluoroquinolone spektrum luas yang efektif dalam mengobati berbagai infeksi. Konsentrasi CIP telah terdeteksi dalam air limbah rumah sakit hingga 21 mg/l, dan dalam konsentrasi hingga beberapa mg/l dalam limbah sekunder yang diolah karena pembuangan IPAL konvensional yang tidak lengkap (Doorslaer et al., 2014, Zhou dan Jiang., 2015).

Antibiotik CIP paling banyak digunakan pada ternak yang juga merupakan metabolit utama enrofloxacin. Walaupun CIP menunjukkan nilai toksik yang rendah pada sampel biologis, tetapi perlu diperhatikan bahwa penelitian menunjukkan bahwa bakteri resisten antibiotik dan gen resistensi akan dilahirkan oleh efek CIP pada tingkat rendah. Maka dari itu, varian genetic mikroorganisme akan terancam dan berdampak buruk pada kesehatan manusia. Pencemaran lingkungan oleh zat-

zat ini, meningkatkan kekhawatiran tentang potensi efek buruknya pada kesehatan manusia (Bilal dkk., 2019, Steenbergen et al., 2017).

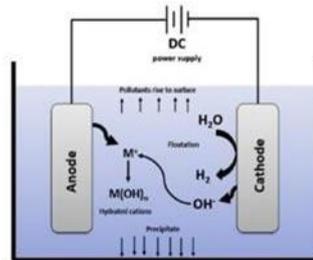
2.2 Elektrokoagulasi

Proses elektrokimia terdiri dari empat proses penting yaitu elektrodeposisi, elektrokoagulasi, elektroflotasi, serta elektrooksidasi. Di antara ke empat proses tadi, proses elektrokoagulasi terus dikembangkan sebab mempunyai efisiensi yang tinggi untuk menghilangkan beberapa polutan seperti minyak, pelumas, logam, kekeruhan, dan zat warna. Tiga tipe elektroda yang sering digunakan dalam proses elektrokoagulasi adalah aluminium (Al-Al), besi (Fe-Fe), dan Al/Fe (Chen., 2004, Tak-Hyun Kim 2002).

Reaksi kimia yang terjadi pada proses elektrokoagulasi yaitu reaksi reduksi oksidasi, sebagai akibat adanya arus listrik (DC). Pada reaksi ini terjadi pergerakan dari ion-ion yaitu ion positif (disebut kation) yang bergerak pada katoda yang bermuatan negatif. Sedangkan ion-ion negatif bergerak menuju anoda yang bermuatan positif yang kemudian ion-ion tersebut dinamakan sebagai anion (bermuatan negatif). Elektroda dalam proses elektrokoagulasi merupakan salah satu alat untuk menghantarkan atau menyampaikan arus listrik ke dalam larutan agar larutan tersebut terjadi suatu reaksi (perubahan kimia). Elektroda tempat terjadi reaksi reduksi disebut katoda, sedangkan tempat terjadinya reaksi oksidasi disebut anoda.

Unit elektrokoagulasi biasanya terdiri dari sel elektrolitik dengan elektrode logam anoda serta elektroda logam katoda yang terhubung secara eksternal ke sumber daya DC serta dicelupkan ke pada larutan yang akan diproses seperti gambar pada 2.1. Elektroda besi dan aluminium merupakan merupakan logam yang paling luas penggunaannya untuk sel EC karena logam ini banyak tersedia, tidak beracun dan terbukti tangguh. Meskipun EC dianggap cukup mirip dengan CC/CF

dalam hal mekanisme destabilisasi koloid, tetapi terdapat perbedaan dari CC/CF seperti terjadinya reaksi samping secara bersamaan di kedua elektroda.



Gambar 2.1 Proses Elektrokoagulasi (Moussa, El-Naas et al. 2017)

Jenis logam yang digunakan sebagai elektroda memegang peranan penting di metode elektrokoagulasi. Aluminium (Al), besi (Fe), stainless steel (SS) merupakan elektroda yang sering dipergunakan di proses elektrokoagulasi karena murah, mudah didapat, memiliki efisiensi tinggi, dan tidak berbahaya (Kim et al., 2002), membandingkan performa dari Al, Fe, dan SS sebagai elektroda untuk mendegradasi limbah zat warna pada proses elektrokoagulasi dan hasilnya elektroda aluminium mempunyai efisiensi yg lebih tinggi bila dibandingkan menggunakan elektrode Fe dan SS (Tak-Hyun Kim., 2002, Liu and Wu., 2019).

Berikut faktor-faktor yang mempengaruhi yaitu:

1. pH Awal: pH awal adalah faktor penting buat proses elektrokoagulasi dan memainkan peran krusial dalam menghilangkan minyak dan air limbah, untuk penghapusan kekeruhan dan COD maksimal diamati dalam pH 5 dan akan berubah antara pH 6 dan 7.
2. Kepadatan arus: Kepadatan arus dilaporkan sebagai parameter penting lain yang melibatkan memengaruhi efisiensi pengobatan. Pengolahan air limbah dari kentang pembuatan chip oleh elektrokoagulasi dipelajari kepadatan ketika ini bervariasi berdasarkan 25 hingga 300 A/m².
3. Waktu reaksi: waktu reaksi memiliki efek penting pada efisiensi perawatan di proses elektrokimia. Efek saat retensi pada pengolahan air limbah, peningkatan waktu berdasarkan lamanya pengolahan menyebabkan peningkatan pada konsumsi energi berdasarkan pemakaian energi dan peningkatan konsumsi elektroda.

4. Konfigurasi elektroda: perakitan elektroda adalah jantung dari proses elektrokoagulasi. Karena aluminium dan elektroda besi murah, tersedia dan terbukti efektif, mereka yang paling banyak bahan elektroda yang dipakai dalam aplikasi elektrokoagulasi. Tidak ada kinerja yang signifikan pada perbedaan antara dua bahan elektroda untuk menghilangkan minyak dan pelumas dalam kondisi yang sama.
5. Konduktivitas air limbah: konduktivitas elektrolit pendukung memiliki efek penting pada rapat arus proses elektrokoagulasi. Efek garam terhadap pemecahan emulsi minyak dalam air diselidiki. Untuk muatan listrik yang sama melewati, pemindahan COD lebih baik diperoleh dalam media klorida dibandingkan dengan media sulfat.

Parameter pengaruh lainnya: parameter operasi lainnya seperti suhu air limbah, kecepatan pengadukan, dan laju aliran juga telah diselidiki sebelumnya studi membuat mengeksplorasi efeknya pada penghapusan air limbah di proses elektrokoagulasi. Efek suhu lebih tinggi mengarah ke konduktivitas yang lebih tinggi sehingga konsumsi energy lebih rendah. Saat kecepatan pengadukan ditingkatkan, flok terdegradasi dan teradsorpsi polutan diserap. Hal ini menyebabkan penurunan efisiensi penghapusan COD. Pengadukan secara efisien dapat memindahkan zat koagulan yang sebelumnya terbentuk dari pembubaran elektroda. Namun, pengadukan kecepatan tinggi akan menghancurkan flok yang terbentuk dalam reaktor dan membentuk flok kecil yang sulit dihilangkan.

Tabel 2.1 Review Jurnal

No	Judul	Limbah	Katod anoda	Variasi	Variasi terbaik	Hasil penelitian	Referensi
1	Penghapusan selenium dari air limbah kilang minyak bumi menggunakan teknik elektrokoagulasi	limbah selenium	anoda = besi	pH 6-9, Waktu perawatan 60, 120, 240, dan 360 menit. Kerapatan arus 76,7 dan 153,4 A m ⁻²	waktu 240 menit, pH dari 4 ke 6. Kepadatan arus 153 A m ⁻²	Untuk air limbah yang dipelajari, peningkatan kepadatan saat ini memiliki efek yang terkenal pada efisiensi pemindahan, karena selama 240 menit perawatan, ketika kepadatan saat ini meningkat dari 76,7 A m ⁻² hingga 153,4 A m ⁻² , efisiensi penghilangan hampir dua kali lipat.	Henrik K. Hansena, Sebastián Franco Peñaa, Claudia Gutiérreza, Andrea Lazoa, Pamela Lazob, Lisbeth M. Ottosen. 2018

2	Proses Elektrokoag Limbah <i>Laundry</i>	limbah cair	Elektroda Tembaga Anoda : Akan mengalami terjadinya oksidasi air menjadi gas oksigen Katoda : Akan terjadi reduksi air menjadi gas hidrogen	Pengaruh tegangan 21 Volt Waktu sampling:60, 80, 100, 120, 140 menit	21 Volt dengan waktu 140 menit	Proses elektrokoagulasi dapat menurunkan kandungan <i>Total Suspended Solid</i> (TSS) pada reaktor elektrokoagulasi sebesar 85 % dan penurunan surfaktan sebesar 60.36 % pada variabel 21 Volt dengan waktu sampling 140 menit	Budiany Rachmawati, Yayok SuryaP, dan Mohammad Mirwan
3	Kombinasi elektrokoagulasi dengan proses oksidasi lanjutan untuk pengolahan limbah industri penyulingan	Limbah Pabrik	anoda = besi	pH 2-10, waktu 0-240 menit, kepadatan arus 0.1-0.5 A/dm ²	pH 6, waktu reaksi 4 jam, di antara jarak elektroda 2 cm	Proses ozon–elektrokoagulasi dan fotoelektrokoagulasi peroxi pada penghapusan persentase warna, COD dan konsumsi energi. Efek dari berbagai parameter operasi seperti ozon laju aliran (5 hingga 15 LPM), pH limbah awal (2 hingga 10), kerapatan arus (0,10 hingga 0,50 A/dm ²) dan Konsentrasi H ₂ O ₂ (50 hingga 500 mg/ L) pada penghapusan polutan dipelajari dalam penelitian ini.	Abdul Raman Abdul Aziz, P. Asaithambi, Wan Mohd Ashri Bin Wan Daud. 2015

4	Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Pada Skala Laboratorium Dengan menggunakan Metode Elektrokoagulasi	Limbah asli dari proses pembat ikan	3 buah katoda alumunium dan 3 buah anoda stainless steel	Waktu 5, 10, 15, 30, 45, dan 60 menit. Tegangan listrik 25 dan 30 volt. Jarak elektroda 1,5 dan 3 cm	Jarak elektroda 1,5 cm, kuat arus 12 volt waktu kontak antara 30-45 menit.	Persentase penyisihan konsentrasi COD tertinggi mencapai 30% terjadi pada menit ke 60, tegangan 25 Volt, dengan jarak elektroda 3 cm. Parameter warna dengan persentase penurunan maksimum sebesar 64% pada menit ke 30, 12 Volt, jarak elektroda 1,5 cm. Penurunan konsentrasi TSS dan minyak lemak dengan persentase tertinggi sebesar 77% untuk TSS dan 88% untuk minyak lemak yang terjadi pada menit ke 60, pada tegangan sebsat 25 Volt dengan jarak elektroda 1,5 cm	Andik Yulianto, Luqman Hakim, Indah Purwaningsi h, Vidya Ayu Pravitasari 2009
5	Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Minyak dengan Proses Elektrokoagulasi dengan Elektroda Besi	Limbah <i>oil content</i>	Anoda: 3 lempeng Besi dengan ukuran 3 x 5cm Katoda : 3 lempeng alumunium 3 x 5 cm	Rapat arus 32 dan 16 A/dm ² , Waktu elektrokoagulasi 60 dan 120 menit, jarak lempeng 2 dan 6 cm	Rapat arus 32 A/dm ² , waktu elektrokoagulasi 120 menit Jarak lempeng 2 cm	Efisiensi penurunan maksimum konsentrasi COD adalah 29,83% dengan efisiensi penurunan rata-rata sebesar 26,12%. Nilai total penurunan konsentrasi COD sebesar 223,45mg/l dari konsentrasi awal sebesar 317,53mg/l	Agung Prabowo, Gagah Hasan Basrori, Purwanto

2.3 Plat Elektroda

Sebuah elektroda dalam sebuah sel elektrokimia dapat disebut sebagai anoda atau katoda. Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron datang dari sel dan oksidasi terjadi, dan katoda didefinisikan sebagai elektroda di mana elektron memasuki sel dan reduksi terjadi. Setiap elektroda dapat menjadi sebuah anoda atau katoda tergantung dari voltase yang diberikan ke sel. Sebuah elektroda bipolar adalah sebuah elektroda yang berfungsi sebagai anoda dari sebuah sel dan katoda bagi sel lainnya (Fitri, A. A., Ismawati, D. 2007).

Sebuah elektroda adalah sebuah konduktor berupa logam yang digunakan untuk bersentuhan dengan larutan elektrolit dalam sebuah sirkuit. Bahan elektroda yang ideal untuk banyak proses ialah untuk banyak proses ialah stabil dalam medium elektrokoagulasi dan diperoleh hasil reaksi yang dikehendaki dengan efisiensi arus pada overpotential rendah. Bahan yang baik seringkali mahal dan yang lebih umum adalah bahan aktif yang dilapiskan pada bahan yang murah atau bahan inert. Untuk proses penelitian ini digunakan elektroda yang dibuat dari tembaga (Cu), karena Pada saat ini, logam Tembaga adalah logam yang dipilih yang mempunyai nilai konduktivitas cukup baik dibandingkan dengan penghantar lainnya.

2.4 Reaksi Kimia Pada Elektroda

Proses elektrokoagulasi terjadi karena pengendapan elektrokoagulasi dengan adanya medan listrik diantara dua elektroda sehingga ion logam terlepas dari anoda melalui reaksi oksidasi (Prayitno et al., 2016). Menurut Daneshvar et al. (2002) mekanisme yang terdapat dalam proses ini meliputi adsorpsi, ko-presipitasi, pembentukan kompleks permukaan dan tarik menarik elektrostatis. Namun seringkali proses ini terjadi secara tumpang tindih dan sulit dibedakan. Dua mekanisme sederhana disajikan untuk menggambarkan proses tersebut yang meliputi: presipitasi dan adsorpsi. Adsorpsi terdiri dari pembentukan kompleks permukaan dan tarik menarik elektrostatis.

Mengacu pada penelitian Daneshvar et al. (2002) dengan menggunakan elektroda besi untuk menghilangkan kandungan Mg^{2+} . Salah satu spesies utama dari larutan berupa $[Fe(OH)_3.(H_2O)_3]_2$, yang akan mengikat Mg^{2+} dengan membentuk reaksi kompleks, tarik menarik elektrostatis dan presipitasi. Sebagai hasil dari dehidrasi, $Fe(OH)_3$ akan diubah menjadi $FeOOH$ (besi hidrooksida), yang merupakan salah satu monomer dari polimer hidroksi. Pada penelitian ini salah satu spesies utama dari larutan berupa $[Al(OH)_3.(H_2O)_3]_2$, yang akan mengikat kontaminan (Th^{4+}). Maka sebagai hasil dari dehidrasi, $Al(OH)_3$ akan diubah menjadi $AlOOH$ (Alumunium hidrooksida), yang merupakan salah satu monomer dari polimer hidroksi.

Menurut Daneshvar et al. (2002) dalam hal ini, proses penghilangan polutan terjadi dalam dua tahap:

1. Pembentukan kompleks permukaan oleh terhubungnya polimer hidroksi menjadi partikel tersuspensi.
2. Peran polimer hidroksi dalam proses menghilangkan polutan adalah menghubungkan melalui ion dan meningkatkan konsentrasi dan akan membentuk reaksi kimia. Kombinasi logam hidrooksida dalam variasi kompleks permukaan terdiri dari daerah yang bermuatan positif dan negatif serta muatan oposisi yang bersifat menarik dimana daerah tersebut cukup kuat untuk menghilangkan spesies terlarut dan ion dalam fasa larutan

Transfer elektron yang terjadi di setiap elektroda disebut reaksi elektroda. Substansi yang menerima dan melepas elektron disebut spesies elektroaktif. Proses ini terjadi pada permukaan elektroda dan melibatkan mekanika kuantum menerobos elektron antara elektroda dan spesies elektroaktif (Iqbal & Zaafrani, 2011). Elektrokoagulasi dapat dibuat ketika sebuah potensial diaplikasikan dari kekuatan eksternal elektroda. Dalam hal ini reaktor elektrokoagulasi sederhana dapat dibuat oleh satu anoda dan satu katoda, dimana terjadi beberapa reaksi elektrokimia.

2.5 Katoda dan Anoda

Pada persamaan (1), ion H^+ dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas, sedangkan larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2) pada katoda yang ditunjukkan oleh persamaan (2).



Anoda terbuat dari logam akan teroksidasi yang secara umum ditunjukkan oleh persamaan (3), sedangkan ion OH^- dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O_2) yang ditunjukkan oleh persamaan (4).



Table 2.2 Reaksi Anoda aluminium dan Tembaga

Elektroda	Kondisi asam	Kondisi basa
Aluminium $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$	$Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+$	$Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3$
Tembaga $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$	$Cu^+ + O_2 + 2H_2O \rightarrow Cu^{2+} + 4OH^-$	$Cu^{2+} + 2OH^- \rightarrow Cu(OH)_2$

Dari reaksi tersebut, pada anoda akan dihasilkan gas H_2 , buih dan flok logam hidroksida (Susetyaningsih et al., 2008). Selanjutnya flok yang terbentuk akan menjebak secara elektroionik terhadap logam atau kontaminan (Prayitno & Kismolo, 2012). Ketika medan magnet diantara plat elektroda masih cukup besar, sistem ionik dari polutan limbah cenderung akan berkompeten membentuk suatu flok-flok dengan ukuran yang jauh lebih besar sehingga proses oksidasi pada plat anoda juga semakin besar (Prayitno et al., 2016).

2.6 Parameter Proses Elektroda

2.6.1 Jenis Plat

Jenis plat elektroda berpengaruh secara signifikan terhadap hasil proses pengolahan. Untuk pengolahan air minum, jenis plat elektroda harus non toksik, biaya rendah dan mudah didapatkan (Cerqueira & Marques, 2012).

2.6.2 Kuat Tegangan

Pada kuat tegangan Semakin besar tegangan maka besar penyisihan semakin besar. Kuat tegangan berbanding lurus dengan besarnya arus listrik yang mengalir pada elektroda. Arus listrik yang menyebabkan terjadinya transfer elektron dari elektroda ke larutan elektrolit. Adanya aliran listrik ini menyebabkan terjadinya reaksi kimia dalam larutan yaitu makin banyaknya logam hidroksida maupun gelembung (gas) yang terbentuk. Saat kuat tegangan tinggi, hidroksil yang larut dan kecepatan pembentukan logam hidroksida meningkat sehingga endapan yang dihasilkan lebih banyak dan meningkatkan penurunan polutan di dalam air (Kurniasih et al., 2016).

2.6.3 Kuat Arus

Arus listrik yang menyebabkan terjadinya transfer elektron dari elektroda ke larutan elektrolit. Adanya arus listrik ini menyebabkan terjadinya reaksi kimia dalam larutan yaitu semakin banyaknya logam hidroksida maupun gelembung (gas) yang terbentuk (Kurniasih et al., 2016). Semakin besar kuat arus maka kerapatan gelembung semakin meningkat dan ukuran akan menurun, sehingga mempercepat penurunan polutan dan flotasi sludge. Namun jika kuat arus semakin menurun maka waktu reaksi yang dibutuhkan akan semakin lama pula (Bazrafshan et al., 2012).

2.6.4 Waktu Kontak

Dalam teori, semakin lama waktu proses elektrokoagulasi maka pembentukan gas H_2 dan OH^- semakin banyak sehingga semakin banyak pula jumlah kompleks yang mengikat polutan dan jumlah gas hidrogen (Rachmawati et al., 2014).

2.6.5 Konduktivitas

Konduktivitas elektrik effluent merupakan variabel yang berpengaruh terhadap efisiensi kuat arus, voltasi sel dan konsumsi energi. Konduktivitas elektrik effluent juga penting ketika optimisasi parameter sistem, mulai dari konduktivitas tinggi dengan jarak antar elektroda yang kecil meminimalkan konsumsi energi, tapi tidak efektif terhadap efisiensi penurunan kontaminan. Konduktivitas effluent, yang

disebut juga kapasitas untuk menghantarkan kuat arus listrik, sesuai untuk ion dalam cairan konduktif. Ion-ion tersebut berfungsi untuk menghantarkan kuat arus listrik. Maka, semakin tinggi konsentrasi ion dalam effluent, maka kemampuan untuk menghantarkan kuat arus listrik semakin besar dan kemungkinan terjadinya reaksi antar senyawa dalam effluent semakin besar (Cerqueira & Marques, 2012). Konsumsi energi akan menurun dengan meningkatnya konduktivitas larutan (Khandegar & Saroha, 2013).

2.6.7 Kondisi pH

Berdasar Lekhlif et al. (2014) proses elektrokoagulasi sangat bergantung pada pH larutan. Dalam proses elektrokoagulasi terdapat tiga mekanisme utama yaitu presipitasi, adsorpsi dan koagulasi (Akyol et al., 2013). Pada pH rendah spesies logam umumnya pada anoda akan bergerak ke spesies anionik, dan akan terjadi penetralan muatan dan pengurangan kelarutan, proses ini disebut presipitasi (Akyol et al., 2013). Sementara pada pH lebih dari 6,5 akan terjadi adsorpsi (Elnenay et al., 2016) dan koagulasi (Akyol et al., 2013). Umumnya ion logam akan terhidrolisis pada pH 7-9 untuk menghasilkan variasi kompleks logam hidroksida dan $M(OH)_3$ netral (Elnenay et al., 2016).

2.6.8 Jarak Antar Elektroda

Jarak elektroda antar elektroda juga menjadi variabel penting untuk optimisasi operasi proses elektrokoagulasi. Berdasar Cerqueira & Marques (2012) saat konduktivitas effluent relatif tinggi, maka digunakan jarak antar elektroda yang lebih lebar. Namun sebaliknya, dalam elektrokoagulasi disarankan untuk menggunakan jarak yang kecil, untuk mengurangi konsumsi energi.

Ketika dilakukan pengujian sistem dibawah kuat arus yang sama, berdasarkan penelitian Den dalam Cerqueria & Marques (2012) bahwa terdapat perbedaan efisiensi penurunan polutan untuk setiap jarak antar elektroda yang berbeda, sehingga jarak antar elektroda termasuk salah satu faktor untuk optimisasi biaya. Dalam hal ini, semakin besar jarak antar elektroda, maka interaksi ion dalam larutan dengan koagulan semakin sedikit terjadi. Terdapat perbedaan antara dua penelitian tentang kemungkinan pemisahan dalam setiap nilai konduktivitas effluent, yang pertama (rentang antara 100 dan 140 mS cm⁻¹), tidak terdapat perubahan dalam

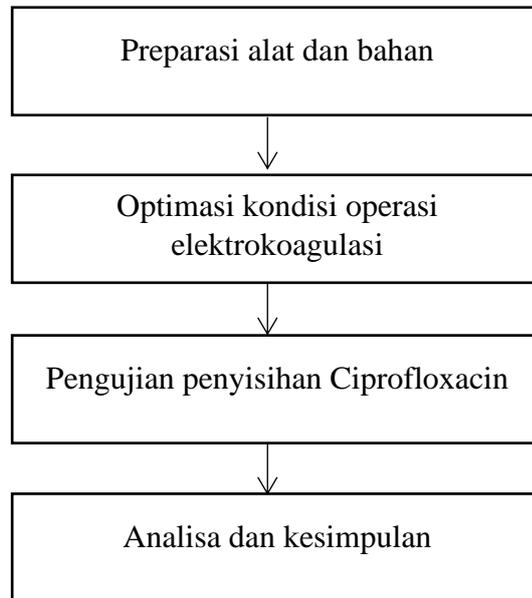
efisiensi penurunannya, karena dengan semakin besarnya jarak antar elektroda, maka konduktivitas larutan akan semakin menurun. Sedang penelitian kedua menjelaskan, dengan mengesampingkan nilai konduktivitas effluent. Tetapi ia berasumsi bahwa penurunan ini akan lebih rendah daripada penelitian pertama, karena semakin meningkatnya jarak antar elektroda akan menyebabkan interaksi semakin menurun dan membutuhkan konduktivitas elektrik yang rendah. Sehingga, untuk penurunan akan berbeda dalam setiap jarak antar elektroda, dimana nilai konduktivitas harus rendah.

Semakin besar jarak antar elektroda, maka semakin besar pula tegangan yang dibutuhkan, karena larutan mempunyai resistansi terhadap kuat arus. Maka, berdasar karakteristik effluent, jarak antar elektroda dapat divariasikan untuk menghasilkan efisiensi proses yang maksimal. Misal, jarak yang besar digunakan saat konduktivitas effluent relatif tinggi, sedang jarak yang lebih kecil digunakan untuk konduktivitas yang lebih rendah.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahap Penelitian



Gambar 3.1 Tahap Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

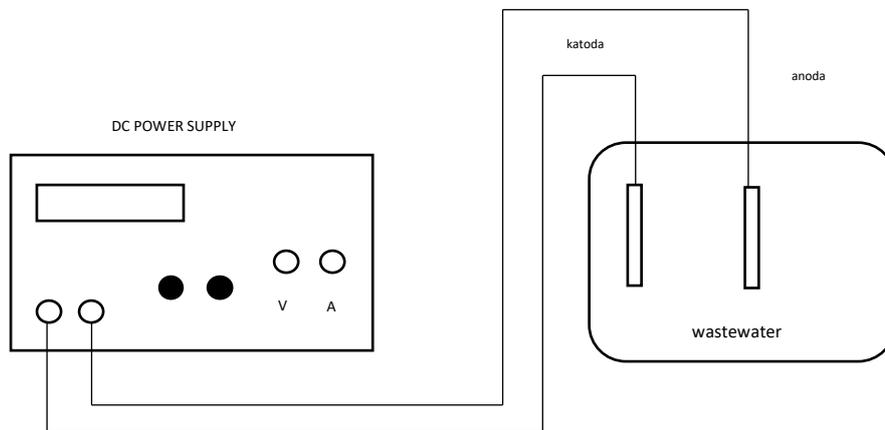
Berikut adalah alat dan bahan yang akan digunakan pada proses percobaan penelitian ini:

1. Alat

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah: DC power supply, pengaduk magnetic, gelas beker 1000 ml, gelas ukur 10 ml, gelas ukur 100 ml, pipet tetes, spatula.

2. Bahan

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah: air, 32% HCl, 1M NaOH, ciprofloxacin, anoda aluminium, katoda stainless steel (SS-316).



Gambar 3.2 Skema Proses Elektrokoagulasi

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Uji kinerja Elektrokoagulasi

Pada proses elektrokoagulasi, prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Larutan 400 ml ciprofloxacin dengan konsentrasi 10 ppm dimasukkan ke dalam reaktor
2. Elektroda *stainless steel* 316 sebagai katoda dengan konfigurasi: ketebalan 2 mm, ukuran 10 cm x 2.5 cm. Dan untuk anoda menggunakan 2 plat aluminium dengan konfigurasi: ketebalan 2mm, ukuran 10 cm x 2.5 cm yang diletakan diantara plat *stainless steel* 316
3. Mengatur jarak antara elektroda sebesar 1 cm. Lalu menghubungkan anoda dan katoda dengan kabel menuju *power supply DC*.
4. Proses elektrokoagulasi dioperasikan dengan memberikan tegangan sebesar 20 volt pada *power supply DC*.
5. Sampel diambil sebanyak 2-3ml setiap 30 menit selama 2 jam dan dianalisis menggunakan UV-Vis *spektrofotometric* pada $\lambda = 200 - 300$ nm.

3.3.2 Variabel

Variabel dalam penelitian ini pada elektrokoagulasi, fotokatalis, dan kombinasi elektrokoagulasi-fotokatalis adalah sebagai berikut:

1. Elektrokoagulasi
 - Variabel bebas:
 - a) Tegangan listrik (20, 30, dan 50 Volt)

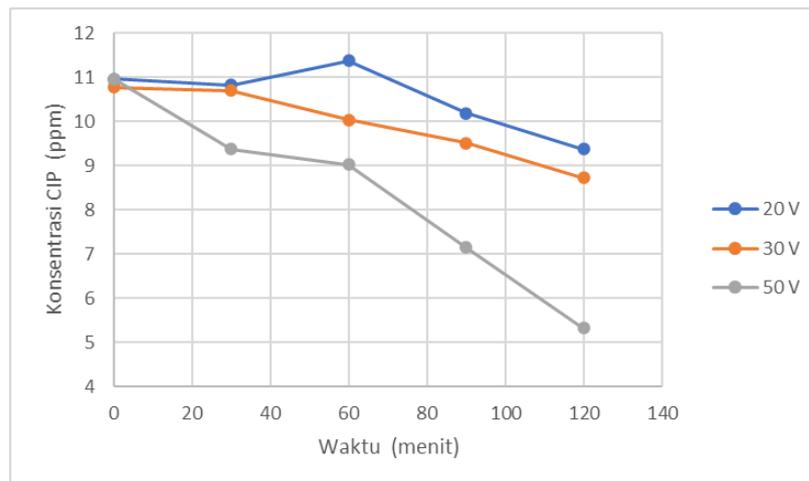
- b) pH limbah (4, 6, dan 11)
- Variabel terikat: Persentase penyisihan ciprofloxacin
- Variable kontrol:
 - a) Jarak antara kedua plat elektroda sebesar 1 cm
 - b) Kosentrasi awal ciprofloxacin sebesar 10 ppm

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian elektrokoagulasi menggunakan plat *stainless steel* sebagai katoda dan aluminium sebagai anoda untuk menguji degradasi limbah CIP. Pengambilan sampel pengujian dilakukan selama 2 jam dengan konsentrasi limbah CIP yang diuji yaitu 10 ppm. Berikut ini adalah hasil dan pembahasan pada penelitian yang sudah dilakukan sebagai berikut. Dalam uji elektrokoagulasi ini akan dilihat pengaruh voltase dan pH dalam proses pendegradasian limbah CIP.

4.1.1 Pengaruh Voltase Terhadap Konsentrasi Limbah Ciprofloxacin



Gambar 4.1 Pengaruh Voltase Terhadap Konsentrasi Limbah Ciprofloxacin

Pengaruh voltase terhadap konsentrasi limbah CIP dilakukan dengan kondisi limbah pH 6 dan konsentrasi limbah 10 ppm, yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Penelitian ini dilakukan dengan proses elektrokoagulasi pada variasi tegangan 20 volt, 30 volt, dan 50 volt. Berdasarkan grafik di atas hasil optimum didapatkan pada voltase 50 volt yang mengalami penurunan konsentrasi sebesar 5,32 ppm sedangkan pada 20 volt dan 30 volt mendapatkan konsentrasi sebesar 9,38 ppm dan

8,72 ppm. Hasil total degradasi pada 50 volt sebesar 60,09% untuk 20 volt dan 30 volt sebesar 14,59% dan 19,24%.

Pada penelitian yang kami sudah lakukan mendapatkan kondisi penyisihan yang terbanyak pada 50 volt dan ini sudah sesuai oleh teori bahwa semakin besar tegangan pada saat elektrokoagulasi akan menghasilkan koagulan yang lebih banyak dan meningkatkan kemampuan untuk menghilangkan polutan lebih besar karena mempercepat reaksi oksidasi reduksi pada saat proses elektrokoagulasi. Selain itu, beberapa penelitian serupa yang menyatakan voltase 50 volt merupakan voltase optimum dalam mendegradasi limbah telah dilakukan oleh (Pratiwi, R. et al 2022).

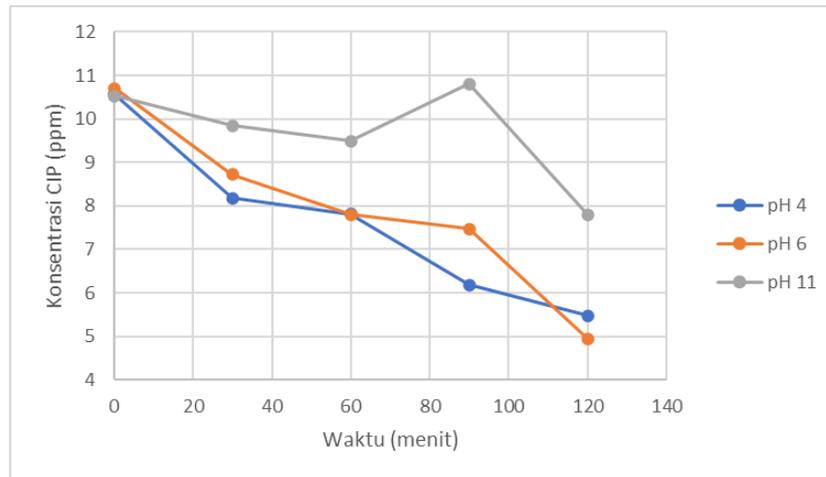
Kepadatan arus tinggi meningkatkan jumlah pelepasan anodik besi baja, sehingga menghasilkan jumlah logam hidroksida yang maksimal untuk menghilangkan kontaminan. Dengan bertambahnya kepadatan arus, laju pembentukan gelembung di bagian katodik juga meningkat, yang berguna untuk menghilangkan kontaminan melalui flotasi H₂. Kepadatan arus memiliki dampak besar pada prosedur elektrokoagulasi terutama untuk kinetika penghilangan, sehingga mengurangi durasi yang diperlukan untuk mengolah air limbah (S.Barisci & O. Turkay 2015).

Selain itu juga sudah sesuai hukum Faraday laju disolusi anoda meningkat dengan peningkatan kepadatan arus dan durasi elektrolisis, memungkinkan jumlah Fe³⁺ yang lebih besar yang akan dipancarkan dari anoda untuk membentuk gumpalan untuk adsorpsi kontaminan. (A.R.A Aziz & P. Asaithambi 2016)

$$\omega = \frac{I \cdot t \cdot M_w}{n \cdot F}$$

Keterangan : I = arus
 T = waktu
 M_w = masa molar
 F = ketetapan Faraday
 N = jumlah kumparan

4.1.2 Pengaruh pH Terhadap Konsentrasi limbah Ciprofloxain

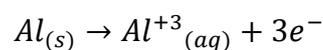


Gambar 4.2 Pengaruh pH Terhadap Konsentrasi Limbah Ciprofloxacin

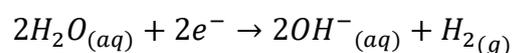
Pengaruh pH elektrokoagulasi terhadap hasil penurunan konsentrasi CIP dilakukan dengan voltase 50 volt dan konsentrasi limbah 10 ppm, yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Berdasarkan grafik pengaruh pH terhadap konsentrasi menunjukkan bahwa pada pH 4 dan 6 mengalami penurunan konsentrasi sebesar 5,47 ppm dan 4,95 ppm dengan total degradasi yang didapatkan pada pH 4 sebesar 62,16% dan pH 6 total degradasi 65,83%.

Pada penelitian yang sudah dilakukan bahwa kondisi pH yang terbaik untuk penyisihan limbah CIP pada pH 6, maka ini sudah sesuai oleh pada penelitian sebelumnya. Menurut Asaithambi et al., (2012) mengungkapkan bahwa meningkatkan pH dapat meningkatkan efisiensi penyisihan kontaminan CIP dan efisiensi penyisihan maksimum pada pH 7,75, bahwa pengaruh pH dengan kondisi pH awal yang rendah, aluminium hidroksida yang terhidrolisis produk Al^{3+} larut maka dari itu mereka tidak mampu menyerap polutan. $Al(OH)^{2+}$ adalah spesies kationik utama Al^{3+} reaksi hidrolisis.

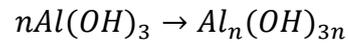
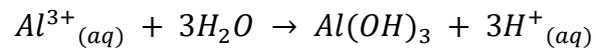
Anoda:



Katoda:



Reaksi solusi :



Kompleks hidroksida kationik ($Al_n(OH)_{3n}$) yang dihasilkan sebagai koagulan mampu menghilangkan kontaminan CIP secara efisien dengan adsorpsi dan menetralkan muatan permukaannya dan akibatnya membentuk flok. Adsorpsi molekul polutan pada logam hidroksida endapan, yang dikenal sebagai mekanisme "sweep flocculation" yang dikendalikan secara efisien menghilangkan kontaminan CIP (Aziz et al., 2016; Daneshvar et al., 2006).

Dalam percobaan proses elektrokoagulasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.1 endapan yang terbentuk saat proses elektrokoagulasi berlangsung. Endapan yang terbentuk sangat banyak yaitu pada saat pH 4.

Tabel 4.1 Endapan Dalam Proses Elektrokoagulasi

No	pH	Jumlah (gram)
1	4	0.6
2	6	0.81
3	11	0.64

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut ini adalah kesimpulan yang dapat disampaikan pada penelitian sebagai berikut.

1. Kondisi optimum pada proses elektrokoagulasi pada saat voltase 50 volt dan pH 6 dengan total penyisihan sebesar 65,83%.
2. Semakin tinggi voltase maka penyisihan yang terjadi semakin banyak sedangkan untuk pH 6 mendapatkan total penyisihan lebih banyak

5.2 Saran

Berikut ini adalah saran yang dapat disampaikan pada penelitian sebagai berikut.

1. Sebaiknya dalam menggunakan limbah CIP sebanyak 1 L untuk konsentrasi awal di bawah 10 ppm ataupun volume dalam reaktor dikecilkan untuk mendapatkan hasil lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Raman Abdul Aziz, P. Asaithambi, Wan Mohd Ashri Bin Wan Daud. 2015. Kombinasi elektrokoagulasi dengan proses oksidasi lanjutan untuk pengolahan limbah industri penyulingan
- Abdurrahman Akyol., Orhan Taner Can., Erhan Demirbas., Mehmet Kobya 2013. comparative study of electrocoagulation and electro-Fenton for treatment of wastewater from liquid organic fertilizer plant. Separation and Purification Technology Volume 112, 10 July 2013, Pages 11-19
- Almomani, F., Bhosale, R., Kumar, A., & Khraisheh, M. (2018). Potential use of solar photocatalytic oxidation in removing emerging pharmaceuticals from wastewater: A pilot plant study. Solar Energy, 172, 128-140.
- Daneshvar, N., A. Habib, & R. Rohan. 2002. Pretreatment of Brackish Water Using DCElectrocoagulation Method and Optimization. Journal Chemistry & Chemistry Engineering, 2(1): 13-20.
- Dipendra Waglea, Che-Jen Lina, Tabish Nawazb, Heather J. Shipley. 2019. Evaluasi dan optimalisasi elektrokoagulasi untuk mengolah air limbah pabrik kertas Kraft
- Dina T Moussa , Muftah H El-Naas , Mustafa Nasser , Mohammed J Al-Marri 2017 A comprehensive review of electrocoagulation for water treatment: Potentials and challenges J Environ Manage. 2017 Jan 15;186(Pt 1):24-41. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.10.032. Epub 2016 Nov 9.
- Edris Bazrafshan., Kamal Aldin Ownagh 2012. Application of Electrocoagulation Process Using Ironand Aluminum Electrodes for Fluoride Removal from Aqueous Environment. ISSN: E-Journal of Chemistry 2012, 9(4), 2297-2308
- El-aziz, M.M.A. & M.A. Khalifa. 2016. Electrochemistry and Radioactive Waste: A Scientific Overview. Journal of the Turkish Chemical Society, 3(1): 47-74

- Elnenay, A.M.H., E. Nassef, G.F. Malash, & M.H.A. Magid. 2016. Treatment of Drilling Fluids Wastewater by Electrocoagulation. *Egyptain Journal of Petroleum*, 5:1-6.
- El Shafey, Ibrahim & Al Lawati, Haider. 2012. Ciprofloxacin adsorption from aqueous solution into chemically prepared carbon from date palm leaflets: *Journal of Environmental Sciences*. Volume 24, Issue 9: 1579-1586.
- González-Pleiter, M., Gonzalo, S., Rodea-Palomares, I., Leganés, F., Rosal, R., Boltes, K., & Fernández-Piñas, F. (2013). Toxicity of five antibiotics and their mixtures towards photosynthetic aquatic organisms: implications for environmental risk assessment. *Water research*, 47(6), 2050-2064.
- Henrik K. Hansena, Sebastián Franco Peñaa, Claudia Gutiérreza, Andrea Lazoa, Pamela Lazob, Lisbeth M. Ottosen. 2018 Penghapusan selenium dari air limbah kilang minyak bumi menggunakan teknik elektrokoagulasi
- Iqbal, S.A. & I. Zaafrani. 2011. *Textbook of Electrochemistry*. New Delhi: Shree Balaji Art Press
- Lee et al. 2019. PyWavelets: A Python package for wavelet analysis. *Jurnal of Open Source Software*, 4(36),1237.
- Magdaleno et al. 2015. Effects of six antibiotics and their binary mixtures on growth of *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 113:72-78.
- N. Daneshvar., A. Oladegaragoze., N. Djafarzadeh 2006. Decolorization of basic dye solutions by electrocoagulation: An investigation of the effect of operational parameters. *Journal of Hazardous Materials B129* (2006) 116–122.
- Palupi, Endang. (2006). “Degradasi Methylene Blue dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂”. Skripsi Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- P.Asaithambi., ModepalliSusree., R.Saravanathamizhan., Manickam., Matheswaran 2012. Ozone assisted electrocoagulation for the treatment of distillery effluent. *Desalination* Volume 297, 3 July 2012, Pages 1-7

- P.Asaithambi., Baharak Sajjadi., Abdul Raman Abdul Aziz., Wan Mohd Ashri Bin Wan Daud 2016. Performance evaluation of hybrid electrocoagulation process parameters for the treatment of distillery industrial effluent
- Prayitno, J., 2016. Penghilangan Senyawa Ciprofloxacin Oleh Bakteri Yang Diisolasi dari Area Pertambangan Minyak Bumi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 17(2), p. 126.
- Rusch, M., Spielmeyer, A., Zorn, H., & Hamscher, G. (2019). Degradation and transformation of fluoroquinolones by microorganisms with special emphasis on ciprofloxacin. *Applied microbiology and biotechnology*, 103(17), 6933-6948.
- Senem Yazici Guvenc, Kaan Dincer, Gamze Varank. 2019. Kinerja proses elektrokoagulasi dan elektro-Fenton untuk pengolahan konsentrat nanofiltrasi dari lindi TPA yang distabilkan secara biologis
- Titik Darmawanti, Suhartana, Didik Setiyo Widodo. 2010 Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Metoda Elektrokoagulasi Menggunakan Seng Bekas sebagai Elektroda
- V. Khandegar, Anil K. Saroha 2013. Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent - A review. *Journal of Environmental Management* 128 (2013) 949-963
- Wagenlehner FM, 2018. The 2017 update of the German clinical guideline on epidemiology, diagnostics, therapy, prevention, and management of uncomplicated urinary tract infections in adult patients. Part II: therapy and prevention. *Urol Int* 2018; 100: 263 – 270.
- Xiong, S., Mei, J., Huang, P., Jing, J., Li, Z., Kang, J., Gui, J.F. (2017) Essential roles of stat5.1/stat5b in controlling fish somatic growth. *Journal of genetics and genomics = Yi chuan xue bao*. 44(12):577-585.

LAMPIRAN

A. Perhitungan

1. Pengenceran limbah

Pada pembuatan limbah CIP dilakukan di Laboratorium Katalis, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Pembuatan limbah CIP dengan konsentrasi 10 ppm dari 1000 ppm dengan cara, CIP dilarutkan dalam 1000 ml air demin menjadi CIP 10 ppm.

Pengenceran CIP 10 ppm:

$$\begin{aligned}M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\1000 \text{ ppm} \times V_1 &= 10 \text{ ppm} \times 1000 \\1000V_1 &= 10000 \text{ ml} \\V_1 &= 10 \text{ ml}\end{aligned}$$

B. DOKUMENTASI PENELITIAN



sampel



Proses elektrokoagulasi



Plat stainless steel setelah elektro



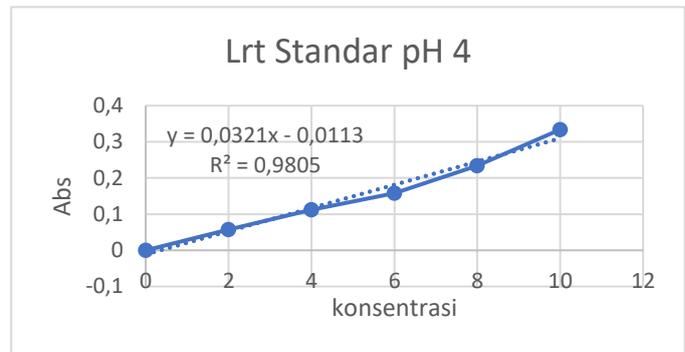
Plat aluminium setelah elektro

C. BLANGKO PERCOBAAN

1. Larutan Standar

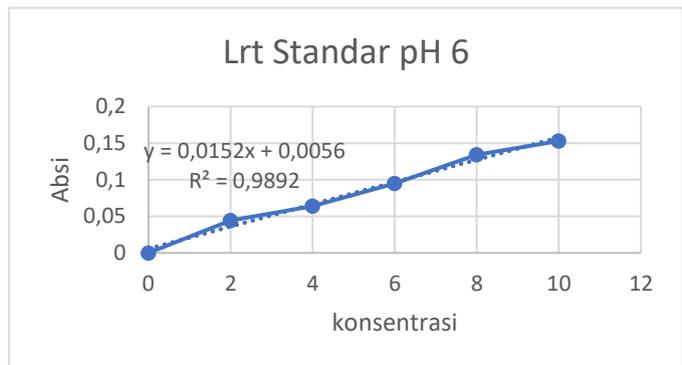
- Larutan standar pH 4, panjang gelombang 200 - 300 nm

Konsentrasi (ppm)	Abs
0	0
2	0.057
4	0.112
6	0.158
8	0.234
10	0.334



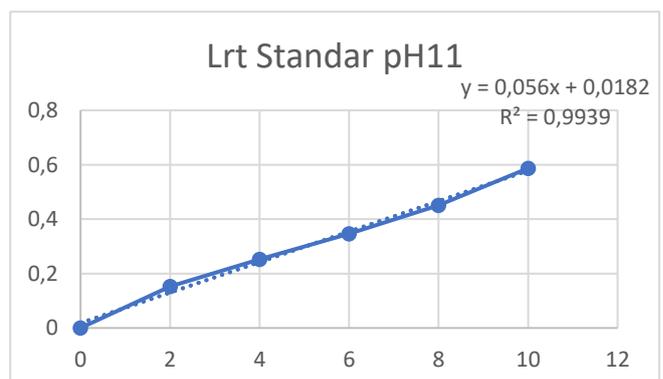
- Larutan standar pH 6, panjang gelombang 200 - 300 nm

Konsentrasi (ppm)	Abs
0	0
2	0.0443
4	0.064
6	0.095
8	0.134
10	0.153



- Larutan standar pH 11, panjang gelombang 200 - 300 nm

Konsentrasi (ppm)	Abs
0	0
2	0.153
4	0.253



6	0.346
8	0.451
10	0.587

2. Elektrokoagulasi Variasi Voltase

Nama	Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (PPM)
20 Volt, 10 ppm	0	0.16103	10.9625
20 Volt, 10 ppm	30	0.159	10.82894737
20 Volt, 10 ppm	60	0.1673	11.375
20 Volt, 10 ppm	90	0.1493	10.19078947
20 Volt, 10 ppm	120	0.137	9.381578947

Nama	Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (PPM)
30 Volt, 10 ppm	0	0.1583	10.78289474
30 Volt, 10 ppm	30	0.157	10.69736842
30 Volt, 10 ppm	60	0.147	10.03947368
30 Volt, 10 ppm	90	0.139	9.513157895
30 Volt, 10 ppm	120	0.127	8.723684211

Nama	Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (PPM)
50 Volt, 10 ppm	0	0.161	10.96052632
50 Volt, 10 ppm	30	0.137	9.381578947
50 Volt, 10 ppm	60	0.1316	9.026315789
50 Volt, 10 ppm	90	0.103	7.144736842
50 Volt, 10 ppm	120	0.0753	5.322368421

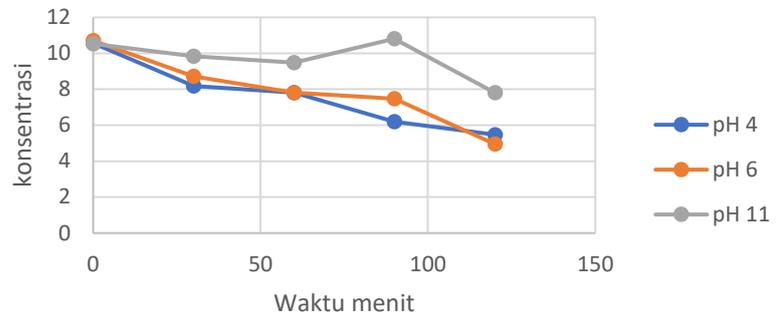
3. Elektrokoagulasi Variasi pH

Nama	Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (PPM)
50 Volt, 10 ppm, ph 4	0	0.3503	10.56074766
50 Volt, 10 ppm, ph 4	30	0.274	8.183800623
50 Volt, 10 ppm, ph 4	60	0.262	7.809968847
50 Volt, 10 ppm, ph 4	90	0.21	6.190031153
50 Volt, 10 ppm, ph 4	120	0.187	5.473520249

Nama	Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (PPM)
50 Volt, 10 ppm, ph 6	0	0.157	10,69736842
50 Volt, 10 ppm, ph 6	30	0.127	8,723684211
50 Volt, 10 ppm, ph 6	60	0.113	7,802631579
50 Volt, 10 ppm, ph 6	90	0.108	7,473684211
50 Volt, 10 ppm, ph 6	120	0.0697	4,953947368

Nama	Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (PPM)
50 Volt, 10 ppm, ph 11	0	0.571	10,52142857
50 Volt, 10 ppm, ph 11	30	0.533	9,842857143
50 Volt, 10 ppm, ph 11	60	0.513	9,485714286
50 Volt, 10 ppm, ph 11	90	0.587	10,80714286
50 Volt, 10 ppm, ph 11	120	0.419	7,807142857

Optimasi pH elektrokoagulasi



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

NAMA : Dzikri Surya Wardana

NIM : 3335190016

JURUSAN : TEKNIK KIMIA

JUDUL : OPTIMASI PROSES ELEKTROKOAGULASI
UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH
CIPROFLOXACIN

Bersedia

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas adalah benar karya saya sendiri dengan arahan dari pembimbing dan tidak ada duplikasi dengan karya orang lain kecuali yang telah disebutkan sumbernya.

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penelitian ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Cilegon, 01 Agustus 2024



(Dzikri Surya Wardana)