

**PENURUNAN KADAR LOGAM SENGG (Zn) PADA LIMBAH
CAIR INDUSTRI BATIK DENGAN METODE
ELEKTROKOAGULASI MENGGUNAKAN
ELEKTRODA ALUMINIUM**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai
gelar Sarjana Sains (S.Si.) Program Studi Kimia
pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**



diajukan oleh:

MARLINA

NIM. 19612157

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2023

**PENURUNAN KADAR LOGAM SENGG (Zn) PADA LIMBAH CAIR
INDUSTRI BATIK DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI
MENGUNAKAN ELEKTRODA ALUMINIUM**

SKRIPSI

yang diajukan oleh:

MARLINA

NIM. 19612157

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Skripsi
Prodi Ilmu Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia

Tanggal: 21 Februari 2023

Dewan Penguji

Tanda tangan

1. Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D.



2. Salmahaminati, S.Si., M.Sc., Ph.D.



3. Febi Indah Fajarwati, S.Si., M.Sc.

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia



Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D.

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Marlina

NIM : 19612157

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul Penurunan Kadar Logam Seng (Zn) Pada Limbah Cair Industri Batik Dengan Metode Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium bersifat asli dan tidak berisi material yang diterbitkan sebelumnya kecuali referensi yang disebutkan di dalam skripsi ini.

Apabila terdapat kontribusi dari penulisan tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam skripsi ini.

Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya sedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan penuh tanggungjawab.

Yogyakarta, 3 Februari 2023



HALAMAN PERSEMBAHAN



Alhamdu lillahi rabbil ‘alamin, rasa syukur dan terimakasih kepada Allah SWT yang telah memberikan kekuatan, kesabaran, dan kemudahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, lancar dan penuh perjuangan di dalamnya. Shalawat serta salam selalu tucurahkan kepada Nabi Muhammad SAW.

Ku persembahkan skripsi ini untuk **ibu dan bapak tercinta** yang selalu menemani dan mendukung setiap perjuanganku selama ini, terkhusus **ibu** tidak ada kata-kata yang mampu ku ucapkan selain terimakasih untuk setiap doamu yang selalu menyertai disetiap langkahku, menguatkan, membantuku untuk selalu punya alasan tidak menyerah dalam hidup dan telah mendampingi hingga saat ini. Selain itu ku persembahkan juga untuk **kakak-kakakku tersayang** yang tidak henti-hentinya mendukung dan memberikan semangat dalam perjalanan ku menggapai cita-cita. Semoga kalian selalu diberikan kesehatan dan panjang umur hingga aku sukses dan nantinya bisa menjadi anak dan adik yang bisa membanggakan dan membahagiakan kalian.

Seberat apapun dalam menyelesaikan skripsi ini, selalu yakin bahwa
“**Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya**”

(Q.S. Al-Baqarah: 286) dan

“**Cukuplah Allah menjadi penolong bagi kami dan Dia sebaik-baik pelindung**”

(Q.S. Ali ‘Imran: 173)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

Segala puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dengan judul Penurunan Kadar Logam Seng (Zn) Pada Limbah Cair Industri Batik Dengan Metode Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam tak lupa penulis junjungkan kepada Nabi besar Muhammad SAW dengan mengucapkan *Allahumma sholli ala Sayyidina Muhammad wa ala Ali Sayyidina Muhammad.*

Penyusunan skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat akademis yang harus dipenuhi untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penyusunan laporan ini tentu tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan bantuan, inspirasi, motivasi, dukungan dan bimbingan, sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Allah SWT dan Nabi Muhammmad SAW, yang selalu memberikan pertolongan dan petunjuk bagi hamba-Nya.
2. Kedua orang tua dan keluarga saya yang selalu mendukung dan mendoakan dalam menuntut ilmu.
3. Bapak Prof. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D. Selaku rektor Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
4. Bapak Prof. Riyanto M.Si., Ph.D. Selaku Dekan dan sekaligus sebagai pembimbing skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

5. Bapak Gani Purwiandono, S.Si., M.Sc., Ph.D. Selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
6. Seluruh Dosen Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
7. Teman-teman (Devi, Yusnita, Anita, Febi, Tisha, Indah, Hasti, Yuni, Nanda, Rima, Angie, dan Bunga) di Laboratorium Riset Kimia Universitas Islam Indonesia
8. Teman-teman Kimia Angkatan 2019 yang tidak bisa disebutkan satu per satu terimakasih turut mendukung dan memberi semangat dalam proses penelitian ini serta terimakasih untuk pengalaman, perjuangan, dan bantuan selama perkuliahan. Sukses dan semangat selalu untuk kalian semua.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini sangat jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis memohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini terdapat banyak kekurangan. Penulis berharap penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 21 Januari 2023

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Marlina' with a stylized flourish.

Marlina

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
INTISARI	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Aplikasi elektrokoagulasi pada pengolahan limbah cair.....	6
2.2 Pengaruh elektrolit dalam elektrokoagulasi	7
BAB III DASAR TEORI	8
3.1 Limbah Batik	8
3.1.1 Karakter Fisika.....	8
3.1.2 Karakter Kimia	9
3.1.3 Karakter Biologis.....	9
3.2 Logam Berat	10
3.3 Logam Zn	11
3.4 Zat Warna	13
3.4.1 Zat Pewarna Alami.....	13

3.4.2 Zat Pewarna Buatan	13
3.5 Elektrokimia	15
3.6 Elektrokoagulasi	17
3.7 Elektrolit	19
3.8 Elektroda Aluminium	19
3.9 Spektroskopi Serapan Atom	20
3.9.1 Prinsip Kerja Spektroskopi Serapan Atom	21
3.9.2 Metode Destruksi	22
3.10 <i>Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i> ..	23
BAB IV METODE PENELITIAN	26
4.1 Alat.....	26
4.2 Bahan	26
4.3 Cara Kerja	26
4.3.1 Pembuatan elektroda aluminium	26
4.3.2 Karakterisasi lempeng aluminium dengan SEM-EDX	27
4.3.3 Penentuan kadar Zn pada limbah sebelum proses elektrokoagulasi.....	27
4.3.4 Elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium bentuk lempeng.....	27
4.3.5 Elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium bentuk silinder.....	28
4.3.6 Elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium bentuk silinder berlubang	28
4.3.7 Karakterisasi endapan hasil elektrokoagulasi dengan SEM-EDX	28
4.3.9 Analisis kadar Zn limbah cair industri batik.....	29
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	31
5.1 Pembuatan elektroda aluminium.....	31
5.2 Hasil karakterisasi lempeng aluminium	32
5.3 Reaksi elektrokoagulasi dan mekanisme pengikatan ion logam.....	34
5.4 Kurva standar analisis logam Zn.....	36
5.5 Elektrokoagulasi terhadap limbah batik.....	36
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	48

DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema target logam berat terhadap organ tubuh manusia	11
Gambar 2. Struktur molekul remazol (a), indigosol (b), dan naftol (c).....	14
Gambar 3. Struktur molekul zat warna Zinc phthalocyanine (a), C.I Acid blue 193 (b), dan Copper (II) phthalocyanine (c)	15
Gambar 4. Proses elektrokoagulasi (Changmai et al., 2020).....	19
Gambar 5. Elektroda Aluminium (Nur dan Jatnika, 2014)	20
Gambar 6. Skema instrumen spektrofotometer serapan atom (Paul et al., 2017)	22
Gambar 7. Skema diagram SEM (Mohammed, 2016)	25
Gambar 8. Skema EDX dalam SEM (Piccinotti, 2018)	26
Gambar 9. Elektroda bentuk lempeng (a), elektroda bentuk silinder (b), dan elektroda bentuk silinder berlubang (c).....	28
Gambar 10. Struktur morfologi lempeng aluminium	34
Gambar 11. Spektrum elektron diagram Energy Dispersive X-ray lempeng aluminium	34
Gambar 12. Interaksi koagulan Al(OH)_4^- dengan ion logam Zn^{2+}	36
Gambar 13. Warna limbah murni (a) dan warna filtrat hasil elektrokoagulasi pada variasi waktu dengan massa elektrolit KCl 0,5 g dan tegangan 5 V (b)	38
Gambar 14. Pengaruh waktu elektrokoagulasi terhadap penurunan logam Zn	39
Gambar 15. Warna limbah murni (a) dan warna filtrat hasil elektrokoagulasi	40
Gambar 16. Pengaruh elektrokoagulasi variasi massa elektrolit KCl terhadap penurunan logam Zn dalam limbah batik dengan waktu 70 menit dan potensial 5 V	41
Gambar 17. Warna limbah murni (a) dan warna filtrat hasil elektrokoagulasi	43
Gambar 18. Pengaruh elektrokoagulasi variasi tegangan terhadap penurunan logam Zn dalam limbah batik dengan massa elektrolit KCl 1 g dan waktu 70 menit	44
Gambar 19. Warna limbah murni (a) dan filtrat hasil elektrokoagulasi variasi bentuk elektroda dengan waktu 70 menit, massa elektrolit KCl 1 g, dan tegangan 7 V (b).....	45
Gambar 20. Pengaruh elektrokoagulasi variasi bentuk elektroda terhadap penurunan logam Zn dalam limbah batik dengan waktu 70 menit, massa elektrolit KCl 1 g	46

Gambar 21. Struktur morfologi endapan hasil elektrokoagulasi	47
Gambar 22. Spektrum elektron diagram Energy Dispersive X-ray endapan hasil elektrokoagulasi	48

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Standar baku mutu limbah cair batik.....	9
Tabel 2. Kadar unsur lempeng aluminium	35
Tabel 3. Konsentrasi logam seng (Zn) hasil elektrokoagulasi dengan variasi waktu menggunakan elektroda aluminium	38
Tabel 4. Konsentrasi logam seng (Zn) hasil elektrokoagulasi dengan variasi massa elektrolit KCl menggunakan elektroda aluminium	40
Tabel 5. Konduktivitas larutan elektrolit.....	42
Tabel 6. Konsentrasi logam seng (Zn) hasil elektrokoagulasi dengan	43
Tabel 7. Konsentrasi logam seng (Zn) hasil elektrokoagulasi dengan variasi bentuk elektroda menggunakan elektroda aluminium	45
Tabel 8. Kadar unsur di dalam endapan hasil elektrokoagulasi	49

PENURUNAN KADAR LOGAM SENG (Zn) PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI BATIK DENGAN METODE ELEKTROKOAGULASI MENGGUNAKAN ELEKTRODA ALUMINIUM

INTISARI

Marlina

19612157

Limbah cair industri batik yang mengandung logam berat seng (Zn) termasuk ke dalam golongan limbah berbahaya dan beracun yang dapat merusak lingkungan sehingga perlu dilakukan pengolahan yang tepat dan sesuai. Penelitian ini dilakukan untuk menurunkan kadar logam Zn pada limbah cair industri batik dengan metode elektrokoagulasi menggunakan logam aluminium (Al) sebagai elektroda. Sebelum digunakan, logam aluminium dianalisis dengan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan variasi waktu, variasi massa elektrolit KCl, variasi tegangan, dan variasi bentuk elektroda dengan dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Hasil penelitian diperoleh waktu elektrokoagulasi optimum selama 70 menit, massa elektrolit KCl optimum 1 g, tegangan optimum 7 V, dan bentuk elektroda optimum untuk penurunan kadar Zn adalah elektroda silinder berlubang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah cair batik mengandung logam Zn dengan kadar awal sebesar 2,032 mg/L dan setelah dilakukan elektrokoagulasi pada keadaan optimum menggunakan elektroda silinder berlubang kadarnya mengalami penurunan menjadi 0,052 mg/L atau penurunan kadar logam Zn sebesar 97,44% sehingga pengolahan limbah cair batik dengan elektrokoagulasi dalam penelitian ini mampu menurunkan kadar logam Zn.

Kata Kunci: Zn, Elektroda Al, limbah batik, elektrokoagulasi, Spektrofotometer Serapan Atom

REDUCTION METAL CONCENTRATION OF ZINC (Zn) IN BATIK INDUSTRY LIQUID WASTE BY ELECTROCOAGULATION METHOD USING ALUMINIUM ELECTRODE

ABSTRACT

Marlina

19612157

Batik industry liquid waste containing heavy metal of zinc (Zn) is included in the category of hazardous and toxic waste that can damage the environment, it is necessary to carry out proper and appropriate treatment. This research was conducted to reduce metal concentration of Zn in batik industry liquid waste by electrocoagulation method using aluminium metal (Al) as an electrode. Before use, aluminium metal analyzed with *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). The electrocoagulation process was carried out with variations in time, variations in electrolyte mass, variations in voltage, and variations in electrode shape by analysis using Atomic Absorptions Spectrophotometer (AAS). The result of this study obtained the optimum time was obtained for 70 minutes, the optimum electrolyte mass of 1 g, the optimum voltage was 7 V, and the optimum electrode shape to reduction metal levels of Zn was hollow cylinder electrode. The result of this study indicate that batik liquid waste containing Zn metal with an initial concentration of 2,032 mg/L and after electrocoagulation at optimum conditions using hollow cylinder electrode the concentration decreased to 0,052 mg/L or reduction metal concentration of Zn by 97,44% so that the electrocoagulation of batik liquid waste treatment in this study was able to reduce metal concentration of Zn.

Keyword: Zn, Al electrode, batik waste, electrocoagulation, Atomic Absorptions Spectrophotometer

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri semakin meningkat dari masa ke masa, salah satunya industri batik yang merupakan karya seni budaya bangsa Indonesia yang telah turun-temurun. Industri batik nasional semakin berkembang karena semakin banyaknya permintaan terhadap batik, sejak UNESCO menetapkan batik sebagai warisan budaya milik Indonesia. Proses produksi industri batik menggunakan banyak bahan kimia, misalnya zat warna yang digunakan pada proses pewarnaan. Proses pewarnaan dalam industri batik menjadi proses yang sangat penting dan tidak mungkin ditinggalkan. Proses ini menggunakan pewarna tekstil yang menghasilkan limbah dan dapat mencemari lingkungan. Zat warna yang banyak dipakai, yaitu naftol, indigosol, remazol black, dan golden yellow, dimana senyawa tersebut hanya digunakan sekitar 5%, sedangkan sisanya dibuang sebagai limbah (Dewanti et al., 2019).

Kebutuhan warna yang semakin kompleks pada industri batik menyebabkan warna dari alam digantikan dengan warna sintetis. Zat pewarna sintetis lebih mudah diperoleh di pasaran, jenis warna bermacam-macam, dan lebih praktis digunakan. Proses pembuatan batik pada industri batik banyak menggunakan bahan-bahan kimia dan air, bahan kimia ini biasanya digunakan pada proses pewarnaan atau pencelupan, pada umumnya polutan yang terkandung dalam limbah industri batik selain warna dapat berupa logam berat, padatan tersuspensi, atau zat organik. Proses pembuatan batik secara garis besar terdiri dari pemolaan, pematikan tulis, pewarnaan atau pencelupan, penghilangan lilin, dan penyempurnaan (Apriyani, 2018).

Limbah cair dari proses pewarnaan dan pencelupan batik menjadi salah satu sumber pencemaran air yang cukup tinggi jika tidak dilakukan pengolahan limbah. Teknologi pengolahan limbah cair secara biologi, kimia, fisika maupun kombinasi antara ketiga proses tersebut dapat digunakan untuk mengolah limbah cair industri batik. Pengolahan limbah cair dengan proses biologi misalnya dengan menggunakan mikroorganisme juga banyak diterapkan untuk

mereduksi senyawa organik limbah cair industri batik. Namun, efisiensi penghilangan warna melalui proses biologi ini sering tidak memuaskan, karena zat warna mempunyai sifat tahan terhadap degradasi biologi. Secara fisika dengan adsorpsi menggunakan karbon aktif, silika, dan biomaterial. Penggunaan karbon aktif untuk menghilangkan warna juga memerlukan biaya yang cukup tinggi karena harga karbon aktif relatif mahal. Upaya mengatasi masalah pengolahan limbah cair diperlukan alternatif baru untuk mengolah limbah cair industri batik yang efektif dan efisien dalam menurunkan polutan organik dan zat warna (Darmawanti et al., 2010).

Apabila bahan buangan tersebut tidak diolah dengan baik, maka bahan buangan tersebut dapat mencemari lingkungan. Proses pewarnaan batik, baik dengan pewarna dasar ataupun pewarna lanjut diindikasikan menggunakan campuran kimia yang sangat beracun dan berbahaya. Apabila limbah cair tersebut yang tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan dampak yang luar biasa pada badan air dan berpotensi mencemari lingkungan. Hal ini dapat dicegah dengan mengolah limbah yang dihasilkan industri sebelum dibuang ke badan air. Limbah yang dibuang ke badan air harus memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga diharapkan tidak tercemar dan bisa digunakan untuk keperluan lainnya.

Karakteristik limbah batik diantaranya, yaitu berwarna pekat, kental, memiliki bau tajam, keruh, terkandung fenol, sulfida, *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS) dan *Potential of Hydrogen* (pH) yang tinggi. Selain itu, juga mengandung logam berat yang sulit teruraikan oleh mikroorganisme, misalnya logam timbal (Pb), tembaga (Cu), krom (Cr), kadmium (Cd), seng (Zn) dan padatan tersuspensi serta zat organik lainnya (Fatiha dan Irawanto, 2021).

Sejak berkembangnya industri, air limbah industri yang mengandung logam berat secara langsung maupun tidak langsung dibuang ke lingkungan. Sebagian besar logam tidak dapat terurai secara hayati dan akan terakumulasi di dalam tubuh. Beberapa diantaranya diketahui beracun atau karsinogenik. Oleh karena itu, berbahaya

apabila dibuang tanpa penanganan tepat. Air limbah industri memiliki sifat beracun dan harus diolah sebelum dibuang (Lu et al., 2015).

Logam seng (Zn) merupakan polutan yang tersebar luas di lingkungan dan sebagai logam berat prioritas di Cina. Seperti logam berat lainnya, sifat toksisitas seng terhadap organisme air dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kesadahan air (Li et al., 2021). Paparan dosis tinggi logam seng memiliki efek toksik yang menyebabkan keracunan akut (Plum et al., 2010). Sifat esensial dari Zn juga sejalan dengan toksisitasnya yang dapat masuk melalui sumber antropogenik, paparan konstan pada situs tercemar, dan fenomena alam lainnya. Kondisi toksisitas Zn dapat terjadi melalui overdosis suplemen Zn yang meningkat. Beberapa gejala mengakibatkan gangguan pada aktivitas hidup manusia diantaranya demam, kesulitan bernapas, mual, nyeri dada, dan batuk. Unsur Zn umumnya ditemukan di lingkungan tanah dan badan air, melalui pelapukan, dan pelepasan limbah industri. Tingkat Zn yang berlebihan dalam sumber-sumber ini bisa mengubah keragaman mikroba tanah dan air, dengan demikian dapat mempengaruhi bioavailabilitas dan penyerapan juga logam lainnya (Hussain et al., 2022). Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu ke tingkat yang lebih aman untuk dibuang ke lingkungan sampai memenuhi persyaratan baku mutu yang berlaku sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014.

Berbagai teknik telah digunakan untuk pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat, antara lain presipitasi kimia, adsorpsi, pertukaran ion dan *reverse osmosis*. Namun, teknik-teknik tersebut memiliki beberapa kelemahan, seperti terlalu banyak menghasilkan limbah padat dan lumpur yang menyebabkan polusi berkelanjutan, pengolahan tidak sempurna dan membutuhkan peralatan yang mahal (Lu et al., 2015).

Metode elektrokoagulasi banyak digunakan untuk mengolah berbagai jenis limbah industri. Metode ini telah diterapkan untuk mengolah limbah dari pabrik kertas, tekstil, penyulingan, elektroplating, dan rumah sakit. Konstruksi bahan dan bentuk elektroda sangat penting dalam proses elektrokoagulasi. Bentuk elektroda berpengaruh

terhadap kinerja elektrokoagulasi, hal ini telah dipelajari melalui percobaan penghilangan zat warna dari larutan zat warna sintetik menggunakan elektroda berlubang dan hasilnya telah dilakukan evaluasi dalam hal efisiensi penghilangan warna. Jumlah lubang, diameter lubang, dan konfigurasi lubang (persegi, segitiga, dan pitch lubang acak) berpengaruh pada efisiensi penghilangan warna yang diselidiki. Peningkatan efisiensi penghilangan warna diperoleh menggunakan elektroda berlubang jika dibandingkan dengan elektroda bidang. Selain itu tidak ada pengaruh signifikan dari sumber arus pada kinerja elektrokoagulasi (arus searah dan bolak-balik (Khandegar dan Saroha, 2021)).

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, perlu dilakukan pengolahan limbah batik untuk menurunkan kadar logam berat Zn. Penelitian ini melakukan pengolahan limbah cair batik menggunakan metode elektrokoagulasi dan memanfaatkan aluminium sebagai elektroda dengan berbagai variasi bentuk sebagai alternatif pengolahan dalam penurunan kadar logam berat Zn sehingga dapat diaplikasikan penggunaannya dalam upaya mengurangi pencemaran lingkungan.

Pengolahan limbah cair batik di dalam penelitian ini menggunakan elektroda aktif aluminium dengan bantuan elektrolit kalium klorida (KCl). Aluminium dipilih menjadi elektroda dalam penelitian ini karena aluminium mempunyai sifat ringan, cukup lunak, mudah dibentuk dan sifat hantaran listrik yang baik. Selain itu Al juga memiliki nilai potensial reduksi standar (E_0) sebesar -1,66 V. Berdasarkan nilai E_0 tersebut aluminium memiliki sifat kereaktifan yang tinggi dan mudah teroksidasi (Satrio dan Alva, 2017) sehingga di dalam penelitian akan mudah mengalami oksidasi menjadi kationnya dan membentuk suatu koagulan $Al(OH)_3$ yang dapat mengikat kontaminan-kontaminan di dalam limbah. Sementara itu, penggunaan KCl sebagai elektrolit dalam penelitian bertujuan untuk menambah konduktivitas limbah yang akan diolah sehingga proses elektrokoagulasi dapat berjalan lebih cepat dan memperoleh hasil pengolahan yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik logam aluminium yang digunakan setelah dianalisis dengan SEM-EDX?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu, massa elektrolit, tegangan, dan bentuk elektroda terhadap hasil penurunan kadar logam seng (Zn) pada limbah batik dengan metode elektrokoagulasi?
3. Bagaimana karakteristik endapan hasil proses elektrokoagulasi setelah dianalisis menggunakan SEM-EDX?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui karakteristik logam aluminium yang digunakan setelah dianalisis dengan SEM-EDX.
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu, massa elektrolit, tegangan, dan bentuk elektroda terhadap hasil penurunan kadar logam seng (Zn) pada limbah batik dengan metode elektrokoagulasi.
3. Mengetahui karakteristik endapan hasil proses elektrokoagulasi setelah dianalisis menggunakan SEM-EDX.

1.4 Manfaat

1. Memberikan solusi penanganan pengolahan limbah cair dari kegiatan industri batik
2. Sebagai suatu upaya untuk mengurangi dampak negatif air limbah batik sehingga akan tercipta suatu kondisi yang aman bagi badan lingkungan.
3. Mengetahui kandungan logam seng (Zn) dalam limbah batik dan baku mutunya berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan.

BAB 11

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aplikasi elektrokoagulasi pada pengolahan limbah cair

Elektrokoagulasi merupakan proses koagulasi atau penggumpalan dengan tenaga listrik melalui proses elektrolisis untuk mengurangi atau menurunkan ion-ion logam dan partikel-partikel di dalam air. Prinsip dasar dari elektrokoagulasi adalah reaksi reduksi dan oksidasi (redoks). Suatu sel elektrokoagulasi, peristiwa oksidasi terjadi di elektroda positif yaitu anoda sedangkan reduksi terjadi di elektroda negatif yaitu katoda sehingga terbentuk flokulan yang akan mengikat kontaminan maupun partikel-partikel dari air baku tersebut (Masrullita et al., 2021). Elektrokoagulasi telah berhasil digunakan untuk mengolah berbagai jenis air limbah. Proses ini dilakukan ketika anoda terlarut saat dielektrolisis dan flok logam hidroksida terbentuk pada limbah (Idusuyi et al., 2022).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengolah limbah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Idusuyi (2022) dengan memanfaatkan metode elektrokoagulasi dalam mengolah air dari aliran yang terkontaminasi menggunakan anoda aluminium. Parameter variasi yang dilakukan meliputi tegangan dan waktu elektrolisis, memberikan efek pada pH, TDS, BOD, COD, dan peningkatan atau penurunan berat elektroda. Terjadi penurunan TDS pada air yang terkontaminasi tersebut yang artinya meningkatkan kualitas air, kemudian hasil penelitian juga menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD dan BOD optimal sebesar 90,7% dan 97,67% dicapai pada tegangan 10V.

Penelitian yang dilakukan oleh Dewanti (2019) diperoleh kondisi optimum dari proses elektrokoagulasi limbah cair batik dengan tegangan 12 Volt pada waktu kontak 90 menit dan pada arus tetap 2 Ampere yaitu dapat menurunkan parameter logam Cr total 4,908 mg/L menjadi 0,005 mg/L, parameter COD 1890 mg/L menjadi 68,55 mg/L, dan parameter TSS 296,7 mg/L menjadi 41 mg/L.

2.2 Pengaruh waktu kontak, tegangan, dan elektrolit dalam elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi dianggap sebagai metode pengolahan yang efektif untuk air limbah yang mengandung logam berat. Elektrokoagulasi didasarkan pada pembentukan endapan dan flok yang mampu menghilangkan ion logam berat. Efek dari beberapa parameter eksperimental pada penghilangan ion logam berat telah diselidiki. Efisiensi penghilangan logam berat menggunakan metode elektrokoagulasi (Khosa et al., 2023) telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu kontak, tegangan, dan dosis elektrolit. Hasil yang diperoleh, yaitu semakin lama waktu kontak dan tegangan maka semakin besar persen kehilangan logam berat di dalam limbah. Sedangkan hasil dari variasi dosis elektrolit menunjukkan bahwa semakin banyak dosis yang ditambahkan, persen kehilangan logam berat makin tinggi sampai pada dosis tertentu, kemudian persen kehilangan logam berat menurun dengan penambahan dosis selanjutnya.

Selain itu juga jenis elektrolit berpengaruh pada proses elektrokoagulasi. Penelitian yang dilakukan oleh Keyikoglu (2019) dalam menyelidiki pengaruh beberapa elektrolit pada pengolahan *Reactive Black 5* (RB5) dengan elektrokoagulasi menggunakan pasangan elektroda aluminium dan besi. Elektrolit yang digunakan dalam penelitian tersebut, yaitu natrium klorida (NaCl), natrium sulfat (Na_2SO_4), kalium nitrat (KNO_3), natrium nitrat (NaNO_3), kalium sulfat (K_2SO_4), kalium klorida (KCl), dan ammonium klorida (NH_4Cl). Elektrolit yang mengandung anion Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- dan kation Na^+ , K^+ , NH_4^+ , telah diselidiki efisiensi penghilangan warna larutan. Kehadiran SO_4^{2-} menyebabkan kinerja yang buruk ketika digunakan dengan elektroda aluminium, yang menghasilkan efisiensi pelepasan zat warna sekitar 45% pada $8,33 \text{ A/m}^2$. Begitu juga keberadaan NO_3^- ketika digunakan dengan elektroda besi akan cukup merugikan dan mempengaruhi kinerja proses. Efisiensi pelepasan zat warna dengan KNO_3^- adalah 49,1% pada $8,33 \text{ A/m}^2$. Sedangkan elektrolit yang mengandung Cl^- menghasilkan dekolorisasi hampir sempurna (99,9%) terlepas dari jenis elektroda.

2.3 Jenis-Jenis Elektroda

Sel elektrolisis adalah sel yang menggunakan arus listrik agar dapat berlangsungnya reaksi kimia. Reaksi kimia yang dalam sel elektrolisis tidak terjadi secara spontan tetapi melalui perbedaan potensial yang berasal dari luar sistem. Anoda berfungsi sebagai elektroda bermuatan positif dan katoda bermuatan negatif, sehingga arus listrik mengalir dari anoda ke katoda. Sel elektrolisis terdiri dari: (1) sumber arus searah yang dihubungkan dengan (2) kawat penghantar pada (3) dua buah elektroda (katoda dan anoda), kedua ujung elektroda dicelupkan dalam bejana yang berisi (4) elektrolit. Elektroda yang digunakan dalam sel elektrolisis terdiri dari dua jenis yaitu:

a. Elektroda inert

Elektroda inert adalah elektroda yang tidak ikut bereaksi baik sebagai katoda maupun anoda sehingga dalam sel elektrolisis yang mengalami reaksi redoks adalah elektrolit sebagai zat terlarut dan atau air sebagai pelarut. Contoh elektroda inert adalah karbon (C) dan platina (Pt).

b. Elektroda elektroda aktif

Elektroda tidak inert atau elektroda aktif yaitu elektroda yang ikut bereaksi, terutama jika digunakan sebagai anoda, dapat mengalami reaksi oksidasi. Contohnya, yaitu Fe, Al, Cu, Zn, Ag, dan Au (Riyanto, 2012).

Reaksi yang terjadi pada sel elektrolisis dengan elektroda aktif biasanya terjadi pada anoda. Anoda mengalami reaksi oksidasi dan diikuti oleh reaksi reduksi di katoda (logam terdeposisi di katoda). Elektrolisis dengan elektroda aktif biasanya menggunakan elektrolit garam, basa, atau oksida dari anoda (Riyanto, 2012).

Logam aluminium dan besi sering digunakan sebagai elektroda dalam metode elektrokoagulasi. Ion Al^{3+} dan Fe^{3+} merupakan koagulan yang efisien untuk flokulasi dari partikulat. Sebagai contoh, ion aluminium terhidrolisis dapat membentuk suatu koagulan $Al(OH)_3$ yang secara kimia dapat menyerap polutan pada limbah. Kedua jenis logam tersebut sangat efisien saat digunakan sebagai elektroda (Chen, 2004).

BAB III

DASAR TEORI

2.4 Limbah Batik

Limbah cair merupakan gabungan atau campuran air dan bahan pencemar yang terbawa oleh air baik dalam keadaan terlarut maupun suspensi yang terbuang dari sumber domestik (perkantoran, perumahan, dan perdagangan) dan sumber industri. Industri batik menghasilkan limbah berupa limbah cair, padat dan gas. Limbah cair industri batik berasal dari kegiatan pengolahan kain, pewarnaan, dan pelorotan. Proses pengolahan kain dan pewarnaan menghasilkan limbah cair yang mengandung zat-zat kimia yang berpotensi meningkatkan nilai COD dan warna air limbah. Sedangkan pada kegiatan pelorotan, limbah cair yang dihasilkan memberikan kontribusi meningkatnya BOD air limbah. Keseluruhan proses produksi batik diindikasikan menggunakan bahan kimia mengandung logam berat, sehingga limbah yang dihasilkan juga masih mengandung logam berat. Air limbah batik umumnya memiliki kadar organik tinggi dan bersifat basa. Zat warna dalam air limbah batik umumnya sukar terdegradasi karena sifatnya yang mampu menahan kerusakan oksidatif dari cahaya matahari. Zat warna sintesis yang banyak digunakan untuk produksi batik, yaitu naftol, remazol, dan indigosol. (Oginawati et al., 2022). Karakteristik air limbah industri batik dapat digolongkan menjadi tiga (Apriyani, 2018) yaitu sebagai berikut:

2.4.1 Karakter fisika

Karakteristik fisika meliputi warna, bau, suhu, dan padatan. Warna disebabkan adanya partikel terlarut, tersuspensi, dan senyawa-senyawa koloidal. Suhu dapat mempengaruhi kadar *Dissolved Oxygen* (DO) dalam air. Kenaikan suhu sebesar 10°C dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen sebesar 10%. Padatan yang terdapat di dalam air limbah dapat diklasifikasikan menjadi *floating*, *settleable*, *suspended* atau *dissolved*, berbau menyengat, dan kontaminan yang akan membuat air menjadi keruh. Adanya indikator-indikator tersebut menunjukkan bahwa tingkat pencemaran yang terjadi cukup tinggi.

2.4.2 Karakter Kimia

Karakteristik kimia meliputi pH, COD, dan DO. COD merupakan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi. Nilai COD yang semakin tinggi menunjukkan bahwa semakin buruk kualitas air tersebut. DO merupakan ukuran banyaknya kandungan oksigen yang terlarut dalam air. Oksigen terlarut ini merupakan hal yang paling penting untuk kelangsungan hidup biota air. Kematian biota air karena menurunnya kandungan oksigen dalam air dapat merupakan salah satu indikator tercemarnya air.

2.4.3 Karakter Biologis

Hampir semua air limbah mengandung mikroorganisme dalam berbagai jenis dengan konsentrasi 10⁵ sampai 10⁸ organisme/mL. Bakteri juga berperan penting untuk mengevaluasi kualitas air.

Logam berat yang terkandung di dalam limbah cair batik harus berada di bawah ambang batas, sesuai dengan standar baku mutu limbah cair batik didasarkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. Standar baku mutu limbah cair batik merujuk pada standar baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan. Standar baku mutu limbah batik ditunjukkan pada Tabel 1.

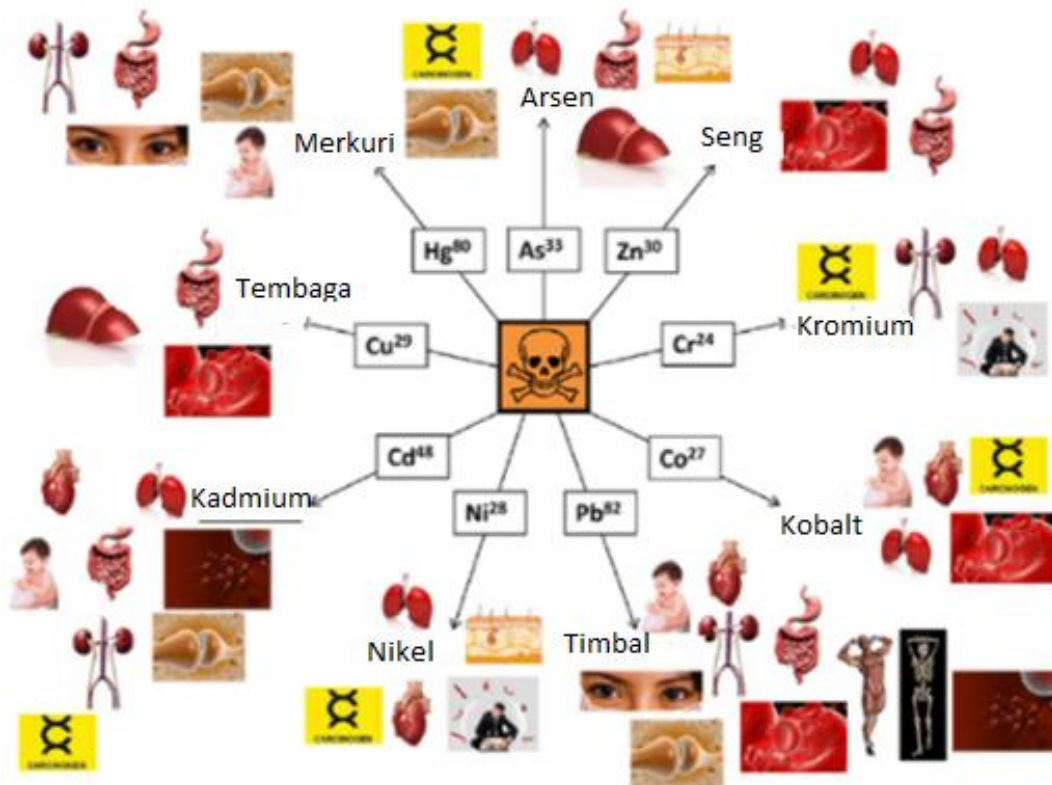
Tabel 1. Standar baku mutu limbah cair batik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
Seng (Zn)	mg/L	5
Timbal (Pb)	mg/L	0,1
Krom total (Cr)	mg/L	0,5
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	200

2.5 Logam berat

Istilah logam berat mengacu pada setiap unsur kimia logam yang memiliki kerapatan relatif tinggi dan beracun pada konsentrasi rendah. Logam berat merupakan komponen alami dari kerak bumi yang tidak dapat didegradasi atau dihancurkan. Logam berat memiliki kerapatan spesifik lebih dari 5 g/cm³ (Zeitoun dan Mehana, 2014). Logam berat diklasifikasikan sebagai unsur mikro esensial yang meliputi Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Ni dan unsur-unsur yang berpotensi toksik atau tidak esensial seperti Cd, Cr, Pb, Hg dan As (Alinia, 2020). Logam berat dilepaskan ke lingkungan dari berbagai sumber seperti industri kimia, tekstil, penyamakan kulit, plastik, pertambangan, manufaktur baterai, cat dan pigmen, industri kertas, dan lain-lain (Chakraborty et al., 2020). Ion logam berat merupakan racun yang kuat karena tidak dapat terurai secara hayati. Selain itu, ion logam berat bersifat karsinogenik dan apabila dalam sistem air berada pada konsentrasi yang lebih tinggi dari batas yang diizinkan dapat menyebabkan berbagai penyakit (Srivastava et al., 2011). Logam berat yang dibawa oleh air dapat diadsorpsi oleh *oxyhydroxides* atau ke vegetasi air seperti alga dan terakumulasi ke dalam jaring makanan. Hal ini menyebabkan bioakumulasi logam berat dalam organisme hidup, sehingga menimbulkan toksisitas di dalam tubuh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (Danil et al, 2012).

Paparan logam berat pada manusia menyebabkan masalah kesehatan yang memburuk dari waktu ke waktu sehingga mempengaruhi berbagai organ tubuh utama seperti hati, jantung, otak dan ginjal. Logam berat mengganggu mekanisme biologis normal dan mengganggu reaksi alami. Hal ini karena tidak dapat terurai secara hayati, mereka bertahan lebih lama dan memberikan risiko kesehatan dalam jangka panjang (Chakraborty et al., 2020).



Gambar 1. Skema target logam berat terhadap organ tubuh manusia (Danil et al, 2012).

2.6 Logam Zn

Seng (Zn) adalah logam transisi yang aktif dengan keadaan oksidasi +2, memiliki nomor atom 30, dan berwarna putih kebiruan, sifatnya keras tetapi mudah rapuh, konduktor yang baik, memiliki titik leleh dan titik didih yang rendah dan memiliki sifat larut yang baik dalam asam maupun basa. Unsur Zn ditemukan melimpah (0,02%) di kerak bumi, memiliki lima isotop stabil dan jarang ditemukan sebagai unsur bebas di alam. Terdapat beberapa bijih Zn yang banyak ditemukan, seperti seng oksida (ZnO), *sفالerit* atau seng sulfida (ZnS), *smithsonite* atau seng karbonat (ZnCO₃), *willemite* atau seng silikat (ZnSiO₃), dan *franklinite* [(Zn, Mn, Fe)O(Fe, Mn₂)] (Ali et al., 2018).

Logam Zn sekarang banyak digunakan dalam proses galvanisasi untuk melapisi logam lain karena tidak mudah menimbulkan korosi seperti besi atau logam lainnya.

Ion seng diserap ke dalam tanah pada pH 5 atau lebih dan cenderung memiliki mobilitas yang sedikit. Secara alami di perairan, beberapa bentuk seng ditemukan seperti kompleks metalorganik, ion terhidrasi, atau logam-anorganik kompleks (Ali et al., 2018).

Seng merupakan *trace* elemen yang keberadaannya penting sebagai fungsi katalitik, struktural, dan pengatur yang sangat diperlukan untuk pertumbuhan serta perkembangan mikroorganisme, tanaman, dan hewan. Rata-rata asupan seng pada manusia berkisar antara 2,5 dan 10 mg/hari. Hal ini karena seng berperan sebagai kofaktor untuk *superoxide dismutase* (SOD) dan melindungi struktur biologis dari kerusakan yang disebabkan oleh radikal bebas dengan mempertahankan SOD dan *metallothionein*, serta mencegah interaksi antara bahan kimia dengan besi (Kumar et al., 2018).

Seng dalam bidang organik dikenal sebagai molekul pembantu yang membantu sekitar 300 enzim yang terlibat dalam berbagai fungsi tubuh. Seng adalah unsur esensial setelah besi yang keberadaannya cukup banyak dalam tubuh manusia. Jumlah seng maksimum berada di bagian mata, hati, ginjal, tulang, otot, prostat, dan otak. Penglihatan lemah seperti katarak dan penglihatan malam yang kurang baik telah diakibatkan oleh kekurangan seng. Konsentrasi seng yang rendah di tubuh manusia berakibat *alopecia* (rambut rontok dari bulu mata dan alis), rentan infeksi, dan kelesuan (Ali et al., 2018).

Logam seng memiliki sifat akumulatif di lingkungan. Toksisitas logam seng dengan konsentrasi tinggi dalam waktu yang lama dapat mempengaruhi sintesis klorofil sehingga menghambat proses fotosintesis. Keberadaan logam seng di perairan dapat membahayakan keberlangsungan lingkungan dan mempengaruhi semua komponen ekosistem lingkungan. Efek logam seng dalam suatu sistem perairan ditentukan oleh beberapa faktor seperti kuantitas logam berat dan komposisi fraksi terlarut serta partikulat logam berat di dalam perairan. Konsentrasi yang lebih tinggi dari logam seng sampai tingkat tertentu dapat mengganggu perairan dan mutu air (Novi et al., 2019).

2.7 Zat Warna

Zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna dan auksokrom sebagai pengikat warna dengan serat. zat organik tidak jenuh yang dijumpai dalam pembentukan zat warna adalah senyawa aromatik antara lain senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol dan turunannya serta senyawa-senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen. Gugus kromofor adalah gugus yang menyebabkan molekul menjadi berwarna (Naimah et al., 2014). Ada dua jenis pewarna yang sering digunakan untuk membatik, yaitu zat pewarna alami dan buatan (Prayogo, 2015).

2.7.1 Zat pewarna alami.

Salah satunya didapat dari tumbuhan seperti akar, batang tanaman, kulit, daun, getah, dan bunga. Pewarna alami menghasilkan warna yang khas.

2.7.2 Zat pewarna buatan

Diperoleh dari zat-zat sintetis. Pewarna buatan menghasilkan warna yang lebih bervariasi. Golongan-golongan zat pewarna buatan yang biasanya dipakai, yaitu indigoso dan naftol.

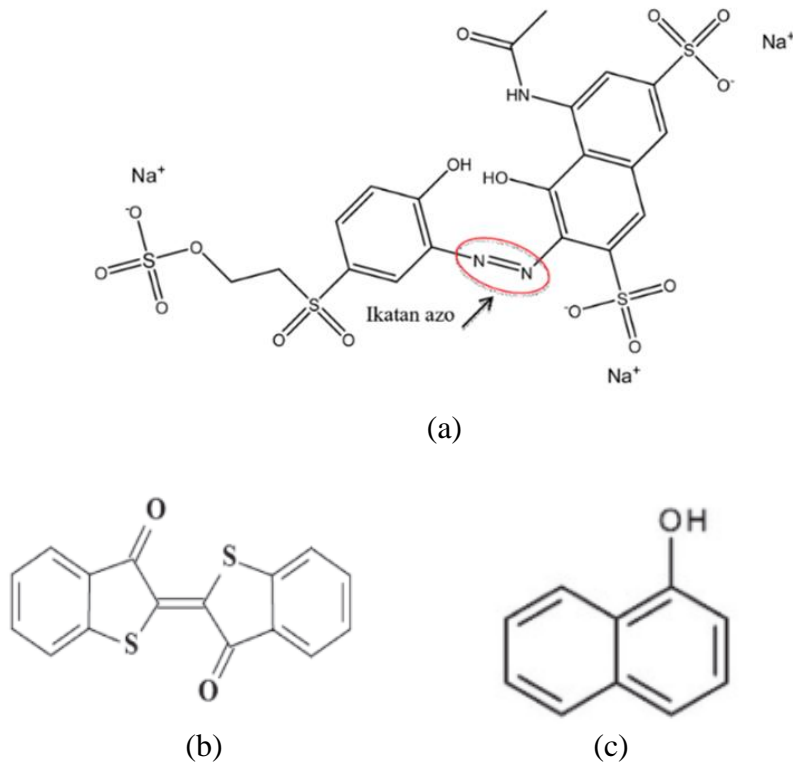
b. Zat Warna Naftol

Zat warna naftol adalah suatu zat warna tekstil yang dapat dipakai untuk mencelup secara cepat dan mempunyai warna yang kuat. Zat warna naftol yang tidak larut dalam air yang terdiri atas dua komponen dasar, yaitu berupa golongan naftol As (*Anilid Acid*) dan komponen pembangkit warna, yaitu golongan diazonium yang biasanya disebut garam. Kedua komponen tersebut bergabung menjadi senyawa berwarna jika sudah dilarutkan. Zat warna terbentuk di dalam serat dan tidak terlarut di dalam air karena senyawa yang terjadi mempunyai gugus azo. Naftol dapat memberikan warna kuning, merah, biru, dan hitam.

c. Zat Warna Indigosol

Zat warna Indigosol atau bejana larut adalah zat warna yang ketahanan lunturnya baik, berwarna rata, dan cerah. Zat warna ini dapat dipakai secara pencelupan dan coletan. Warna dapat timbul setelah dibangkitkan dengan oksidasi

oleh natrium nitrit dan asam sulfat atau asam florida. Indigosol memberikan warna ungu, biru, dan jingga.

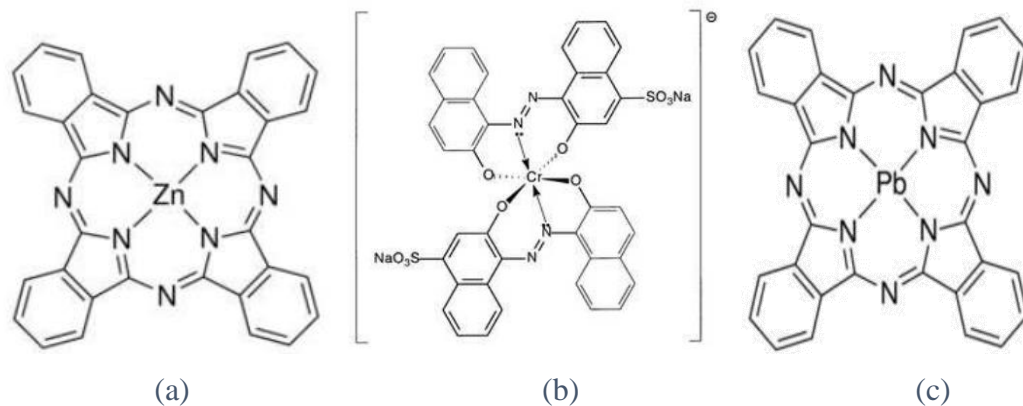


Gambar 2. Struktur molekul remazol (a), indigosol (b), dan naftol (c)
(Onigawati et al., 2022)

Klasifikasi pewarna yang digunakan sebagai zat warna tekstil terdiri dari dua jenis berdasarkan struktur bahan kimia dan metode aplikasi pewarna. Berdasarkan struktur zat warna, khususnya gugus kromofor, meliputi azo, azin, akridin, antrakuinon, indigoid, metin, pewarna nitro, nitroso *xanthen*, pewarna *phthalocyanine*, pewarna *diphenylmethane* dan *triphenylmethane*. Metode aplikasi klasifikasi zat warna adalah *acid dyes*, *basic dyes*, *direct dyes*, *azoic dyes*, pewarna langsung, pewarna mordan, *vat dyes*, *reactive dyes*, *indigo dyes* dan *sulphur dyes* (Velusamy et al., 2021).

Terdapat dua sumber utama logam. Pertama, logam berasal dari pengotor dengan bahan kimia yang digunakan selama proses seperti soda kaustik, natrium karbonat dan garam. Kedua, sumber logam bisa berupa bahan pewarna seperti pewarna

mordan metalisasi. Zat warna kompleks logam mengandung kromium khelat, kobalt, tembaga, dan nikel. Beberapa pewarna kationik mengandung seng dan konsentrasi kecil dari merkuri, kadmium, dan arsenik yang hadir sebagai pengotor. Beberapa zat pengoksidasi dan pereduksi mengandung logam (misalnya dikromat dan permanganat), tetapi dalam banyak hal, bahan kimia ini tidak lagi digunakan. Logam juga hadir dalam pelapis seperti pelapis antijamur dan pencegah bau (Tafesse et al., 2015). Toksisitas zat warna sintetis mempertimbangkan struktur zat warna pada pewarna. Zat warna mengandung logam berat dan dapat menyebabkan dampak buruk seperti kanker. Pewarna yang menyebabkan alergi dianggap tidak berdampak kecil. Toksisitas akut melibatkan *oral ingestion and inhalation*. Masalah toksisitas akut dengan pewarna tekstil yaitu iritasi dan sensitifitas kulit, terutama disebabkan oleh pewarna reaktif untuk kapas, pewarna asam untuk serat poliamida dan zat warna dispersi untuk poliester, poliamida serta rayon asetat (Affat, 2021). Gambar 3 menunjukkan senyawa kompleks zat warna yang mengandung logam (Velusamy et al., 2021).



Gambar 3. Struktur molekul zat warna Zinc phthalocyanine (a), C.I Acid blue 193 (b), dan Copper (II) phthalocyanine (c) (Velusamy et al., 2021)

2.8 Elektrokimia

Elektrokimia merupakan bagian ilmu kimia yang mempelajari tentang hubungan antara reaksi kimia dengan arus listrik. Elektrokimia diterapkan dalam berbagai keperluan hidup manusia, seperti industri yang memproduksi bahan-bahan kimia baik organik maupun anorganik, farmasi, polimer, otomotif, perhiasan, pertambangan, pengolahan limbah dan bidang analisis. Penggunaan elektrokimia diantaranya adalah:

- a. Sel galvani yaitu sel kimia yang prinsip kerjanya didasarkan pada reaksi kimia yang dapat menghasilkan arus listrik, seperti baterai, aki dan sel bahan bakar (*fuel cell*).
- b. Sel elektrolisis, yaitu sel kimia yang prinsip kerjanya didasarkan pada reaksi kimia yang membutuhkan arus listrik. Contoh penggunaan sel elektrolisis yaitu:
 1. Elektrodeposisi adalah suatu teknik pengendapan logam dipermukaan elektroda, dimana teknik ini digunakan untuk membuat bahan nanoteknologi, elektroplating, pencegah korosi, perhiasan dan asesoris mobil.
 2. Elektroanalisis adalah aplikasi teknik elektrolisis yang sering digunakan untuk berbagai analisis, seperti: polarografi, voltametri, potensiometri, *Linear Sweep Voltammetry* (LSV), *Cyclic Voltammetry* (CV), *Differential Pulse Voltammetry* (DPV), *Normal Pulse Voltammetry* (NPV), *Differential Normal Pulse Voltammetry* (DNPV), *Square Wave Voltammetry* (SWV), *Anodic stripping voltammetry* (ASV), *Cathodic stripping voltammetry* (CSV) dan *Voltametri stripping adsorptif* (AdSV).
 3. Elektrosintesis adalah suatu teknik sintesis senyawa organik dan anorganik yang dilakukan dengan cara elektrolisis. Beberapa senyawa organik dapat disintesis dengan cara elektrosintesis antara lain asam asetat, adiponitril, tetra alkil plumbum dan tetrafl uoro-p-xylene, sedangkan sintesis senyawa anorganik antara lain Ti, Al, Na, MnO₂ dan Cl₂ .
 4. Elektrodegradasi adalah suatu teknik penguraian limbah organik dan anorganik. Kelebihan penguraian limbah dengan teknik ini, yaitu lebih efisien

dan hemat energi. Hasil akhir dari penguraian limbah organik adalah air dan gas CO₂, sedangkan limbah anorganik seperti logam-logam akan terendapkan di katoda. Logam yang sudah terendapkan di katoda, dapat dipisahkan dengan melarutkan logam tersebut dalam asam kuat, kemudian dipisahkan menjadi logam murni melalui pengendapan (Riyanto, 2012).

2.9 Elektrokoagulasi

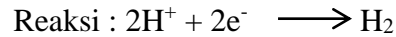
Elektrokoagulasi adalah metode yang melibatkan adanya reaksi oksidasi dan reduksi dimana destabilisasi kontaminan (tersuspensi, teremulsi, atau terlarut) terjadi karena penggunaan arus listrik ke larutan elektrolit. Unit elektrokoagulasi terdiri dari sel elektrolisis dan elektroda logam (Al atau Fe) yang dihubungkan ke catu daya eksternal lalu terjadi gejala dekomposisi elektrolit yaitu ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi oleh ion negatif (anion) yang bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi. Anoda akan dihasilkan gas berupa gelembung-gelembung udara dan buih, selanjutnya gas yang terbentuk akan mengikat partikel-partikel koloid yang ada di dalam limbah yang telah terdestabilisasi, sehingga partikel-partikel koloid yang terdestabilisasi terdorong ke permukaan. Flok yang terbentuk ternyata memiliki ukuran yang relatif kecil dan flok yang terbentuk tadi lama kelamaan akan bertambah besar ukurannya lalu mengendap (Bharath et al., 2018). Proses elektrokoagulasi dilakukan pada bejana elektrolisis yang di dalamnya terdapat katoda dan anoda sebagai penghantar arus listrik searah yang disebut elektroda, yang tercelup dalam larutan limbah sebagai elektrolit.

Elektroda tempat terjadi reaksi reduksi disebut katoda, sedangkan tempat terjadinya reaksi oksidasi disebut anoda. Reaksi yang terjadi pada elektroda tersebut sebagai berikut:

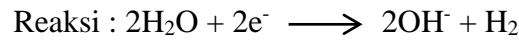
1. Reaksi pada Katoda

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

- a. Ion H⁺ dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen yang akan bebas sebagai gelembung-gelembung gas.



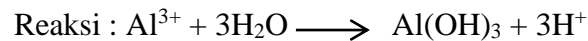
- b. Jika larutan mengandung ion-ion logam alkali, alkali tanah, maka ion-ion ini tidak dapat direduksi dari larutan yang mengalami reduksi adalah pelarut (air) dan terbentuk gas hidrogen (H_2) pada katoda.



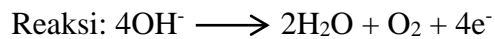
- c. Jika larutan mengandung ion-ion logam lain, maka ion-ion logam akan direduksi menjadi logamnya dan terdapat pada batang katoda.

2. Reaksi pada Anoda

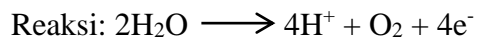
- a. Anoda yang digunakan logam Aluminium akan teroksidasi:



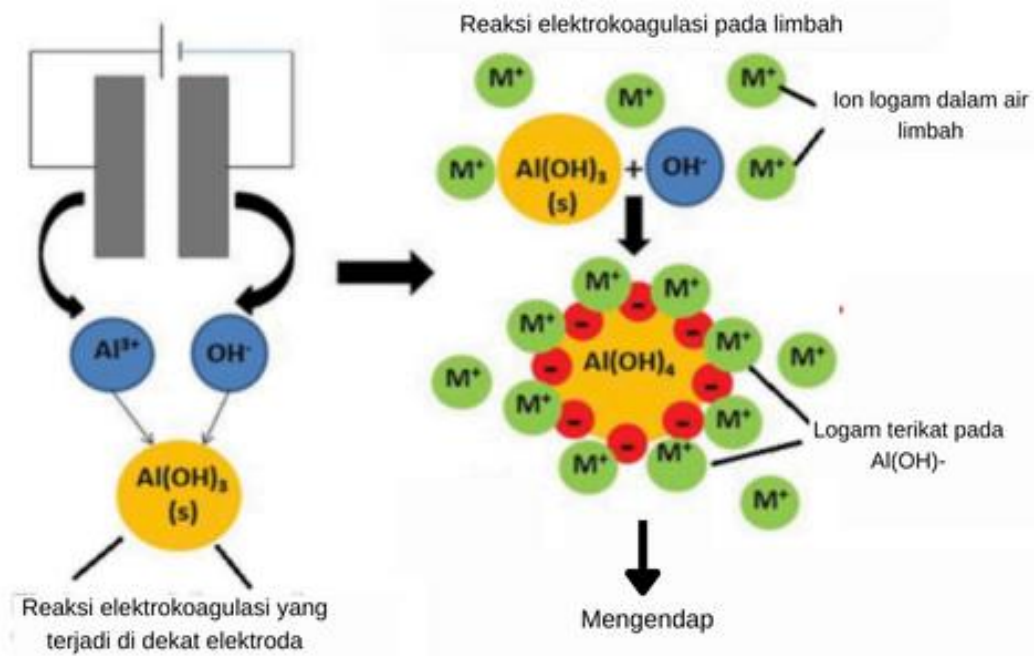
- b. Ion OH^- dari basa akan mengalami oksidasi membentuk gas oksigen (O_2):



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



Reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses elektrokoagulasi, yaitu pada katoda akan dihasilkan gas hidrogen dan reaksi ion logamnya, sedangkan pada anoda akan dihasilkan gas halogen dan pengendapan flok-flok seperti ditunjukkan pada Gambar 4 (Bharath et al., 2018).



Gambar 4. Proses elektrokoagulasi (Changmai et al., 2020)

Berdasarkan Gambar 4, koagulan Al(OH)_3 yang terbentuk akan bereaksi dengan ion hidroksida sehingga membentuk Al(OH)_4^- , yang kemudian akan mengikat ion logam yang terdapat pada sampel. Hal ini karena Al(OH)_4^- bermuatan negatif sehingga ketika bertemu dengan ion logam yang bermuatan positif maka terjadi interaksi antara keduanya (Changmai et al., 2020).

2.10 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang terlarut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion dan memiliki kemampuan menghantarkan listrik. Hal ini karena ion-ion merupakan partikel bermuatan listrik sehingga elektron mengalir melalui larutan elektrolit. Elektrolit biasanya berupa garam-garam seperti NaCl , Na_2SO_4 , dan KCl . Elektrolit selain sebagai penghantar arus listrik juga akan terlibat dalam reaksi. Larutan non elektrolit tetap sebagai molekul dan tidak terdisosiasi menjadi ion ketika dilarutkan dalam air, sedangkan larutan elektrolit akan terdisosiasi menjadi ion-ion penyusunnya. Elektrolit dibagi menjadi dua macam yaitu elektrolit kuat dan elektrolit lemah.

Elektrolit kuat akan terdisosiasi seluruhnya sementara elektrolit lemah hanya terdisosiasi sebagian (Hadinugrahaningsih et al., 2020).

2.11 Elektroda Aluminium

Aluminium (Al) adalah unsur yang paling melimpah ketiga dan logam paling berlimpah yang ditemukan di kerak bumi. Hal ini umumnya ditemukan di bumi dalam mineral dan senyawa seperti *feldspar*, *beryl*, kriolit, dan pirus. Logam aluminium memiliki nomor atom 13 dengan massa atom relatif 27 g/mol. Aluminium merupakan unsur yang berada di golongan IIIA, memiliki nilai potensial reduksi standar (E_0) sebesar -1,66 V. Berdasarkan nilai E_0 tersebut aluminium memiliki sifat kereaktifan yang tinggi dan mudah teroksidasi. Logam Al mempunyai sifat ringan dan sifat hantaran listrik yang baik. Aluminium biasa dipergunakan untuk peralatan rumah tangga, material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi, dan lain-lain. Untuk mendapatkan peningkatan kekuatan mekanik, biasanya logam aluminium dipadukan dengan unsur Cu, Si, Mg, Zn, Mn, dan Ni (Satrio dan Alva, 2017).



Gambar 5. Elektroda Aluminium (Nur dan Jatnika, 2014)

Aluminium merupakan salah satu logam yang baik digunakan sebagai elektroda pada metode elektrokoagulasi. Proses yang terjadi berupa arus searah melalui anoda (biasanya aluminium atau besi) menyebabkan korosi pada elektroda dan produksi kation logam. Kation tersebut lalu membentuk spesies logam hidroksida polimerik dalam larutan yang mirip dengan garam koagulan seperti tawas. Kation dan logam hidroksida polimer bermuatan dapat menetralkan partikel bermuatan negatif.

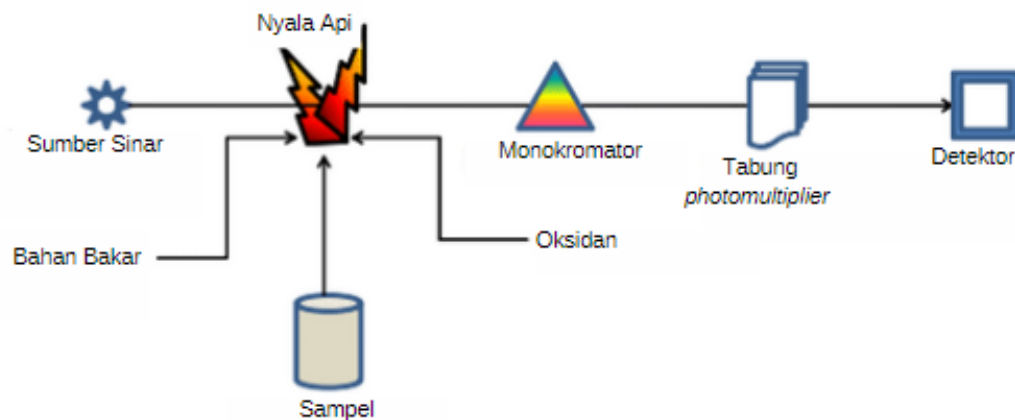
Setelah netralisasi, partikel-partikel tersebut berikatan untuk membentuk kumpulan flok sehingga menghilangkan polutan. Selain itu, pembentukan gelembung gas pada kedua elektroda menyebabkan elektroflokasi, yang menghasilkan penghilangan kontaminan yang lebih baik (Bharath et al., 2018). Aluminium hidroksida bersifat amfoter, artinya bahwa aluminium hidroksida dapat bereaksi dengan asam maupun basa (Sutresna, 2007). Sifat amfoter tersebut mendukung penyerapan polutan oleh aluminium hidroksida sehingga pengolahan limbah menjadi efektif.

2.12 Spektroskopi Serapan Atom

Spektroskopi serapan atom merupakan istilah yang digunakan jika terjadinya penyerapan atom-atom pada saat pengukuran oleh suatu radiasi. Atom-atom yang mengalami eksitasi memiliki tingkat energi tertentu. Sebagian besar atom tidak mengalami eksitasi jika berada pada kondisi normal (Mustika et al., 2016). Penentuan konsentrasi suatu logam oleh Spektroskopi Serapan Atom (SSA) didasarkan pada penyerapan cahaya oleh atom sehingga konsentrasi dari suatu logam dapat diketahui melalui absorbansi sampel tersebut (Armin et al., 2013).

2.12.1 Prinsip Kerja Spektrofotometer Serapan Atom

Prinsip kerja spektrofotometer serapan atom adalah menguapkan larutan sampel dan kemudian mengubah logam menjadi atom bebas. Atom menyerap radiasi dari sumber cahaya yang dipancarkan oleh lampu katoda (*Hollow Cathode Lamp*) berongga dan mengandung unsur yang akan diukur, kemudian penyerapan radiasi diukur berdasarkan panjang gelombang tertentu sesuai dengan jenis logamnya. Bahan bakar yang digunakan pada proses spektroskopi serapan atom antar lain propana, butana, hidrogen dan asetilen, sedangkan oksidator yang digunakan adalah udara, oksigen, N_2O , dan asetilen (Putu et al., 2018). Skema umum dari instrumen spektrofotometer serapan atom ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema instrumen spektrofotometer serapan atom (Paul et al., 2017)

Analisis sampel pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) sampel diubah menjadi bentuk gas dengan adanya nyala api yang dinamakan atomisasi. Alat yang digunakan untuk mengubah sampel menjadi bentuk gas yaitu nyala (*flame*) dan tanpa nyala (*flamless*). Nyala (*flame*) digunakan untuk mengubah sampel padatan ataupun cairan menjadi bentuk uap atomnya dan berfungsi untuk atomisasi serta untuk mengeksitasikan atom dari tingkat dasar ke tingkat yang tinggi. Tanpa nyala (*flamless*) adalah teknik atomisasi yang melalui tiga tahap yaitu pengeringan dengan membutuhkan suhu yang tinggi karena untuk menghilangkan matriks kimia, proses volitilasi atau pirolisis, dan penguapan (Warni et al., 2011).

Hukum yang mendasari spektroskopi serapan atom adalah Hukum Lambert dan Hukum Beer yang disebut dengan Hukum Lambert-Beer. Hukum Lambert menyatakan jika suatu sinar monokromatik melewati medium transparan, maka intensitas sinar yang diteruskan akan berkurang dengan bertambahnya ketebalan medium yang akan dilalui sinar dan Hukum Beer menyatakan bahwa intensitas sinar yang diteruskan akan berkurang secara eksponensial dengan bertambahnya suatu konsentrasi unsur yang menyerap sinar tersebut. Berdasarkan kedua hukum tersebut diperoleh suatu persamaan :

$$I_t = I_0 \cdot e^{-\epsilon bc} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$A = - \text{Log } I_t/I_0 = \epsilon bc \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

I_0 = Intensitas sumber sinar

I_t = Intensitas sinar yang diteruskan

ϵ = Absorptivitas molar

b = Panjang medium

c = Konsentrasi atom-atom yang menyerap sinar

A = Absorbansi

Berdasarkan persamaan di atas, dapat disimpulkan bahwa absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Charlton et al., 2017).

2.12.2 Metode Destruksi

Destruksi merupakan suatu perlakuan pemecahan senyawa menjadi unsur-unsurnya sehingga kandungan unsurnya dapat dianalisis. Terdapat dua jenis destruksi yang dikenal dalam ilmu kimia, yaitu destruksi basah dan destruksi kering (Nasir, 2019).

a. Destruksi basah

Destruksi basah merupakan perubahan sampel menggunakan asam-asam kuat baik tunggal ataupun campuran, kemudian dilakukan oksidasi dengan menggunakan zat oksidator. Pelarut yang dapat digunakan untuk destruksi basah antara lain asam sulfat (H_2SO_4), asam klorida (HCl), asam nitrat (HNO_3), dan asam perklorat ($HClO_4$) (Habibi, 2020; Rahayu, 2020). Keberhasilan destruksi ditandai dengan diperolehnya larutan berwarna jernih pada larutan destruksi, yang menunjukkan bahwa semua konstituen telah larut dengan sempurna. Senyawa garam yang terbentuk setelah destruksi merupakan senyawa garam yang stabil dan disimpan selama beberapa hari. Umumnya destruksi basah dilakukan menggunakan Metode Kjeldhal. Selama pengembangannya metode ini telah dilakukan modifikasi pada peralatan yang digunakan (Nielsen, 2017).

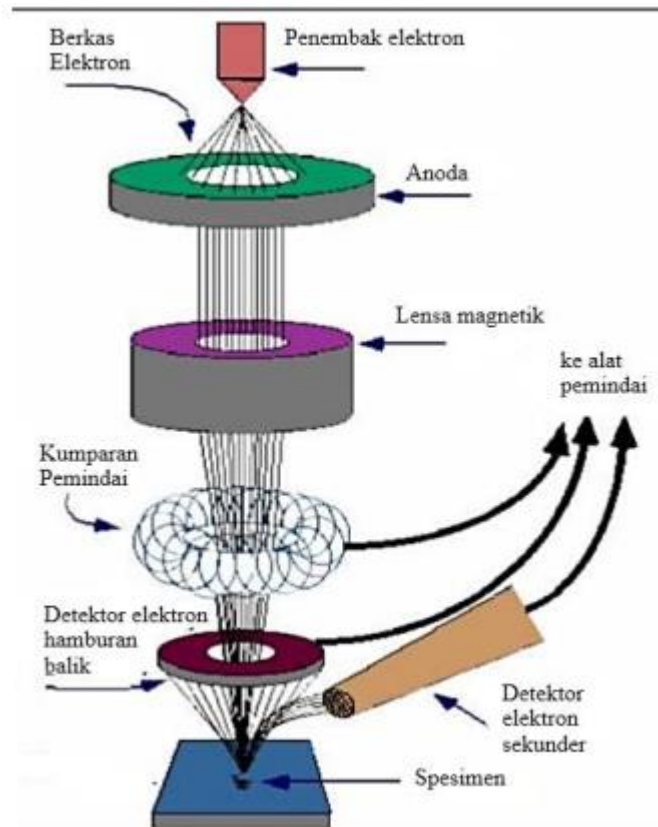
b. Destruksi kering

Destruksi kering merupakan perubahan logam organik di dalam sampel menjadi logam-logam anorganik menggunakan metode pengabuan sampel dalam *muffle*

furnace dengan suhu pemanasan tertentu dan mekanisme penguapan pelarut (Abata et al., 2019; Rahayu et al., 2019). Umumnya destruksi kering membutuhkan suhu pemanasan antara 400-800°C, akan tetapi suhu ini tergantung pada jenis sampel yang akan dianalisis nantinya. Untuk menentukan suhu pengabuan dengan sistem ini terlebih dahulu dilakukan peninjauan jenis logam yang akan dianalisis. Jika oksida-oksida logam yang terbentuk bersifat kurang stabil, maka metode ini tidak memberikan hasil yang baik. Untuk logam Fe, Cu, dan Zn akan membentuk oksida Fe_2O_3 , FeO, CuO, dan ZnO. Semua oksida logam ini cukup stabil pada suhu pengabuan yang akan digunakan. Oksida-oksida ini kemudian dilarutkan dengan pelarut asam encer baik tunggal ataupun campuran, kemudian dianalisis sesuai dengan metode yang digunakan (Abata et al., 2019).

2.13 *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

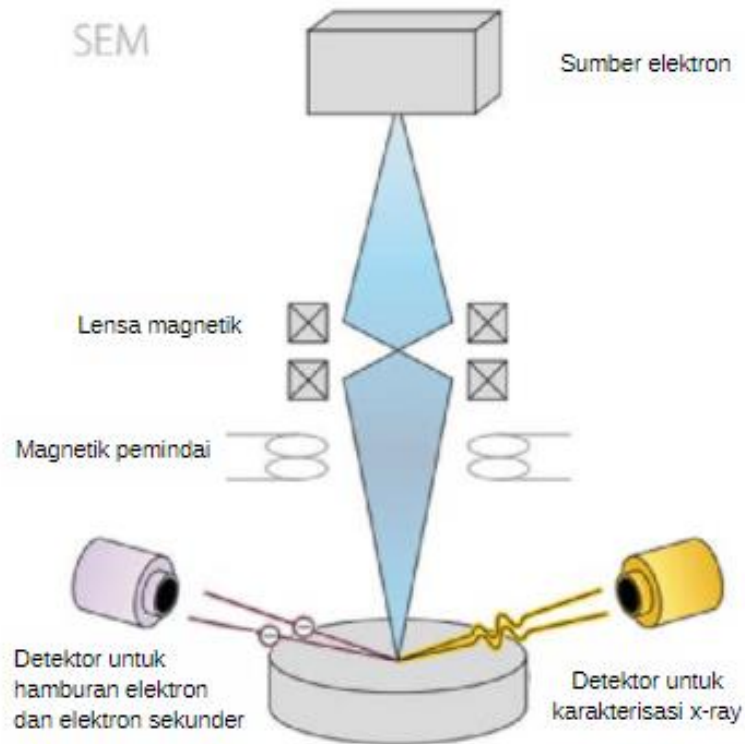
Scanning Electron Microscopy (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel dengan memindainya melalui berkas elektron berenergi tinggi. Elektron berinteraksi dengan atom menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi dan sifat lain seperti konduktivitas listrik. Sinyal dihasilkan dari interaksi berkas elektron dengan atom pada permukaan sampel. SEM dapat menghasilkan gambar dengan resolusi sangat tinggi dari permukaan sampel yaitu dapat menganalisis detail berukuran sekitar 1 hingga 5 nm. Mikrograf SEM memiliki kedalaman bidang yang besar menghasilkan gambar tiga dimensi yang khas, berguna untuk memahami struktur permukaan sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 (Shawky et al., 2016).



Gambar 7. Skema diagram SEM (Mohammed, 2016)

Spektroskopi *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) adalah teknik yang digunakan untuk penentuan komposisi kimia suatu sampel. Sebuah sumber elektron dengan energi tinggi difokuskan pada sampel dan berkas insiden dapat membangkitkan elektron di salah satu kulit bagian dalam atom pada spesimen. Elektron ini dikeluarkan dari atom dan membentuk lubang elektronik. Oleh karena itu, elektron dari kulit terluar dapat mengisi lubang ini dan perbedaan energi antara kulit berenergi lebih tinggi dan kulit berenergi lebih rendah dapat dilepaskan dalam bentuk sinar-x. Teknik EDX yaitu intensitas dan energi sinar-x yang dipancarkan dalam proses diukur, karena energi sinar-x ini bergantung pada perbedaan antara dua kulit atom dan setiap elemen atom memiliki struktur energi yang unik serta komposisi kimia bahan yang dianalisis dapat ditentukan (Wang et al., 2014). Biasanya EDX digunakan bersama SEM karena

menyediakan sumber elektron yang sesuai untuk teknik ini, seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema EDX dalam SEM (Piccinotti, 2018)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah lempeng aluminium 8 x 2 x 0,1 cm dan lempeng aluminium 8 x 4 x 0,1 cm, seperangkat alat elektrolisis, statif dan klem, magnetik stirer, gelas beker 100 mL (iwaki), labu ukur 50 mL (iwaki), labu ukur 100 mL (iwaki), pipet ukur 1 mL (iwaki), pipet ukur 5 mL (iwaki), gelas ukur 50 mL (iwaki), spatula, kaca arloji, botol kaca, corong gelas (iwaki), pengaduk kaca, neraca analitik, gunting, paku, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) (Buck Scientific 205), dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX).

4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah batik (dari Monera Batik, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta), akuades, kalium klorida (KCl) (Merck), asam nitrat (HNO₃) 65% (Merck), asam klorida (HCl) 37% (Merck), seng sulfat (ZnSO₄) (Merck), kertas pH universal, amplas, dan kertas saring.

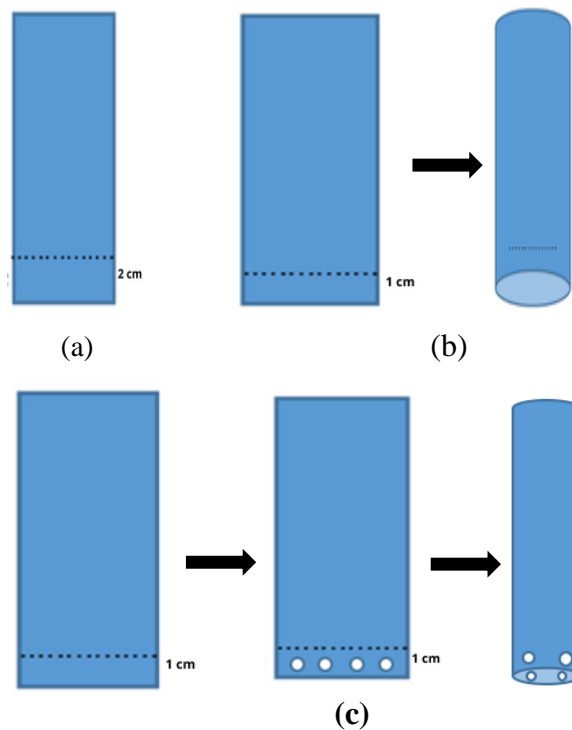
4.3 Cara Kerja

4.3.1 Pengambilan Sampel Limbah Batik

Sampel diambil dari *home industry* Monera Batik yang jaraknya \pm 3 km dari kampus terpadu Universitas Islam Indonesia (UII), tepatnya di daerah Sukoharjo, Kecamatan Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara memindahkan sampel yang berada di kolam limbah dengan ukuran 2 x 1 x 1 m (mampu menampung \pm 2 L limbah) ke dalam wadah tertutup (jerigen putih) berbahan plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) sebanyak 5 L limbah cair. Sampel diambil hanya pada titik di bagian tengah kolam. Sampel limbah dibawa ke laboratorium riset kimia UII lalu di masukkan ke dalam lemari es pada suhu \pm 4 °C. Pada hari berikutnya dilakukan preparasi sampel yang dibutuhkan untuk pengolahan dengan elektrokoagulasi, yaitu dengan memindahkan sampel dari jerigen menuju beker gelas 1 L dengan dihomogenkan/dikocok terlebih dahulu pada jerigen. Selanjutnya didiamkan dulu sampai suhu sampel sama dengan suhu ruang.

4.3.2 Pembuatan elektroda aluminium

Lempeng aluminium disiapkan, lalu di potong-potong menggunakan gunting dengan ukuran panjang x lebar x tebal yaitu 8 x 2 x 0,1 cm (untuk elektroda lempeng) dan 8 x 4 x 0,1 cm (untuk elektroda silinder dan silinder berlubang). Kemudian lempeng aluminium diampelas. Setelah itu, lempeng dengan ukuran 8 x 4 x 0,1 cm dibuat menjadi bentuk silinder dan silinder berlubang dengan bantuan paku.



Gambar 9. Elektroda bentuk lempeng (a), elektroda bentuk silinder (b), dan elektroda bentuk silinder berlubang (c)

4.3.3 Karakterisasi lempeng aluminium dengan *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

Karakteristik lempeng aluminium dianalisis dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)* untuk mengetahui morfologi dan kandungan unsur lempeng aluminium.

4.3.4 Penentuan kadar Zn limbah batik sebelum proses elektrokoagulasi

Penentuan kadar Zn sebelum proses elektrokoagulasi dilakukan untuk mengetahui kandungan awal logam Zn pada limbah batik. Penentuan kadar Zn dilakukan menggunakan instrumen SSA.

4.3.5 Elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium bentuk lempeng

4.3.5.1 Elektrokoagulasi limbah batik dengan variasi waktu

Sebanyak 50 mL limbah batik dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditambahkan KCl sebanyak 0,5 gram. Kemudian dielektrolisis dengan tegangan 5 V, menggunakan variasi waktu 10, 30, 50, 70, dan 90 menit. Setelah elektrolisis selesai, larutan sampel disaring menggunakan kertas saring. Filtrat dianalisis kadar logam Zn menggunakan SSA dan ditentukan waktu optimum penurunan kadar Zn.

4.3.5.2 Elektrokoagulasi limbah batik dengan variasi massa KCl

Sebanyak 50 mL limbah batik dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditambahkan KCl dengan variasi 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; dan 1,25 gram. Kemudian dielektrolisis dengan tegangan 5 V pada waktu optimumnya. Setelah elektrolisis selesai, larutan sampel disaring menggunakan kertas saring. Filtrat dianalisis kadar logam Zn menggunakan SSA dan ditentukan massa KCl optimum untuk penurunan kadar Zn.

4.3.5.3 Elektrokoagulasi limbah batik dengan variasi tegangan

Sebanyak 50 mL limbah batik dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditambahkan KCl pada massa optimumnya. Kemudian dielektrolisis dengan variasi tegangan 3, 5, 7, 9, dan 11 V pada waktu optimum. Setelah elektrolisis selesai, larutan sampel disaring menggunakan kertas saring. Filtrat dianalisis kadar logam Zn menggunakan SSA dan ditentukan tegangan optimum untuk penurunan kadar Zn.

4.3.6 Elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium bentuk silinder

Sebanyak 50 mL limbah dimasukkan ke dalam gelas beker 100 mL dan ditambahkan KCl pada massa optimum, kemudian dielektrolisis dengan tegangan optimum dan waktu optimum menggunakan elektroda aluminium bentuk silinder

(anoda). Setelah elektrolisis selesai, larutan sampel disaring menggunakan kertas saring, lalu filtrat dianalisis kadar logam Zn menggunakan SSA.

4.3.7 Elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium bentuk silinder berlubang

Sebanyak 50 mL limbah dimasukkan ke dalam gelas beker 100 mL dan ditambahkan KCl pada massa optimum, kemudian dielektrolisis dengan tegangan optimum dan waktu optimum menggunakan elektroda aluminium bentuk silinder dan berlubang (anoda). Setelah elektrolisis selesai, larutan sampel disaring menggunakan kertas saring, lalu filtrat dianalisis kadar logam Zn menggunakan SSA.

4.3.8 Karakterisasi endapan hasil elektrokoagulasi dengan *Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX)

Karakteristik endapan hasil elektrokoagulasi dianalisis dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui morfologi dan kandungan unsur di dalamnya.

4.3.9 Analisis kadar Zn limbah cair industri batik

4.3.9.1 Persiapan larutan menurut SNI 6989.84:2019

a) Persiapan contoh uji seng (Zn) total

Sebanyak 100 mL contoh uji yang sudah dihomogenkan dimasukkan ke dalam gelas beker 250 mL. Kemudian, ditambahkan 5 mL HNO₃ pekat dan ditutup dengan menggunakan kaca arloji. Setelah itu, dipanaskan perlahan-lahan sampai sisa volume 10-20 mL. Jika destruksi belum sempurna (tidak jernih), maka ditambahkan kembali 5 mL HNO₃ dan dipanaskan kembali (tidak mendidih). Proses ini dilakukan secara berulang hingga semua logam dapat larut dengan sempurna, yang dapat ditandai dengan adanya endapan yang terbentuk berwarna agak putih atau contoh uji menjadi jernih. Setelah itu, dibilas kaca arloji dan dimasukkan air bilasan ke dalam gelas beker. Larutan contoh uji dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL dengan penyaringan dan ditambahkan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan.

b) Pembuatan larutan blanko HNO₃ 5%

Sebanyak 38,5 mL HNO₃ 65% dimasukkan ke dalam labu ukur 500 mL dan ditambahkan dengan akuades hingga tanda batas, kemudian dihomogenkan.

c) Pembuatan larutan baku induk logam Zn 100 mg/L

Logam Zn ditimbang sebanyak 0,100 g, lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 1.000 mL, ditambahkan 20 mL HCl hingga larut, kemudian ditambahkan air bebas mineral hingga tepat tanda tera, dan homogenkan.

d) Pembuatan larutan kerja logam

Sebanyak 0,125; 0,25; 0,375; 0,5; dan 0,625 mL larutan induk Zn 100 mg/L masing-masing dipipet ke dalam labu ukur 25 mL. Kemudian, ditambahkan HNO₃ 0,02 M sampai tanda batas sehingga diperoleh konsentrasi logam Zn 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5 mg/L. Pengujian dilakukan dengan menggunakan blanko HNO₃ 5%.

4.3.9.2 Penentuan kadar logam Zn dengan metode kalibrasi

SSA dilakukan optimasi sesuai dengan petunjuk penggunaan alat untuk pengukuran Zn. Hasil pengukuran blanko dan larutan kerja dengan menggunakan instrumentasi SSA nyala pada panjang gelombang 213,9 nm maka dapat dibuat kurva kalibrasi, kemudian ditentukan persamaan garis lurus nya dari data tersebut.

4.3.9.3 Pengukuran kadar logam Zn pada limbah cair industri batik

Analisis kadar logam Zn menggunakan SSA pada panjang gelombang 213,9 nm dan dicatat hasil pengukurannya.

4.3.9.4 Perhitungan kadar Zn

$$\text{Zn (mg/L)} = C \times \text{fp} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

C: kadar yang didapat dari hasil pengukuran (mg/L)

fp: faktor pengenceran

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan logam aluminium terhadap penurunan kadar logam Zn dalam limbah cair industri batik dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Limbah cair industri batik yang mengandung logam berat termasuk dalam golongan limbah berbahaya dan beracun (B3) yang sulit terurai di lingkungan sehingga perlu dilakukan pengolahan yang tepat agar tidak mencemari lingkungan. Metode elektrokoagulasi memiliki kelebihan desain yang sederhana, biaya yang murah dan perawatan yang mudah.

Elektrokoagulasi ini bertujuan untuk menurunkan kadar logam Zn menggunakan kemampuan elektroda aluminium dengan dilakukan variasi waktu 10, 30, 50, 70, dan 90 menit, variasi massa elektrolit 0,25; 0,5; 0,75; 1, dan 1,25 g, variasi tegangan 3, 5, 7, 9, dan 11 volt, serta variasi bentuk elektroda berupa elektroda silinder dan silinder berlubang. Konsentrasi logam Zn sebelum dan sesudah pengolahan dalam limbah cair industri batik ditentukan pada masing-masing panjang gelombang 213,9 nm menggunakan SSA.

5.1 Pembuatan elektroda aluminium

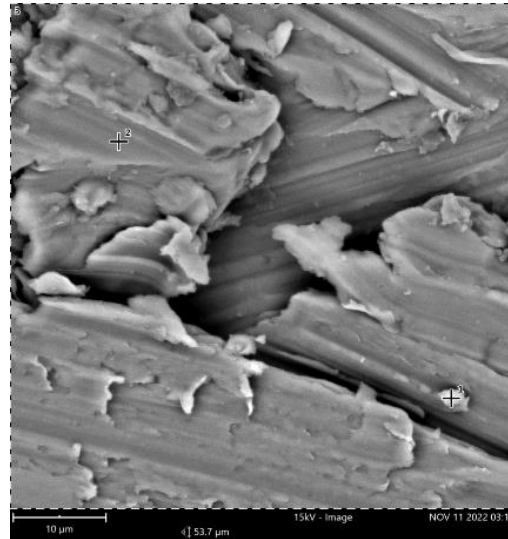
Elektroda aluminium yang digunakan dibeli dari toko alat-alat dan bahan kimia. Elektroda aluminium awalnya berbentuk lempeng dengan ukuran panjang x lebar x tebal, yaitu 8 x 4 x 0,1 cm. Lempeng aluminium terlebih dahulu diampelas, dengan tujuan membersihkan lempeng dari kontaminan yang mungkin menempel. Penelitian ini menggunakan elektroda aluminium baik sebagai anoda maupun katoda, akan tetapi untuk anoda digunakan variasi bentuknya. Elektrokoagulasi dengan variasi waktu, massa elektrolit, dan tegangan menggunakan anoda bentuk lempeng. Kemudian setelah diperoleh kondisi optimum elektrokoagulasi penurunan kadar logam Zn, tahap selanjutnya dilakukan elektrokoagulasi pada kondisi optimum tersebut tetapi menggunakan anoda bentuk silinder dan silinder berlubang dengan katoda tetap berbentuk lempeng. Hal ini bertujuan untuk mengetahui keadaan optimum penurunan kadar logam Zn dengan bentuk anoda yang berbeda tetapi tetap pada kondisi

elektrokoagulasi yang sama, yaitu volume sampel limbah, ukuran elektroda yang tercelup pada sistem elektrokoagulasi, dan jarak antara katoda dan anoda.

Elektroda Al dipotong-potong untuk mendapatkan ukuran 8 x 2 x 0,1 cm. Anoda dan katoda dengan ukuran tersebut digunakan untuk elektrokoagulasi pada variasi waktu, massa elektrolit, dan tegangan. Untuk variasi tersebut, elektroda (anoda dan katoda) yang tercelup saat elektrokoagulasi yaitu ukuran 2 x 2 x 0,1 cm sehingga diberi tanda garis pada elektroda sebesar 2 cm menggunakan pensil sebagai kedalaman yang tercelup. Sementara itu, elektrokoagulasi dengan bentuk anoda berupa silinder dan silinder berlubang, ukuran elektroda yang tercelup yaitu 2 x 2 x 0,1 (katoda bentuk lempeng) dan 4 x 1 x 0,1 cm (anoda). Anoda silinder dan silinder berlubang awalnya berbentuk elektroda lempeng kemudian dibuat menyerupai bentuk silinder dan berlubang. Elektroda dengan lebar 4 cm dibuat berlubang sebanyak 4 lubang. Penelitian ini ingin membuktikan keadaan optimal proses elektrokoagulasi dengan volume awal elektroda sama kemudian dibuat variasi bentuk. Sesuai penelitian yang dilakukan Khandegar dan Saroha (2021) tentang peningkatan efisiensi penghilangan warna menggunakan elektroda berlubang jika dibandingkan dengan elektroda bidang maka pada penelitian ini juga akan diselidiki efisiensi penghilangan logam berat yang terkandung dalam limbah batik. Elektrokoagulasi dengan ketiga bentuk elektroda tersebut dilakukan pada keadaan yang sama yaitu volume limbah batik 50 mL dan jarak antar elektroda 2 cm.

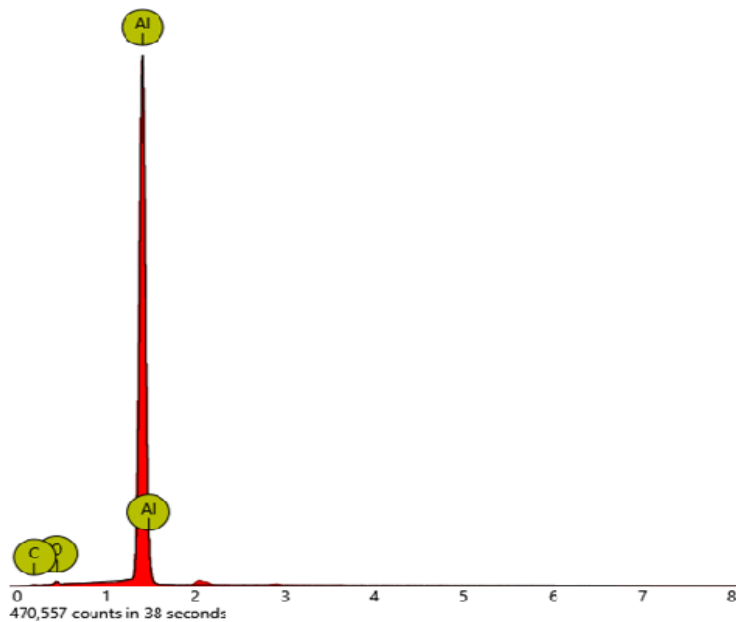
5.2 Hasil karakterisasi lempeng aluminium

Karakterisasi lempeng aluminium dilakukan analisis dengan menggunakan SEM-EDX untuk mengetahui struktur morfologi dan kandungan unsur yang berada pada lempeng secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil SEM dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Struktur morfologi lempeng aluminium

Gambar 10 adalah hasil karakterisasi dengan menggunakan SEM, terlihat bahwa permukaan lempeng aluminium yaitu berongga, ukuran partikel tidak seragam, dengan permukaan yang tidak rata. Hasil uji SEM-EDX dan kandungan unsur yang terdapat dalam lempeng aluminium dapat dilihat pada Gambar 11 dan Tabel 2.



Gambar 11. Spektrum elektron diagram Energy Dispersive X-ray lempeng aluminium

Berdasarkan spektrum data *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) yang ditunjukkan pada Gambar 11 dapat diketahui bahwa di dalam lempeng aluminium terdapat unsur berupa aluminium (Al), karbon (C), dan oksigen (O). Namun dari setiap unsur tersebut memiliki kadar yang berbeda, dapat dilihat pada Tabel 2.

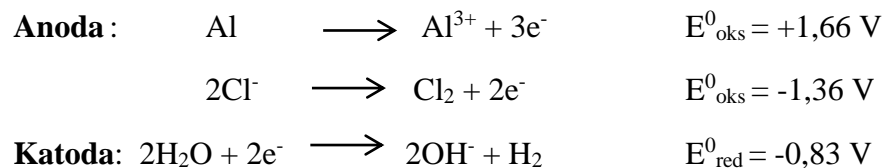
Tabel 2. Kadar unsur lempeng aluminium

Simbol	Nama Unsur	Kadar (%)
Al	Aluminium	93,76
C	Karbon	3,56
O	Oksigen	2,67

Tabel 2 menunjukkan lempeng aluminium mengandung unsur Al sebesar 93,76% sebagai komponen utama yang merupakan kandungan tertinggi sehingga hal tersebut menunjukkan lempeng aluminium yang digunakan memiliki kemurnian yang tinggi.

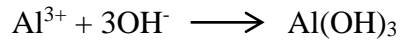
5.3 Reaksi elektrokoagulasi dan mekanisme pengikatan ion logam

Elektrokoagulasi pada limbah batik dilakukan menggunakan elektroda (katoda dan anoda) aluminium dan elektrolit KCl. Limbah batik diambil dari salah satu industri batik di Yogyakarta, yaitu Monera Batik yang berlokasi di Dusun Besi, Sukoharjo, Ngaglik, Sleman. Limbah batik awal sebelum di elektrokoagulasi terlihat berwarna ungu pekat. Berikut reaksi elektrokoagulasi yang terjadi:

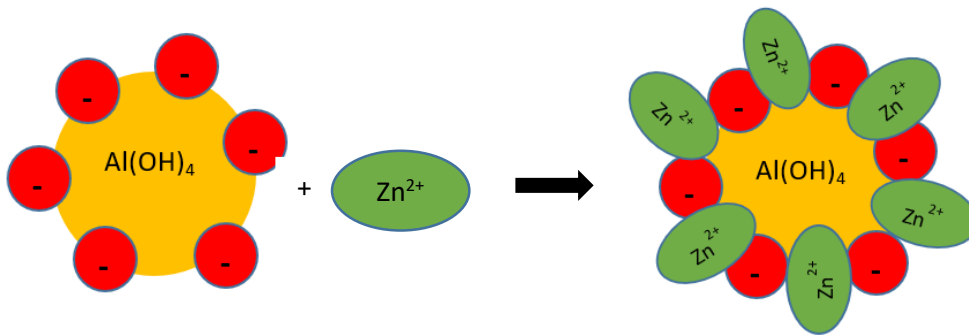


Reaksi yang terjadi pada proses elektrokoagulasi yaitu pada anoda terjadi reaksi oksidasi aluminium dan ion klorida, hal ini karena aluminium merupakan elektroda/logam aktif sehingga mengalami oksidasi dan elektrolit yang digunakan adalah KCl dimana ion Cl^- akan mengalami oksidasi di anoda. Kemudian pada katoda terjadi reaksi reduksi air sehingga menghasilkan ion hidroksida dan gas hidrogen. Ion

Al^{3+} yang terbentuk akan bereaksi dengan ion hidroksida lalu membentuk suatu koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$.



Koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang diperoleh kemudian membentuk $\text{Al}(\text{OH})_4^-$. Selanjutnya terjadi proses interaksi antara ion logam dan koagulan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ karena adanya daya tarik elektrostatis antara keduanya (Changmai et al., 2020). Proses elektrokoagulasi yang terjadi pada kondisi basa, yaitu pH 9 setelah diukur dengan bantuan kertas pH universal. Hal tersebut menyebabkan pembentukan ion hidroksida yang berlebih dari reaksi reduksi di katoda, sehingga koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang terbentuk sebelumnya akan bereaksi dengan ion hidroksida membentuk $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ pada sistem elektrokoagulasi. Muatan negatif pada koagulan akan mengalami interaksi dengan muatan positif pada ion logam (Changmai et al., 2020). Interaksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 12. Ion logam yang bermuatan positif pada penelitian adalah Zn^{2+} . Gambar 12 menunjukkan bahwa koagulan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ mengikat ion logam Zn, sehingga membentuk flok-flok yang perlahan-lahan akan mengendap di dasar wadah elektrokoagulasi.



Gambar 12. Interaksi koagulan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ dengan ion logam Zn^{2+}

5.4 Kurva standar analisis logam Zn

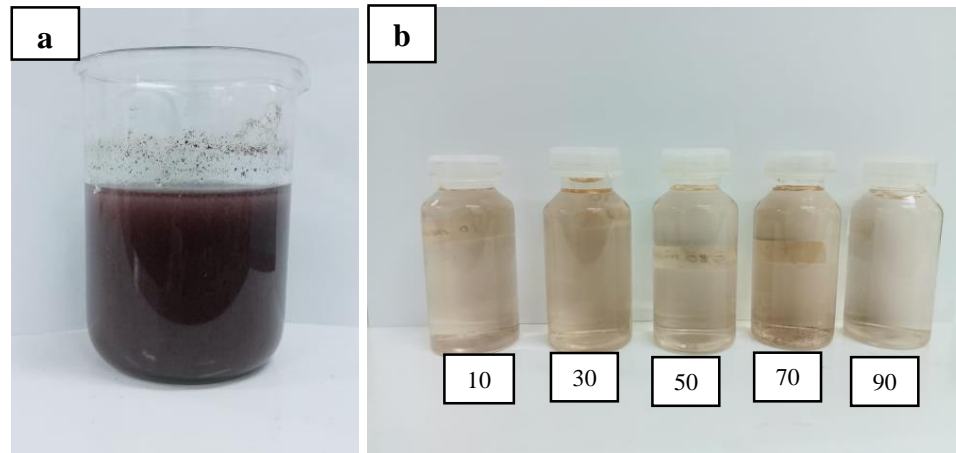
Penentuan kurva standar logam Zn menggunakan deret standar 0,5; 1; 1,5; 2; dan 2,5 mg/L yang dibuat dari standar induk 100 mg/L. Penentuan kurva standar bertujuan untuk mengetahui hubungan konsentrasi logam dengan absorbansi. Pengukuran dilakukan dengan SSA dengan panjang gelombang maksimum 213,9 nm sesuai dengan SNI 6989.84:2019. Kurva standar yang terlampir menunjukkan nilai konsentrasi dan absorbansi berbanding lurus, semakin besar konsentrasi maka nilai absorbansi semakin besar. Kurva kalibrasi untuk penentuan kadar logam Zn telah memenuhi syarat keberterimaan sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh SNI 6989.84:2019 yaitu $r \geq 0,995$.

5.5 Elektrokoagulasi terhadap limbah batik

Pengujian dilakukan dengan menggunakan elektroda aluminium terhadap limbah batik yang mengandung logam berat Zn. Pengujian diawali dari variasi waktu, variasi massa elektrolit, variasi tegangan, dan variasi bentuk elektroda, kemudian dilakukan analisis dengan menggunakan SSA sehingga dapat ditentukan nilai konsentrasi dan penyerapan optimum dari setiap variasi.

a. Variasi waktu

Percobaan pada variasi waktu dilakukan dengan waktu 10, 30, 50, 70, dan 90 menit. Massa elektrolit yang digunakan sebanyak 0,5 g dengan menggunakan tegangan 5 V dan kecepatan pengadukan yang konstan. Hasil pengaruh waktu elektrokoagulasi terhadap ion logam Zn dapat dilihat pada Gambar 13 dan Tabel 3.



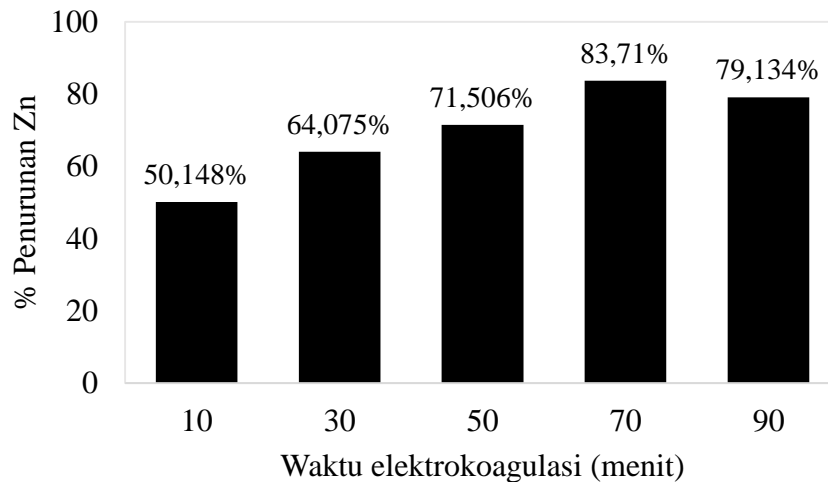
Gambar 13. Warna limbah murni (a) dan warna filtrat hasil elektrokoagulasi pada variasi waktu dengan massa elektrolit KCl 0,5 g dan tegangan 5 V (b)

Gambar 13 menunjukkan adanya perubahan warna dari setiap variasi waktu. Warna ungu pekat berasal dari limbah murni dan dengan adanya peningkatan waktu dimulai dari menit ke 10 warna limbah menjadi berwarna jingga hingga pada menit 90 menjadi jingga pudar. Hal ini disebabkan adanya fenomena pengikatan ion logam oleh koagulan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ (Changmai et al., 2020). Ion logam terikat pada koagulan $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ sehingga terjadi perubahan warna pada limbah disertai dengan penurunan konsentrasi ion logam.

Tabel 3. Konsentrasi logam seng (Zn) hasil elektrokoagulasi dengan variasi waktu menggunakan elektroda aluminium

Waktu (menit)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Persentase Penurunan (%)
10	2,032	1,013	50,148
30	2,032	0,730	64,075
50	2,032	0,579	71,506
70	2,032	0,331	83,710
90	2,032	0,424	79,134

Hubungan waktu dengan nilai persentase penurunan kadar logam Zn dapat dilihat pada Gambar 14.

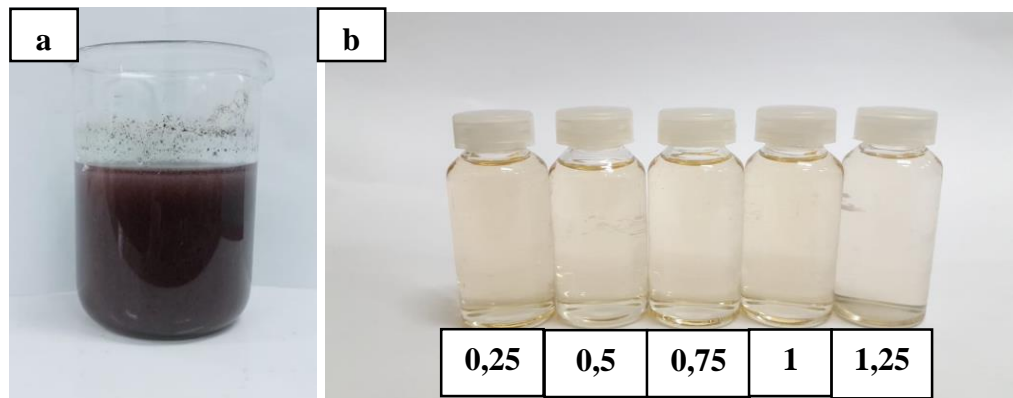


Gambar 14. Pengaruh waktu elektrokoagulasi terhadap penurunan logam Zn dalam limbah batik dengan massa elektrolit KCl 0,5 g dan potensial 5 V

Gambar 14 menunjukkan penurunan kadar logam Zn menggunakan elektroda lempeng aluminium pada waktu 70 menit merupakan waktu optimum untuk logam Zn dengan persentase penurunan sebesar 83,71%. Berdasarkan grafik % penurunan logam Zn, waktu 90 menit terjadi penurunan kadar Zn. Hal ini bisa disebabkan karena adanya proses seperti desorpsi setelah pengikatan optimum. Desorpsi merupakan fenomena permukaan adsorben mengalami pelepasan adsorbat atau telah mencapai titik jenuh sehingga pada kondisi ini mengalami penurunan laju adsorpsi dan daya serap juga mengalami penurunan (Ningsih et al., 2016). Berdasarkan hasil variasi waktu tersebut, sama halnya dengan terjadi proses desorpsi, yaitu bahwa koagulan $Al(OH)_4^-$ telah mencapai titik jenuh dalam mengikat ion logam sehingga akan mengalami penurunan laju pengikatan ion logam. Besarnya kapasitas pengikatan ion logam oleh koagulan berbanding lurus dengan waktu elektrokoagulasi hingga mencapai titik tertentu, lalu mengalami penurunan setelah mencapai titik tersebut. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa waktu optimum untuk penurunan logam Zn adalah 70 menit.

b. Variasi massa elektrolit

Pengujian variasi massa elektrolit terhadap limbah yaitu 0,25; 0,5; 0,75; 1; dan 1,25 g, dilakukan dengan menggunakan waktu optimum yang telah ditentukan sebelumnya yaitu 70 menit dengan kecepatan pengadukan konstan pada suhu ruang. Hasil elektrokoagulasi dengan variasi massa elektrolit dapat dilihat pada Gambar 15 dan Tabel 4.



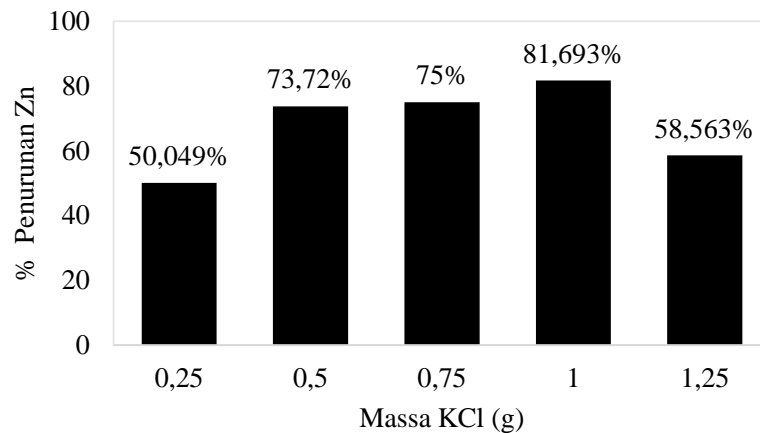
Gambar 15. Warna limbah murni (a) dan warna filtrat hasil elektrokoagulasi variasi massa elektrolit KCl dengan waktu 70 menit dan tegangan 5 V

Variasi massa mempengaruhi perubahan warna limbah sebelum dan setelah elektrokoagulasi dengan perubahan warna dari ungu pekat menjadi jingga pudar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15.

Tabel 4. Konsentrasi logam seng (Zn) hasil elektrokoagulasi dengan variasi massa elektrolit KCl menggunakan elektroda aluminium

Massa (g)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Persentase Penurunan (%)
0,25	2,032	1,015	50,049
0,5	2,032	0,534	73,720
0,75	2,032	0,508	75
1	2,032	0,372	81,693
1,25	2,032	0,842	58,563

Hubungan massa elektrolit dengan nilai persentase penurunan kadar logam Zn dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Pengaruh elektrokoagulasi variasi massa elektrolit KCl terhadap penurunan logam Zn dalam limbah batik dengan waktu elektrokoagulasi 70 menit dan potensial 5 V

Gambar 16 menunjukkan bahwa penurunan kadar logam Zn maksimum yaitu terletak pada massa 1 g dengan persentase penurunan sebesar 81,693%. Banyaknya ikatan koagulan dan ion logam Zn yang mempengaruhi penurunan konsentrasi ion logam disebabkan karena adanya peningkatan massa elektrolit. Penambahan elektrolit bertujuan untuk meningkatkan konduktivitas larutan sehingga hambatan berkurang dan konsumsi energi listrik menjadi rendah. Ketika konduktivitas listrik larutan tidak mencukupi maka energi yang dibutuhkan lebih banyak untuk mengatasi resistensi atau hambatan pada larutan, yang meningkatkan konsumsi energi. Elektrolit secara langsung mampu mempengaruhi tingkat kelarutan logam dan konsumsi energi dengan mengurangi tegangan sel, hal ini karena penambahan elektrolit diperkirakan mampu meningkatkan kekuatan ionik larutan yang sedang diolah (Keyikoglu et al., 2019).

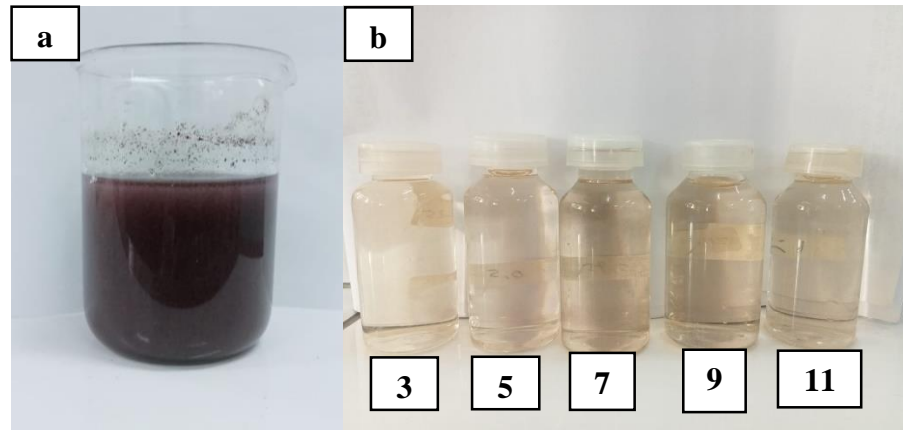
Tabel 5. Konduktivitas larutan elektrolit

Elektrolit pendukung	Konduktivitas ($\mu\text{S/cm}$)
Na_2SO_4	1615
NaNO_3	1427
NH_4Cl	2721
KCl	2180
K_2SO_4	1635
NaCl	1433

Berdasarkan Tabel 5 (Keyikoglu et al., 2019) KCl memiliki nilai konduktivitas yang cukup tinggi sehingga akan mengurangi konsumsi energi listrik. Hal tersebut merupakan salah satu alasan menggunakan elektrolit KCl dalam penelitian ini. Selain itu KCl juga mudah didapatkan. Berdasarkan penelitian ini diperoleh hasil yaitu semakin banyak elektrolit yang ditambahkan, persentase penurunan logam Zn semakin meningkat kemudian menurun pada massa 1,25 g sehingga dapat disimpulkan bahwa massa optimum untuk penurunan logam Zn adalah 1 gram.

d. Variasi Tegangan

Pengujian variasi tegangan terhadap limbah yaitu 3, 5, 7, 9, dan 11 V, dilakukan dengan menggunakan waktu optimum yang telah ditentukan sebelumnya yaitu 70 menit dan massa elektrolit yang digunakan adalah 1 g dengan kecepatan pengadukan konstan pada suhu ruang. Hasil dari penurunan kadar logam Zn dapat dilihat pada Gambar 17 dan Tabel 6.



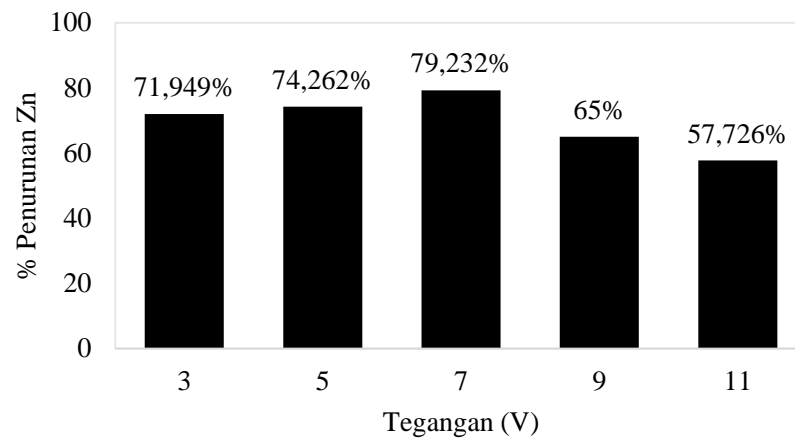
Gambar 17. Warna limbah murni (a) dan warna filtrat hasil elektrokoagulasi variasi tegangan dengan massa elektrolit KCl 1 g dan waktu elektrokoagulasi 70 menit (b)

Variasi tegangan mempengaruhi perubahan warna limbah sebelum dan setelah proses elektrokoagulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17.

Tabel 6. Konsentrasi logam seng (Zn) hasil elektrokoagulasi dengan variasi tegangan menggunakan elektroda aluminium

Tegangan (V)	Konsentrasi awal (mg/L)	Konsentrasi akhir (mg/L)	Persentase Penurunan (%)
3	2,032	0,570	71,949
5	2,032	0,523	74,262
7	2,032	0,422	79,232
9	2,032	0,711	65
11	2,032	0,859	57,726

Hubungan tegangan dengan nilai persentase penurunan kadar logam Zn dapat dilihat pada Gambar 18.

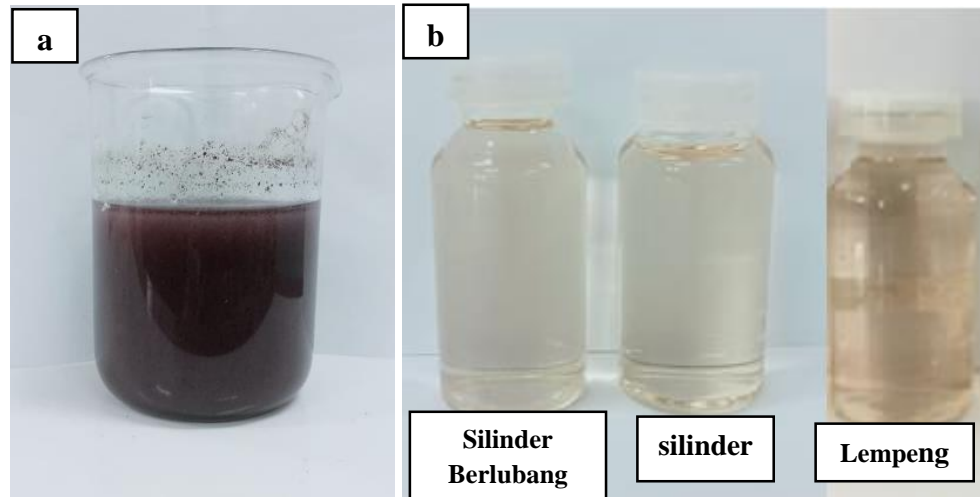


Gambar 18. Pengaruh elektrokoagulasi variasi tegangan terhadap penurunan logam Zn dalam limbah batik dengan massa elektrolit KCl 1 g dan waktu elektrokoagulasi 70 menit

Gambar 18 menunjukkan bahwa penurunan kadar logam Zn maksimum yaitu terletak pada tegangan 7 V dengan persentase penurunan sebesar 79,232%. Banyaknya ikatan koagulan dan ion logam Zn yang mempengaruhi penurunan konsentrasi ion logam karena adanya peningkatan besar tegangan. Hal ini disebabkan karena jumlah ion logam teroksidasi meningkat pada tegangan yang lebih tinggi dalam selang waktu tertentu sehingga mendukung penghilangan polutan dengan membentuk endapan yang lebih banyak. Adanya peningkatan kerapatan arus maka ukuran gelembung udara yang dihasilkan dari proses elektrokoagulasi menjadi berkurang dan densitasnya meningkat sehingga menyebabkan lebih cepatnya penghilangan ion logam (Khosa et al., 2013). Tegangan optimum untuk penurunan kadar Zn dalam penelitian ini adalah 7 V.

e. Variasi bentuk elektroda

Pengujian variasi bentuk elektroda terhadap limbah yaitu menggunakan elektroda bentuk silinder dan elektroda bentuk silinder berlubang dilakukan dengan menggunakan waktu optimum yang telah ditentukan sebelumnya yaitu 70 menit, massa elektrolit yang digunakan adalah 1 g, dan tegangan optimum 7 V dengan kecepatan pengadukan konstan pada suhu ruang. Hasil elektrokoagulasi dengan variasi bentuk elektroda dapat dilihat pada Gambar 19 dan Tabel 7.



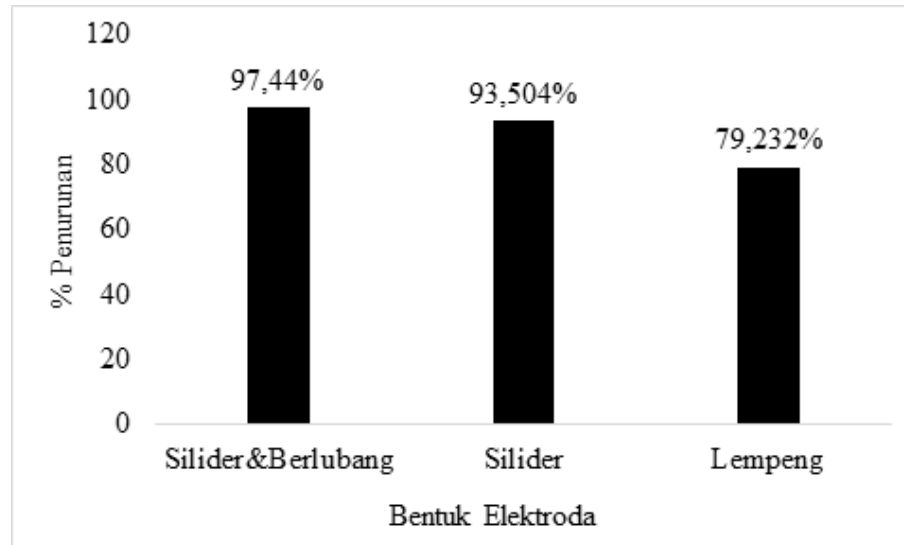
Gambar 19. Warna limbah murni (a) dan filtrat hasil elektrokoagulasi variasi bentuk elektroda dengan waktu 70 menit, massa elektrolit KCl 1 g, dan tegangan 7 V (b)

Variasi bentuk elektroda mempengaruhi perubahan warna limbah sebelum dan sesudah elektrokoagulasi dengan perubahan warnanya dari ungu pekat menjadi jingga pudar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 19.

Tabel 7. Konsentrasi logam seng (Zn) hasil elektrokoagulasi dengan variasi bentuk elektroda menggunakan elektroda aluminium

Bentuk Elektroda	Konsentrasi	Konsentrasi	Persentase
	awal (mg/L)	akhir (mg/L)	Penurunan (%)
Silinder Berlubang	2,032	0,052	97,440
Silinder	2,032	0,132	93,504
Lempeng	2,032	0,422	79,232

Hubungan bentuk elektroda dengan nilai persentase penurunan kadar logam Zn dapat dilihat pada Gambar 20.

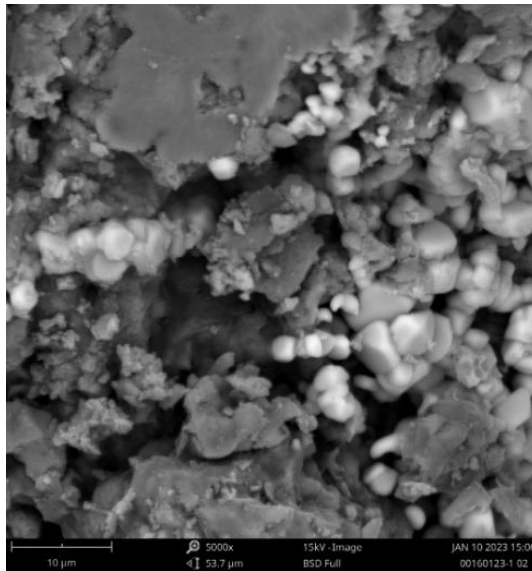


Gambar 20. Pengaruh elektrokoagulasi variasi bentuk elektroda terhadap penurunan logam Zn dalam limbah batik dengan waktu elektrokoagulasi 70 menit, massa elektrolit KCl 1 g dan tegangan 7 V

Gambar 20 menunjukkan bahwa penurunan maksimum kadar logam Zn yaitu terletak pada elektroda bentuk silinder berlubang dengan persentase penurunan sebesar 97,44%. Banyaknya ikatan koagulan dan ion logam Zn yang terbentuk mempengaruhi penurunan konsentrasi logam Zn di dalam limbah. Persentase penurunan kadar logam Zn menggunakan elektroda lempeng/bidang lebih kecil dibandingkan elektroda silinder dan silinder berlubang. Hal ini disebabkan karena pelepasan arus yang lebih tinggi pada elektroda silinder dan silinder berlubang daripada elektroda bidang/lempeng akibat pengaruh dari luas permukaan yang lebih besar saat berinteraksi dengan sampel limbah batik dalam sistem elektrokoagulasi, terutama menggunakan elektroda silinder berlubang dimana luas permukaan yang lebih besar karena adanya lubang sehingga permukaan lubang juga akan ikut teroksidasi pada proses elektrokoagulasi (Khandegar dan Saroha, 2016). Semakin banyak aluminium yang teroksidasi maka semakin banyak koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang terbentuk dan memudahkan untuk terjadinya ikatan dengan ion logam yang terdapat dalam limbah.

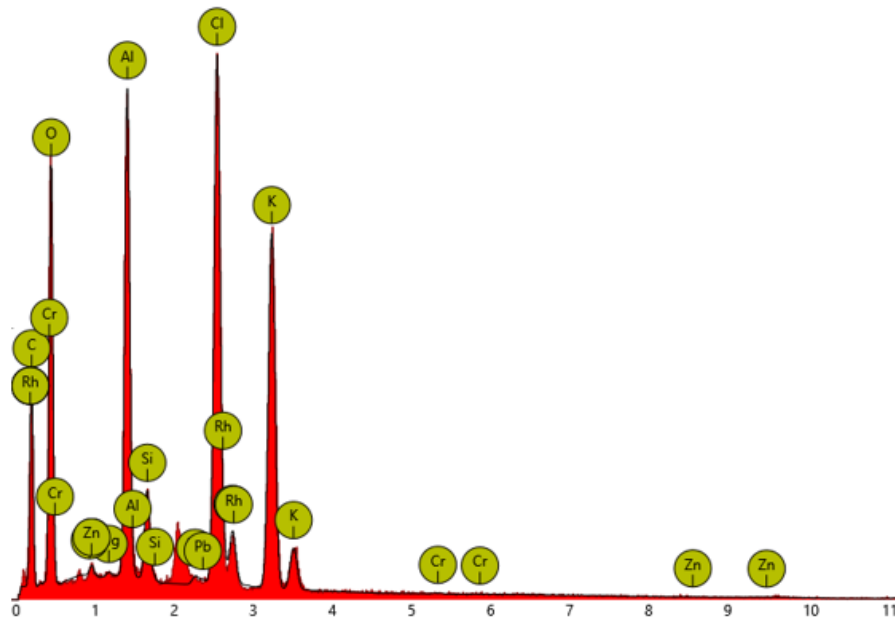
5.4 Hasil Karakterisasi Endapan Hasil Elektrokoagulasi

Karakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) bertujuan untuk mengetahui morfologi dan kadar unsur pada permukaan endapan. Endapan yang dianalisis merupakan endapan hasil elektrokoagulasi dengan variasi waktu 90 menit.



Gambar 21. Struktur morfologi endapan hasil elektrokoagulasi

Gambar 21 adalah hasil karakterisasi dengan menggunakan SEM, terlihat permukaan endapan yaitu berongga, ukuran partikel tidak seragam, dan permukaan yang tidak rata. Hasil uji SEM-EDX dan kandungan unsur yang terdapat dalam endapan dapat dilihat pada Gambar 22 dan Tabel 8.



Gambar 22. Spektrum elektron diagram *Energy Dispersive X-ray* endapan hasil elektrokoagulasi

Gambar 22 menunjukkan bahwa di dalam endapan hasil elektrokoagulasi terdapat unsur senyawa berupa karbon (C), oksigen (O), klorida (Cl), aluminium (Al), kalium (K), Silikon (Si), Rodium (Rh), Natrium (Na), Timbal (Pb), magnesium (Mg), seng (Zn), dan kromium (Cr). Namun dari setiap unsur tersebut memiliki kadar yang berbeda, dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Kadar unsur di dalam endapan hasil elektrokoagulasi

Simbol	Nama Unsur	Kadar (%)
C	Karbon	40,61
O	Oksigen	36,33
Cl	Klorida	7,58
Al	Aluminium	6,69
K	Kalium	6,67
Si	Silikon	1,08
Rh	Rodium	0,59
Na	Natrium	0,21
Pb	Timbal	0,13
Mg	Magnesium	0,06
Zn	Seng	0,04
Cr	Kromium	0,03

Tabel 8 menunjukkan kandungan tertinggi yaitu kadar karbon (C) sebesar 40,61% dan juga adanya logam Zn dengan kadar sebesar 0,04% yang terkandung di dalam endapan hasil elektrokoagulasi.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Karakterisasi SEM-EDX pada lempeng aluminium menunjukkan adanya unsur logam aluminium dengan kadar 93,76% dan morfologi permukaan berongga, tidak rata, serta ukuran partikel tidak seragam. Kemudian karakterisasi SEM-EDX pada endapan hasil elektrokoagulasi menunjukkan adanya unsur logam Zn sebesar 0.04% dengan morfologi permukaan endapan berongga dan ukuran partikel tidak seragam.
2. Pengolahan limbah cair batik dengan metode elektrokoagulasi menggunakan elektroda aluminium mampu menurunkan kadar logam Zn dalam limbah cair industri batik.
3. Kondisi waktu, massa elektrolit KCl, tegangan, dan bentuk elektroda pada elektrokoagulasi limbah berpengaruh terhadap penurunan kadar logam Zn. Waktu optimum yaitu 70 menit dengan %penurunan Zn sebesar 83,71%, massa elektrolit KCl optimum 1 g dengan %penurunan Zn sebesar 81,693%, tegangan optimum 7 V dengan %penurunan Zn sebesar 79,232%, dan bentuk elektroda optimum yaitu pada elektroda silinder berlubang dengan %penurunan Zn sebesar 97,44%.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperlukan variasi bentuk elektroda (anoda) lebih banyak untuk mengetahui tingkat penurunan kadar logam berat di dalam suatu limbah, dan bisa dilakukan penelitian dengan bentuk variasi katoda sehingga dapat diketahui ada tidaknya pengaruh dari bentuk katoda. Selain itu juga dalam membuat lubang pada elektroda dapat menggunakan solder sehingga setiap lubangnya memiliki ukuran yang sama dan teratur.

DAFTAR PUSTAKA

- Abata, E.O., Ogunkalu, O.D., Adeoba, A.A. dan Oluwasina, O.O., 2019, Evaluation of the Heavy Metals in Tonic Creams Using the Wet Acid and Dry Ashing Methods, *Earthline Journal of Chemical Sciences*, 1(1), pp.37-43.
- Affat, S., 2021, Classifications, Advantages, Disadvantages, Toxicity Effects of Natural and Synthetic Dyes: A review, *University of Thi-Qar Journal of Science*, 8(1), pp.130-135.
- Ali, A., Phull, A.R., and Zia, M., 2018, Elemental Zinc to Zinc Nanoparticles: is ZnO NPs Crucial for Life? Synthesis, Toxicological, and Environmental Concerns, *Nanotechnol Rev*, 7(5), pp. 413–441.
- Alinia, A., 2020, Assessment of Soil on Some Heavy Metals and its Pollution in Roodsar-Iran, *Biomedical Journal of Scientific and Technical Research*, 28(5), pp. 7-9.
- Apriyani, N., 2018, Industri Batik Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya, *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 3(1), pp. 21-29.
- Armin, F., Zulharmita dan Firda, D.R., 2013, Identifikasi dan Penetapan Kadar Merkuri (Hg) dalam Krim Pemutih Kosmetika Herbal Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). *Jurnal Sains dan Teknologi Farmasi*, 18(1), pp.28-34.
- Bharath, M., Krishna, B., dan Manoj K., 2018, A Review of Electrocoagulation Process for Wastewater Treatment, *International Journal of ChemTech Research*, 11 (3), pp.289-302.
- Chakraborty, R., Asthana, A., Singh, A.K., Jain, B., Susan, and Abu Bin Hasan, 2020, Adsorption of Heavy Metal Ions By Various Low-Cost Adsorbents: A Review, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 56(4), pp.1-38
- Changmai, M., Das, P.P., Mondal, P., Pasawan, M., Sinha, A., Biswas, P., Sarkar, S., and Purkait, M.K., 2020, Hybrid Electrocoagulation–Microfiltration Technique for Treatment of Nanofiltration Rejected Steel Industry Effluent, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, pp.1-22.
- Charlton, M., Sim, M., Coats, T., Thompson, J., 2017, The microcirculation and its measurement in sepsis, *Journal of the Intensive Care Society*, 18(3), pp.221–227.
- Chen, G., 2004, Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment, *Separation and Purification Technology*, 38, pp.11-41.

- Danil de namor, A., El Gamouz, A., Frangie, S., Martinez, V., Valiente, L., A. Webb, O., 2012, Turning the volume down on heavy metals using tuned diatomite; A review of diatomite and modified diatomite for the extraction of heavy metals from water, *Journal of Hazardous Materials*, 241–242, pp.14–31.
- Darmawanti, T., Suhartana, Widodo D.S., 2010, Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Metoda Elektrokoagulasi Menggunakan Besi Bekas Sebagai Elektroda, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 13 (1), pp. 18 – 24.
- Dewanti, B., Prastiwi T.F., Haji A., 2019, Pengolahan Limbah Cair Batik Menggunakan Kombinasi Metode Netralisasi Dan Elektrokoagulasi, *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 7(3), pp. 358-369.
- Fatiha dan Irawanto, 2021, Pengaruh Limbah Cair Home-Industri Batik Terhadap Kemampuan *Echinodorus Radicans*, *Gunung Djati Conference Series*, 6.
- Habibi, Y., 2020, Validasi Metoda Destruksi Basah dan Destruksi Kering pada Penentuan Logam Timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) dalam Tanaman Rumput, *Integrated Lab Journal*, 1(1), pp.25-31.
- Hadinugrahaningsih, T., Andina, R., Munggaran, L., Rahmawati, Y., 2020, Analysis of Students' Alternative Conceptions about Electrolyte and Non-Electrolyte Solutions Using a Two-Tier Diagnostic Test for Chemistry Teaching Improvement, *Universal Journal of Educational Research* 8(5), pp.1926-1934.
- Hussain, S., Khan, M., Sheikh, T., 2022, Zinc Essentiality; Toxicity; and Its Bacterial Bioremediation: A Comprehensive Insight, *Frontiers in Microbiology*, 13.
- Idusuyi, N., Ajide, O., Abu, R., Okewole, O., Ibiyemi, O., 2022, Low cost electrocoagulation process for treatment of contaminated water using aluminium electrodes from recycled cans, *Materials Today: Proceedings*, 56(4), pp.1712-1716.
- Keyikoglu, R., Can, O.T., Aygun, A., Tek, A., 2019, Comparison of The Effects of Various Supporting Electrolytes on The Treatment of a Dye Solution by Electrocoagulation Process, *Colloid and Interface Science Communications*, 33, pp.1-8.
- Khandegar, V., dan Saroha, K., 2016, Effect of Electrode Shape and Current Source on Performance of Electrocoagulation, *J. Hazard. Toxic Radioact. Waste*, 20(1), pp.1-4.

- Khosa, M.K., Jamal, M.A., Hussain, A., Muneer, M., Zia, K.M., and Hafeez, S., 2013, Efficiency of Aluminum and Iron Electrodes for the Removal of Heavy Metal (Ni (II), Pb (II), Cd (II) by Electrocoagulation Method, *Journal of the Korean Chemical Society*, 57(3), pp .316-321.
- Kumar, A., Singh, N., Pandey, R., Gupta, V., dan Sharma, B., 2018, *Biomedical Applications of Metals*, University of Allahabad, India.
- Li, L., He Y., Song K., Xie, F., Li, H., Sun F., 2021, Derivation of Water Quality Criteria of Zinc To Protect Aquatic Life in Taihu Lake and The Associated Risk Assessment, *Journal of Environmental Management*, 296, pp.1-7.
- Lu, J., Li, Y., Yin, M., Ma X., dan Lin, S., 2015., Removing Heavy Metal Ions with Continuous Aluminum Electrocoagulation: A Study On Back Mixing And Utilization Rate of Electro-generated Al Ions, *Chemical Engineering Journal*, 267, pp.86-92.
- Masrullita, Hakim L., Nurlaila R., Azila N., 2021, Pengaruh Waktu Dan Kuat Arus Pada Pengolahan Air Payau Menjadi Air Bersih Dengan Proses Elektrokoagulasi, *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 10(1), pp. 111-122.
- Mohammed, M., 2016, *A Study on Synthesis and Characterization of Some (I – IV – VI) Groups Compounds for Solar Cells Energy Application*, Menoufiya University Faculty of Science Chemistry Department, Egypt.
- Moneer, A., dan Nemr, A. , 2012, *Electro-Coagulation for Textile Dyes Removal*, Environmental Division National Institute of Oceanography and Fisheries Kayet Bey, Egypt.
- Mustika, D., Asminar, Rahmiati dan Torowati, 2016, Penentuan Recovery Dan Limit Deteksi Unsur Menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom, *ACES Journal*, 1(17), pp.12-21.
- Naimah S., Ardhanie S., Bumiarto Nugroho Jati, Novi Nur Aidha dan Agustina Arianita C., 2014, Degradasi Zat Warna Pada Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO₂ – Zeolit, *J. Kimia Kemasan*, 36, pp. 225-236.
- Nasir, M., 2019, *Spektrofotometri Serapan Atom*, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Nielsen, S.S., 2017, Sodium and Potassium by Atomic Absorption Determinations Coupled Plasma- and Inductively Spectroscopy Optical Emission Spectroscopy, *Food Analysis Laboratory Manual*, 20, pp.171-77.

- Ningsih, P., Said, I. dan Ningsih, A.D., 2016, Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dari Larutannya dengan Menggunakan Adsorben dari Tongkol Jagung, *Jurnal Akademika Kimia*, 5(2), pp.55-60.
- Novi C., Sartika, Shobah A.N., 2019, Fitoremediasi Logam Seng (Zn) Menggunakan Hydrilla sp. Pada Limbah Industri Kertas, *Jurnal Kimia Valensi*, 5(1), pp. 108-114.
- Nur, A., dan Jatnika, A., 2014, Aplikasi Elektrokoagulasi Pasangan Elektroda Aluminium Pada Proses Daur Ulang Grey Water Hotel, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 20(1), pp.58-67.
- Onigawati, K., Suharyanto, Susetyo, S.H., Sulung, G., Muhayatun, Chazanah, N., Kusumah, S., and Fahimah, N., 2022, Investigation of Dermal Exposure to Heavy Metals (Cu, Zn, Ni, Al, Fe and Pb) in Traditional Batik Industry Workers, *Heliyon*, 8, pp.1-7.
- Paul, V., Pandey, R., Ramesh K.V., and Meena, R.C., 2017, *Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) for Elemental Analysis of Plant Samples*, Division of Plant Physiology ICAR- Indian Agricultural Research Institute (IARI), New Delhi.
- Piccinotti, D., 2018, *Chalcogenide Platforms for Photonic Metamaterials*, University of Southampton, UK
- Plum, L., Rink L., dan Haase, H., 2010, The Essential Toxin: Impact of Zinc on Human Health, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7, pp.1342-1365.
- Prayogo, M.M., 2015, *Keterampilan Membatik Bagi Penyandang Autis*, Tanda baca Press, Yogyakarta.
- Putu, I.G., Ferry, A., Putra, S., Juliantara, I.K.P., dan Dwi, N.K., 2018, Pengaruh Lama Bekerja Terhadap Kadar Timbal dan Enzim Gamma dalam Darah Petugas SPBU di Kabupaten Badung, Bali, *Bali Health Journal*, 2(11), pp.79-84.
- Rahayu, A., 2020, Validation Method of Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS) of Dry Ashing and Wet Ashing Method for Mineral Analysis in Isotonic Water. *Jurnal Sains Farmasi*, 1(1), pp.6-13.
- Riyanto, 2012, *Elektrokimia dan Aplikasinya*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Satrio, R., dan Alva, S., 2017, Studi dan Karakterisasi Laju Korosi Logam Aluminium dengan Pelapisan Membran Sol-Gel, *Jurnal Teknik Mesin*, 6(3), pp.191-198.

- Shawky, M., Elsayed, E., Ahmed, I. dan Shenouda, A., 2016, A Study on Synthesis and Characterization of Some (I – IV – VI) Groups Compounds for Solar Cells Energy Application, *Dissertation*, Menoufiya University, Egypt.
- Srivastava, V., Weng, C.H., Singh, V.K. dan Sharma, Y.C., 2011, Adsorption Of Nickel Ions from Aqueous Solutions by Nano Alumina: Kinetic, Mass Transfer, and Equilibrium Studies, *Journal of Chemical and Engineering Data*, 56(4), pp.1414-22.
- Sutresna, N., 2007, *Cerdas Belajar Kimia untuk Kelas XII*, Grafindo Media Pratama, Bandung.
- Tafesse, T.B., Yetemegne, A.K., and Kumar, S., 2015, Analysis of Copper, Chromium & Lead in Hawassa and Arba Minch Textile Effluents, *Journal of Chemistry and Chemical Sciences*, 5(4), pp.153-168.
- Velusamy, S., Roy, A., Sundaram, S., and Mallick, T.M., 2021, Containing Dyes Removal Through Graphene Oxide-Based Adsorption Strategies for Textile Wastewater Treatment, *Chemical Record*, 21, pp.1-42.
- Wang, Z., Hu, Y., Li, W., Zeng, G., Feng, L., Zhang, J., Wu, L., dan Gao, J., 2014, Effect of Annealing On The Properties Of Antimony Telluride Thin Films And Their Applications in Cdte Solar Cells, *International Journal of Photoenergy*, 20, pp.1-6.
- Warni, D., Karina, S., dan Nurfadillah, 2011, Analisis Logam Pb , Mn , Cu , dan Cd pada Sedimen di Pelabuhan Jetty Meulaboh , Aceh Barat, *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*, 2(4), pp.246-53.
- Zeitoun, M.M. dan Mehana, E.S.E., 2014, Impact of Water Pollution With Heavy Metals On Fish Health: Overview and Updates, *Global Veterinaria*, 12(2), pp.219-31.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Pembuatan Larutan

1. Pembuatan Larutan HNO₃

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

Keterangan :

M₁ = Konsentrasi larutan HNO₃ 65%

V₁ = Volume larutan HNO₃ yang dibutuhkan (mL)

M₂ = Konsentrasi larutan HNO₃ yang diinginkan

V₂ = Volume labu ukur yang digunakan (mL)

$$M = \frac{10 \times \% \times \rho}{Mr}$$

Keterangan :

M = Molaritas HNO₃

% = Persentase kadar HNO₃

ρ = Massa jenis HNO₃ (g/mL)

Mr = Massa molekul relatif HNO₃ (g/mol)

a. Konsentrasi HNO₃ 65%

$$M = \frac{10 \times \% \times \rho}{Mr}$$

$$M = \frac{10 \times 65\% \times 1,39 \text{ g/mol}}{63,01 \text{ g/mol}}$$

$$M = 14,33899381 \text{ M}$$

b. Konsentrasi HNO₃ 5%

$$M = \frac{10 \times \% \times \rho}{Mr}$$

$$M = \frac{10 \times 5\% \times 1,39 \text{ g/mol}}{63,01 \text{ g/mol}}$$

$$M = 1,102999524 \text{ M}$$

c. Larutan Blanko HNO₃ 5%

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$14,33899381 \text{ M} \times V_1 = 1,102999524 \text{ M} \times 500 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{102999524 \text{ M} \times 500 \text{ mL}}{14,33899381 \text{ M}}$$

$$V_1 = \mathbf{38,46 \text{ mL}}$$

d. Larutan Pengencer HNO₃

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$14,33899381 \text{ M} \times 1,5 \text{ mL} = M \times 1000 \text{ mL}$$

$$M_2 = \frac{14,33899381 \text{ M} \times 1,5 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}$$

$$M_2 = \mathbf{0,02 \text{ M}}$$

Lampiran 2. Pembuatan Larutan Standar

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

Keterangan :

M_1 = Konsentrasi larutan standar baku

V_1 = Volume larutan standar baku yang dibutuhkan

M_2 = Konsentrasi larutan standar yang diinginkan

V_2 = Volume labu ukur yang digunakan

1. Larutan Standar Zn 0,5 mg/L

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,5 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0,5 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = \mathbf{0,125 \text{ mL}}$$

2. Larutan Standar Zn 1 mg/L

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 1 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = \mathbf{0,25 \text{ mL}}$$

3. Larutan Standar Zn 1,5 mg/L

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 1,5 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{1,5 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = \mathbf{0,375 \text{ mL}}$$

4. Larutan Standar Zn 2 mg/L

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,5 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{2 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = \mathbf{0,5 \text{ mL}}$$

5. Larutan Standar Zn 2,5 mg/L

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$100 \text{ mg/L} \times V_1 = 0,5 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{2,5 \text{ mg/L} \times 25 \text{ mL}}{100 \text{ mg/L}}$$

$$V_1 = \mathbf{0,625 \text{ mL}}$$

Lampiran 3. Perhitungan konsentrasi logam Zn pada Limbah Cair Batik

$$y = bx + a$$

Keterangan :

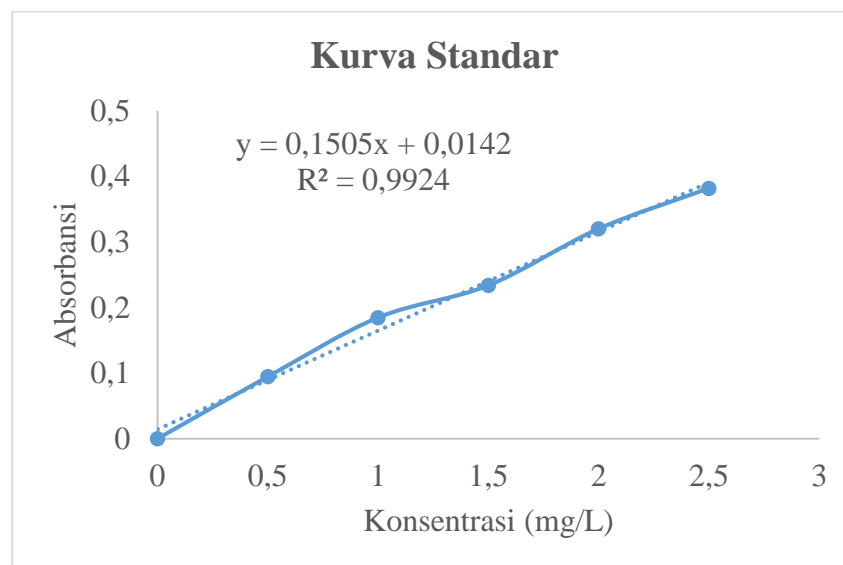
y = absorbansi sampel

a = intersep

x = konsentrasi

b = slope

1. Perhitungan konsentrasi logam Zn pada Limbah Cair Batik Sebelum Pengolahan dengan Metode Elektrokoagulasi



Sampel Limbah Murni	Absorbansi	Konsentrasi Logam Zn (mg/L)
1	0,320	2,032

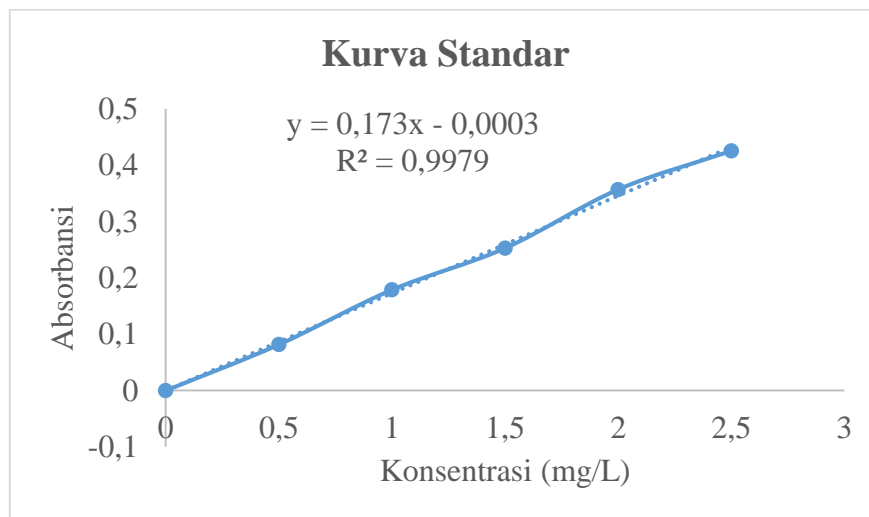
Konsentrasi Limbah Zn

$$y = 0,1505x + 0,0142$$

$$0,320 = 0,1505x + 0,0142$$

$$x = \frac{0,320 - 0,0142}{0,1505} = 2,032 \text{ mg/L}$$

2. Perhitungan konsentrasi logam Zn pada Limbah Variasi Waktu dengan Metode Elektrokoagulasi



Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)	Persentase Penurunan (%)
10	0,175	1,013	50,148
30	0,126	0,730	64,075
50	0,100	0,579	71,506
70	0,057	0,331	83,710
90	0,072	0,424	79,134

a. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Waktu 10 menit

$$y = 0,173x - 0,0003$$

$$0,175 = 0,173x - 0,0003$$

$$x = \frac{0,175+0,0003}{0,173} = 1,013 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-1,013}{2,032} \times 100 \\ &= 50,148\% \end{aligned}$$

b. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Waktu 30 menit

$$y = 0,173x - 0,0003$$

$$0,126 = 0,173x - 0,0003$$

$$x = \frac{0,126+0,0003}{0,173} = 0,730 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,730}{2,032} \times 100 \\ &= 64,075\% \end{aligned}$$

c. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Waktu 50 menit

$$y = 0,173x - 0,0003$$

$$0,100 = 0,173x - 0,0003$$

$$x = \frac{0,100+0,0003}{0,173} = 0,579 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,579}{2,032} \times 100 \\ &= 71,506\% \end{aligned}$$

d. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Waktu 70 menit

$$y = 0,173x - 0,0003$$

$$0,057 = 0,173x - 0,0003$$

$$x = \frac{0,057+0,0003}{0,173} = 0,331 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,331}{2,032} \times 100 \\ &= 83,710\% \end{aligned}$$

e. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Waktu 90 menit

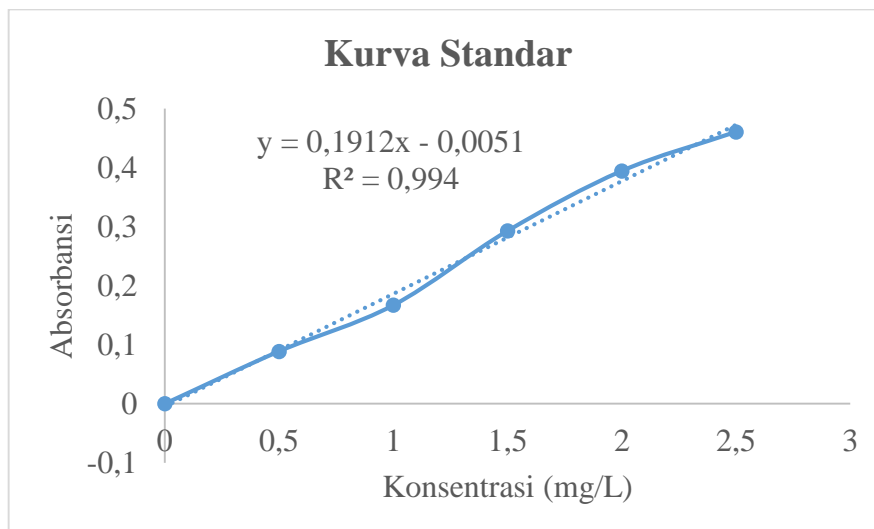
$$y = 0,173x - 0,0003$$

$$0,073 = 0,173x - 0,0003$$

$$x = \frac{0,073+0,0003}{0,173} = 0,424 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,424}{2,032} \times 100 \\ &= 79,134\% \end{aligned}$$

3. Perhitungan konsentrasi logam Zn pada Limbah Variasi Elektrolit dengan Metode Elektrokoagulasi



Elektrolit (gram)	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)	Persentase Penurunan (%)
0,25	0,189	1,015	50,049
0,5	0,097	0,534	73,720
0,75	0,092	0,508	75
1	0,067	0,372	81,693
1,25	0,156	0,842	58,563

a. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Massa Elektrolit

0,25 gram

$$y = 0,1912x - 0,0051$$

$$0,189 = 0,1912x - 0,0051$$

$$x = \frac{0,189+0,0051}{0,1912} = 1,015 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-1,015}{2,032} \times 100 \\ &= 50,049\% \end{aligned}$$

b. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Massa Elektrolit 0,5 gram

$$y = 0,1912x - 0,0051$$

$$0,097 = 0,1912x - 0,0051$$

$$x = \frac{0,097+0,0051}{0,1912} = 0,534 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,534}{2,032} \times 100 \\ &= 73,720\% \end{aligned}$$

c. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Massa Elektrolit**0,75 gram**

$$y = 0,1912x - 0,0051$$

$$0,092 = 0,1912x - 0,0051$$

$$x = \frac{0,092+0,0051}{0,1912} = 0,508 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,508}{2,032} \times 100 \\ &= 75\% \end{aligned}$$

d. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Massa Elektrolit 1**gram**

$$y = 0,1912x - 0,0051$$

$$0,066 = 0,1912x - 0,0051$$

$$x = \frac{0,066+0,0051}{0,1912} = 0,372 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,372}{2,032} \times 100 \\ &= 81,693\% \end{aligned}$$

e. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Massa Elektrolit**1,25 gram**

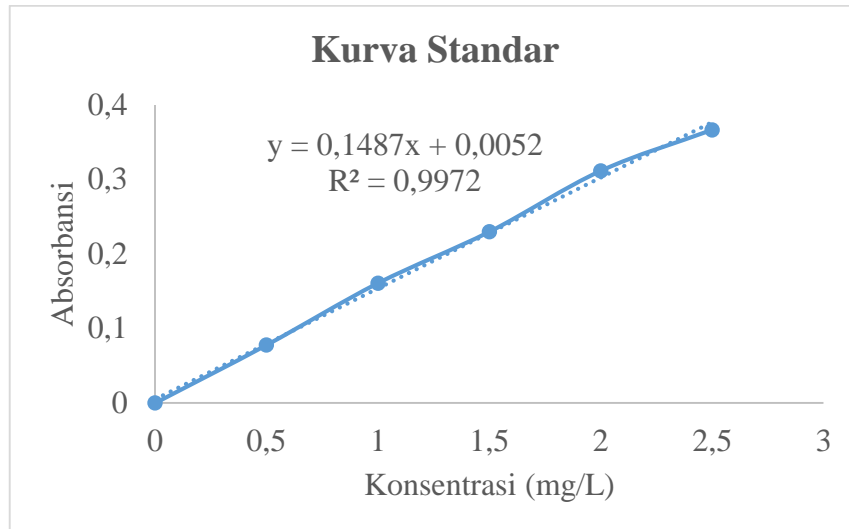
$$y = 0,1912x - 0,0051$$

$$0,156 = 0,1912x - 0,0051$$

$$x = \frac{0,156+0,0051}{0,1912} = 0,842 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,842}{2,032} \times 100 \\ &= 58,563\% \end{aligned}$$

4. Perhitungan konsentrasi logam Zn pada Limbah Variasi Tegangan dengan Metode Elektrokoagulasi



Tegangan (V)	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)	Persentase Penurunan (%)
3	0,090	0,570	71,949
5	0,083	0,523	74,262
7	0,068	0,422	79,232
9	0,111	0,711	65
11	0,133	0,859	57,726

a. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Tegangan 3 V

$$y = 0,1487x + 0,0052$$

$$0,090 = 0,1487x + 0,0052$$

$$x = \frac{0,090 - 0,0052}{0,1487} = 0,570 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{2,032 - 0,570}{2,032} \times 100$$

$$= 71,949\%$$

b. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Tegangan 5 V

$$y = 0,1487x + 0,0052$$

$$0,083 = 0,1487x + 0,0052$$

$$x = \frac{0,083-0,0052}{0,1487} = 0,523 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,523}{2,032} \times 100 \\ &= 74,262\% \end{aligned}$$

c. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Tegangan 7 V

$$y = 0,1487x + 0,0052$$

$$0,068 = 0,1487x + 0,0052$$

$$x = \frac{0,068-0,0052}{0,1487} = 0,422 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,422}{2,032} \times 100 \\ &= 79,232\% \end{aligned}$$

d. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Tegangan 9 V

$$y = 0,1487x + 0,0052$$

$$0,111 = 0,1487x + 0,0052$$

$$x = \frac{0,111-0,0052}{0,1487} = 0,711 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,711}{2,032} \times 100 \\ &= 65\% \end{aligned}$$

e. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Tegangan 11 V

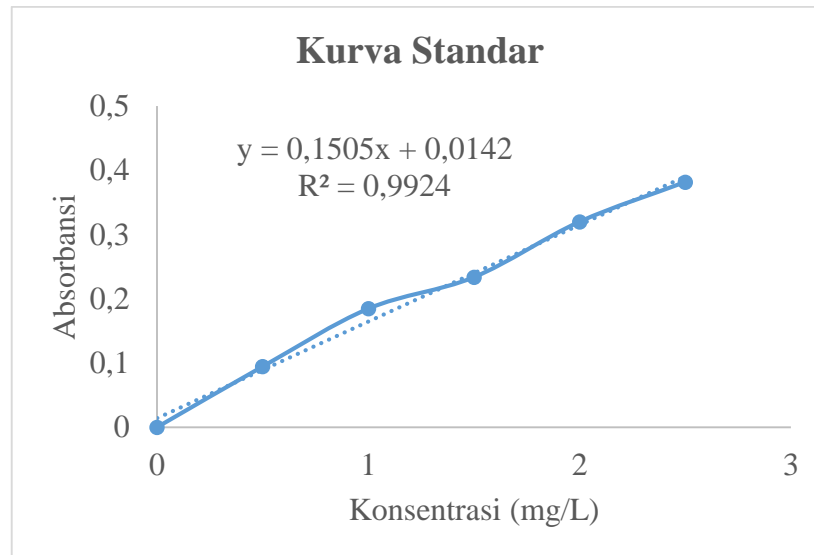
$$y = 0,1487x + 0,0052$$

$$0,133 = 0,1487x + 0,0052$$

$$x = \frac{0,133-0,0052}{0,1487} = 0,859 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032-0,859}{2,032} \times 100 \\ &= 57,726\% \end{aligned}$$

5. Perhitungan konsentrasi logam Zn pada Limbah Variasi Bentuk Elektroda dengan Metode Elektrokoagulasi



Bentuk Elektroda	Absorbansi	Konsentrasi (mg/L)	Persentase Penurunan (%)
Silinder Berlubang	0,022	0,052	97,440
Silinder	0,034	0,132	93,504
Lempeng	0,068	0,422	79,232

a. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Bentuk Elektroda Silinder Berlubang

$$y = 0,1505x + 0,0142$$

$$0,022 = 0,1505x + 0,0142$$

$$x = \frac{0,022 - 0,0142}{0,1505} = 0,052 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{2,032 - 0,052}{2,032} \times 100$$

$$= 97,440\%$$

b. Konsentrasi Logam Zn pada Limbah Variasi Bentuk

Elektroda Silinder

$$y = 0,1505x + 0,0142$$

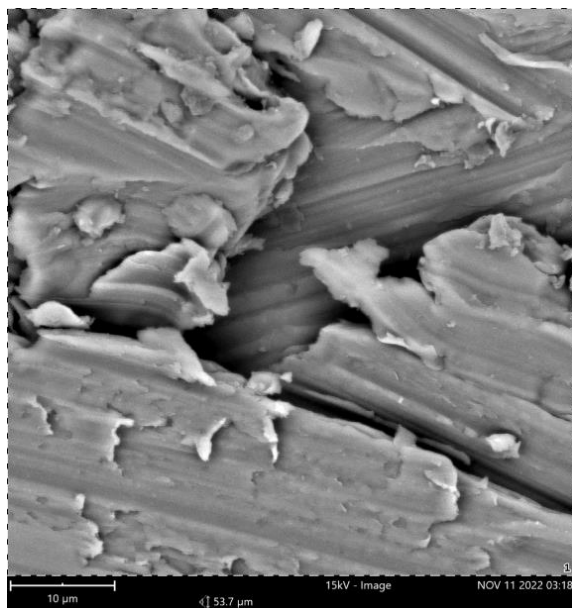
$$0,034 = 0,1505x + 0,0142$$

$$x = \frac{0,034 - 0,0142}{0,1505} = 0,132 \text{ mg/L}$$

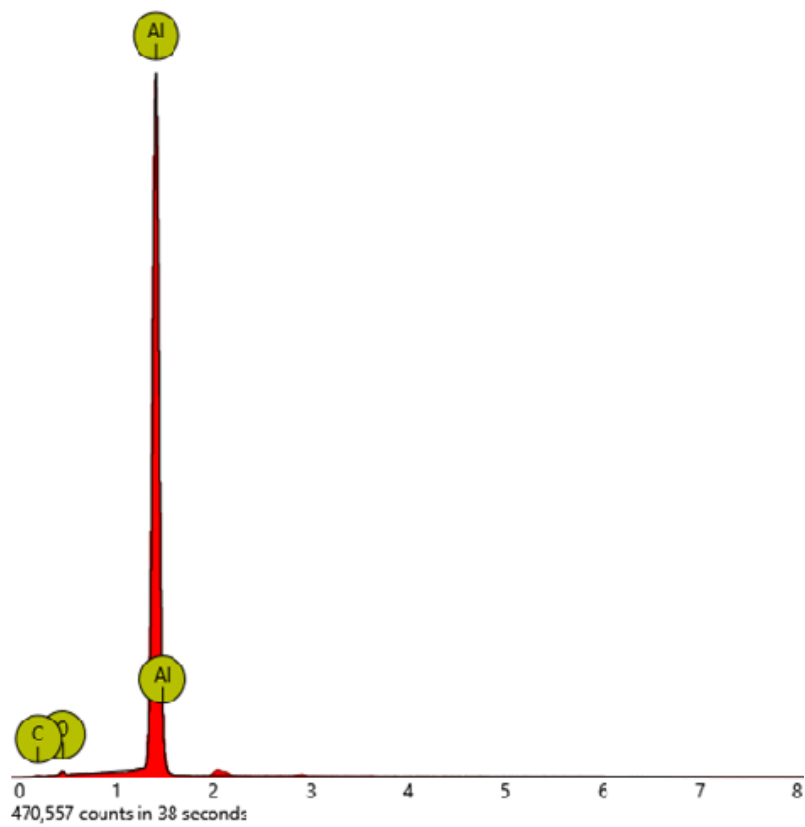
$$\begin{aligned} \% \text{ Penurunan} &= \frac{2,032 - 0,132}{2,032} \times 100 \\ &= 93,504\% \end{aligned}$$

Lampiran 4. Hasil SEM-EDX

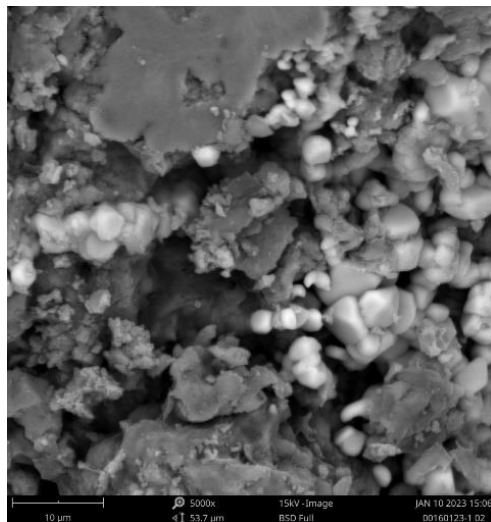
1. Lempeng Aluminium



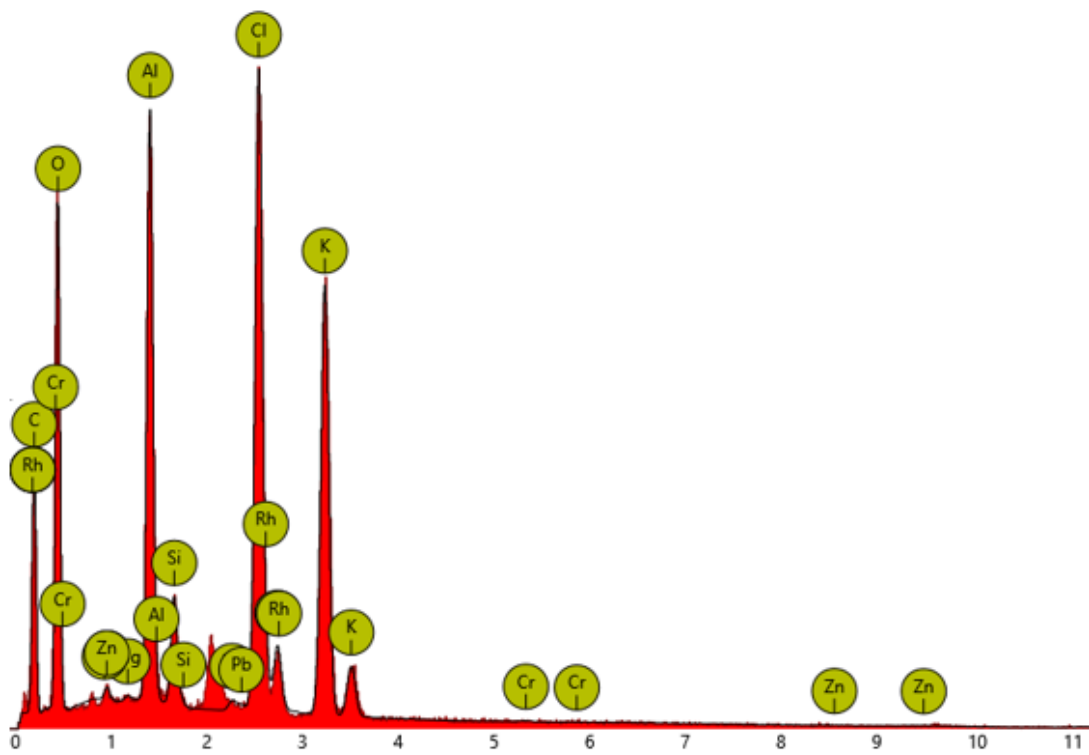
Simbol	Nama Unsur	Persentase atom (%)	Persentase Berat (%)
Al	Aluminium	93,76	96,73
C	Karbon	3,56	1,64
O	Oksigen	2,67	1,64



2. Endapan Hasil Elektrokoagulasi



Simbol	Nama Unsur	Persentase atom (%)	Persentase Berat (%)
C	Karbon	40,61	25,57
O	Oksigen	36,33	30,48
Cl	Klorida	7,58	14,09
Al	Aluminium	6,69	9,47
K	Kalium	6,67	13,66
Si	Silikon	1,08	1,58
Rh	Rodium	0,59	3,18
Na	Natrium	0,21	0,25
Pb	Timbal	0,13	1,43
Mg	Magnesium	0,06	0,08
Zn	Seng	0,04	0,13
Cr	Kromium	0,03	0,08



Lampiran 5 Hasil Analisis SSA

1. Logam Zn dalam Limbah Cair Industri Batik

Energy: Sample: 2.126
 Results from Calculation:

Data:	Cup	Name	Conc	Abs
151	Std1	Blank	0.00000	-0.000122
152	Std2	Max	0.50000	0.094494
153	Std3		1.00000	0.184526
154	Std4		1.50000	0.233576
155	Std5		2.00000	0.319881
156	Std6		2.50000	0.381679

Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 5.92559 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 End of Report # 590

Report # 591 Version 3.94C 0:37:54 Power-up # 132
 Sample Grp: Meth: Air/Acet Abs Lamp 1
 Anl: Zn-AA-213.9-lib3 Lamps: Zn Buck sci Wavl: 213.9 nm Slit: 0.7nm
 No Bkgnd Compensation DC Suppr: On Intgr Time: 3.0 S
 Data Time: 56mS Ave HCL Curr: 2.0 mA Min HCL Curr: 0.0mA Bkg Gain: 1
 Peak HCL Curr: 8.0 mA
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 5.92559 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 Energy: Sample: 2.114

Ref	Time	Cup	Sample	Concentration	Abs
1	0:38:00	1	S1	0.11 ppm	0.018
2	0:38:04	2	S2	0.14 ppm	0.024
3	0:38:15	3	S3	Cancelled by Operator	

Energy: Sample: 2.098
 End of Report # 591 Cancelled by Operator

Report # 592 Version 3.94C 0:38:26 Power-up # 132
 Sample Grp: Meth: Air/Acet Abs Lamp 1
 Anl: Zn-AA-213.9-lib3 Lamps: Zn Buck sci Wavl: 213.9 nm Slit: 0.7nm
 No Bkgnd Compensation DC Suppr: On Intgr Time: 3.0 S
 Data Time: 56mS Ave HCL Curr: 2.0 mA Min HCL Curr: 0.0mA Bkg Gain: 1
 Peak HCL Curr: 8.0 mA
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 5.92559 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 Energy: Sample: 2.105

Ref	Time	Cup	Sample	Concentration	Abs
1	0:38:34	1	S1	0.13 ppm	0.022
2	0:38:38	2	S2	0.15 ppm	0.026
3	0:39:02	3	S3	0.20 ppm	0.034
4	0:39:06	4	S4	0.23 ppm	0.039
5	0:39:30	5	S5	1.90 ppm	0.320
6	0:39:33	6	S6	1.89 ppm	0.320
7	0:39:37	7	S7	Cancelled by Operator	

Energy: Sample: 2.068
 End of Report # 592 Cancelled by Operator

2. Logam Zn dalam limbah variasi waktu

Energy: Sample: 2.635
 Results from Calculation:
 Data: Cup Name Conc Abs
 151 Std1-Blank 0.00000 -0.001355
 152 Std2-Max 0.50000 0.081705
 153 Std3 1.00000 0.178845
 154 Std4 1.50000 0.252747
 155 Std5 2.00000 0.356956
 156 Std6 2.50000 0.425429
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 5.80202 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 End of Report # 557

Report # 558 Version 3.94C 0:19:41 Power-up # 127
 Sample Grp: Meth: Air/Acet Abs Lamp 1
 Anl: Zn-AA-213.9-lib3 Lamps: Zn Buck sci Wav1: 213.9 nm Slit: 0.7nm
 No Bkgnd Compensation DC Suppr: On Intgr Time: 3.0 S
 Data Time: 56mS Ave HCL Curr: 2.0 mA Min HCL Curr: 0.0mA Skg Gain: 1
 Peak HCL Curr: 8.0 mA
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 5.80202 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 Energy: Sample: 2.521

Ref	Time	Cup	Sample	Concentration	Abs
1	0:19:47	1	5	0.42 ppm	0.072
2	0:19:52	2	5	0.42 ppm	0.073
3	0:20:10	3	2	Abs Range Error	
4	0:20:13	4	2	0.73 ppm	0.126
5	0:20:34	5	3	Abs Range Error	
6	0:20:38	6	3	0.58 ppm	0.100
7	0:20:55	7	4	Abs Range Error	
8	0:20:59	8	4	0.33 ppm	0.057
9	0:21:19	9	1	Abs Range Error	
10	0:21:22	10	1	1.01 ppm	0.175

3. Logam Zn dalam limbah variasi massa elektrolit

Energy: Sample: 2.653
 Results from Calculation:
 Data: Cup Name Conc Abs
 151 Std1-Blank 0.00000 -0.000122
 152 Std2-Max 0.50000 0.088775
 153 Std3 1.00000 0.166921
 154 Std4 1.50000 0.292317
 155 Std5 2.00000 0.394450
 156 Std6 2.50000 0.460607
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 5.39608 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 End of Report # 565

Report # 566 Version 3.94C 0:38:05 Power-up # 128
 Sample Grp: Meth: Air/Acet Abs Lamp 1
 Anl: Zn-AA-213.9-11b3 Lamp: Zn Buck sci Wavl: 213.9 nm Slit: 0.7nm
 No Bknd Compensation DC Suppr: On Intgr Time: 3.0 S
 Data Time: 56mS Ave HCL Curr: 2.0 mA Min HCL Curr: 0.0mA Bkg Gain: 1
 Peak HCL Curr: 8.0 mA
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 5.39608 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 Energy: Sample: 2.478
 Ref Time Cup Sample Concentration Abs
 1 0:38:13 1 S1 1.02 ppm 0.189
 2 0:38:16 2 S2 1.06 ppm 0.196
 3 0:38:41 3 S3
 Cancelled by Operator

Energy: Sample: 2.615
 End of Report # 566 Cancelled by Operator

Report # 567 Version 3.94C 0:38:55 Power-up # 128
 Sample Grp: Meth: Air/Acet Abs Lamp 1
 Anl: Zn-AA-213.9-11b3 Lamp: Zn Buck sci Wavl: 213.9 nm Slit: 0.7nm
 No Bknd Compensation DC Suppr: On Intgr Time: 3.0 S
 Data Time: 56mS Ave HCL Curr: 2.0 mA Min HCL Curr: 0.0mA Bkg Gain: 1
 Peak HCL Curr: 8.0 mA
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 5.39608 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 Energy: Sample: 2.561
 Ref Time Cup Sample Concentration Abs
 1 0:39:01 1 S1 0.50 ppm 0.092
 2 0:39:05 2 S2 0.53 ppm 0.097
 3 0:39:43 3 S3 0.50 ppm 0.092
 4 0:39:46 4 S4 0.54 ppm 0.100
 5 0:40:12 5 S5 0.36 ppm 0.067
 6 0:40:15 6 S6 -0.36 ppm 0.066
 7 0:40:39 7 S7 0.84 ppm 0.156
 8 0:40:43 8 S8 0.88 ppm 0.163
 9 0:40:48 9 S9
 Cancelled by Operator

Energy: Sample: 2.679
 End of Report # 567 Cancelled by Operator

4. Logam Zn dalam limbah variasi tegangan

Energy: Sample: 2.452
 Results from Calculation:
 Data: Cup Name Conc Abs
 151 Std1-Blank 0.00000 -0.000122
 152 Std2-Max 0.50000 0.077780
 153 Std3 1.00000 0.160828
 154 Std4 1.50000 0.229747
 155 Std5 2.00000 0.311301
 156 Std6 2.50000 0.366504
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 6.47620 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 End of Report # 577

Report # 578 Version 3.94C 0:39:53 Power-up # 130
 Sample Grp: Meth: Air/Acet Abs Lamp 1
 Anl: Zn-AA-213.9-lib3 Lamp: Zn Buck sci Wavl: 213.9 nm Slit: 0.7nm
 No Bkgnd Compensation DC Suppr: On Intgr Time: 3.0 S
 Data Time: 56mS Ave HCL Curr: 2.0 mA Min HCL Curr: 0.0mA Bkg Gain: 1
 Peak HCL Curr: 8.0 mA
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 6.47620 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm

Energy: Sample: 2.448
 Ref Time Cup Sample Concentration Abs
 1 0:39:58 151 Std1-Blank Autozero deltas: 0.0032 0.00ppm

Energy: Sample: 2.359
 End of Report # 578

Report # 579 Version 3.94C 0:40:06 Power-up # 130
 Sample Grp: Meth: Air/Acet Abs Lamp 1
 Anl: Zn-AA-213.9-lib3 Lamp: Zn Buck sci Wavl: 213.9 nm Slit: 0.7nm
 No Bkgnd Compensation DC Suppr: On Intgr Time: 3.0 S
 Data Time: 56mS Ave HCL Curr: 2.0 mA Min HCL Curr: 0.0mA Bkg Gain: 1
 Peak HCL Curr: 8.0 mA
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 6.47620 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm

Energy: Sample: 2.359
 Ref Time Cup Sample Concentration Abs
 1 0:40:11 1 S1 0.61 ppm 0.024
 2 0:40:15 2 S2 0.58 ppm 0.020
 3 0:40:34 3 S3 0.54 ppm 0.083
 4 0:40:40 4 S4 0.57 ppm 0.089
 5 0:41:06 5 S5 0.44 ppm 0.068
 6 0:41:12 6 S6 0.44 ppm 0.069
 7 0:41:34 7 S7 0.72 ppm 0.111
 8 0:41:38 8 S8 0.72 ppm 0.111
 9 0:41:59 9 S9 0.87 ppm 0.134
 10 0:42:03 10 S10 0.86 ppm 0.133

5. Logam Zn dalam limbah variasi bentuk elektroda

Energy: Sample: 2.126
 Results from Calculation:
 Data: Cup Name Conc Abs
 151 Std1-Blank 0.00000 -0.000122
 152 Std2-Max 0.50000 0.094494
 153 Std3 1.00000 0.184526
 154 Std4 1.50000 0.233576
 155 Std5 2.00000 0.319881
 156 Std6 2.50000 0.381679
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 5.92559 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 End of Report # 590

Report # 591 Version 3.94C 0:37:54 Power-up # 132
 Sample Grp: Meth: Air/Acet Abs Lamp 1
 Anl: Zn-AA-213.9-lib3 Lamp: Zn Buck sci Wavl: 213.9 nm Slit: 0.7nm
 No Bkgnd Compensation DC Suppr: On Intgr Time: 3.0 S
 Data Time: 56mS Ave HCL Curr: 2.0 mA Min HCL Curr: 0.0mA Bkg Gain: 1
 Peak HCL Curr: 8.0 mA
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 5.92559 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 Energy: Sample: 2.114

Ref	Time	Cup	Sample	Concentration	Abs
1	0:38:00	1	S1	0.11 ppm	0.018
2	0:38:04	2	S2	0.14 ppm	0.024
3	0:38:15	3	S3	Cancelled by Operator	

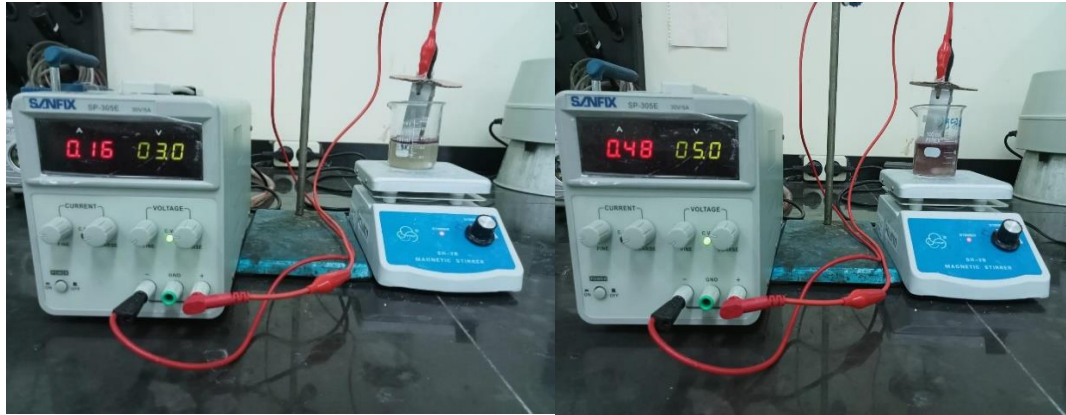
Energy: Sample: 2.098
 End of Report # 591 Cancelled by Operator

Report # 592 Version 3.94C 0:38:26 Power-up # 132
 Sample Grp: Meth: Air/Acet Abs Lamp 1
 Anl: Zn-AA-213.9-lib3 Lamp: Zn Buck sci Wavl: 213.9 nm Slit: 0.7nm
 No Bkgnd Compensation DC Suppr: On Intgr Time: 3.0 S
 Data Time: 56mS Ave HCL Curr: 2.0 mA Min HCL Curr: 0.0mA Bkg Gain: 1
 Peak HCL Curr: 8.0 mA
 Max Conc: 2.50 ppm Conc Coef: 5.92559 ppm
 C2: 0.000000 C3: 0.000000 C4: 0.000000 Reslope Std: 2.50 ppm
 Energy: Sample: 2.105

Ref	Time	Cup	Sample	Concentration	Abs
1	0:38:34	1	S1	0.13 ppm	0.022
2	0:38:38	2	S2	0.15 ppm	0.026
3	0:39:02	3	S3	0.20 ppm	0.034
4	0:39:06	4	S4	0.23 ppm	0.039
5	0:39:30	5	S5	1.90 ppm	0.320
6	0:39:33	6	S6	1.89 ppm	0.320
7	0:39:37	7	S7	Cancelled by Operator	

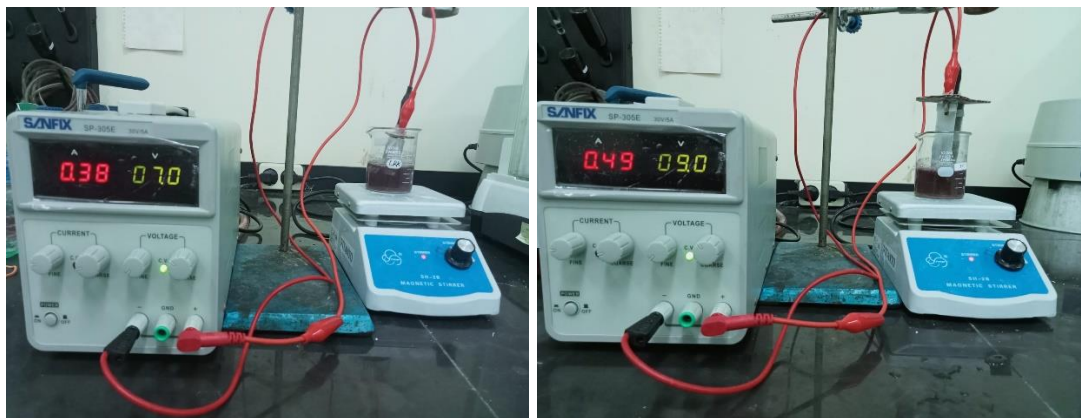
Energy: Sample: 2.068
 End of Report # 592 Cancelled by Operator

Lampiran 6. Dokumentasi Kegiatan Penelitian



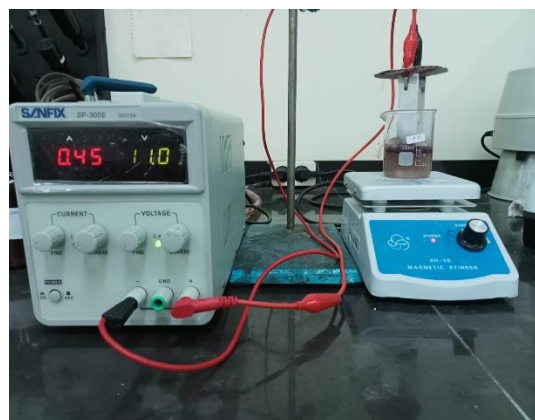
Elektrokoagulasi pada 3 V

Elektrokoagulasi pada 5 V



Elektrokoagulasi pada 7 V

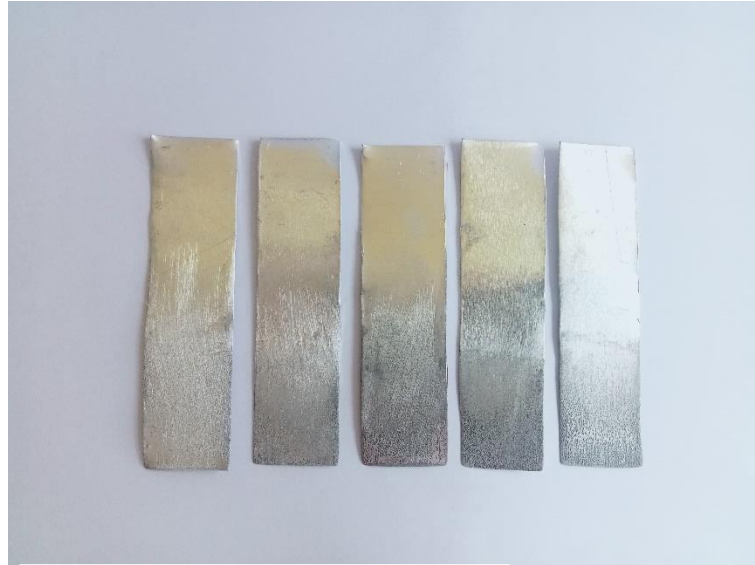
Elektrokoagulasi pada 9 V



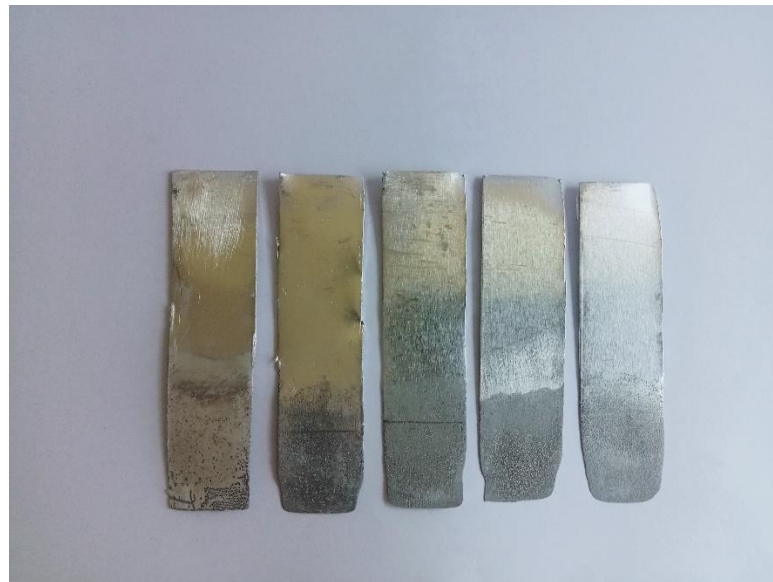
Elektrokoagulasi pada 11 V



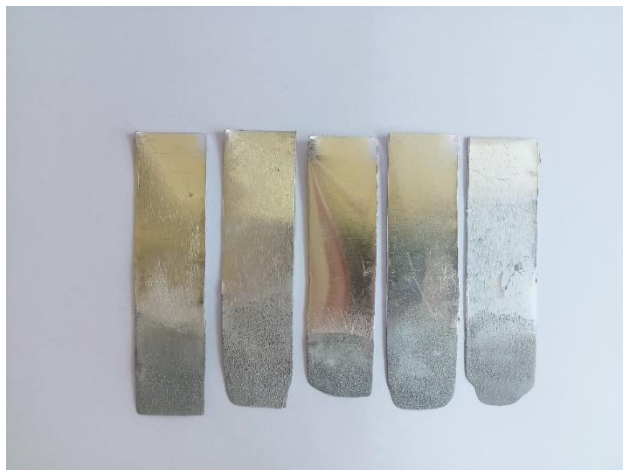
Anoda awal



**Anoda setelah elektrokoagulasi
variasi waktu**



**Anoda setelah elektrokoagulasi
variasi massa elektrolit KCl**



**Anoda setelah elektrokoagulasi
variasi tegangan**



Anoda awal



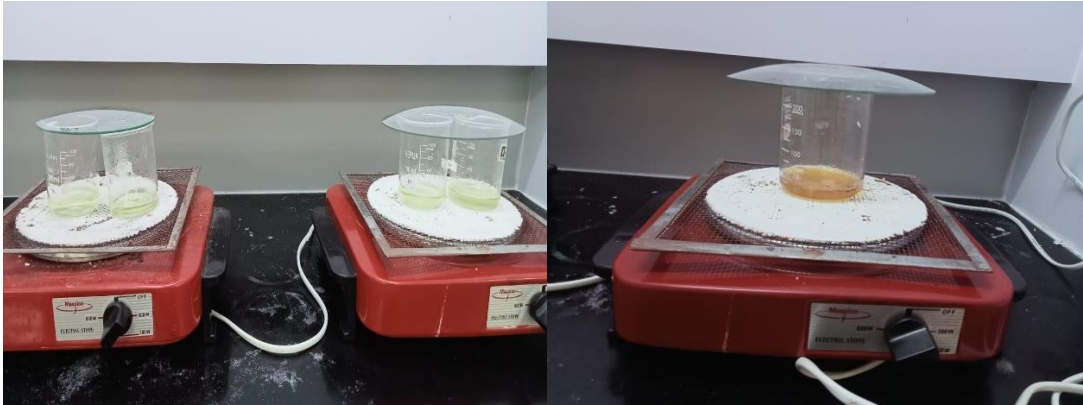
**Anoda setelah elektrokoagulasi
variasi bentuk elektroda**



Proses pengendapan setelah elektrokoagulasi

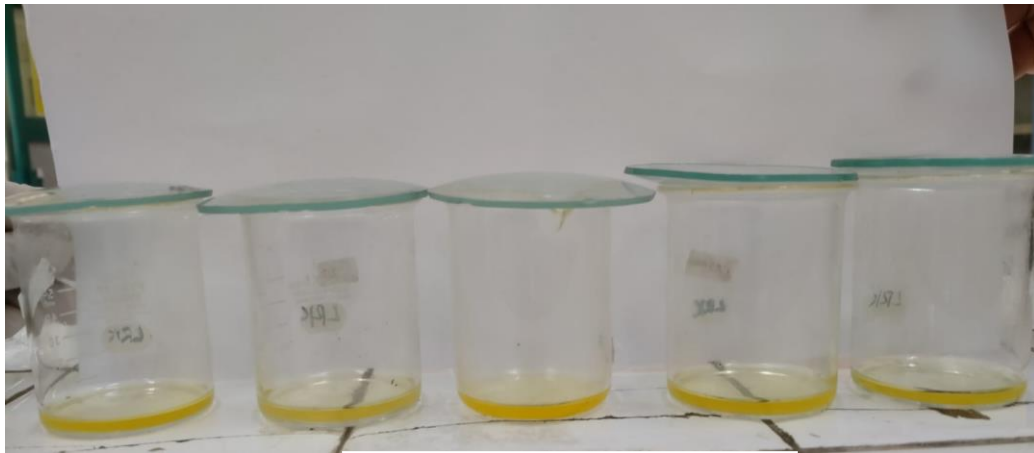


Penambahan HNO₃ pekat pada filtrat hasil elektrokoagulasi



**Destruksi filtrat hasil
elektrokoagulasi**

**Destruksi sampel limbah
cair batik**



Destruksi sampel telah selesai



**Filtrat elektrokoagulasi setelah
destruksi dan diencerkan**

**Sampel limbah cair batik setelah
destruksi dan diencerkan**



**Larutan Standar Zn 0,5;
1; 1,5; 2; dan 2,5 ppm**