

**PENURUNAN KONSENTRASI ZAT WARNA REMAZOL RED RB
MENGUNAKAN METODE ELEKTROKOAGULASI DENGAN
VARIASI PASANGAN MATERIAL ELEKTRODA DAN
KECEPATAN PENGADUKAN**

SKRIPSI

TEKNIK KIMIA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**BAGUS YANUAR W. P.
NIM. 165061100111016**

**YULIZAR
NIM. 165061101111030**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2020



LEMBAR PENGESAHAN
PENURUNAN KONSENTRASI ZAT WARNA REMAZOL RED RB
MENGGUNAKAN METODE ELEKTROKOAGULASI DENGAN
VARIASI PASANGAN MATERIAL ELEKTRODA DAN
KECEPATAN PENGADUKAN

SKRIPSI

TEKNIK KIMIA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

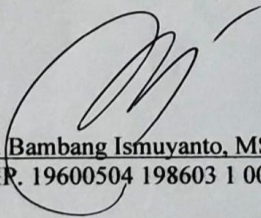


BAGUS YANUAR W. P.
NIM. 165061100111016

YULIZAR
NIM. 165061101111030

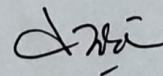
Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 29 Juni 2020

Dosen Pembimbing I



Ir. Bambang Ismuyanto, MS.
NIP. 19600504 198603 1 003

Dosen Pembimbing II



Juliananda, ST., M.Sc.
NIK. 2013048307182001

Mengetahui,
Ketua Jurusan



Ir. Bambang Poerwadi, MS.
NIP. 19600126 198603 1 001

IDENTITAS TIM PENGUJI

JUDUL SKRIPSI :

**PENURUNAN KONSENTRASI ZAT WARNA REMAZOL RED RB
MENGUNAKAN METODE ELEKTROKOAGULASI DENGAN VARIASI
PASANGAN MATERIAL ELEKTRODA DAN KECEPATAN PENGADUKAN**

Nama Mahasiswa/NIM : 1. Bagus Yanuar W. P. / 165061100111016

2. Yulizar / 165061101111030

JURUSAN S1 : TEKNIK KIMIA

TIM DOSEN PENGUJI

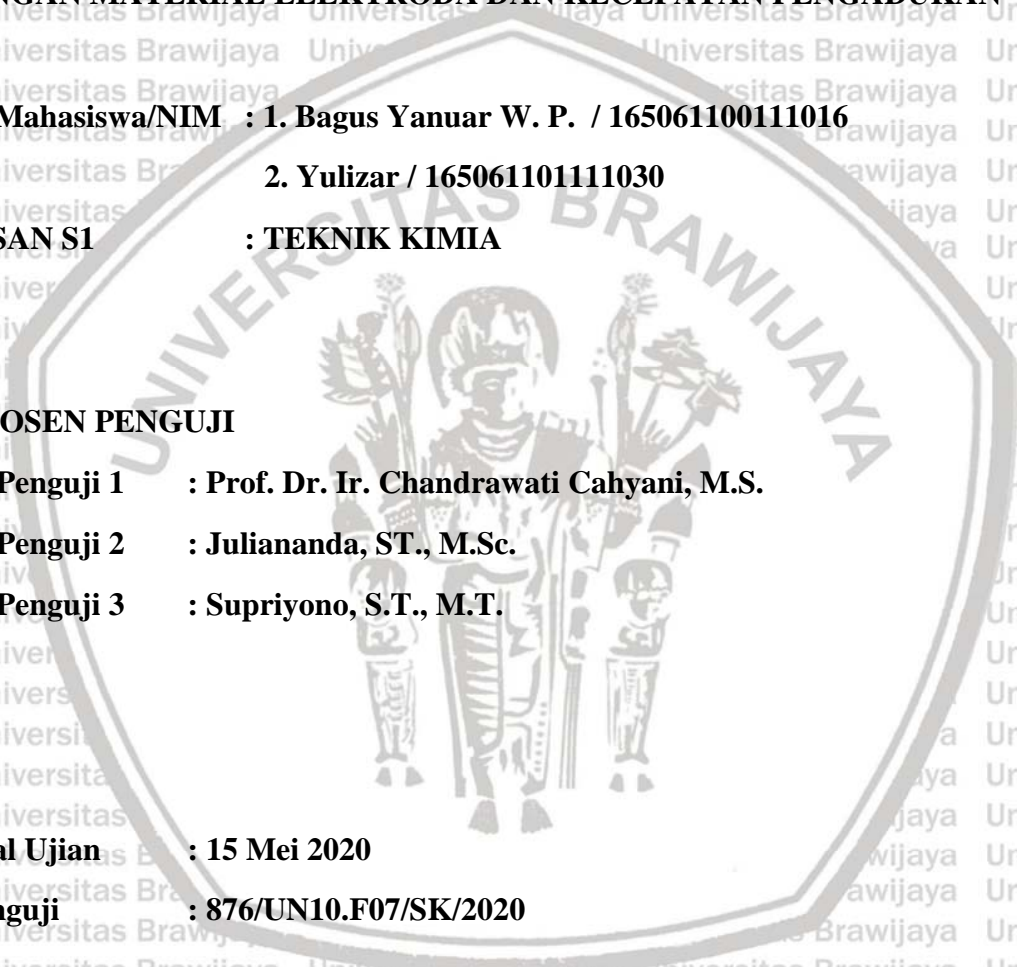
Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Chandrawati Cahyani, M.S.

Dosen Penguji 2 : Juliananda, ST., M.Sc.

Dosen Penguji 3 : Supriyono, S.T., M.T.

Tanggal Ujian : 15 Mei 2020

SK Penguji : 876/UN10.F07/SK/2020



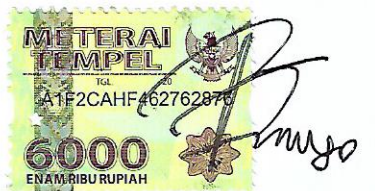
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 29 Juni 2020

Mahasiswa,



Bagus Yanuar Widarma Putra

NIM. 165061100111016

TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 175/UN10.107.18/PP/2020

Sertifikat ini diberikan kepada :

BAGUS YANUAR WIDARMA PUTRA

Dengan Judul Skripsi :

Pengaruh Konsentrasi Zat Warna Remazol Red BB menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Variasi Pasangan Material Elektroda dan Kecepatan Pengadukan (*Remazol Red BB Removal using Electrocoagulation Method with Variation of Electrode Material Pair and Stirring Speeds*)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 29 Juni 2020

Mahasiswa,



Yulizar

NIM. 165061101111030



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 175/UN10.F07.1B/PP/2020

Sertifikat ini diberikan kepada :

YULIZAR

Dengan Judul Skripsi :

Penurunan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red BB menggunakan Metode Elektrokongulasi dengan Variasi Pasangan Material Elektroda dan Kecepatan Pengadukan (*Remazol Red BB Removal using Electrocoagulation Method with Variation of Electrode Material Pair and Stirring Speeds*)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal





Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:

Tuhan YME yang telah memberikan kemudahan dalam proses pengerjaan Skripsi.

Orang tua tercinta yang telah memberikan dukungan dan semangat.

RINGKASAN

Bagus Yanuar Widarma Putra dan Yulizar, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2020, *Penurunan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red RB Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Variasi Pasangan material elektroda dan Kecepatan Pengadukan*, Dosen Pembimbing: Bambang Ismuyanto dan Juliananda.

Industri tekstil khususnya industri batik di Indonesia telah mengalami perkembangan yang cukup pesat dengan dibuktikannya peningkatan produksi batik sebesar 13% pada tahun 2010. Produksi yang semakin meningkat akan menghasilkan limbah cair yang semakin banyak dan dapat memberikan dampak buruk pada lingkungan dan kesehatan apabila dibuang ke lingkungan tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu. Proses pewarnaan adalah proses yang menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar. Zat warna yang banyak digunakan adalah Remazol Red RB yang tergolong dalam zat warna azo. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah pewarna batik adalah metode elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu material elektroda, konduktivitas larutan, bentuk elektroda, pH larutan, kerapatan arus, waktu, kecepatan pengadukan, konsentrasi awal larutan, pasivasi elektroda, jarak elektroda, temperatur dan konfigurasi elektroda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi pasangan material elektroda dan kecepatan pengadukan pada metode elektrokoagulasi terhadap persentase penurunan zat warna Remazol Red RB.

Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan menggunakan variasi pasangan material elektroda berupa Al – Fe (Al sebagai anoda) dan Fe – Fe (Fe sebagai anoda) dengan konfigurasi monopolar paralel. Selain itu dilakukan pula variasi kecepatan pengadukan yaitu 0, 50, 100, 150 dan 200 rpm. Proses elektrokoagulasi dilakukan menggunakan limbah zat warna 110 ppm sebanyak 200 mL pada tegangan 5 V selama 60 menit. Pada 10 menit pertama proses elektrokoagulasi dilakukan pengadukan dengan variasi kecepatan 0, 50, 100, 150 dan 200 rpm dan dilanjutkan pengadukan dengan kecepatan 50 rpm hingga menit ke-60. Selama proses elektrokoagulasi dilakukan pengambilan sampel limbah zat warna yang kemudian diuji menggunakan spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasinya. Nilai konsentrasi limbah tersebut akan digunakan untuk menghitung besarnya persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB.

Berdasarkan percobaan dapat diketahui bahwa penggunaan variasi pasangan material elektroda dan kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap proses elektrokoagulasi. Kecepatan pengadukan optimum untuk proses elektrokoagulasi diperoleh pada kecepatan 50 rpm. Selain itu, penggunaan pasangan material elektroda Fe – Fe memberikan hasil persentase penurunan yang lebih baik dibandingkan dengan Al – Fe. Persentase penurunan konsentrasi zat warna Fe – Fe sebesar 97,63%, 98,24%, 98,01%, 97,76% dan 97,53%, sedangkan Al – Fe menghasilkan persentase penurunan zat warna sebesar 82,43%, 94,87%, 91,43%, 91,36% dan 88,42%.

Kata kunci: elektrokoagulasi; kecepatan pengadukan; konsentrasi; material elektroda; Remazol Red RB

SUMMARY

Bagus Yanuar Widarma Putra dan Yulizar, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, April 2020, *Remazol Red RB Removal Using Electrocoagulation Method with Variation of Electrode Material Pair and Stirring Speeds*, Academic Supervisor: Bambang Ismuyanto dan Juliananda.

The textile industry especially batik industry in Indonesia is developing quite rapidly and it can be seen from the production that increased by 13% in 2010. The increase in batik production will produce more wastewater and can give a negative impact on the environment and health if the wastewater was discharged directly to the environment without any treatment. The coloring process is a process that produces large amounts of wastewater. Remazol Red RB is one of the colorants which is classified as azo dyes and commonly used in dyeing process. One of the methods that can be used to treat the wastewater is electrocoagulation. Electrocoagulation was influenced by several factors like electrode materials, solution conductivity, shape of the electrode, pH of the solution, current density, electrolysis time, stirring speed, initial concentration of solution, electrode passivation, distance between the electrodes, temperature, and arrangement of electrodes. The purpose of this research was to determine the effect of variations in electrode materials and stirring speeds on the electrocoagulation process to the percentage of Remazol Red RB dye removal.

The Electrocoagulation process was carried out by using variations of electrode material pairs in the form of Al – Fe (Al as an anode) and Fe – Fe (Fe as an anode) with a parallel monopolar configuration. In addition, the electrocoagulation process was carried out by using 200 mL of 110 ppm dye wastewater with a voltage of 5V for 60 minutes. In the first 10 minutes of the electrocoagulation process, stirring was carried out with variations in speeds of 0, 50, 100, 150 and 200 rpm and continued with stirring at 50 rpm until the end of the process. Sampling was divided into two during the process. For Al – Fe, sampling was carried out every 10 minutes, but for Fe – Fe sampling was carried out every 3 minutes in the first 12 minutes and continued every 10 minutes from the 20th minutes to the 60th minutes. The purpose of the sampling was to measure the final dye concentration using UV-Vis spectrophotometer. The result of final dye concentration measurement will be used to determine dye removal percentages.

Based on the experiment, it can be seen that the variations of electrode material pairs and stirring speeds affected to the electrocoagulation process. The optimum stirring speed in this experiment was 50 rpm. In addition, the result of electrocoagulation using Fe – Fe as the electrode materials is better than Al – Fe as the electrode materials. The percentages of Remazol Red RB removal using Fe – Fe are 97,63%, 98, 24%, 98,01%, 97,76% and 97,53%, while Al – Fe are 82,43%, 94,87%, 91,43%, 91,36% dan 88,42%.

Kata kunci: *concentration; electrocoagulation; electrode material; Remazol Red RB; stirring speed*

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR SIMBOL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Limbah Industri Batik.....	5
2.1.1 Limbah Cair Industri Batik.....	5
2.1.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Batik.....	6
2.1.3 Baku Mutu Limbah Cair Industri Batik.....	6
2.2 Zat Warna.....	7
2.2.1 Penggolongan Zat Warna.....	7
2.3 Remazol Red RB.....	8
2.3.1 Sifat Fisik dan Kimia.....	8
2.3.2 Aplikasi Remazol Red RB dalam Industri Batik.....	9
2.4 Koloid.....	9
2.4.1 Dispersi Koloid.....	10
2.4.2 Stabilitas Koloid.....	11
2.4.3 Destabilisasi Koloid.....	12
2.4.3.1 Kompresi Lapisan Ganda.....	13
2.4.3.2 Adsorpsi dan Netralisasi Muatan.....	13
2.4.3.3 Jebakan Dalam Endapan.....	13
2.4.3.4 Adsorpsi dan Penjembatanan Antar-partikel.....	13
2.5 Elektrokoagulasi.....	14
2.5.1 Prinsip Elektrokoagulasi.....	14
2.5.2 Kelebihan dan Kekurangan Elektrokoagulasi.....	17

2.5.3	Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Elektrokoagulasi.....	18
2.5.3.1	Material Elektroda.....	18
2.5.3.2	Konduktivitas Larutan.....	18
2.5.3.3	Bentuk Elektroda.....	18
2.5.3.4	pH Larutan.....	19
2.5.3.5	Kerapatan Arus.....	19
2.5.3.6	Waktu Elektrolisis.....	19
2.5.3.7	Kecepatan Pengadukan.....	20
2.5.3.8	Konsentrasi Awal Larutan.....	20
2.5.3.9	Waktu Retensi.....	20
2.5.3.10	Pasivasi Elektroda.....	21
2.5.3.11	Jarak Antar-elektroda.....	21
2.5.3.12	Temperatur.....	22
2.5.3.13	Konfigurasi Elektroda.....	22
2.6	Koagulan.....	23
2.7	Spektrofotometer UV-Vis.....	24
2.8	Penelitian Terdahulu.....	27
BAB III METODE PENELITIAN		31
3.1	Metode Penelitian.....	31
3.2	Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	31
3.3	Variabel Penelitian.....	31
3.4	Alat dan Bahan Penelitian.....	31
3.4.1	Alat Penelitian.....	31
3.4.2	Bahan Penelitian.....	32
3.5	Prosedur Penelitian.....	33
3.5.1	Pembuatan Larutan Induk.....	33
3.5.2	Perlakuan Awal Elektroda.....	33
3.5.2.1	Perlakuan Awal Elektroda Al.....	34
3.5.2.2	Perlakuan Awal Elektroda Fe.....	35
3.5.3	Pengondisian pH Limbah Sintetis.....	36
3.5.4	Persiapan Rangkaian Sel Elektrokoagulasi.....	37
3.5.5	Proses Elektrokoagulasi.....	38
3.5.6	Pembuatan Kurva Baku.....	39
3.5.6.1	Pembuatan Larutan Standar 25 ppm.....	39

3.5.6.2	Pembuatan Larutan Standar 5, 10, 15, dan 20 ppm	40
3.5.6.3	Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	41
3.5.6.4	Pengukuran Absorbansi Larutan Standar	41
3.5.6.5	Pengukuran Absorbansi Sampel	42
3.5.7	Perlakuan Akhir Elektroda	42
3.5.8	Proses Filtrasi Limbah Sintetis	43
3.5.9	Penimbangan Flok	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Pengaruh Pasangan material elektroda terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red RB	45
4.2	Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red RB	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	61
DAFTAR PUSTAKA		63
LAMPIRAN		71
Lampiran A. Hasil Uji Spektrofotometer UV – Vis		71
1.	Penentuan panjang gelombang maksimum	71
2.	Kurva standar	72
3.	Pengujian UV-Vis Al – Fe, 10 menit	73
4.	Pengujian UV-Vis Al – Fe, 20 menit	74
5.	Pengujian UV-Vis Al – Fe, 30 menit	75
6.	Pengujian UV-Vis Al – Fe, 40 menit	76
7.	Pengujian UV-Vis Al – Fe, 50 menit	77
8.	Pengujian UV-Vis Al – Fe, 60 menit	78
9.	Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 0 rpm	79
10.	Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 50 rpm	80
11.	Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 100 rpm	81
12.	Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 150 rpm	82
13.	Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 200 rpm	83
Lampiran B. Data Pendukung Penurunan Konsentrasi Remazol Red RB		84
1.	Pembuatan HCL 1 M	84
2.	Pembuatan NaOH 1 M	84

3.	Pembuatan kurva kalibrasi Remazol Red RB.....	84
4.	Perhitungan persentase penurunan Remazol Red RB.....	86
5.	Perhitungan perubahan massa anoda.....	86
6.	Perhitungan massa endapan.....	86
	Lampiran C. Dokumentasi Penelitian.....	89
	Lampiran D. Riwayat Hidup.....	94
	Lampiran E. Jurnal Penelitian.....	96



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil uji awal parameter limbah cair industri batik 6

Tabel 2.2 Karakteristik Remazol Red RB 9

Tabel 2.3 Klasifikasi dispersi koloid berdasarkan fase terdispersi dan media pendispersinya 11

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu 27

Tabel 4.1 Data persentase penurunan zat warna Remazol Red RB dengan variasi material elektroda terhadap kecepatan pengadukan..... 55

Tabel 4.2 Data perubahan massa anoda dan massa endapan dengan variasi material elektroda terhadap kecepatan pengadukan..... 58



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur molekul Remazol Red RB	8
Gambar 2.2 Potensial listrik partikel koloid bermuatan negatif	12
Gambar 2.3 Mekanisme proses elektrokoagulasi	15
Gambar 2.4 Sistem operasi (a) batch dan (b) kontinu	16
Gambar 2.5 Konfigurasi elektroda (a) monopolar paralel, (b) monopolar seri, dan (c) bipolar seri	22
Gambar 2.6 Ilustrasi Gelombang	25
Gambar 2.7 Skema alat spektrofotometer UV-Vis cahaya tunggal (single beam)	25
Gambar 2.8 Skema alat spektrofotometer UV-Vis cahaya ganda (double beam)	26
Gambar 2.9 Absorpsi cahaya oleh sampel	27
Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Larutan Induk	33
Gambar 3.2 Diagram Alir Perlakuan Awal Elektroda Al	34
Gambar 3.3 Diagram Alir Perlakuan Awal Elektroda Fe	35
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengondisian pH Limbah Sintetis	36
Gambar 3.5 Diagram Alir Persiapan Sel Elektrokoagulasi	37
Gambar 3.6 Rangkaian Sel Elektrokoagulasi	38
Gambar 3.7 Diagram Alir Proses Elektrokoagulasi	38
Gambar 3.8 Diagram Alir Pembuatan Larutan Standar 25 ppm	40
Gambar 3.9 Diagram Alir Pembuatan Larutan Standar 5 ppm	40
Gambar 3.10 Diagram Alir Penentuan Panjang Gelombang Maksimum	41
Gambar 3.11 Diagram Alir Pengukuran Absorbansi Larutan Standar	41
Gambar 3.12 Diagram Alir Pengukuran Absorbansi Sampel	42
Gambar 3.13 Diagram Alir Analisis Berat Elektroda	42
Gambar 3.14 Diagram Alir Proses filtrasi limbah sintetis	43
Gambar 3.15 Diagram Alir Penimbangan Flok	44
Gambar 4.1 Grafik persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB terhadap waktu pada variasi material elektroda dengan kecepatan pengadukan (a) 0 rpm (b) 50 rpm (c) 100 rpm (d) 150 rpm dan (e) 200 rpm	47
Gambar 4.2 Perubahan warna larutan zat warna Remazol Red RB selama proses elektrokoagulasi untuk kecepatan pengadukan 50 rpm dengan material elektroda (a) Al - Fe dan (b) Fe - Fe	49
Gambar 4.3 Grafik persentase penurunan zat warna Remazol Red RB terhadap waktu pada variasi kecepatan pengadukan dengan material elektroda (a) Al - Fe dan (b) Fe - Fe	53



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Hasil Uji Spektrofotometer UV – Vis	71
1. Penentuan panjang gelombang maksimum	71
2. Kurva standar	72
3. Pengujian UV-Vis Al – Fe, 10 menit	73
4. Pengujian UV-Vis Al – Fe, 20 menit	74
5. Pengujian UV-Vis Al – Fe, 30 menit	75
6. Pengujian UV-Vis Al – Fe, 40 menit	76
7. Pengujian UV-Vis Al – Fe, 50 menit	77
8. Pengujian UV-Vis Al – Fe, 60 menit	78
9. Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 0 rpm	79
10. Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 50 rpm	80
11. Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 100 rpm	81
12. Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 150 rpm	82
13. Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 200 rpm	83
Lampiran B. Data Pendukung Penurunan Konsentrasi Remazol Red RB	84
1. Pembuatan HCL 1 M	84
2. Pembuatan NaOH 1 M	84
3. Pembuatan kurva kalibrasi Remazol Red RB	84
4. Perhitungan persentase penurunan Remazol Red RB	86
5. Perhitungan perubahan massa anoda	86
6. Perhitungan massa endapan	86
7. Energi potensial reaksi reduksi - oksidasi	87

DAFTAR SIMBOL

Besaran	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Absorbansi	-	A
Konsentrasi	Part per Million atau ppm	C
Massa	Gram atau gr	m
Panjang	Centimeter atau cm	l
Panjang Gelombang	Nanometer atau nm	λ
Potensial Sel	Volt atau V	E _{sel}
Potensial Sel Standar	Volt atau V	E ^o _{sel}
Tegangan	Volt atau V	V
Waktu	Menit	t

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang berkembang pesat di Indonesia, khususnya industri batik. Batik merupakan warisan budaya bangsa Indonesia yang telah ada sejak zaman dahulu dan terus berkembang hingga saat ini. Hal ini menjadikan batik sebagai salah satu ciri khas bangsa Indonesia. Pada tanggal 2 Oktober 2009, UNESCO (*United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization*) telah menetapkan batik sebagai warisan kemanusiaan untuk Budaya Lisan dan Non-bendawi (*Masterpieces of the Oral and the Intangible Heritage of Humanity*) (Setianingrum, 2016). Selain itu batik juga dapat merefleksikan keberagaman budaya Indonesia yang terlihat dari beragam motif dan warnanya.

Untuk menghasilkan batik yang beraneka ragam, dibutuhkan zat warna pada proses pewarnaan (*dyeing*). Zat warna merupakan senyawa organik aromatik tidak jenuh yang didalamnya terkandung gugus kromofor sebagai pembawa warna dan auksokrom sebagai pengikat warna. Gugus kromofor yang terkandung di dalam zat warna berupa azo, karbonil, nitro, dan nitroso, sedangkan gugus auksokromnya berupa hidroksil, karboksil, dan sulfonat (Rosyida dan Zulfiya, 2013). Zat warna yang digunakan dalam proses pewarnaan terbagi menjadi dua yaitu pewarna alami dan pewarna sintetis. Dikarenakan harga pewarna alami yang mahal, produsen atau pengrajin batik lebih memilih untuk menggunakan pewarna sintetis (Apriyani, 2018).

Zat warna sintetis yang banyak digunakan dalam industri batik adalah zat warna azo dengan jenis Remazol Brilliant Orange 3R, Remazol Golden Yellow, Remazol Red, dan Remazol Black B (Catanho, 2006). Hal ini dikarenakan Remazol merupakan salah satu pewarna reaktif yang mudah larut dalam air dan lebih mudah diaplikasikan dibanding jenis pewarna lain seperti indigosol, naftol, dan indanthrene (Fatimah, 2018). Zat warna azo memiliki struktur umum $R-N=N-R'$, dengan R dan R' adalah rantai organik yang sama atau berbeda dan $-N=N-$ adalah gugus azo (Christina, dkk., 2007).

Dalam proses pewarnaan batik, zat warna azo Remazol Red RB merupakan zat warna yang paling sering digunakan. Remazol Red RB biasa digunakan untuk beberapa proses pewarnaan seperti *colet*, *brush*, dan celup pada kain katun berbahan serat

selulosa, kain wol berbahan serat protein, dan nilon yang berbahan serat sintetis (Latif, 2017). Rumus molekul dari Remazol Red RB adalah $C_{27}H_{18}ClN_7Na_4O_{15}S_5$ dengan berat molekul sebesar 968,184 gr/mol (Pubchem, 2018).

Pada umumnya, larutan berwarna merupakan koloid berjenis sol yang memiliki fase terdispersi padat sedangkan medium pendispersinya adalah cairan (Tadros, 2010). Sebagian besar koloid merupakan partikel yang stabil, sehingga sulit untuk dipisahkan (Milani, 2019). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk proses destabilisasi koloid adalah metode elektrokoagulasi (Fayad, 2017). Penggunaan metode elektrokoagulasi dapat mengurangi konsentrasi zat warna yang terkandung di dalam air limbah industri tekstil (Khandegar, 2013).

Elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi dengan menggunakan arus listrik searah (DC) melalui proses elektrokimia (Setianingrum, 2017). Proses elektrokoagulasi terdiri dari beberapa tahap proses yaitu proses ekualisasi, proses elektrokimia (flokulasi-koagulasi) dan proses pengendapan (Hernaningsih, 2016). Dalam metode elektrokoagulasi tidak ada penambahan bahan kimia sebagai koagulan, tetapi koagulan dihasilkan dengan cara elektrolisis (Sutanto, 2018). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi yaitu konduktivitas larutan, konfigurasi elektroda, bentuk elektroda, pH larutan, kerapatan arus, jarak antar elektroda, kecepatan pengadukan, waktu elektrolisis, konsentrasi awal polutan, pasivasi elektroda, dan tipe power supply (Khandegar, 2013).

Penelitian dari Can, dkk. (2003), melakukan proses penurunan konsentrasi zat warna menggunakan metode elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium. Dari penelitian tersebut didapatkan efisiensi penurunan konsentrasi zat warna sebesar 84,8% dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Semakin tinggi kecepatan pengadukan yang digunakan, efisiensi penurunan konsentrasi zat warna mengalami penurunan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Delil dan Nazim (2019), penggunaan elektroda Al – Fe dengan tegangan 6 V menghasilkan efisiensi penurunan zat warna pada limbah tekstil yang cukup tinggi yaitu 87%. Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan oleh Kobya, dkk. (2010), didapatkan persentase penyisihan zat warna pada kondisi optimum (konsentrasi = 500 mg/L, arus = 15 mA/cm², pH = 6) dengan menggunakan elektroda Fe – Fe sebesar 99,9%. Penelitian ini akan difokuskan pada pengaruh pasangan material elektroda dan kecepatan pengadukan dalam proses penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB pada limbah industri batik dengan konfigurasi elektroda monopolar paralel.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh pasangan material elektroda terhadap persentase penurunan konsentrasi zat pewarna Remazol Red RB pada limbah pewarna tekstil
2. Bagaimana pengaruh kecepatan pengadukan terhadap persentase penurunan konsentrasi zat pewarna Remazol Red RB pada limbah pewarna tekstil

1.3 Pembatasan Masalah

1. Metode yang digunakan adalah elektrokoagulasi dengan sistem batch yang dilakukan pada suhu ruang dan tekanan atmosfer.
2. Konfigurasi elektroda yang digunakan adalah monopolar paralel.
3. Jarak antar elektroda sebesar 0,5 cm.
4. Konsentrasi zat warna awal yang digunakan adalah 110 ppm.
5. Percobaan dilakukan pada tegangan 5 V.
6. Pengadukan cepat dilakukan pada awal elektrokoagulasi selama 10 menit.
7. Kecepatan pengadukan lambat yang digunakan adalah 50 rpm selama 50 menit.

1.4 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh pasangan material elektroda terhadap persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB pada limbah pewarna tekstil.
2. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan terhadap persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB pada limbah pewarna tekstil.

1.5 Manfaat

Penelitian ini bermanfaat untuk mengembangkan pengaruh penggunaan pasangan material elektroda yang berbeda dan variasi kecepatan pengadukan dalam proses penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB pada limbah pewarna tekstil dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dalam pengembangan proses penurunan konsentrasi zat warna pada limbah pewarna tekstil dengan menggunakan metode elektrokoagulasi.



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Industri Batik

2.1.1 Limbah Cair Industri Batik

Batik merupakan salah satu ciri budaya bangsa Indonesia yang telah mengalami perkembangan cukup besar, hal tersebut dapat dibuktikan dengan adanya peningkatan produksi batik setiap tahunnya. Berdasarkan data yang dihimpun oleh Kementerian Perindustrian (Kemenperin) RI, diketahui bahwa pada tahun 2010 terjadi peningkatan produksi batik sebesar 13% dari periode sebelumnya. Sedangkan untuk unit usaha batik juga mengalami pertumbuhan sebesar 14,7% dari 41.623 unit menjadi 47.755 unit selama tahun 2011 - 2015 (Setianingrum, dkk., 2016). Dengan meningkatnya nilai produksi batik, maka jumlah limbah industri batik juga akan mengalami peningkatan. Mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, air limbah dapat diartikan sebagai sisa dari suatu hasil usaha dan atau kegiatan. Limbah cair dapat memberikan dampak buruk terhadap manusia dan lingkungan sekitar (Mardana, 2007).

Limbah cair industri batik menjadi salah satu limbah cair yang banyak dibuang ke lingkungan dan perlu mendapatkan perhatian. Proses produksi industri batik sangat banyak dalam penggunaan bahan kimia dan air. Salah satu tahapan proses yang berpotensi besar sebagai penyumbang limbah industri batik karena menggunakan bahan kimia yaitu tahap pewarnaan (Setianingrum, dkk., 2016). Proses pewarnaan (*dyeing*) bertujuan untuk memberikan warna tertentu pada produk batik. Mekanisme penyerapan zat warna pada proses pewarnaan bergantung dari jenis pewarna yang digunakan. Umumnya, mekanisme penyerapan pada proses pewarnaan terdiri dari dua fase yaitu adsorpsi dan difusi (Clark, 2011). Selain itu, pada proses pewarnaan, efisiensi fiksasi pewarna hanya sebesar 60-90% saja (Ghalwa, dkk., 2016), sehingga terdapat sekitar 10-15 % pewarna akan hilang dan dilepaskan sebagai limbah ke lingkungan (Jarosz-Wilkolazka, dkk., 2002). Keberadaan zat warna di dalam air dapat berbahaya bagi lingkungan kesehatan masyarakat karena bersifat karsinogen dan tidak dapat terurai (Bhatia, dkk., 2016).

2.1.2 Karakteristik Limbah Cair Industri Batik

Dalam menganalisa karakteristik limbah cair industri, terdapat beberapa parameter yang perlu diketahui seperti nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solid* (TSS), keasaman (pH) dan turbiditas (Metcalf dan Eddy, 2008). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Setianingrum (2016) pada limbah cair industri batik di Yogyakarta yang menggunakan zat warna sintetis, dapat diketahui komposisi dari limbah cair industri batik sebagai berikut:

Tabel 2.1 Hasil uji awal parameter limbah cair industri batik

Parameter	Satuan	Konsentrasi
COD	mg/L	269
BOD	mg/L	142
TSS	mg/L	720
Turbiditas	NTU	17
Warna	Pt-Co	324
pH		10,2

Sumber: Setianingrum, dkk. (2016)

2.1.3 Baku Mutu Limbah Cair Industri Batik

Zat warna tekstil yang dibuat dari senyawa azo dan turunannya merupakan salah satu pencemar organik yang bersifat tidak dapat terdegradasi (Christina, dkk 2007). Sedangkan limbah cair industri batik memiliki kandungan zat organik yang tinggi, berwarna pekat dan memiliki bau yang menyengat. Keberadaan zat organik dengan kadar yang tinggi di dalam limbah cair ditandai dengan nilai COD yang tinggi dan nilai BOD yang rendah. Hal tersebut dikarenakan zat organik tidak dapat dipecah secara biologis (Mahida, 1986). Nilai COD dapat digunakan sebagai indikator tingkat pencemaran oleh limbah cair serta dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan besarnya nilai BOD dari limbah cair tersebut (Wardhana, 1995).

Dikarenakan dampak dari pencemaran limbah cair yang berbahaya, maka Pemerintah Yogyakarta mengeluarkan Peraturan Gubernur (Perda) DIY Nomor 20 Tahun 2008 tentang baku mutu air limbah untuk industri batik yang berguna untuk mengatur tingkat pencemaran limbah cair industri batik. Berdasarkan Perda DIY Nomor 20 Tahun 2008 tersebut, standar baku mutu air adalah 50 TCU atau Pt-Co untuk air kelas I dan 100 TCU atau Pt-Co untuk air kelas II (JDIH BPK RI, 2008).

2.2 Zat Warna

Secara umum, zat warna adalah molekul berwarna yang larut atau terdispersi di dalam air atau media pelarut dan dapat menembus serat pada proses pewarnaan (Moody dan Needles, 2004). Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan gugus kromofor dan gugus auksokrom (Agustina dan Amir, 2012). Gugus tak jenuh, yang dapat dikongjugasi untuk membuat molekul berwarna (pembawa warna), disebut dengan gugus kromofor. Sedangkan gugus auksokrom adalah gugus yang meningkatkan warna dalam sistem terkonjugasi melalui perubahan kerapatan elektron (Moody dan Needles, 2004). Zat organik tidak jenuh yang dijumpai dalam pembentukan zat warna merupakan senyawa-senyawa aromatik seperti senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol dan turunannya serta senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen (Agustina dan Amir, 2012).

2.2.1 Penggolongan Zat Warna

Zat warna dapat digolongkan menjadi dua berdasarkan sumber diperolehnya zat warna tersebut yaitu zat warna alami dan zat warna sintetis. Zat warna alami adalah zat warna yang berasal dari alam, baik yang berasal dari tanaman maupun hewan (Patel, 2011). Sedangkan zat warna sintetis terbuat dari sumber daya sintetis seperti bahan kimia, produk sampingan minyak bumi, dan mineral (Ziarani, dkk., 2018). Menurut Van Croft, zat warna digolongkan berdasarkan pemakaiannya, misalnya zat warna yang langsung dapat mewarnai serat disebut dengan zat warna substantif dan zat warna yang memerlukan zat-zat pembantu supaya dapat mewarnai serat disebut dengan zat warna reaktif. Kemudian Henneck membagi zat warna menjadi dua bagian menurut warna yang ditimbulkannya, yakni zat warna monogenetik (memberikan hanya satu warna) dan zat warna poligenetik (memberikan beberapa warna) (Agustina dan Amir, 2012).

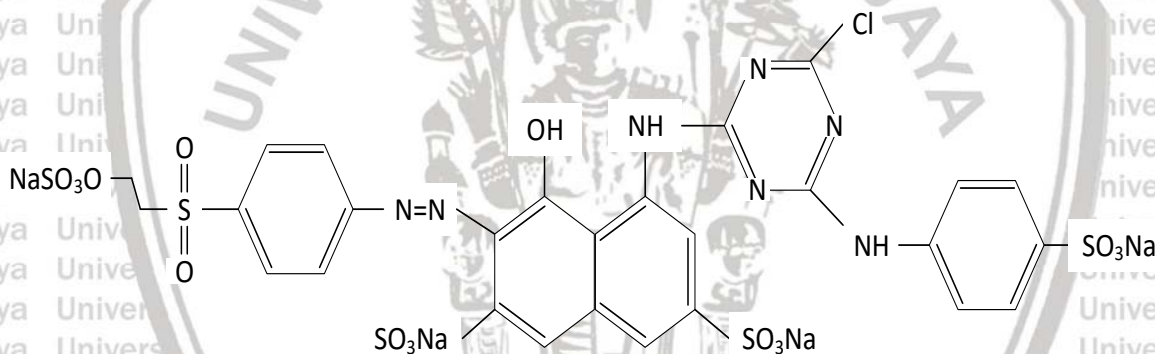
Secara umum, penggolongan zat warna dikenal berdasarkan aplikasi atau penggunaannya pada bahan, misalnya proses pencelupan pada industri tekstil. Pada proses pencelupan sendiri, zat warna digolongkan kembali berdasarkan cara pewarnaannya (Agustina dan Amir, 2012). Zat warna tersebut dapat digolongkan sebagai zat warna asam, basa, *direct* (langsung), dispersi, pigmen, reaktif, solven, belerang, bejana dan lain-lain (Christie, 2015). Saat ini, zat warna yang sering digunakan adalah zat warna reaktif dan zat warna dispersi. Zat warna reaktif banyak digunakan dalam proses pewarnaan kain berbahan serat selulosa. Selain itu, zat warna reaktif mudah larut di dalam air dan mudah digunakan. Sedangkan penggunaan zat warna dispersi banyak digunakan dalam proses pewarnaan kain

berbahan serat sintetis seperti serat polamida, poliester dan poliakrilat, dimana hampir seluruhnya hanya dapat dicelup dengan zat warna dispersi (Agustina dan Amir, 2012).

2.3 Remazol Red RB

2.3.1 Sifat Fisik dan Kimia

Remazol Red RB merupakan salah satu zat warna sintetis yang bersifat reaktif dan memiliki gugus kromofor azo. Berdasarkan sifat kelarutannya, Remazol Red RB merupakan zat warna anionik dimana gugus pembentuk garamnya adalah gugus asam sulfonat (Gunadi, 2008). Remazol Red RB dikatakan sebagai zat warna reaktif dikarenakan zat warna tersebut akan membentuk ikatan kovalen jika bereaksi dengan serat. Sehingga, Remazol Red RB banyak digunakan dalam industri tekstil khususnya untuk pewarnaan kain katun (Rekha, 2018). Remazol Red RB memiliki struktur molekul sebagai berikut.



Gambar 2.1 Struktur molekul Remazol Red RB

Sumber : Can, O. T., dkk. (2003)

Remazol Red RB memiliki rumus molekul $C_{27}H_{18}ClN_7Na_4O_{15}S_5$ dengan berat molekul sebesar 968,184 gr/mol (Pubchem, 2018). Adapun karakteristik dari Remazol Red RB yang tercantum dalam tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Karakteristik Remazol Red RB

Parameter	Nilai
Indeks Warna	Reactive Red RB 133
Kromofor	Azo
Sistem jangkar reaktif	MCT dan VS
Kelarutan dalam air pada 293 K (g/L)	70
Toksistas akut oral LD ₅₀ (mg/kg)	2000
Toksistas ikan LC ₀ (mg/L)	>500
Nilai pH (pada 10 g/L air)	7
Nilai BOD ₅ (mg/g)	<10

* Monochlorotriazine (MCT) dan Vinylsulfonate (VS)

Sumber : Can, O. T., dkk. (2003)

2.3.2 Aplikasi Remazol Red RB dalam Industri Batik

Remazol Red RB merupakan salah satu jenis zat warna sintetis yang sering digunakan dalam industri batik. Hal ini dikarenakan Remazol Red RB memiliki beberapa keunggulan yaitu larut dalam air, memiliki warna yang *brilliant* dengan ketahanan luntur yang baik, dan daya afinitasnya yang rendah. Remazol Red RB dapat digunakan untuk teknik pencelupan, coletan maupun kuwasan (Mahreni, 2016). Remazol Red RB biasa diaplikasikan pada jenis kain katun berbahan serat selulosa, kain wol berbahan serat protein, dan nilon yang berbahan serat sintetis (Latif, 2017). Hal ini dikarenakan Remazol Red RB merupakan zat warna reaktif yang akan langsung bereaksi dan berikatan dengan serat (Mahreni, 2016).

2.4 Koloid

Koloid adalah partikel dengan ukuran yang sangat kecil tetapi memiliki luas permukaan yang sangat besar. Partikel koloid lebih besar daripada atom ataupun ion tetapi cukup kecil sehingga biasanya tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Ukuran partikel koloid berkisar antara 0,001 sampai 10 μm sehingga menghasilkan rasio massa terhadap permukaan yang sangat kecil. Dikarenakan ukuran dan massa koloid yang kecil serta besarnya luas permukaan koloid menyebabkan terjadi 2 peristiwa dalam suspensi koloid yaitu (1) efek gravitasi diabaikan dan (2) lebih didominasi oleh fenomena permukaan (*surface phenomenon*). Karena luas permukaannya yang besar, koloid cenderung menyerap ion – ion dari medium sekitarnya yang memberikan koloid muatan elektrostatis relatif. Gaya repulsif

dari elektrostatik mencegah koloid bersatu sehingga berdampak pada dispersi dan stabilitasnya (Wang, dkk., 2012).

Berdasarkan tingkat kestabilannya, koloid dibagi menjadi 2 jenis yaitu koloid hidrofilik dan hidrofobik. Koloid hidrofilik memiliki tingkat kestabilan yang tinggi karena gaya tarik antara fase terdispersi dan medium pendispersinya (air) yang kuat. Partikel koloid hidrofilik biasanya berupa molekul tunggal yang memiliki ukuran besar dalam daerah ukuran koloid. Contoh dari koloid hidrofilik adalah senyawa-senyawa organik. Koloid hidrofilik terbentuk ketika beberapa bagian partikel-partikel fase terdispersi mampu berinteraksi dengan molekul air melalui ikatan hidrogen dan gaya tarik dipol-dipol. Sedangkan koloid hidrofobik memiliki kestabilan yang rendah karena gaya tarik antara fasa terdispersi dan medium pendispersinya (air) kurang kuat.

Sistem koloid dapat diartikan sebagai suatu campuran yang keadaannya berada di antara larutan dan suspensi atau dapat disebut sebagai campuran kasar (Burhanudin, dkk., 2018). Sistem koloid juga dapat diartikan sebagai campuran yang heterogen dan merupakan sistem dari dua fase. Dua fase yang dimaksud pada sistem koloid terdiri dari fase terdispersi yang merupakan zat terlarut sebagai partikel koloid dan fase pendispersi atau medium pendispersi yang merupakan fase kontinu dimana koloid tersebut dapat terdispersi di dalamnya (Mose, 2014). Penggunaan zat warna atau pewarna dalam beragam industri menjadi salah satu contoh dari sistem koloid. Cat atau pewarna merupakan suatu sistem yang kompleks, terdiri atas multifase dan merupakan sistem koloid yang diaplikasikan sebagai suatu pelapis (*coating*) pada suatu permukaan (Tadros, 2010). Berdasarkan jenisnya, zat pewarna tekstil termasuk ke dalam koloid berjenis sol-cair (Mose, 2014).

2.4.1 Dispersi Koloid

Dispersi koloid adalah suspensi partikel halus (dispersoid) yang didispersikan secara stabil di dalam medium pendispersinya (*base liquid*) (Satoh, 2003). Dimensi partikel terdispersi umumnya berada pada rentang 1 nm hingga 10 μm . Dispersi koloid dapat diklasifikasikan menurut keadaan fase terdispersi dan media pendispersinya (gas, cair, padat) atau dilihat dari kestabilannya. Koloid yang paling terkenal adalah emulsi (kedua fasenya cairan), dispersi (partikel padat dalam medium cair), busa (gas dalam medium cair), cairan dalam padatan (gel) dan aerosol (cairan atau padatan dalam gas) (Kontogeorgis dan Kiil, 2016). Berikut merupakan tabel klasifikasi dispersi koloid berdasarkan fase terdispersi dan media pendispersinya.

Tabel 2.3 Klasifikasi dispersi koloid berdasarkan fase terdispersi dan media pendispersinya

Fase Terdispersi	Medium Pendispersi	Nama	Contoh
Cair	Gas	Aerosol cair	Awan, kabut, <i>spray</i> , aerosol
Gas	Cair	Busa	Krim kocok, busa sabun
Cair	Cair	Emulsi	Susu, <i>mayonnaise</i> , mentega
Padat	Cair	Dispersi	Pasta gigi, cat
Gas	Padat	Busa padat	Turunan polistiren
Cair	Padat	Gel	Opal
Padat	Padat	Dispersi padat	Tulang, <i>pigmented plastics</i>

Sumber : Kontogeorgis dan Kiil (2016)

Sampai saat ini, sol dan emulsi merupakan jenis dispersi koloid yang paling penting.

Istilah sol digunakan untuk membedakan suspensi koloid dengan suspensi makroskopik.

Ketika media pendispersinya *aqueous*, biasanya digunakan istilah hidrosol (Satake, dkk., 2003).

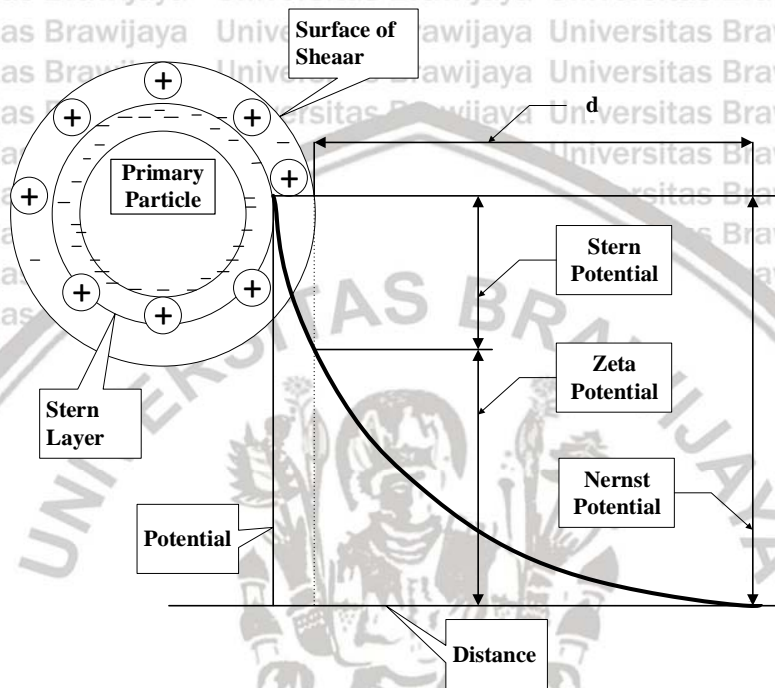
2.4.2 Stabilitas Koloid

Faktor penting dalam stabilitas koloid adalah keberadaan dari muatan pada permukaan koloid atau disebut dengan muatan primer. Muatan ini dihasilkan dari fenomena disosiasi gugus-gugus polar dan/atau adsorpsi ion - ion dari medium pendispersinya (Sincero dan Sincero, 2003). Fenomena disosiasi gugus-gugus polar terjadi pada koloid hidrofilik, sedangkan fenomena adsorpsi ion - ion dari medium pendispersinya terjadi pada koloid hidrofobik (Saptati dan Himma, 2018).

Ketika permukaan koloid menjadi bermuatan, ion - ion dalam larutan yang bermuatan berlawanan akan terikat pada permukaan koloid dan bertahan pada permukaan tersebut karena adanya gaya van der Waals (Metcalf, 2003). Jika muatan yang berada pada permukaan koloid atau muatan primer cukup besar, maka ion - ion yang bermuatan berlawanan akan membentuk suatu lapisan yaitu lapisan Stern (*Stern layer*). Lapisan Stern dikelilingi oleh lapisan difusi (*Gouy layer*) yang menyebabkan terbentuk lapisan ganda (*electrical double layer*) yang mengelilingi muatan primer. Dikarenakan lapisan Stern merupakan lapisan tetap (*fixed layer*), muatan pada lapisan tersebut bergerak bersama partikel koloid. Sedangkan pada lapisan difusi, lapisan bergerak dengan *shearing* (Saptati dan Himma, 2018).

Potensial Nernst adalah potensial elektrostatik total pada permukaan partikel primer.

Potensial Nernst yang berkurang dengan cepat melalui lapisan Stern akan menghasilkan muatan bernilai nol pada *shear plane* yang disebut potensial Zeta. Potensial ini umumnya dianggap sebagai penyebab utama stabilitas sistem koloid (Wang, dkk., 2004).



Gambar 2.2 Potensial listrik partikel koloid bermuatan negatif

Sumber : Wang, dkk. (2004)

2.4.3 Destabilisasi Koloid

Stabilitas koloid dipengaruhi oleh dua jenis gaya yaitu gaya tarik van der Waals dan gaya tolak muatan listrik. Dengan adanya dua jenis gaya tersebut, koloid menjadi stabil dan tidak dapat diendapkan dengan gravitasi. Sehingga dibutuhkan destabilisasi koloid untuk memisahkan partikel koloid dari medium pendispersinya dengan mengurangi gaya tolak antar partikelnya. Untuk mengurangi gaya tolak antar partikelnya, zeta potensial harus dikurangi dengan memperpendek jarak antar permukaan koloid. Destabilisasi koloid dapat dilakukan dengan menambahkan bahan kimia yang bermuatan berlawanan dengan muatan primer, sehingga terjadi proses netralisasi muatan primer yang akan mengurangi nilai zeta potensial (Saptati dan Himma, 2018).

Proses destabilisasi koloid dapat dicapai dengan empat mekanisme koagulasi, yaitu (1) kompresi lapisan ganda, (2) adsorpsi dan netralisasi muatan, (3) jebakan dalam endapan, dan (4) adsorpsi dan penjembatanan antar partikel (Wang, dkk., 2004).



2.4.3.1 Kompresi Lapisan Ganda

Ketika elektrolit dengan konsentrasi tinggi dimasukkan ke dalam dispersi koloid, ion-ion yang ditambahkan akan menembus lapisan difusi yang mengelilingi permukaan partikel. Penambahan ion – ion dengan muatan yang lebih tinggi, seperti ion divalen dan trivalen, akan menghasilkan gradien potensial elektrostatik yang lebih curam dan penurunan muatan yang lebih cepat. Sehingga energi tolak (*net repulsive energy*) akan menjadi lebih kecil atau tidak ada sama sekali dan memungkinkan partikel untuk saling mendekat dan menggumpal (Wang, dkk., 2004).

2.4.3.2 Adsorpsi dan Netralisasi Muatan

Partikel koloid dapat distabilkan dengan mekanisme adsorpsi ion atau polimer yang bermuatan berlawanan (Crittenden, dkk., 2012). Kemampuan dari zat kimia dalam hal mendestabilisasi serta mengkoagulasi partikel koloid merupakan hasil dari kombinasi beberapa mekanisme. Molekul bermuatan positif lebih mudah dan cepat melekat pada partikel koloid yang bermuatan negatif. Muatan pada partikel koloid akan dinetralkan oleh muatan positif dan nilai dari potensial elektrostatik akan berkurang atau dihilangkan sehingga mengakibatkan destabilisasi koloid. Ion positif dari molekul yang bersifat hidrofobik akan diusir dari air dan diserap pada permukaan partikel (Wang, dkk., 2004).

2.4.3.3 Jebakan Dalam Endapan

Jenis destabilisasi ini telah dideskripsikan sebagai *precipitation and enmeshment or sweep floc*. Untuk garam besi dan aluminium pada dosis koagulan yang lebih rendah, terdapat 3 langkah *sweep floc* yaitu: (1) hidrolisis dan polimerisasi logam, (2) adsorpsi produk hidrolisis pada lapisan *interface*, dan (3) netralisasi muatan. Pada dosis tinggi, kemungkinan nukleasi endapan akan terjadi pada permukaan partikel koloid, yang mengarah pada pertumbuhan endapan amorf. Salah satu temuan menarik mengenai *sweep floc* adalah mekanisme *sweep floc* tidak tergantung pada jenis partikel (Crittenden, dkk., 2012).

2.4.3.4 Adsorpsi dan Penjembatan Antar-partikel

Secara skematis, rantai polimer akan teradsorpsi pada permukaan partikel koloid pada satu atau lebih situs di sepanjang rantai polimer sebagai hasil dari (1) interaksi *coulombic*, (2) interaksi dipol, (3) ikatan hidrogen, dan (4) gaya tarik van der Waals. Sisa polimer dapat tetap meluas ke dalam larutan dan menyerap pada situs permukaan yang tersedia dari partikel

lain, sehingga menciptakan 'jembatan' antara permukaan partikel. Jika tidak menemukan situs yang kosong di permukaan partikel koloid lain, maka tidak akan ada *bridging* yang terjadi (Crittenden, dkk., 2012).

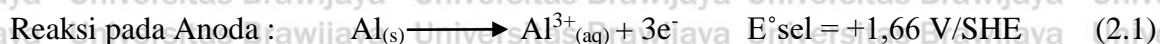
2.5 Elektrokoagulasi

2.5.1 Prinsip Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan air limbah secara elektrokimia dimana pada bagian anoda akan terjadi pelepasan koagulan aktif berupa ion logam (umumnya aluminium atau besi) ke dalam larutan, sedangkan pada bagian katoda akan terjadi reaksi elektrolisis berupa pelepasan gas hidrogen (Holt, dkk., 2005). Prinsip dasar dari metode elektrokoagulasi adalah reaksi redoks atau reaksi reduksi dan oksidasi. Dalam pengaplikasiannya, peristiwa oksidasi terjadi pada bagian anoda, sedangkan reduksi terjadi pada bagian katoda. Air limbah yang akan diolah dengan menggunakan metode elektrokoagulasi berfungsi sebagai larutan elektrolit (Hanum, dkk., 2015). Apabila dalam larutan elektrolit diletakkan dua buah elektroda dan dialiri arus listrik searah (DC) maka akan terjadi peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit (Setianingrum, dkk., 2016). Peristiwa elektrokimia yang terjadi yaitu kation (ion positif) akan bergerak menuju katoda sedangkan anion (ion negatif) akan bergerak menuju anoda (Hanum, dkk., 2015).

Selain berdasarkan reaksi redoks, metode elektrokoagulasi juga didasarkan oleh proses sel elektrolisis. Sel elektrolisis merupakan alat yang dapat mengubah energi listrik langsung (*direct current*) untuk menghasilkan reaksi elektrodik. Setiap sel elektrolisis memiliki dua buah elektroda yaitu anoda dan katoda. Pada umumnya elektroda yang digunakan dalam proses elektrokoagulasi adalah aluminium. Hal ini dikarenakan aluminium merupakan logam yang memiliki sifat koagulan yang baik (Hanum, dkk., 2015).

Ketika arus listrik diterapkan, elektroda pada bagian anoda akan mengalami proses pengikisan (korosi) karena adanya reaksi oksidasi. Sehingga elektroda tersebut disebut dengan elektroda korban (*sacrificial anodes*). Berikut merupakan reaksi oksidasi yang terjadi pada bagian anoda :



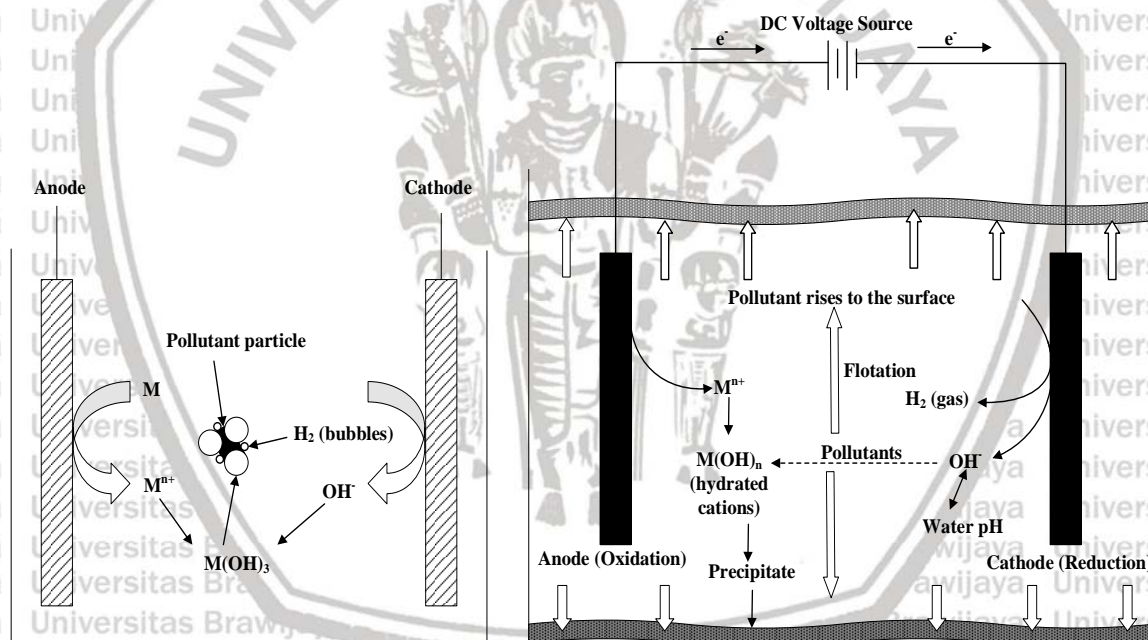
Kation hasil reaksi oksidasi yang bermuatan tinggi akan bertindak sebagai koagulan. Kation tersebut akan mendestabilisasi beberapa partikel koloid dengan membentuk polivalen

polihidroksi kompleks. Senyawa kompleks ini mempunyai sisi yang mudah diadsorpsi serta membentuk gumpalan (*aggregates*) dengan polutan. Selain itu, senyawa ini juga memiliki daya tarik yang kuat terhadap partikel terdispersi serta untuk ion – ion yang berlawanan sehingga menyebabkan terjadinya koagulasi (Khandegar dan Saroha, 2013).

Sedangkan pada bagian katoda akan terjadi reaksi katodik dengan membentuk gelembung - gelembung gas hidrogen yang berfungsi untuk menaikkan flok-flok tersuspensi yang tidak dapat mengendap di dalam sel (Hanum, dkk., 2015). Flok – flok yang dihasilkan akan diflotasikan ke permukaan reaktor (Didar-UI Islam, 2017). Berikut merupakan reaksi reduksi yang terjadi pada bagian katoda :



Mekanisme proses elektrokoagulasi ditunjukkan pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 Mekanisme proses elektrokoagulasi

Sumber : Calvo, dkk. (2003) ; Mollah, dkk. (2004)

Dalam proses penurunan zat warna menggunakan metode elektrokoagulasi, terdapat dua mekanisme yaitu (1) Presipitasi dan (2) Adsorpsi yang ditentukan oleh rentang pH tertentu.

Mekanisme presipitasi dominan terjadi pada pH rendah, sedangkan adsorpsi terjadi pada pH > 6,5 (Can, O. T., 2003).

Presipitasi :



Adsorpsi :

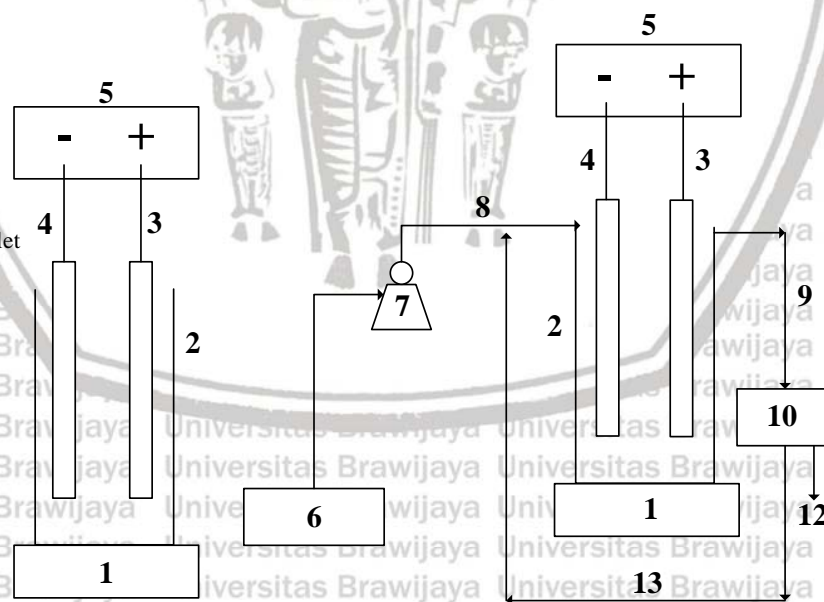


Pada nilai pH > 9, akan terbentuk $\text{Al}(\text{OH})_4^-$.

Terbentuknya amorf $\text{Al}(\text{OH})_3$ "*Sweep flocc*" memiliki luas permukaan yang besar sehingga bermanfaat untuk mengadsorpsi secara cepat senyawa organik terlarut dan menjebak partikel - partikel koloid. Pada akhirnya, flok dapat dengan mudah dihilangkan dari larutan dengan cara sedimentasi atau flotasi (Can, O. T., 2003).

Berdasarkan sistem operasinya, proses elektrokoagulasi terbagi menjadi 2 yaitu batch dan kontinu. Sistem kontinu beroperasi pada kondisi tunak, khususnya konsentrasi polutan tetap dan laju aliran limbah. Sebaliknya, sistem batch banyak digunakan untuk mempelajari berbagai kondisi operasi pada penelitian. Sistem kontinu lebih cocok digunakan untuk proses industri dengan volume limbah yang besar sedangkan reaktor batch cocok untuk aplikasi skala laboratorium. Sistem operasi kontinu lebih disukai karena lebih mudah dikontrol daripada sistem operasi batch (Khandegar, dkk., 2013). Berikut merupakan gambar untuk sistem operasi batch dan kontinu

1. Magnetic Stirrer
2. EC cell
3. Anode
4. Cathode
5. DC power supply
6. Reservoir
7. Pump
8. Effluent inlet
9. Treated water outlet
10. Settling tank
11. Clear water out
12. Sludge output
13. Recycling



Gambar 2.4 Sistem operasi (a) batch dan (b) kontinu

Sumber : Khandegar, dkk. (2013)

Proses elektrokoagulasi mampu menyisahkan berbagai jenis polutan dalam air, seperti partikel tersuspensi, logam-logam berat, produk minyak bumi, warna pada zat pewarna,

larutan humus, dan defluorinasi air. Selain itu elektrokoagulasi juga dapat digunakan dalam pengolahan awal teknologi membran seperti *reverse osmosis* (Khandegar, dkk., 2013).

2.5.2 Kelebihan dan Kekurangan Elektrokoagulasi

Metode elektrokoagulasi memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan metode lainnya. Kelebihan yang dimiliki oleh metode elektrokoagulasi adalah sebagai berikut (Rachmawati, dkk., 2014).

1. Peralatan yang dibutuhkan sederhana dan mudah dioperasikan.
2. Menghasilkan *effluent* yang jernih, tiak berwarna, dan tidak berbau.
3. Flok yang dihasilkan berukuran lebih besar dengan kandungan air yang lebih sedikit, lebih stabil, dan mudah dipisahkan secara cepat dengan filtrasi.
4. Lebih cepat dalam mereduksi kandungan koloid yang paling kecil dikarenakan menggunakan medan listrik dalam air sehingga dapat mempercepat pergerakan yang memudahkan proses koagulasi.
5. Menghasilkan *effluent* dengan Total Dissolved Solid (TDS) yang lebih sedikit dibandingkan dengan pengolahan secara kimiawi.
6. Tidak memerlukan penambahan bahan kimia sehingga tidak bermasalah dengan netralisasi.
7. Gelembung gas yang dihasilkan dari proses elektrokoagulasi dapat membawa polutan ke permukaan air sehingga mudah untuk dibersihkan.
8. Pemeliharaan lebih mudah dikarenakan oleh penggunaan sel elektrolisis yang tidak bergerak.

Selain memiliki kelebihan, metode elektrokoagulasi juga memiliki beberapa kekurangan sebagai berikut (Peralta-Hernandez, dkk., 2014).

1. Logam elektroda (*sacrificial anodes*) perlu diganti secara berkala karena logam tersebut akan terkikis selama proses elektrokoagulasi.
2. Pada bagian katoda akan terbentuk lapisan film oksida (*impermeable oxide film*) yang dapat menghambat aliran arus listrik sehingga akan mengganggu proses elektrokoagulasi.
3. Dibutuhkan larutan suspensi dengan konduktivitas yang tinggi.
4. Penggunaan arus listrik sebagai sumber energi dapat meningkatkan biaya operasional

2.5.3 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Elektrokoagulasi

2.5.3.1 Material Elektroda

Material elektroda menentukan reaksi elektrokimia yang terjadi di dalam proses elektrokoagulasi. Aluminium dan besi merupakan elektroda yang banyak digunakan dalam proses elektrokoagulasi. Pemilihan bahan elektroda tergantung pada polutan yang akan dihilangkan dan sifat kimiawi dari larutan elektrolit. Secara umum, aluminium lebih unggul dibandingkan dengan besi dalam banyak kasus. Namun, aluminium lebih mahal daripada besi. Elektroda inert, seperti *stainless steel*, direkomendasikan sebagai katoda ketika sejumlah besar kalsium atau ion magnesium hadir dalam larutan. Studi lanjutan juga dilakukan pada elektrokoagulasi dengan menggunakan paduan berbasis besi sebagai bahan anoda. Misalnya, *stainless steel* telah ditemukan sebagai elektroda yang efektif dalam proses penurunan konsentrasi zat warna (Dura, 2013).

2.5.3.2 Konduktivitas Larutan

Konduktivitas larutan merupakan salah satu parameter yang sangat penting dalam proses elektrolisis. Hal ini dikarenakan efisiensi penghilangan polutan dan biaya operasi berhubungan langsung dengan larutan konduktivitas (Khandegar, dkk., 2013). Konduktivitas air limbah yang rendah dapat disesuaikan dengan menambahkan jumlah garam yang cukup seperti NaCl dan Na₂SO₄ (Comninellis dan Chen, 2010). Tingginya konduktivitas larutan akan meningkatkan kerapatan arus pada tegangan yang konstan. Dengan konduktivitas larutan yang tinggi, konsumsi energi akan berkurang (Khandegar, dkk., 2013).

2.5.3.3 Bentuk Elektroda

Bentuk elektroda mempengaruhi efisiensi penghilangan polutan dalam proses elektrokoagulasi. Diharapkan bahwa elektroda dengan lubang akan menghasilkan efisiensi penghilangan polutan yang lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda tanpa lubang. Kuroda, dkk. (2003) melakukan percobaan menggunakan elektroda logam dengan / tanpa lubang untuk mempelajari pengaruh bentuk elektroda terhadap efisiensi penghilangan polutan dengan proses pengendapan elektrostatik. Telah dilaporkan bahwa penggunaan elektroda dengan lubang menghasilkan efisiensi penghilangan polutan yang lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda tanpa lubang. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk

menentukan efek bentuk elektroda (diameter lubang dan lubang lubang) pada proses elektrokoagulasi (Khandegar, dkk., 2013).

2.5.3.4 pH Larutan

pH larutan merupakan parameter operasional penting dalam proses elektrokoagulasi. Efisiensi penghilangan polutan maksimum diperoleh pada pH larutan optimal untuk polutan tertentu. Pengendapan polutan dimulai pada pH tertentu. Efisiensi penghilangan polutan berkurang dengan menaikkan atau menurunkan pH larutan dari pH optimal (Khandegar, dkk., 2013). Secara umum, pH medium berubah selama proses. Perubahan ini bergantung pada jenis bahan elektroda yang digunakan dan pH awal larutan (Koby, dkk., 2003). Efisiensi maksimum penghilangan warna diamati pada kisaran pH 6-9 seperti yang diharapkan mengingat sifat reaksi antara ion besi dan hidroksida (Daneshvar, dkk., 2004).

2.5.3.5 Kerapatan Arus

Kerapatan arus adalah parameter yang sangat penting dalam elektrokoagulasi karena menentukan laju dosis koagulan, laju produksi gelembung, ukuran dan pertumbuhan flok, dimana hal ini dapat mempengaruhi efisiensi proses elektrokoagulasi. Dengan peningkatan densitas arus, laju disolusi anoda akan meningkat. Hal ini menyebabkan peningkatan jumlah flok hidroksida logam yang mengakibatkan peningkatan efisiensi penghilangan polutan. Peningkatan kerapatan arus di atas kerapatan arus optimal tidak menghasilkan peningkatan efisiensi penghilangan polutan (Khandegar, dkk., 2013).

2.5.3.6 Waktu Elektrolisis

Efisiensi penghilangan polutan juga merupakan fungsi dari waktu elektrolisis. Efisiensi penghilangan polutan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu elektrolisis. Tetapi di luar waktu elektrolisis yang optimal, efisiensi penghilangan polutan menjadi konstan dan tidak meningkat dengan bertambahnya waktu elektrolisis. Dengan kerapatan arus yang tetap, jumlah logam hidroksida yang dihasilkan pada anoda akan meningkat dengan bertambahnya waktu elektrolisis. Untuk waktu elektrolisis yang lebih lama, terjadi peningkatan generasi flok yang menghasilkan peningkatan efisiensi penghilangan polutan. (Khandegar, dkk., 2013).

2.5.3.7 Kecepatan Pengadukan

Pengadukan membantu mempertahankan kondisi yang seragam dan menghindari pembentukan gradien konsentrasi dalam sel elektrolisis. Selanjutnya, pengadukan dalam sel elektrolisis memberikan kecepatan untuk pergerakan ion yang dihasilkan. Dengan peningkatan kecepatan pengadukan hingga kecepatan pengadukan optimal, ada peningkatan efisiensi penghilangan polutan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa dengan peningkatan mobilitas ion yang dihasilkan, gumpalan terbentuk jauh lebih awal sehingga meningkatkan efisiensi penghilangan polutan untuk waktu elektrolisis tertentu. Tetapi dengan peningkatan lebih lanjut dalam kecepatan pengadukan di luar nilai optimal, ada penurunan efisiensi penghilangan polutan karena flok terdegradasi oleh tabrakan satu sama lain karena kecepatan pengadukan yang tinggi (Modirshahla, dkk., 2008).

Kecepatan pengadukan dalam elektrokoagulasi dibagi menjadi dua yaitu pengadukan cepat (*rapid or flash mixing*) dan pengadukan lambat (*slow mixing*). Pengadukan cepat dilakukan pada awal proses elektrokoagulasi dimana koagulan mulai terbentuk dan juga untuk membantu interaksi elektrostatik koagulan dengan partikel zat warna membentuk mikroflokk. Setelah itu dilakukan pengadukan lambat yang bertujuan untuk mempercepat pembentukan makroflokk dari mikroflokk yang telah terbentuk pada pengadukan cepat (Ebeling dan Sarah, 2004). Variasi untuk kecepatan pengadukan cepat dilakukan pada rentang 75, 150, 225, atau 300 rpm. Sedangkan untuk pengadukan lambat dilakukan pada kecepatan 10, 20, 30, atau 40 rpm (Ebeling, dkk., 2003).

2.5.3.8 Konsentrasi Awal Larutan

Efisiensi penghilangan polutan berkurang dengan peningkatan konsentrasi awal polutan untuk kerapatan arus yang konstan. Hal ini disebabkan oleh jumlah flokk hidroksida logam yang terbentuk mungkin tidak cukup untuk mengendapkan jumlah molekul polutan yang lebih besar pada konsentrasi polutan awal yang lebih tinggi (Koby, dkk., 2006; Daneshvar, dkk., 2006).

2.5.3.9 Waktu Retensi

Setelah selesainya proses elektrokoagulasi untuk waktu elektrolisis tertentu, solusinya disimpan dalam periode yang tetap (waktu retensi) untuk memungkinkan pengendapan spesies terkoagulasi. Sering waktu retensi ditingkatkan, efisiensi penghilangan polutan meningkat. Hal ini dikarenakan dengan adanya peningkatan waktu retensi, semua spesies

yang terkoagulasi mudah mengendap untuk memberikan cairan supernatan yang jernih dan lumpur. Tetapi memberikan waktu retensi lebih dari waktu retensi optimal menghasilkan pengurangan efisiensi penghilangan polutan karena polutan yang teradsorpsi akan kembali ke dalam larutan (Khandegar, dkk., 2013).

2.5.3.10 Pasivasi Elektroda

Pasivasi elektroda adalah akumulasi lapisan penghambat pada permukaan elektroda. Pasivasi tidak diinginkan untuk proses pelarutan anoda dan elektrokoagulasi. Kontrol utama pasivasi adalah mode operasi galvanostatik. Penggunaan air deionisasi dapat meminimalkan keberadaan kontaminan seperti karbonat, yang dapat dengan mudah mempasivasi elektroda. Elektroda harus dibersihkan secara mekanis secara berkala untuk menghilangkan material yang terpasivasi. Pembentukan korosi pada elektroda dapat dihilangkan dengan menggunakan AC sebagai pengganti DC dalam proses elektrokoagulasi (Khandegar, dkk., 2013).

2.5.3.11 Jarak Antar-elektroda

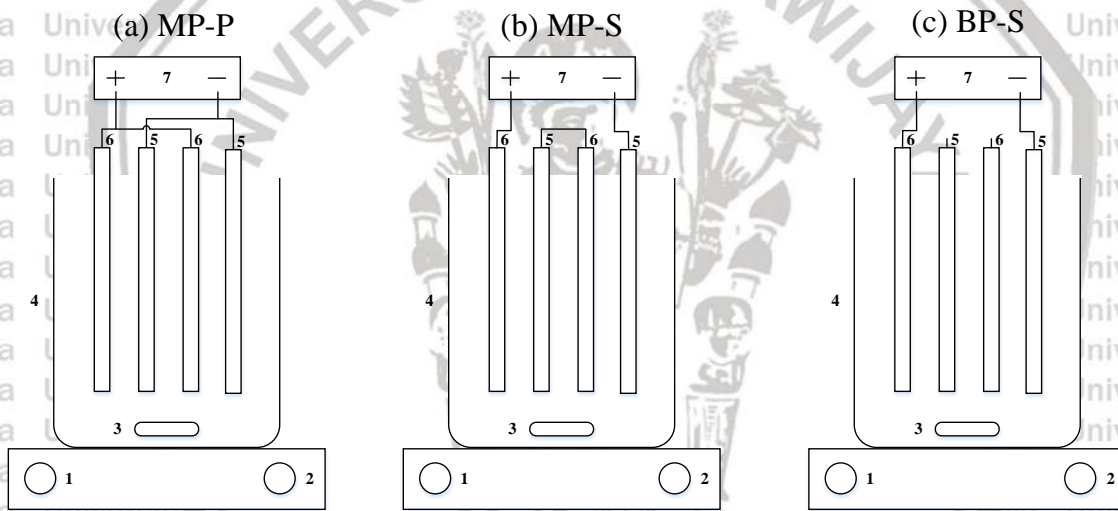
Jarak antar-elektroda memainkan peran penting dalam proses elektrokoagulasi karena medan elektrostatik tergantung pada jarak antara anoda dan katoda. Efisiensi penghilangan polutan maksimum diperoleh dengan menjaga jarak optimal antara elektroda. Pada jarak antar-elektroda minimum, efisiensi penghilangan polutan rendah. Efisiensi pemindahan polutan meningkat dengan meningkatnya jarak antar-elektroda dari minimum hingga jarak optimal antara elektroda. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa dengan semakin meningkatnya jarak antara elektroda, ada penurunan efek elektrostatik yang mengakibatkan pergerakan ion yang dihasilkan lebih lambat. Hal ini memberikan lebih banyak waktu bagi hidroksida logam yang dihasilkan untuk membentuk gumpalan yang akan meningkatkan efisiensi penghilangan polutan dalam larutan. Pada peningkatan jarak elektroda lebih dari jarak elektroda optimal, terjadi pengurangan efisiensi penghilangan polutan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa waktu tempuh ion meningkat dengan peningkatan jarak antara elektroda. Hal ini menyebabkan penurunan tarikan elektrostatik yang mengakibatkan pembentukan lebih sedikit gumpalan yang dibutuhkan untuk mengentalkan polutan (Khandegar, dkk., 2013).

2.5.3.12 Temperatur

Temperatur dari air juga akan mempengaruhi proses elektrokoagulasi. Pelarutan anoda Al diselidiki dalam rentang suhu air dari 2 hingga 90 °C, dimana terjadi peningkatan efisiensi arus Al ketika suhu air meningkat dari 2 hingga 30 °C. Namun, ketika suhu di atas 60 °C, efisiensi arus mulai berkurang. Dalam hal ini, volume koloid Al(OH)₃ akan berkurang dan pori-pori yang dihasilkan pada anoda Al akan tertutup (Comninellis dan Chen, 2010).

2.5.3.13 Konfigurasi Elektroda

Menurut Khandegar, dkk. (2013) konfigurasi elektroda pada sistem reaktor batch atau kontinu proses elektrokoagulasi terdiri dari monopolar dan bipolar yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dibawah ini.



- 1. Temperature controller
- 2. Stirring controller
- 3. Magnetic bar
- 4. EC cell
- 5. Cathode
- 6. Anode
- 7. DC power supply

Gambar 2.5 Konfigurasi elektroda (a) monopolar paralel, (b) monopolar seri, dan (c) bipolar seri

Sumber : Khandegar, dkk. (2013)

Elektroda monopolar dalam koneksi paralel (MP-P): Anoda dan katoda terhubung secara paralel karena arus dibagi antara semua elektroda dengan resistensi sel individu (Khandegar, dkk., 2013). Oleh karena itu, beda potensial yang lebih rendah diperlukan dalam koneksi paralel, jika dibandingkan dengan koneksi seri (Comninellis dan Chen, 2010).

Dalam elektroda monopolar dalam koneksi seri (MP-S), setiap pasangan elektroda pengorbanan (*sacrificial anodes*) terhubung secara internal antara satu sama lain.

Penambahan tegangan sel mengarah pada perbedaan potensial yang lebih tinggi untuk arus

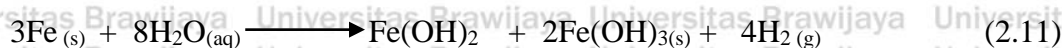
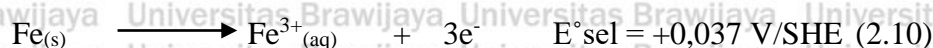
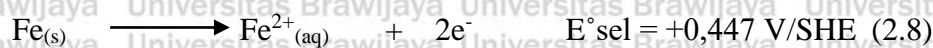


yang diberikan (Khandegar, dkk., 2013). Dalam elektroda bipolar dalam koneksi serial (BP-S), elektroda luar terhubung ke sumber listrik dan tidak ada sambungan listrik antara elektroda dalam (Khandegar, dkk., 2013). Jenis koneksi ini memiliki pengaturan yang sederhana dan memiliki biaya perawatan yang lebih sedikit selama proses elektrokoagulasi (Comminellis dan Chen, 2010). Koby, dkk. (2011) memberi tahu bahwa konfigurasi monopolar paralel (MP-P) adalah yang paling efektif untuk elektroda aluminium dan besi.

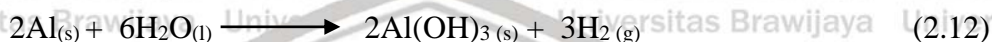
2.6 Koagulan

Koagulan merupakan senyawa yang memiliki luas permukaan cukup besar sehingga bermanfaat untuk mengadsorpsi secara cepat senyawa organik terlarut dan menjebak partikel-partikel koloid (Can, O.T., 2003). Koagulan dapat dihasilkan dalam proses elektrokoagulasi. Contoh dari koagulan yang dapat dihasilkan dalam proses elektrokoagulasi dan dapat digunakan untuk mengadsorpsi senyawa organik terlarut adalah Besi Hidroksida, Besi (III) Hidroksida dan Aluminium Hidroksida (Can, O. T., 2003).

Proses elektrokoagulasi dengan menggunakan material besi (Fe) sebagai anoda dapat menghasilkan koagulan berupa besi hidroksida dan besi (III) hidroksida. Besi hidroksida merupakan senyawa berwarna hijau (Ghernaout, dkk., 2009) dan memiliki rumus molekul $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Besi hidroksida memiliki berat molekul sebesar 91,88 gr/mol serta densitas sebesar 3,4 gr/cm³ (Pubchem, 2020). Sedangkan besi (III) hidroksida merupakan senyawa yang memiliki warna kuning (Ghernaout, dkk., 2009) dan memiliki rumus molekul $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Besi (III) hidroksida memiliki berat molekul 106,87 gr/mol serta densitas sebesar 4,25 gr/cm³ (Pubchem, 2020). Koagulan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dapat dihasilkan dalam proses elektrokoagulasi pada rentang pH antara 7 hingga 12 ($7 \leq \text{pH} \leq 12$). Berikut merupakan reaksi yang terjadi selama proses elektrokoagulasi hingga menghasilkan koagulan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Ghernaout, dkk., 2009).



Aluminium hidroksida merupakan senyawa berwarna putih dan tidak berbau. Rumus molekul dari aluminium hidroksida adalah $\text{Al}(\text{OH})_3$. Aluminium hidroksida memiliki berat molekul sebesar 78,004 gr/mol, densitas sebesar 2,42 gr/cm³ serta tidak larut di dalam air (Pubchem, 2020). Koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dapat dihasilkan pada proses elektrokoagulasi dengan menggunakan material anoda Aluminium (Al) pada rentang pH antara 6,5 hingga 9 ($6,5 < \text{pH} < 9$) (Can, dkk., 2003). Berikut merupakan reaksi pembentukan koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Fatimah, 2018).



2.7 Spektrofotometer UV-Vis

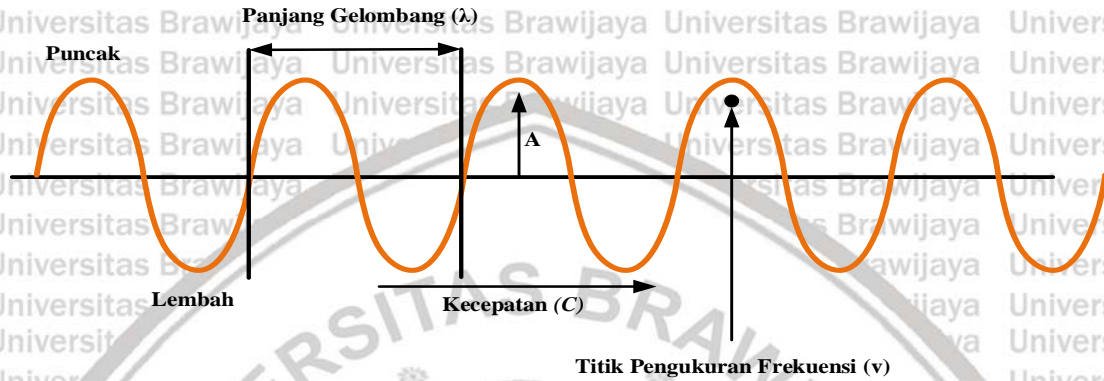
Spektrofotometer UV-Vis merupakan alat instrumentasi pengukuran panjang gelombang dan intensitas sinar ultraviolet (UV) serta cahaya tampak yang dapat diabsorpsi oleh sampel uji (Dachriyanus, 2004). Sinar ultraviolet (UV) terdiri atas 2 macam yaitu ultraviolet jauh dan ultraviolet dekat. Ultraviolet jauh adalah sinar UV yang memiliki rentang panjang gelombang diantara 10 – 200 nm sedangkan untuk ultraviolet dekat memiliki panjang gelombang antara 200 – 400 nm. Dengan adanya interaksi antara senyawa organik sebagai sampel uji dan sinar ultraviolet, maka nantinya dapat digunakan untuk menentukan struktur molekul yang ada di dalam senyawa organik tersebut (Suhartati, 2017).

Pada umumnya, spektrofotometri memiliki beberapa kegunaan yaitu: (1) untuk menentukan jenis kromofor, ikatan rangkap yang terkonjugasi dan akusokrom dari suatu senyawa organik, (2) berguna untuk memberikan informasi dari struktur senyawa organik berdasarkan panjang gelombang maksimum yang dapat diabsorpsi oleh senyawa organik, dan (4) spektrofotometer UV-Vis mampu menganalisa suatu senyawa organik sebagai sampel uji secara kuantitatif dengan berlandaskan pada hukum Lambert-Beer (Dachriyanus, 2014). Spektrofotometri UV-Vis dapat digunakan untuk menganalisa senyawa yang memiliki fasa larutan, gas atau uap. Jika sampel yang digunakan merupakan suatu larutan, maka terdapat beberapa persyaratan antara lain: (1) sampel harus terlarut secara sempurna, (2) pelarut yang digunakan tidak mengandung ikatan rangkap yang terkonjugasi pada struktur molekulnya serta tidak boleh berwarna agar pelarut tidak dapat mengabsorpsi sinar yang digunakan untuk sampel, (3) tidak diperbolehkan jika terjadi interaksi antara pelarut dengan senyawa yang dianalisis, dan (4) kemurnian pelarut harus tinggi (Suhartati, 2017).

Panjang gelombang dalam analisis spektrofotometri UV-Vis dikenal dengan lambang λ . Panjang gelombang (λ) tersebut dapat diartikan sebagai jarak antara satu lembah dan satu puncak seperti pada gambar 2.1 dibawah. Sedangkan frekuensi adalah kecepatan dari cahaya

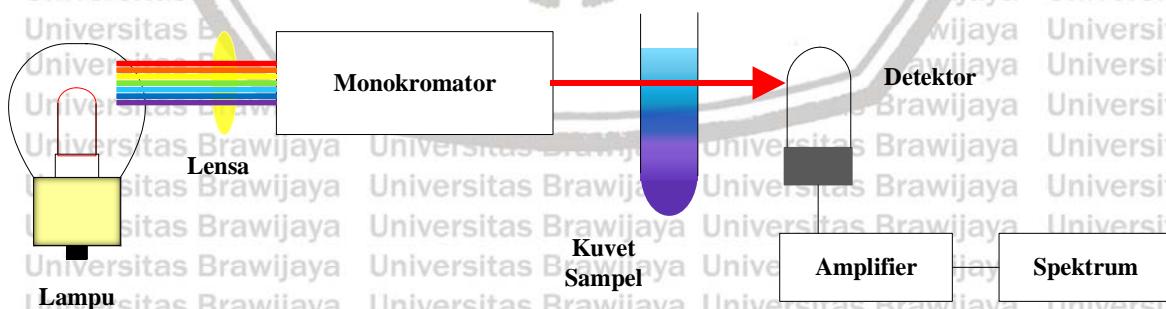
(C) dibagi dengan panjang gelombang (λ). Terdapat pula istilah bilangan gelombang (ν) yang merupakan satu satuan per panjang dari gelombang (Suhartati, 2017). Terdapat beberapa persamaan yang dapat digunakan untuk menganalisa panjang gelombang yaitu :

$$\lambda = C/ \nu \text{ atau } \nu = C/\lambda \quad (2.12)$$



Gambar 2.6 Ilustrasi Gelombang
 Sumber : Suhartati (2017)

Sumber cahaya yang biasa digunakan pada alat Spektrofotometri UV-Vis adalah lampu deuterium atau lampu hidrogen yang berguna untuk pengukuran UV serta lampu tungsten yang berguna untuk pengukuran cahaya tampak. Terdapat monokromator dengan bentuk seperti prisma yang berperan sebagai pemisah panjang gelombang (*wavelength separator*) yang berasal dari sumber cahaya. Skema alat spektrofotometri UV-Vis terbagi menjadi 2 yaitu skema alat yang menggunakan cahaya tunggal (*single beam*) dan cahaya ganda (*double beam*) (Dachriyanus, 2014).



Gambar 2.7 Skema alat spektrofotometer UV-Vis cahaya tunggal (*single beam*)
 Sumber : Suhartati (2017)





Gambar 2.8 Skema alat spektrofotometer UV-Vis cahaya ganda (*double beam*)

Sumber : Suhartati (2017)

Interaksi sinar UV nantinya akan menghasilkan transisi elektronik yang berasal dari elektron-elektron pada ikatan, baik pada ikatan pi (π) dan sigma (σ) maupun pada elektron non ikatan (n) yang terdapat di dalam sampel senyawa organik. Transisi elektronik tersebut terjadi akibat adanya peristiwa eksitasi yaitu perpindahan elektron dari orbital ikatan atau non ikatan (orbital dasar) menuju ke orbital antiikatan atau sering disebut sebagai transisi elektron dari tingkat dasar ke tingkat tereksitasi. Tingkat tereksitasi dari elektron dari molekul senyawa organik terdiri atas 2 jenis yaitu pi bintang (π^*) dan sigma bintang (σ^*). Diperlukan sejumlah energi tertentu yang besarnya sesuai dengan jenis elektron ikatan dan nonikatan agar dapat terjadi proses transisi elektronik pada molekul senyawa organik (Suhartati, 2017).

Spektrum UV-Vis yang didapatkan dari hasil analisis pada alat spektrofotometer UV-Vis akan digambarkan dalam bentuk dua dimensi, dimana absis yang menyatakan panjang gelombang dan ordinat merupakan absorban (serapan) (Suhartati, 2017). Terdapat istilah absorbansi yang menyatakan banyaknya sinar yang dapat diabsorpsi oleh sampel organik pada panjang gelombang tertentu. Absorbansi dapat dinyatakan dalam hukum Lambert-Beer (Dachriyanus, 2014):

$$A = \epsilon \cdot b \cdot C \tag{2.13}$$

$$A = E \cdot b \cdot C \tag{2.14}$$

$$E = 10 \cdot \epsilon / \text{massa molar} \tag{2.15}$$

$$T = I / I_0 \tag{2.16}$$

$$A = - \log T = - \log (I/I_0) \tag{2.17}$$

Keterangan :

A = absorban (serapan)

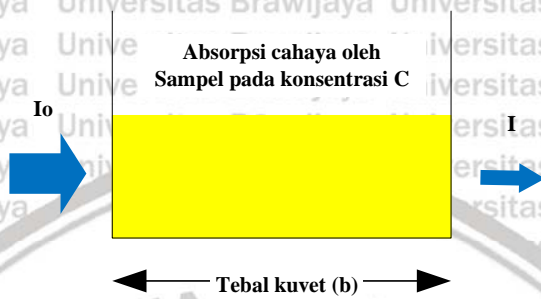
E = koefisien ekstingsi molar ($M^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

b = tebal kuvet (cm)

C = konsentrasi (M)

I = intensitas cahaya setelah melewati sampel

I_0 = intensitas cahaya awal



Gambar 2.9 Absorpsi cahaya oleh sampel

Sumber : Suhartati (2017)

2.8 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan elektrokoagulasi menggunakan zat warna Remazol dan limbah cair tekstil. Penelitian terdahulu menggunakan variasi percobaan yang berbeda-beda. Adapun beberapa penelitian tersebut terdapat pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

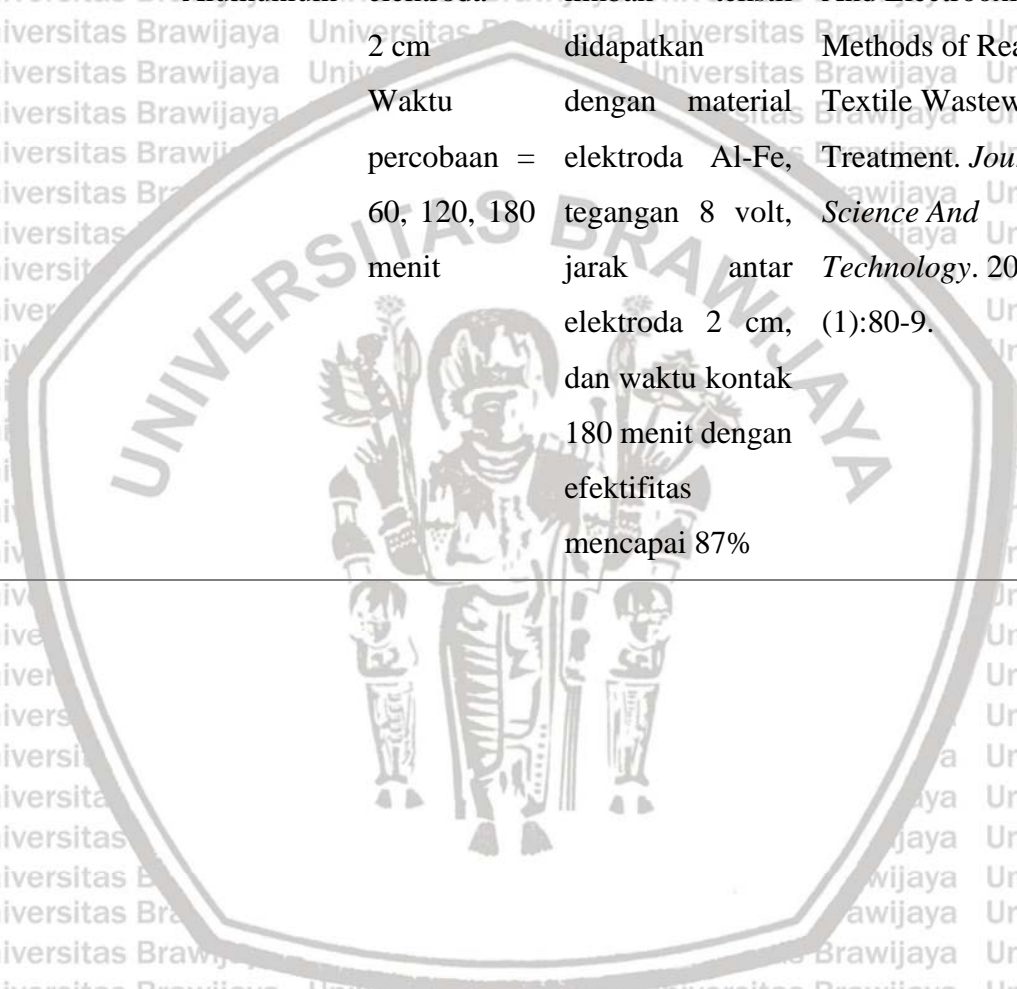
No.	Zat Warna	Elektroda	Kondisi Operasi	Hasil	Referensi
1.	Remazol Red RB	Alumunium Alumunium	Tegangan = 10, 15 Volt Jarak antar elektroda = 2, 3 cm Waktu percobaan = 60 menit	Hasil optimum pengurangan zat warna Remazol Red berada pada tegangan 10 volt, jarak antar elektroda 2 cm, dan waktu kontak 60 menit dengan efektifitas mencapai 80%	Setianingrum, N.P., Agus, P., & Sarto 2017. Pengurangan Zat Warna Remazol Red RB Menggunakan Metode Elektrokoagulasi secara Batch. <i>Jurnal Rekayasa Proses</i> . 11 (2):78-85.



No.	Zat Warna	Elektroda	Kondisi Operasi	Hasil	Referensi
2.	Remazol Red RB	Alumunium — Alumunium (Monopolar paralel — 2 pasang)	Kerapatan arus = 2,5 — 25 mA/cm ² pH = 3, 5, 6, 7, 9, 11 Kecepatan pengadukan = 100, 200, 300, 400, 500 rpm NaCl = 250 — 4000 µS/cm	Hasil optimum penyisihan zat warna Remazol Red RB didapatkan pada kerapatan arus = 15 mA/cm ² ; pH awal = 3; Kecepatan pengadukan = 200 rpm; dan NaCl = 250 µS/cm	Can, O. T., M. Bayramoglu, & M. Koby. 2003. Decolorization of Reactive Dye Solutions by Electrocoagulation Using Alumunium Electrodes. <i>Industrial and Engineering Chemistry Research</i> . 42:3391-3396.
3.	Remazol Red RB	Alumunium — <i>Stainless Steel</i> (tunggal)	Waktu kontak = 20, 40, 60, dan 80 menit pH = 2, 4, dan 7 Tegangan = 6, 9, dan 12 Volt NaCl = 3, 5, 7, dan 9 g/L	Kondisi optimum penyisihan zat warna : Waktu kontak = 60 menit, pH = 4, tegangan = 12 volt, dan NaCl = 7 g/L. Persentase penyisihan zat warna pada kondisi optimum yaitu 96,41%.	Fatimah, N., Alimuddin, & Rahmat, G. 2018. Penurunan Intensitas Warna Remazol Red RB Dalam Limbah Batik Elektrokoagulasi Menggunakan NaCl. <i>Jurnal Atomik</i> . 3 (1):39-46.



No.	Zat Warna	Elektroda	Kondisi Operasi	Hasil	Referensi
4.	Limbah Cair Tekstil	Alumunium – Besi dan Besi - Alumunium	Tegangan = 6, 8, 10 Volt Jarak antar elektroda = 2 cm Waktu percobaan = 60, 120, 180 menit	Hasil optimum pengurangan zat warna pada limbah tekstil didapatkan dengan material elektroda Al-Fe, tegangan 8 volt, jarak antar elektroda 2 cm, dan waktu kontak 180 menit dengan efektifitas mencapai 87%	Delil, A. D. & Nazim, G. 2019. Investigation of Electrocoagulation And Electrooxidation Methods of Real Textile Wastewater Treatment. <i>Journal of Science And Technology</i> . 20 (1):80-9.





Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian dengan judul Penurunan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red RB Menggunakan Elektrokoagulasi Dengan Variasi Pasangan Material Elektroda dan Kecepatan Pengadukan dilakukan dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Metode elektrokoagulasi tersebut dilakukan di dalam sel elektrokoagulasi yang tersusun atas logam elektroda. Dalam penelitian ini dilakukan proses elektrokoagulasi dengan variasi pasangan material elektroda yaitu Al-Fe dan Fe-Fe. Selain variasi pasangan material elektroda, dilakukan pula pengamatan terhadap pengaruh kecepatan pengadukan terhadap proses elektrokoagulasi zat warna Remazol Red RB. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mendapatkan data hasil eksperimen yang dapat menjelaskan bagaimana pengaruh dari variasi pasangan material elektroda dan kecepatan pengadukan terhadap proses elektrokoagulasi.

3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Sains Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya pada tanggal 12 Desember 2019 hingga 31 Januari 2020.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variasi pasangan material elektroda yaitu Al – Fe dan Fe – Fe.
2. Variasi kecepatan pengadukan cepat yaitu 0, 50, 100, 150 dan 200 rpm.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian

1. Neraca Analitik
2. Kaca Arloji
3. Spatula

4. *Beaker Glass* 1000 mL
5. *Beaker Glass* 250 mL
6. *Hotplate dan Magnetic Stirrer*
7. Pipet Ukur 1 mL
8. *Rubber Bulb*
9. Oven
10. Cawan Porselen
11. *Crucible Tank*
12. Stopwatch
13. Desikator
14. *DC Power Supply*
15. *Magnetic bar stirrer*
16. Kabel Positif
17. Kabel Negatif
18. Penjepit
19. Papan Triplek
20. Pipet Ukur 10 mL
21. Labu Ukur 100 mL
22. Gelas Ukur 10 mL
23. *Filtering Flask*
24. *Corong Buchner*
25. Pompa

3.4.2 Bahan Penelitian

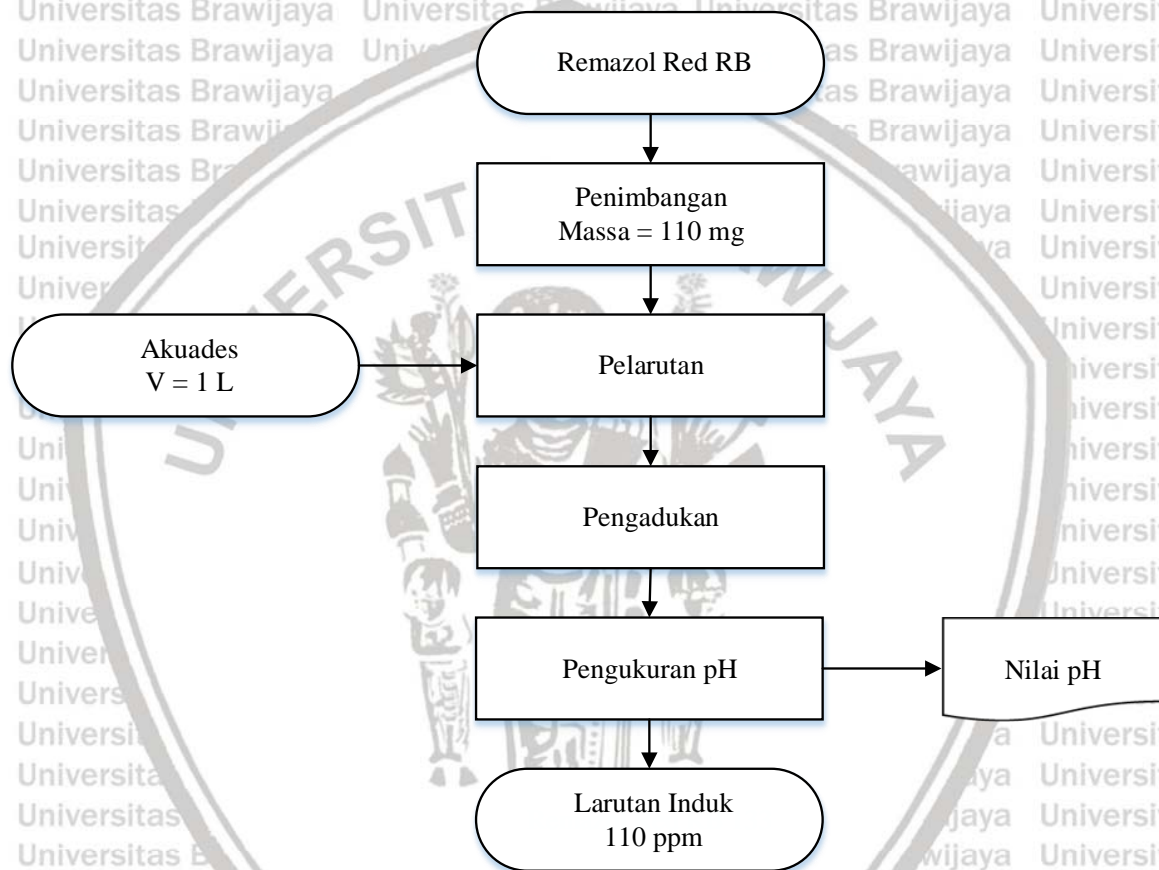
1. *Remazol Red RB*
2. Akuades
3. Elektroda Al
4. Elektroda Fe
5. Amplas
6. Aseton
7. HCL
8. NaOH
9. Kertas Saring
10. pH universal



3.5 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian terdapat beberapa prosedur yang digunakan yaitu pembuatan larutan induk, perlakuan awal elektroda, persiapan rangkaian sel elektrokoagulasi, proses elektrokoagulasi, pengukuran perubahan konsentrasi, analisis berat elektroda, dan penimbangan flok.

3.5.1 Pembuatan Larutan Induk



Gambar 3.1 Diagram Alir Pembuatan Larutan Induk

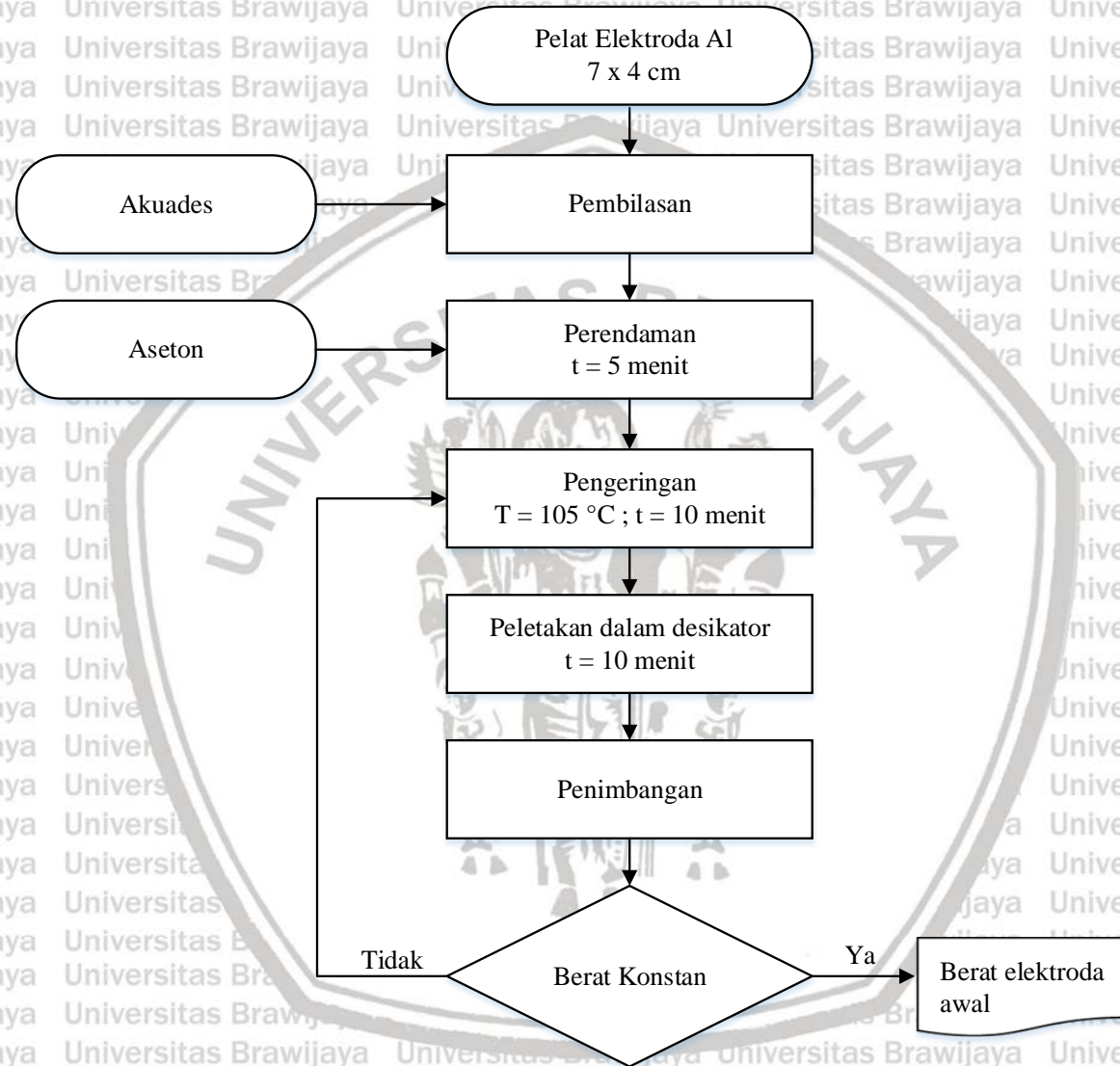
Larutan induk dibuat dengan melarutkan 110 mg serbuk Remazol Red RB dalam 1 L akuades. Larutan induk ini akan digunakan sebagai sampel limbah sintesis dengan pembagian sampel sebanyak 200 mL untuk setiap percobaan. Selain itu, larutan induk akan digunakan dalam pembuatan larutan standar dan sebagai sampel uji limbah sintesis awal (sebelum dilakukan elektrokoagulasi) dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis.

3.5.2 Perlakuan Awal Elektroda

Perlakuan awal elektroda dalam penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu berdasarkan pasangan material elektroda yang digunakan. Untuk elektroda aluminium terdapat dua

perlakuan awal yaitu pembilasan dengan akuades dan perendaman dalam aseton. Sedangkan untuk elektroda besi, dilakukan perlakuan awal tambahan yaitu pengampelasan.

3.5.2.1 Perlakuan Awal Elektroda Al

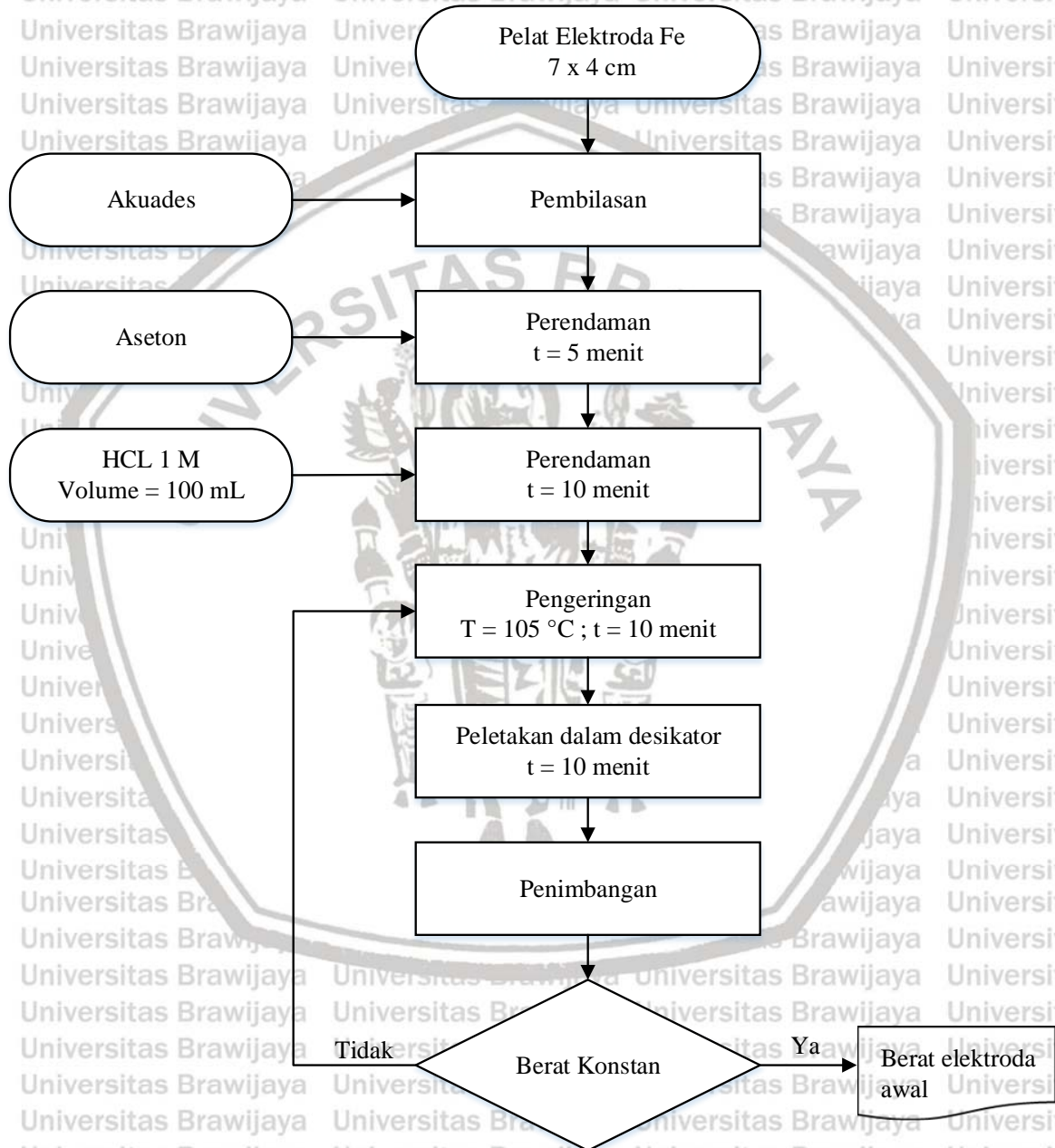


Gambar 3.2 Diagram Alir Perlakuan Awal Elektroda Al

Perlakuan awal pelat elektroda Al yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi 2 tahap. Tahap pertama yaitu pembilasan dengan akuades yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor yang menempel pada permukaan elektroda. Tahap kedua yaitu perendaman elektroda dengan aseton selama lima menit yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor berupa lemak. Setelah dilakukan perlakuan awal, pelat elektroda selanjutnya dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105 – 110 °C selama 10 menit. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang terdapat pada permukaan elektroda. Setelah dilakukan pengeringan dalam oven, pelat elektroda dimasukkan ke dalam

desikator selama 10 menit untuk menjaga pelat elektroda agar tidak menyerap uap air dari udara yang dapat mempengaruhi hasil penimbangan. Setelah itu, pelat elektroda ditimbang dengan menggunakan neraca analitik hingga didapatkan berat konstan.

3.5.2.2 Perlakuan Awal Elektroda Fe



Gambar 3.3 Diagram Alir Perlakuan Awal Elektroda Fe

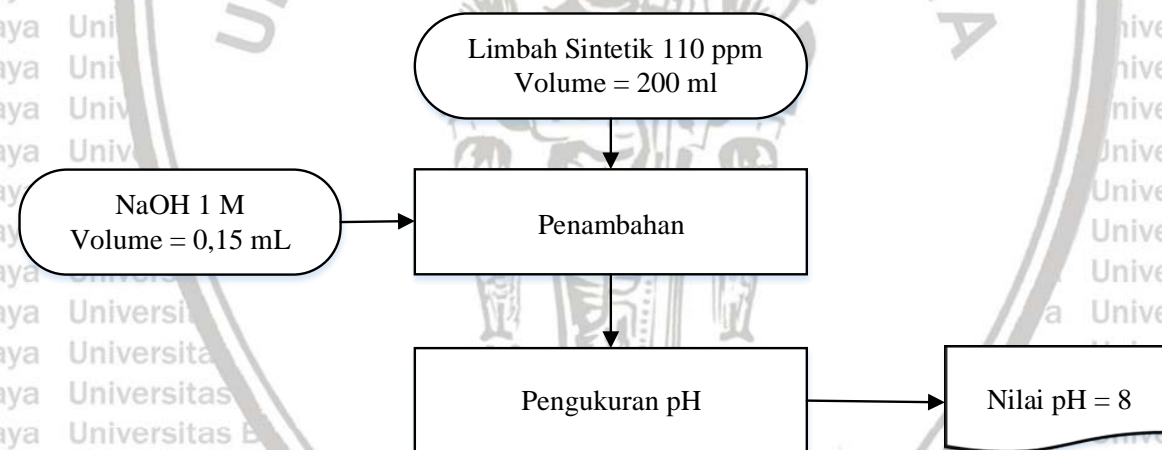
Perlakuan awal pada elektroda Fe sama seperti perlakuan awal pada elektroda Al yaitu pembilasan dengan akuades, perendaman dalam aseton, pengeringan dengan menggunakan oven, peletakkan dalam desikator dan penimbangan massa elektroda dengan menggunakan neraca analitik. Namun untuk pelat elektroda Fe terdapat satu langkah tambahan yaitu

perendaman dalam HCl 1 M dengan tujuan untuk menghilangkan *coating* dan karat yang mungkin terdapat pada permukaan elektroda.

3.5.3 Pengondisian pH Limbah Sintetis

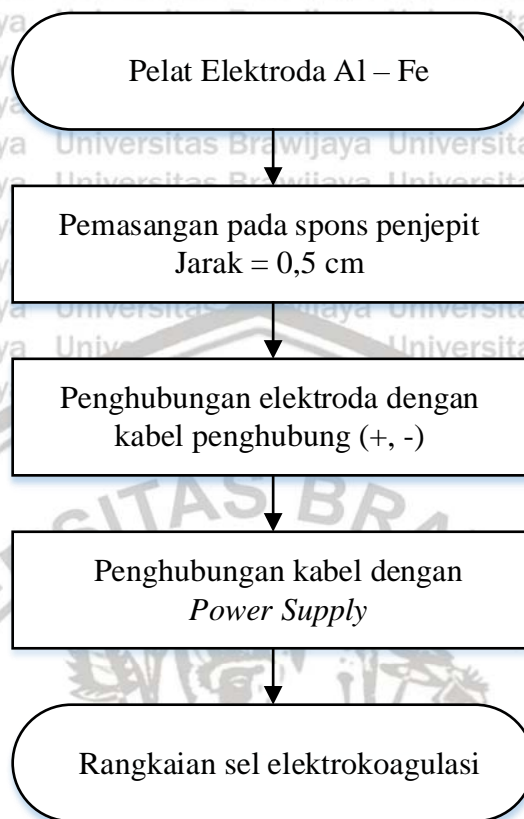
Limbah sintetis dikondisikan dalam keadaan basa atau pada pH 8. Hal ini dilakukan dengan menambahkan NaOH 1 M sebanyak 0,15 ml ke dalam 200 mL limbah sintetis.

Tujuan dari pengondisian limbah sintetis dalam kondisi basa adalah untuk mengondisikan ion OH^- dalam limbah sintetis dalam keadaan berlebih sehingga akan membentuk koagulan ($\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$) dan juga ion Na^+ dari gugus sulfonat ($\text{R-SO}_3\text{Na}$) yang terdapat dalam zat warna Remazol Red RB akan berikatan dengan ion OH^- sehingga ion SO_3^- akan berikatan dengan koagulan yang bermuatan positif. Sedangkan pH dijaga tidak lebih dari 8 dengan tujuan untuk menjaga ion OH^- agar tidak terlalu berlebih karena hal ini dapat menyebabkan ketidakefektifan dalam proses penyisihan zat warna. Proses pengondisian pH limbah sintetis adalah sebagai berikut.



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengondisian pH Limbah Sintetis

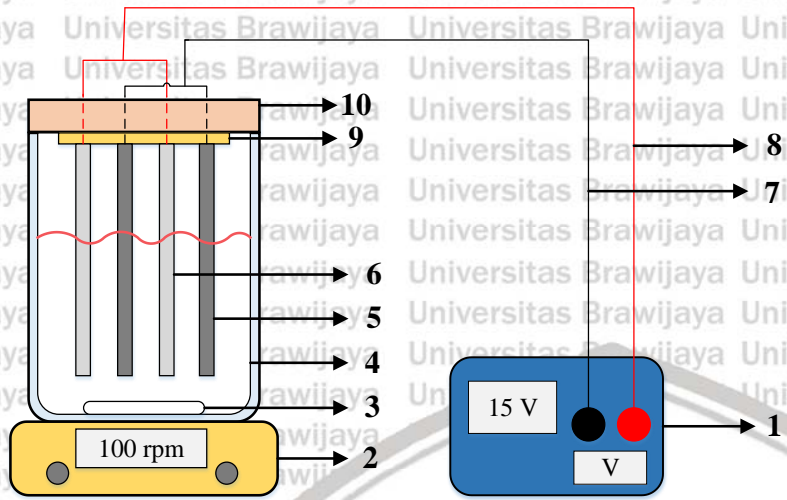
3.5.4 Persiapan Rangkaian Sel Elektrokoagulasi



Gambar 3.5 Diagram Alir Persiapan Sel Elektrokoagulasi

Catatan : Perlakuan ini diulangi untuk elektroda Fe - Fe.

Tahap awal dalam persiapan sel elektrokoagulasi adalah pemasangan pelat elektroda secara paralel pada spons penjepit dengan jarak antar elektroda sebesar 0,5 cm. Pelat elektroda yang digunakan memiliki ukuran 7 x 4 cm dengan luas area tercelup sebesar 16 cm² (4 x 4 cm). Elektroda tersebut disusun dalam konfigurasi monopolar paralel. Ujung atas anoda (elektroda 1 dan 3) dihubungkan dengan kabel positif (+) dan katoda (elektroda 2 dan 4) dihubungkan dengan kabel negatif (-) pada *power supply*. Adapun rangkaian sel elektrokoagulasi disusun sebagai berikut.

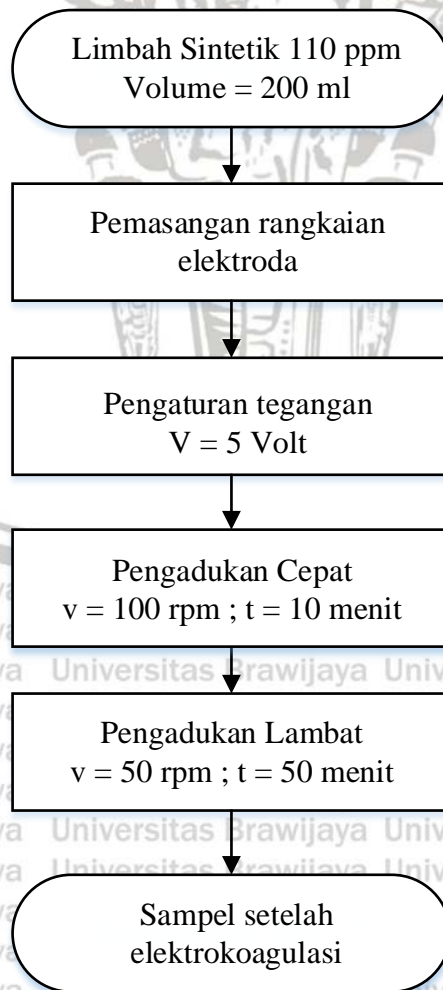


Keterangan :

1. Power supply
2. Digital magnetic stirrer
3. Magnetic bar stirrer
4. Beaker glass
5. Pelat katoda
6. Pelat anoda
7. Kabel Negatif
8. Kabel Positif
9. Penjepit
10. Karton Duplex

Gambar 3.6 Rangkaian Sel Elektrokoagulasi

3.5.5 Proses Elektrokoagulasi



Gambar 3.7 Diagram Alir Proses Elektrokoagulasi

Catatan : Perlakuan ini diulangi untuk kecepatan pengadukan cepat 0, 50, 100, 150, dan 200 rpm.

Perlakuan ini diulangi untuk elektroda Fe - Fe.

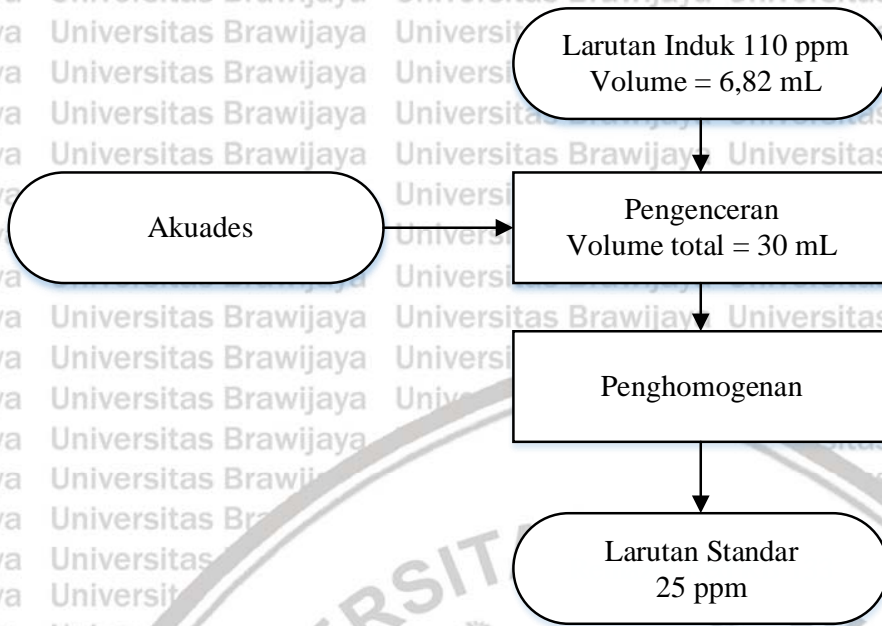
Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan menggunakan dua variabel yaitu kecepatan pengadukan dan pasangan material elektroda. Variabel kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 0, 50, 100, 150, dan 200 rpm pada 10 menit pertama proses elektrokoagulasi. Sedangkan untuk variabel pasangan material elektroda yang digunakan adalah Al - Fe dan Fe - Fe. Proses elektrokoagulasi dilakukan selama 60 menit dengan tegangan 5 volt.

3.5.6 Pembuatan Kurva Baku

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan kurva baku yang bertujuan untuk menghitung konsentrasi sampel setelah proses elektrokoagulasi. Kurva baku merupakan grafik hubungan antara konsentrasi dengan absorbansi. Untuk mendapatkan data absorbansi dan konsentrasi, maka dilakukan uji spektrofotometri UV-Vis dengan menggunakan larutan standar yang telah diketahui konsentrasi. Larutan standar yang digunakan dalam penelitian ini memiliki konsentrasi 0, 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm. Larutan standar 0 ppm atau larutan blanko yang digunakan adalah akuades sebanyak 10 mL. Pembuatan larutan standar 25 ppm dilakukan dengan mengencerkan larutan induk 110 ppm dengan akuades hingga volumenya menjadi 30 mL. Sedangkan untuk pembuatan larutan standar 5, 10, 15, dan 20 ppm dilakukan pengenceran larutan standar 25 ppm dengan menggunakan akuades. Proses pembuatan larutan standar adalah sebagai berikut.

3.5.6.1 Pembuatan Larutan Standar 25 ppm

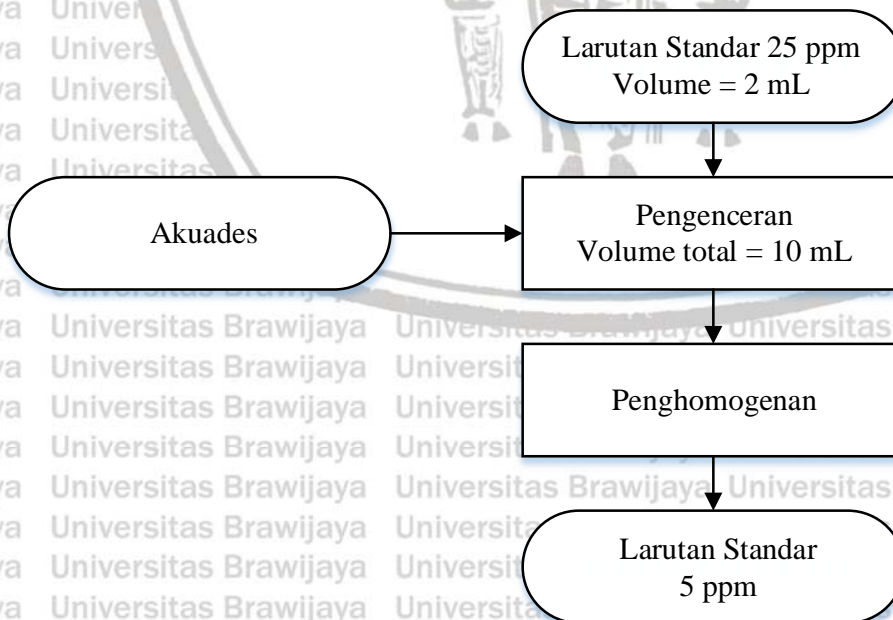
Larutan standar 25 ppm dibuat dengan cara mengencerkan larutan induk 110 ppm sebanyak 6,82 ml dengan akuades hingga volumenya menjadi 30 mL. Langkah pengenceran larutan induk 110 ppm menjadi larutan standar 25 ppm adalah sebagai berikut.



Gambar 3.8 Diagram Alir Pembuatan Larutan Standar 25 ppm

3.5.6.2 Pembuatan Larutan Standar 5, 10, 15, dan 20 ppm

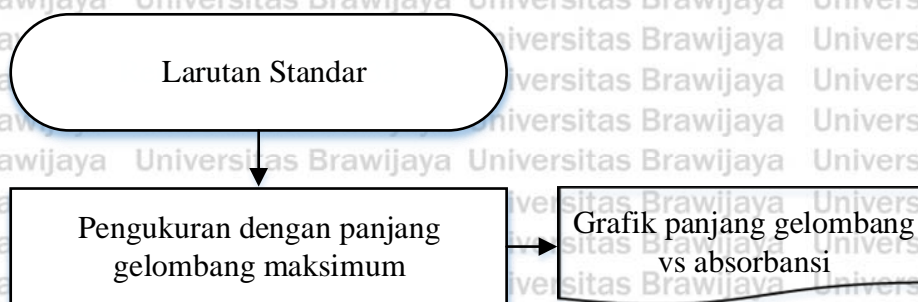
Larutan standar 5, 10, 15, dan 20 ppm dibuat dengan cara mengencerkan larutan standar 25 ppm dengan akuades. Langkah pengenceran larutan standar 25 ppm menjadi 5, 10, 15, dan 20 ppm adalah sebagai berikut.



Gambar 3.9 Diagram Alir Pembuatan Larutan Standar 5 ppm

Catatan : Perlakuan ini diulang dengan penambahan larutan standar 25 ppm sebanyak 4, 6, dan 8 ml pada labu ukur 10 ml untuk menghasilkan larutan standar dengan konsentrasi 10, 15, dan 20 ppm.

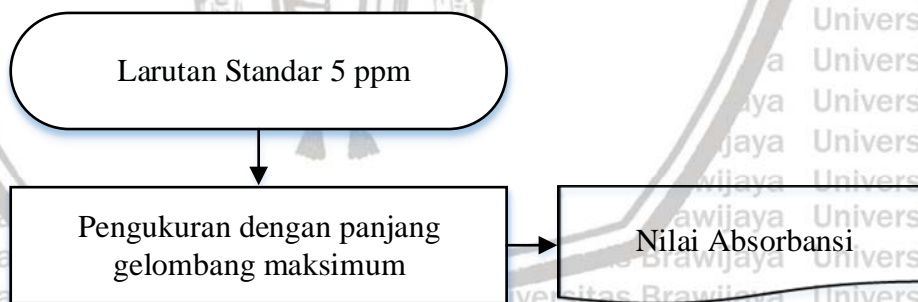
3.5.6.3 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum



Gambar 3.10 Diagram Alir Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Penentuan panjang gelombang maksimum dengan menggunakan salah satu larutan standar bertujuan untuk mengetahui posisi panjang gelombang pada puncak terakhir hasil pembacaan. Pengukuran panjang gelombang maksimum dilakukan dengan menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400 – 750 nm yang didasarkan oleh spektrum dari cahaya tampak yang terjadi pada rentang panjang gelombang tersebut. Dari hasil pengukuran tersebut akan diperoleh grafik antara panjang gelombang dengan nilai absorbansi.

3.5.6.4 Pengukuran Absorbansi Larutan Standar



Gambar 3.11 Diagram Alir Pengukuran Absorbansi Larutan Standar

Catatan : Perlakuan ini diulangi untuk larutan standar 10, 15, 20, dan 25 ppm serta larutan blanko.

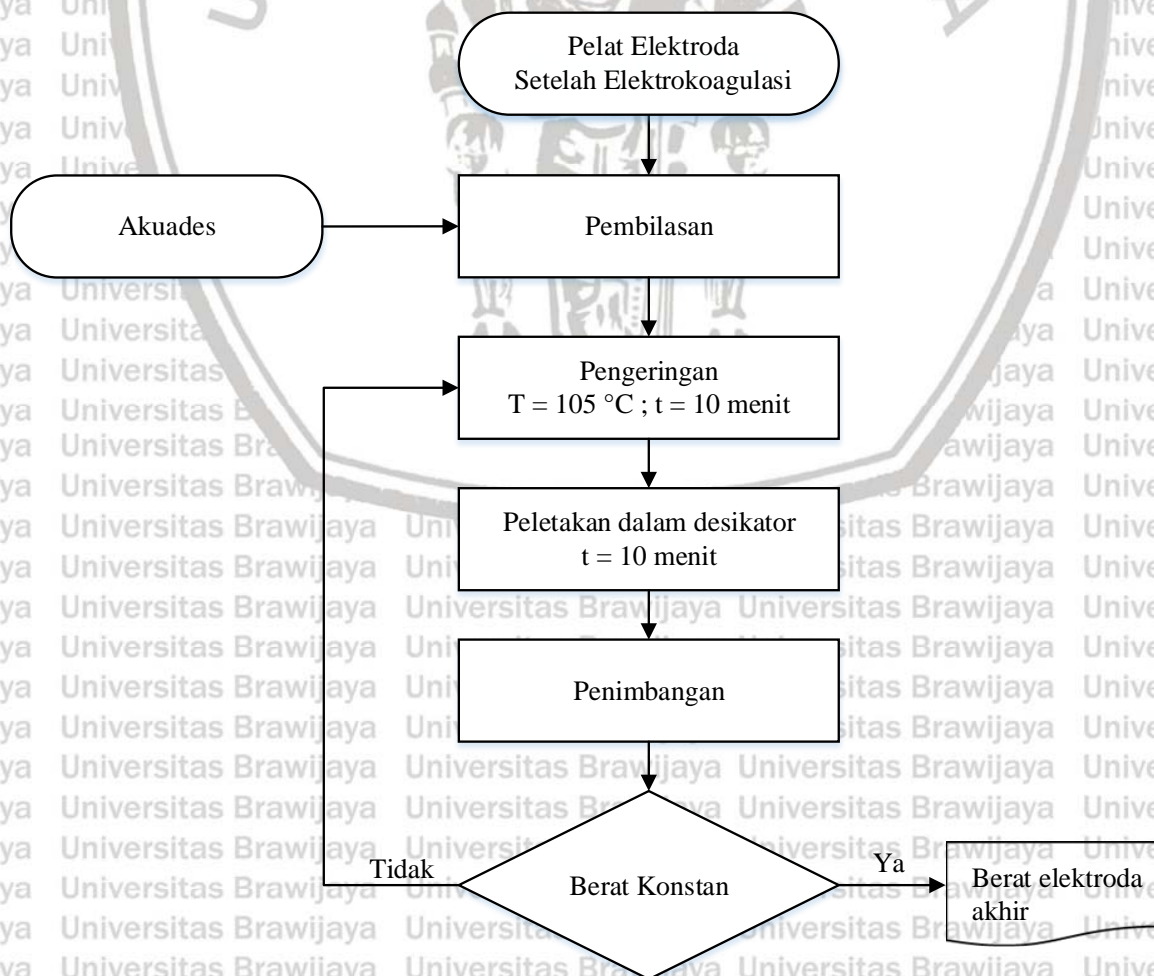
3.5.6.5 Pengukuran Absorbansi Sampel



Gambar 3.12 Diagram Alir Pengukuran Absorbansi Sampel

Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran absorbansi pada sampel uji yang diambil dengan interval waktu setiap 10 menit. Nilai absorbansi dari masing-masing sampel kemudian akan digunakan untuk mengetahui nilai konsentrasi akhir dari sampel dengan menggunakan kurva baku berdasarkan persamaan Lambert-Beer.

3.5.7 Perlakuan Akhir Elektroda

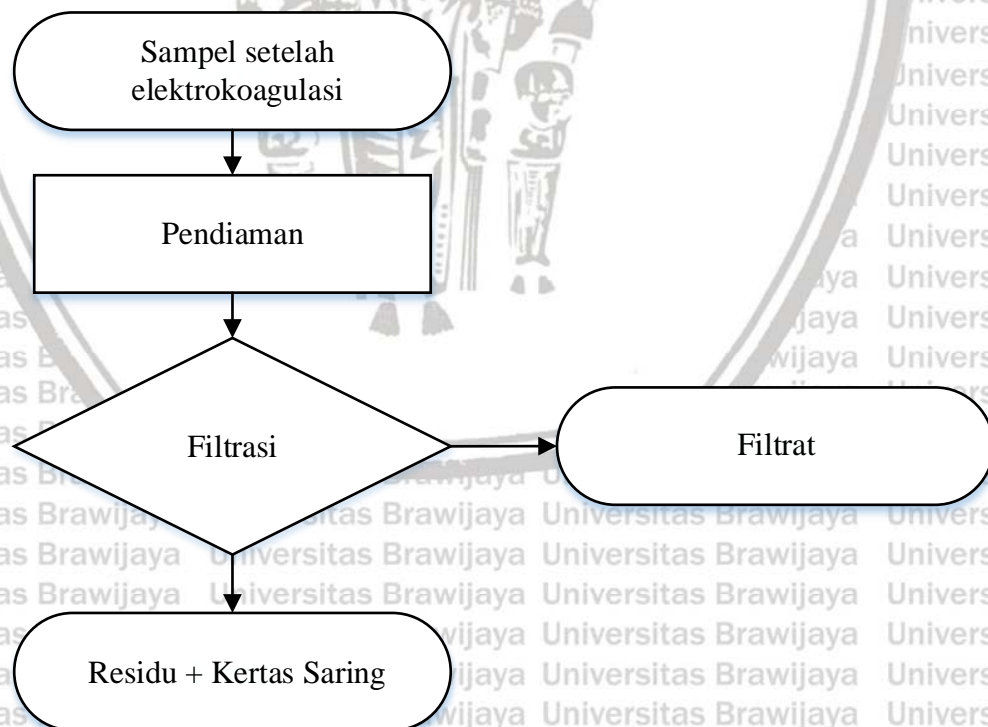


Gambar 3.13 Diagram Alir Analisis Berat Elektroda

Pada tahap ini, pelat elektroda yang telah digunakan dalam proses elektrokoagulasi dibilas terlebih dahulu dengan menggunakan akuades. Hal ini bertujuan untuk membersihkan pelat elektroda dari partikel yang mengendap pada permukaan elektroda. Setelah dibilas dengan akuades, pelat elektroda dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105 – 110 °C selama 10 menit. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kadar air yang terdapat pada permukaan elektroda. Setelah dilakukan pengeringan dalam oven, pelat elektroda dimasukkan ke dalam desikator selama 10 menit dengan tujuan untuk menghilangkan uap air yang didapatkan dari proses pengeringan dengan oven. Setelah itu, pelat elektroda ditimbang dengan menggunakan neraca analitik hingga didapatkan berat konstan. Penimbangan dilakukan untuk mengetahui perubahan massa elektroda sebelum dan sesudah proses elektrokoagulasi.

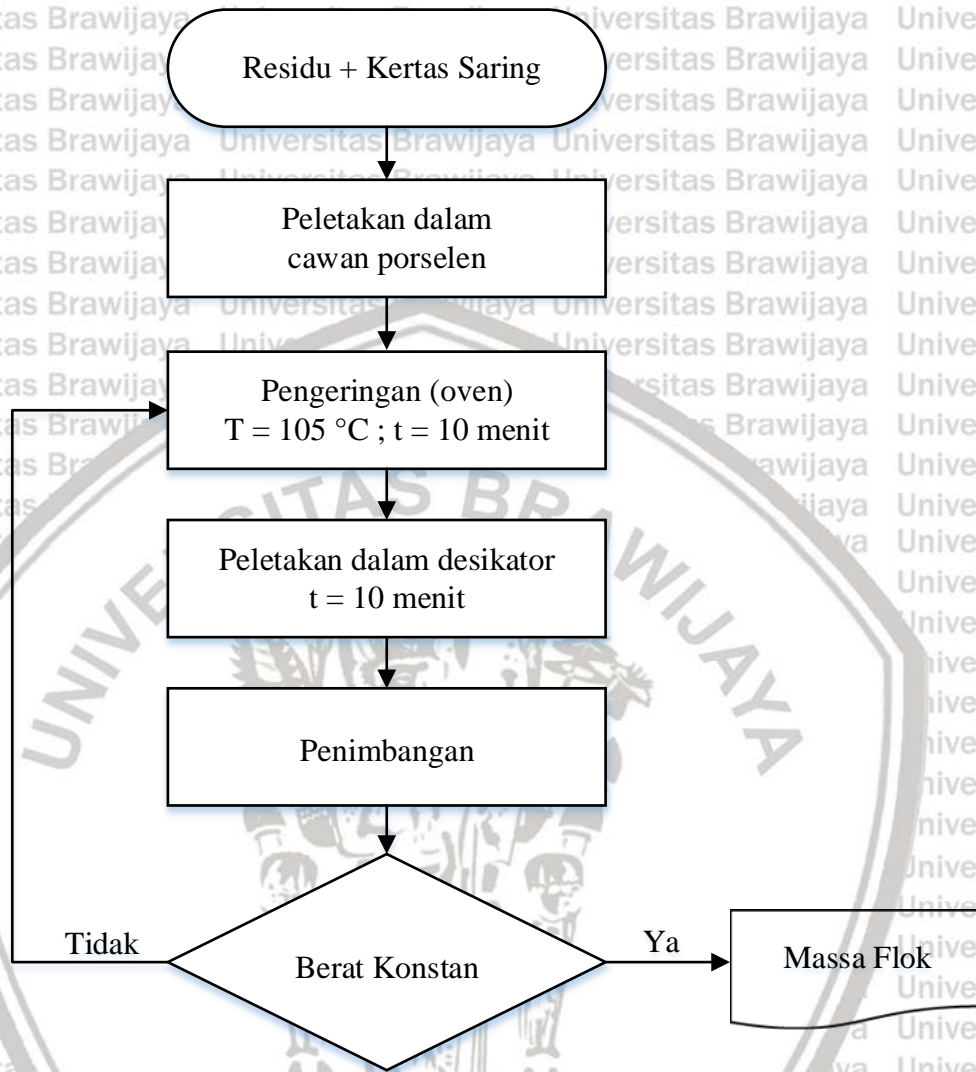
3.5.8 Proses Filtrasi Limbah Sintetis

Setelah dilakukan proses elektrokoagulasi, sampel limbah sintetis Remazol Red RB didiamkan terlebih dahulu sebelum dilakukan penyaringan atau filtrasi untuk memisahkan padatan dengan larutan sampel. Proses filtrasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.14 Diagram Alir Proses filtrasi limbah sintetis

3.5.9 Penimbangan Flok



Gambar 3.15 Diagram Alir Penimbangan Flok

Penimbangan flok dilakukan untuk mengetahui massa flok yang terbentuk setelah proses elektrokoagulasi. Flok-flok yang terbentuk disaring terlebih dahulu menggunakan kertas saring kemudian dilakukan proses filtrasi. Residu dari proses filtrasi dikeringkan dalam oven dengan suhu 105 – 110 °C untuk menghilangkan kadar air. Setelah itu dilakukan peletakan di dalam desikator untuk menghilangkan uap air yang terbentuk selama proses pengeringan dalam oven. Dan setelah itu, padatan ditimbang hingga didapatkan berat konstan.

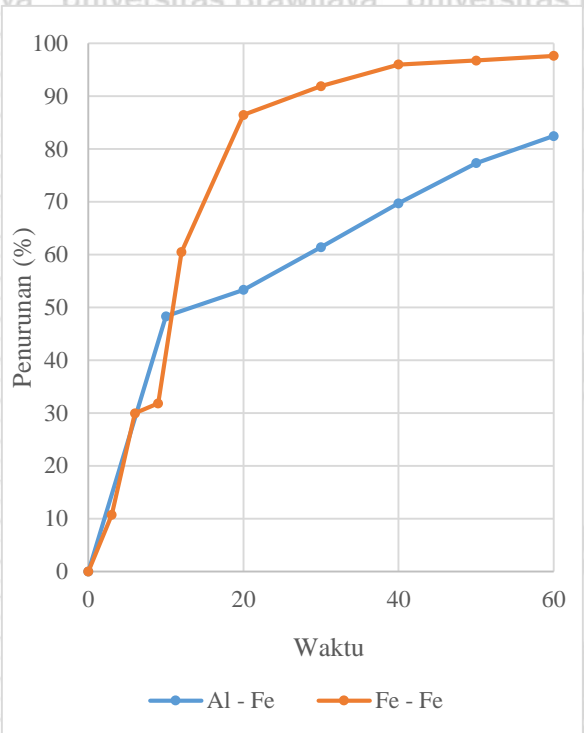
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pasangan material elektroda dan kecepatan pengadukan terhadap persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB pada limbah pewarna tekstil. Konsentrasi zat warna awal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 110 ppm sesuai dengan hasil uji awal parameter limbah cair industri batik Kota Yogyakarta (Setianingrum, 2016). Variasi pasangan material elektroda yang digunakan adalah Al – Fe (Al sebagai anoda dan Fe sebagai katoda) dan Fe – Fe (Fe sebagai anoda dan katoda). Sedangkan untuk kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 0 rpm, 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm. Konfigurasi elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah monopolar paralel (MP-P) dengan tegangan elektrokoagulasi sebesar 5 V dan jarak antar elektroda sebesar 0,5 cm. Proses elektrokoagulasi berlangsung selama 60 menit dengan interval pengambilan sampel setiap 10 menit untuk variabel Al – Fe. Sedangkan untuk variabel Fe – Fe, pengambilan sampel dilakukan setiap 3 menit pada 12 menit pertama dan dilanjutkan setiap 10 menit dari menit ke- 20 hingga ke- 60. Hal ini dikarenakan perubahan warna yang terjadi pada variabel Fe – Fe berlangsung cukup cepat pada awal proses elektrokoagulasi. Sampel yang telah diambil akan dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis untuk mengetahui konsentrasinya. Hasil uji tersebut akan digunakan untuk menghitung persentase penyisihan zat warna Remazol Red RB.

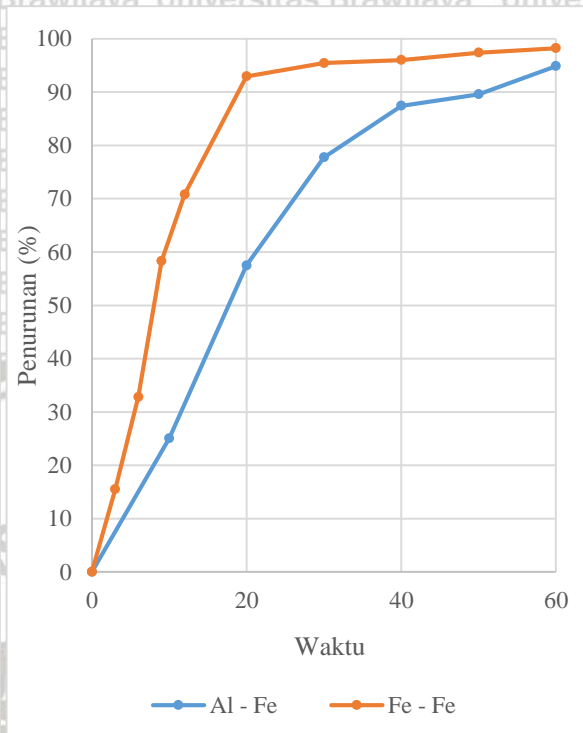
4.1 Pengaruh Pasangan material elektroda terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red RB

Variasi pasangan material elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah Al – Fe dan Fe – Fe dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh pasangan material elektroda terhadap persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB pada limbah pewarna tekstil.

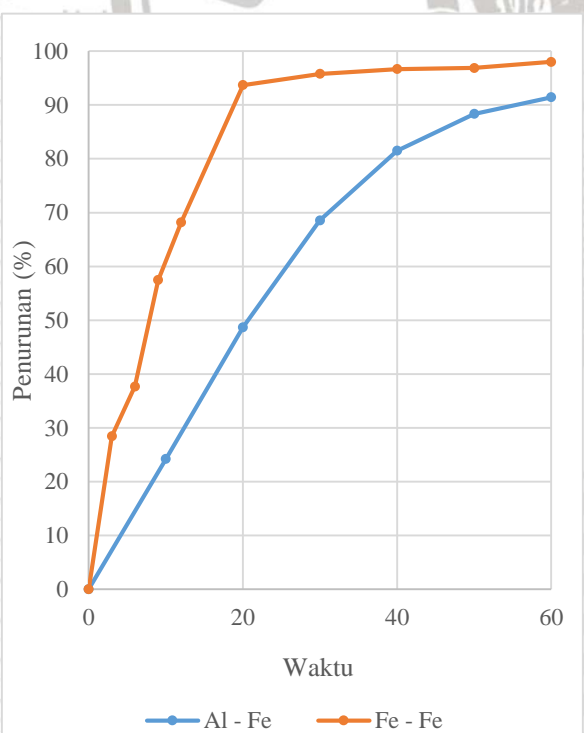
Pengaruh pasangan material elektroda terhadap persentase penurunan konsentrasi Remazol Red RB ditunjukkan pada grafik di bawah ini.



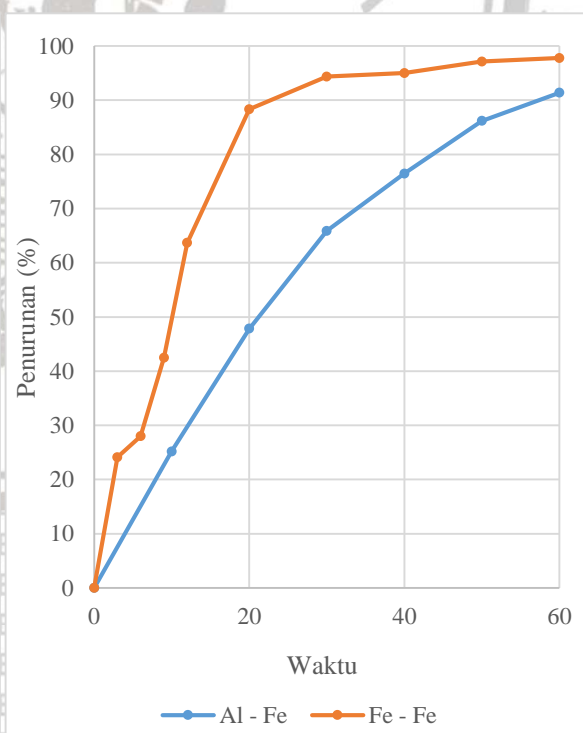
(a)



(b)

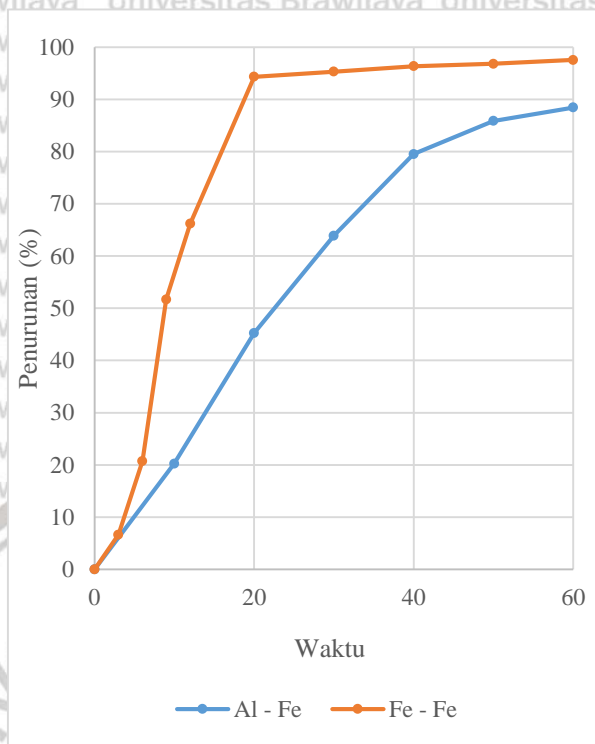


(c)



(d)





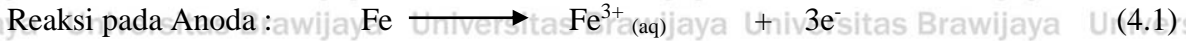
(e)

Gambar 4.1 Grafik persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB terhadap waktu pada variasi pasangan material elektroda dengan kecepatan pengadukan (a) 0 rpm (b) 50 rpm (c) 100 rpm (d) 150 rpm dan (e) 200 rpm

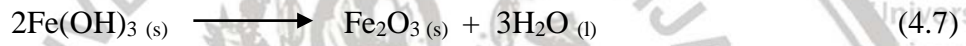
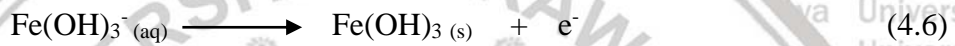
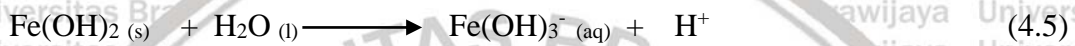
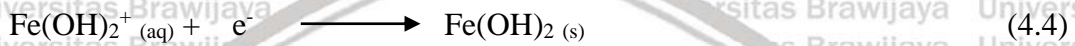
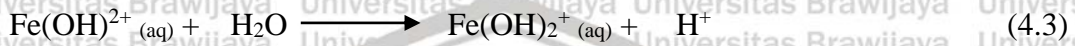
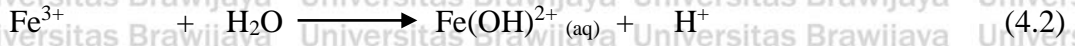
Berdasarkan grafik pada Gambar 4.1 dapat diketahui bahwa persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB mengalami peningkatan selama proses elektrokoagulasi berlangsung pada semua variasi pasangan material elektroda untuk setiap kecepatan pengadukan. Peningkatan persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB disebabkan oleh adanya interaksi yang terjadi antara partikel zat warna dengan koagulan yang dinamakan interaksi elektrostatis (Muharam, dkk., 2017). Interaksi elektrostatis merupakan interaksi yang terjadi karena adanya gaya tarik menarik antara partikel bermuatan positif dengan partikel bermuatan negatif (Schaeffer, 2015). Partikel zat warna yang bermuatan negatif (gugus sulfonat) akan berinteraksi dengan koagulan yang bermuatan positif membentuk mikroflok. Fenomena interaksi elektrostatis dapat diamati secara fisik melalui perubahan warna yang terjadi selama proses elektrokoagulasi. Pada penggunaan pasangan material elektroda Fe – Fe terjadi beberapa tahap perubahan warna yaitu merah, merah kecokelatan, oranye atau jingga, hijau, kuning dan tidak berwarna. Menurut Ghernaout, dkk. (2009), perubahan warna yang terjadi pada penggunaan pasangan material elektroda Fe – Fe disebabkan oleh reaksi yang terjadi selama proses

elektrokoagulasi berlangsung. Berikut merupakan reaksi yang terjadi pada proses

elektrokoagulasi dengan menggunakan pasangan material elektroda Fe – Fe.



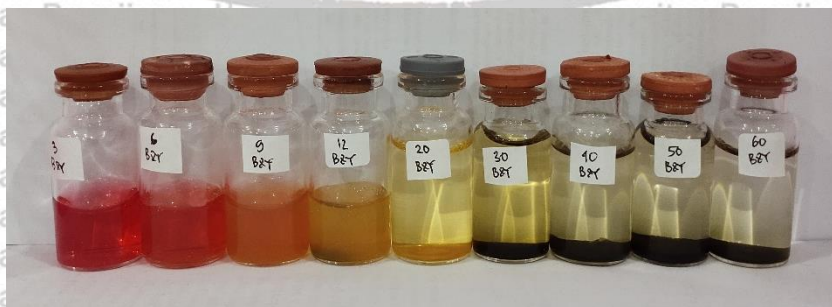
Reaksi pada Larutan :



Perubahan warna yang terjadi selama proses elektrokoagulasi untuk variasi material Al – Fe dan Fe – Fe dapat dilihat pada Gambar 4.2.



(a)



(b)

Gambar 4.2 Perubahan warna larutan zat warna Remazol Red RB selama proses

elektrokoagulasi untuk kecepatan pengadukan 50 rpm dengan pasangan material elektroda

(a) Al - Fe dan (b) Fe - Fe

Pembentukan koagulan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dalam larutan akan memberikan warna hijau (Ghernaout, 2009) sehingga pada awal proses elektrokoagulasi, warna merah dari larutan zat warna akan bercampur dengan warna hijau membentuk warna merah kecokelatan. Selanjutnya, ketika $\text{Fe}(\text{OH})_2$ bereaksi dengan H_2O akan menghasilkan koagulan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sehingga warna dari larutan berubah kembali menjadi jingga karena campuran dari warna merah dan kuning seperti yang terlihat pada Gambar 4.2.

Pada menit ke-12, warna larutan yang sebelumnya jingga berubah menjadi kuning tua dikarenakan warna merah dari larutan sudah banyak yang tersisihkan dan proses pembentukan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ terus berlangsung. Pada menit ke-20, warna dari larutan sudah mulai jernih tetapi masih terdapat sedikit warna kuning. Hal ini dikarenakan partikel zat warna sudah banyak tersisihkan.

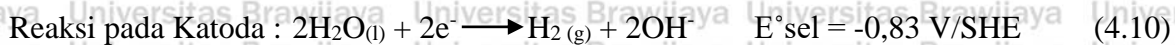
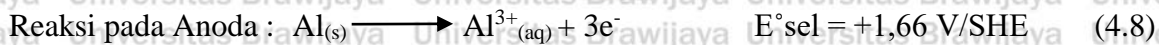
Dari menit ke-30 hingga 60, larutan perlahan - lahan menjadi lebih jernih. Selain itu, endapan berwarna merah-kuning-kecokelatan (Fe_2O_3) mulai terbentuk pada dasar reaktor di menit ke-20. Endapan ini merupakan produk samping yang dihasilkan dari reaksi lanjutan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sebagaimana dijelaskan pada persamaan 4.7 (Moreno, dkk., 2007). Partikel zat warna yang telah terjerat oleh koagulan akan terflotasi ke permukaan larutan zat warna membentuk flok.

Sedangkan pada penggunaan variasi pasangan material elektroda Al - Fe tidak terjadi banyak perubahan warna yaitu merah, merah muda, dan jernih tidak berwarna. Hal ini dikarenakan koagulan yang terbentuk selama proses elektrokoagulasi hanyalah $\text{Al}(\text{OH})_3$ sehingga perubahan warna yang terjadi tidak beraneka ragam seperti pada material Fe - Fe. Selain itu pada penggunaan pasangan material elektroda Al - Fe tidak terbentuk endapan selama proses elektrokoagulasi. Hal ini dikarenakan karat yang terbentuk berupa Al_2O_3 (aluminium oksida) bersifat kuat dan tidak mudah hancur seperti Fe_2O_3 sehingga karat Al_2O_3 akan menempel pada permukaan elektroda membentuk suatu lapisan pasif. Selain itu, densitas dari koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ lebih kecil jika dibandingkan dengan koagulan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Pubchem, 2020). Sehingga ketika $\text{Al}(\text{OH})_3$ terbentuk akan langsung berikatan dengan partikel zat warna dan terangkat ke permukaan larutan karena adanya gas H_2 dari reaksi reduksi pada katoda.

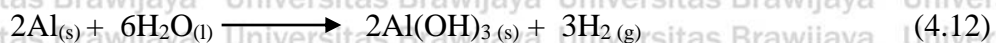
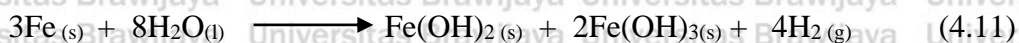
Penggunaan variasi pasangan material elektroda yang berbeda akan menghasilkan jenis koagulan yang berbeda, dimana untuk pasangan material elektroda Al – Fe menghasilkan koagulan Al(OH)₃ pada rentang 6,5 < pH < 9 (Can, dkk. 2003) dan untuk pasangan material elektroda Fe – Fe menghasilkan koagulan Fe(OH)₂ dan Fe(OH)₃ pada rentang 7 ≤ pH ≤ 12 (Ghernaout, dkk., 2009).

Pada mekanisme pembentukan koagulan Al(OH)₃, ion Al³⁺ yang merupakan hasil dari reaksi oksidasi anoda akan bereaksi dengan ion OH⁻ yang merupakan hasil dari reaksi reduksi katoda (Ghernaout, dkk., 2009). Sedangkan pada variasi pasangan material elektroda Fe – Fe terdapat dua jenis koagulan yang terbentuk yaitu Fe(OH)₂ dan Fe(OH)₃. Pelat besi yang digunakan sebagai anoda akan mengalami reaksi oksidasi menjadi Fe³⁺ (ferri). Ion Fe³⁺ kemudian akan bereaksi dengan H₂O membentuk ion Fe(OH)₂⁺. Selanjutnya ion Fe(OH)₂⁺ akan mengalami reaksi reduksi menjadi koagulan Fe(OH)₂. Koagulan Fe(OH)₂ yang terbentuk akan bereaksi kembali dengan H₂O membentuk ion Fe(OH)₃⁺. Ion Fe(OH)₃⁺ kemudian akan tereduksi menjadi koagulan Fe(OH)₃.

Penggunaan pH 8 pada penelitian ini menghasilkan fenomena pembentukan koagulan yang sesuai dengan teori diatas dan dibuktikan dengan adanya perubahan warna pada larutan zat warna. Pada variasi pasangan material elektroda Fe – Fe terbentuk 2 jenis koagulan yaitu Fe(OH)₂ berwarna hijau dan Fe(OH)₃ berwarna kuning, sedangkan pada variasi pasangan material elektroda Al – Fe hanya terbentuk satu jenis koagulan saja yaitu Al(OH)₃ berwarna putih (Lottermoser, 2007). Koagulan akan terus terbentuk selama proses elektrokoagulasi berlangsung sehingga persentase penurunan zat warna yang didapat meningkat hingga akhir proses elektrokoagulasi (Muharam, dkk., 2017). Reaksi yang terjadi selama proses elektrokoagulasi berlangsung dapat dilihat pada reaksi dibawah ini.



Reaksi Pembentukan Koagulan :



Pada Gambar 4.1 (a) dapat dilihat bahwa dari menit ke-6 hingga 9 hanya terjadi sedikit peningkatan persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB. Hal ini dapat terjadi karena koagulan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang telah terbentuk tidak berperan secara efektif dalam mengikat zat warna melainkan mengalami reaksi lebih lanjut membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sesuai dengan persamaan 4.5 (Moreno, dkk., 2007). Fenomena tersebut dapat diamati dari perubahan warna yang terjadi pada Gambar 4.2 (b), dimana warna dari larutan berubah menjadi jingga yang menandakan terbentuknya $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Selanjutnya dari menit ke-9 hingga ke-12 terjadi peningkatan persentase penurunan konsentrasi zat warna yang cukup tinggi yaitu 28,68%. Peningkatan tersebut terjadi karena $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang terbentuk memiliki kemampuan untuk mengikat zat warna lebih baik dibandingkan $\text{Fe}(\text{OH})_2$.

Berdasarkan pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa proses elektrokoagulasi dengan menggunakan pasangan material elektroda Al – Fe memberikan persentase penurunan zat warna Remazol Red RB pada menit ke-60 untuk kecepatan 0 rpm, 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm secara berurutan sebesar 82,433%, 94,867%, 91,429%, 91,360%, dan 88,419%. Sedangkan untuk penggunaan pasangan material elektroda Fe – Fe menghasilkan persentase penurunan zat warna Remazol Red RB pada menit ke-60 untuk kecepatan 0 rpm, 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm secara berurutan sebesar 97,63%, 98,24%, 98,01%, 97,76%, dan 97,53%.

Persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB dengan menggunakan pasangan material elektroda Al – Fe lebih rendah jika dibandingkan dengan persentase yang dihasilkan dengan menggunakan pasangan material elektroda Fe – Fe. Hal ini dikarenakan pada penggunaan pasangan material elektroda Fe – Fe terbentuk dua jenis koagulan yaitu $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dimana yang dapat mengikat partikel zat warna. Sedangkan pada penggunaan pasangan material elektroda Al – Fe hanya terbentuk satu koagulan yaitu $\text{Al}(\text{OH})_3$ sehingga proses pengikatan zat warna lebih lambat jika dibandingkan dengan penggunaan pasangan material elektroda Fe – Fe.

Jika ditinjau dari sifat keperiodikan yaitu keelektronegatifan, unsur Fe pada $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ lebih cenderung mengikat elektron bebas dari unsur S pada gugus sulfonat (SO_3^{2-}) dibandingkan dengan unsur Al pada $\text{Al}(\text{OH})_3$. Hal ini dikarenakan semakin besar keelektronegatifan suatu unsur, maka akan semakin mudah unsur tersebut untuk mengikat elektron. Nilai keelektronegatifan unsur Fe adalah 1,8 sedangkan Al adalah 1,5 (Petrucci, dkk., 2011). Sehingga $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ cenderung menarik pasangan elektron bebas

52 (PEB) dari gugus sulfonat (SO_3^{2-}) membentuk ikatan kovalen koordinasi dibandingkan dengan $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Jika dilihat dari nilai energi potensial reaksi redoks antara variasi pasangan material elektroda Al – Fe dan Fe – Fe, diketahui bahwa pada pasangan material elektroda Al – Fe memiliki nilai energi potensial reaksi redoks yang lebih besar dibandingkan dengan pasangan material elektroda Fe – Fe yaitu sebesar 0,83 V/SHE. Nilai energi potensial reaksi redoks untuk pasangan material elektroda Fe – Fe adalah -0,793 V/SHE. Sehingga dengan penggunaan tegangan listrik sebesar 5 volt akan mempercepat reaksi oksidasi pada anoda (pelepasan koagulan aktif berupa ion logam) dan pengikatan ion OH^- membentuk koagulan ($\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$). Hal ini dapat terjadi karena beda arus listrik (akibat adanya beda potensial) akan melewati medium lebih cepat (Fatimah, 2018).

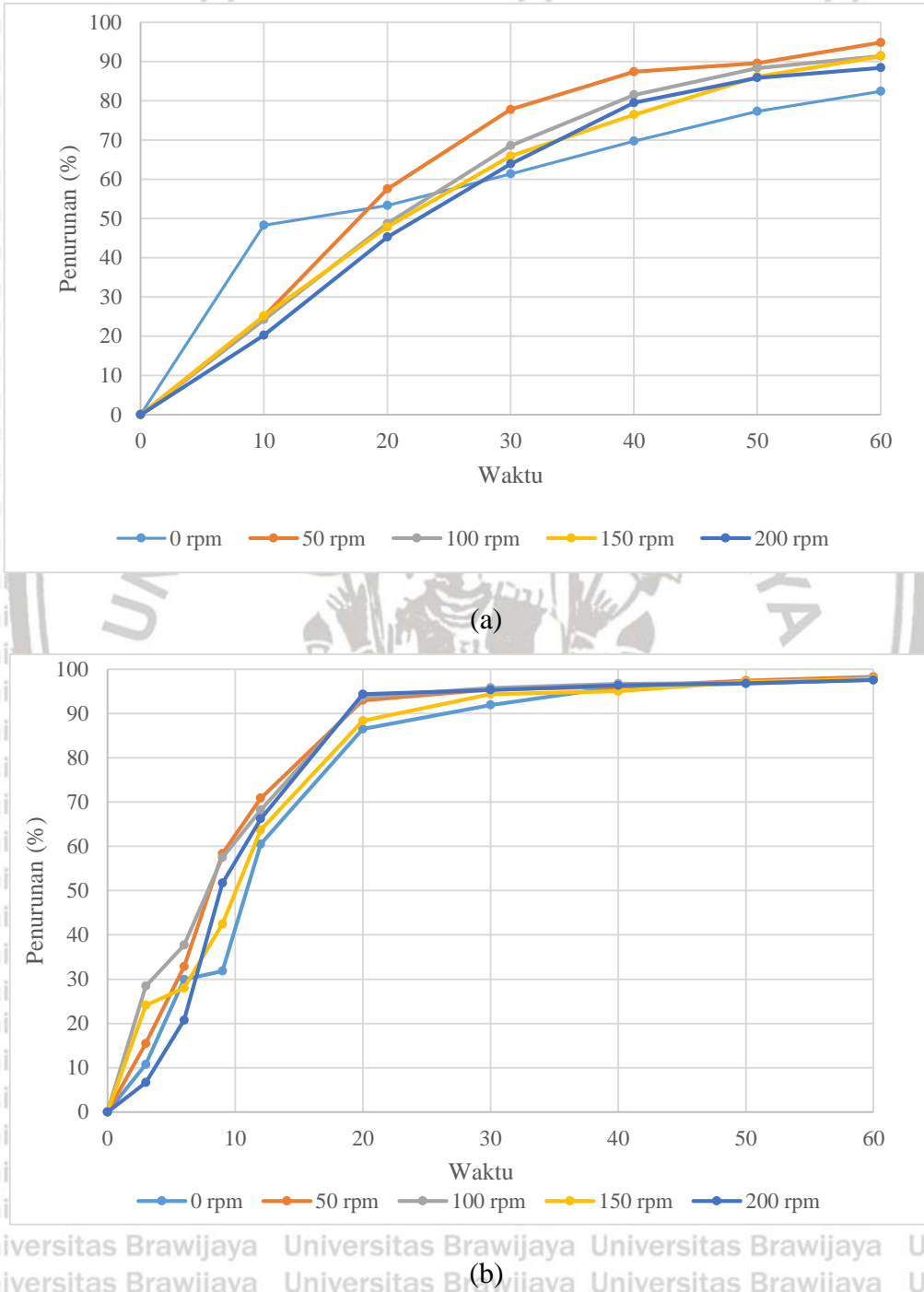
Selain itu pada penggunaan pasangan material elektroda Al – Fe terbentuk lapisan pasif Al_2O_3 yang menempel pada permukaan logam Al akibat dari fenomena pasivasi yang menyebabkan Al semakin sulit teroksidasi. Akibatnya pembentukan ion Al^{3+} akan semakin sedikit dan berdampak pada pembentukan koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang semakin sedikit pula selama proses elektrokoagulasi berlangsung (Liu, dkk., 2010).

Sehingga dapat diketahui bahwa penggunaan pasangan material elektroda berpengaruh terhadap proses penyisihan zat warna dalam proses elektrokoagulasi. Dalam penelitian ini, penggunaan pasangan material elektroda Fe - Fe memberikan persentase penurunan zat warna tertinggi untuk setiap kecepatan pengadukan yang digunakan.

4.2 Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi

Zat Warna Remazol Red RB

Kecepatan pengadukan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0 rpm, 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm. Penggunaan variasi kecepatan yang berbeda – beda memiliki tujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan terhadap persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB pada limbah pewarna tekstil. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap persentase penurunan konsentrasi Remazol Red RB ditunjukkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.3 Grafik persentase penurunan zat warna Remazol Red RB terhadap waktu pada variasi kecepatan pengadukan dengan pasangan material elektroda (a) Al – Fe dan (b) Fe – Fe

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB mengalami peningkatan selama proses elektrokoagulasi pada setiap kecepatan pengadukan baik untuk variasi pasangan material elektroda Al – Fe ataupun Fe – Fe. Persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB mengalami peningkatan karena adanya interaksi antara partikel zat warna dengan koagulan yang terbentuk (Muharam, dkk., 2017). Salah satu faktor yang mempengaruhi dari keefektifan interaksi tersebut adalah kecepatan pengadukan. Semakin tinggi kecepatan pengadukan yang digunakan, maka efisiensi penyisihan partikel zat warna pun akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan kecepatan pengadukan akan meningkatkan pergerakan koagulan dan partikel zat warna sehingga memungkinkan interaksi yang terjadi antara keduanya semakin cepat (Modirshahla, dkk., 2008).

Namun pada penggunaan kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi atau di luar nilai optimal akan menyebabkan penurunan efisiensi penyisihan partikel zat warna karena flok yang sudah terbentuk akan pecah atau hancur kembali (Mordishahla, dkk. 2008). Hal ini dapat dilihat dari persentase penurunan zat warna Remazol Red RB pada akhir proses elektrokoagulasi dimana nilainya semakin menurun untuk kecepatan pengadukan 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm secara berurutan pada setiap variasi pasangan material elektroda yang digunakan.

Kecepatan pengadukan dalam proses elektrokoagulasi dibagi menjadi dua yaitu pengadukan cepat dan pengadukan lambat. Pengadukan cepat dilakukan pada awal proses elektrokoagulasi, dimana pada tahap ini koagulan sudah mulai terbentuk. Dengan adanya pengadukan cepat ini maka proses pembentukan mikroflok yang merupakan hasil interaksi elektrostatis antara koagulan dengan partikel zat warna akan semakin cepat. Hal ini ditunjukkan dengan adanya mikroflok yang melayang – layang di dalam reaktor elektrokoagulasi. Selanjutnya dilakukan pengadukan lambat yang bertujuan untuk mempercepat pembentukan makroflok dari mikroflok. Selain itu, pengadukan lambat juga berfungsi untuk menjaga kestabilan flok yang sudah terbentuk agar tidak hancur dan jatuh membentuk endapan pada dasar reaktor elektrokoagulasi (Ebeling dan Sarah, 2004).

Tabel 4.1 Data persentase penurunan zat warna Remazol Red RB dengan variasi pasangan material elektroda terhadap kecepatan pengadukan

Pasangan material elektroda	Waktu (menit)	% Penurunan				
		0 rpm	50 rpm	100 rpm	150 rpm	200 rpm
Al - Fe	0	0	0	0	0	0
	10	48,30	25,07	24,20	25,19	20,24
	20	53,30	57,51	48,70	47,84	45,24
	30	61,39	77,76	68,55	65,89	63,90
	40	69,72	87,43	81,49	76,45	79,52
	50	77,32	89,60	88,33	86,16	85,85
	60	82,43	94,87	91,43	91,36	88,42
Fe - Fe	0	0	0	0	0	0
	3	10,73	15,48	28,42	24,10	6,64
	6	29,93	32,82	37,67	28,00	20,72
	9	31,83	58,33	57,47	42,45	51,67
	12	60,50	70,84	68,19	63,67	77,45
	20	86,45	92,95	93,68	88,32	94,32
	30	91,90	95,44	95,77	94,35	95,30
40	95,99	96,03	96,68	94,99	96,33	
50	96,736	97,39	96,88	97,13	96,80	
60	97,631	98,24	98,01	97,76	97,53	

Berdasarkan Gambar 4.3 (a) dan Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa proses elektrokoagulasi tanpa pengadukan cepat (kecepatan pengadukan cepat 0 rpm) akan memberikan persentase penurunan zat warna yang cukup tinggi yaitu sebesar 48,30 % pada 10 menit pertama. Hal ini dikarenakan distribusi koagulan yang tidak merata, dimana pada variabel 0 rpm (tanpa pengadukan) koagulan hanya terdistribusi secara efektif di area sekitar elektroda (Calvo, dkk., 2003). Namun pada bagian bawah reaktor, koagulan tidak terdistribusi akibat tidak adanya pengadukan. Karena adanya fenomena tersebut, maka interaksi elektrostatis antara koagulan dengan partikel zat warna hanya terjadi pada bagian atas reaktor saja. Selain itu dalam proses pengambilan sampel, pemipetan dilakukan pada

bagian tengah reaktor dimana pada bagian tersebut koagulan terdistribusi dengan baik, sehingga persentase penyisihan yang dihasilkan pun cukup tinggi.

Setelah 10 menit, proses elektrokoagulasi dilanjutkan dengan pengadukan lambat sebesar 50 rpm. Pengadukan lambat akan menghomogenkan larutan zat warna pada bagian bawah reaktor (belum mengalami proses elektrokoagulasi) dengan larutan zat warna pada bagian atas reaktor yang sudah mengalami proses elektrokoagulasi (Sutapa, 2014).

Sehingga, larutan yang sebelumnya sudah berkurang partikel zat warnanya akan kembali pekat karena adanya partikel zat warna yang belum mengalami proses elektrokoagulasi.

Oleh karena itu, persentase penurunan zat warna Remazol Red RB yang dihasilkan hanya meningkat sedikit yaitu 5% dari sebelumnya 48,30% menjadi 53,30%.

Pada menit ke-30 hingga 60, persentase penurunan zat warna Remazol Red RB yang dihasilkan meningkat dari 61,39% hingga 82,43% dimana nilai tersebut merupakan nilai terendah jika dibandingkan dengan variabel kecepatan pengadukan cepat lainnya pada waktu yang sama. Hal ini dikarenakan ketika dilakukan pengadukan pada menit ke-10, koagulan dan partikel zat warna baru terdistribusi secara merata sehingga proses pembentukan mikroflor baru terjadi secara efektif. Sedangkan pada penggunaan kecepatan cepat pada awal proses elektrokoagulasi (10 menit pertama), koagulan dan partikel zat warna sudah terdistribusi secara merata sehingga proses pembentukan mikroflor telah terjadi secara efektif.

Sedangkan untuk kecepatan 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm, persentase penurunan zat warna terus meningkat hingga diatas 90%. Hal ini dikarenakan penggunaan pengadukan cepat pada awal proses elektrokoagulasi dapat mempercepat proses pembentukan mikroflor sehingga proses pembentukan makroflor dari menit ke-10 hingga ke 60 lebih cepat dibandingkan dengan tanpa pengadukan cepat (Ebeling dan Sarah, 2004).

Namun untuk kecepatan 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm, persentase penurunan zat warna yang dihasilkan pada setiap waktu terus menurun secara berurutan dimana semakin tinggi kecepatan pengadukan yang digunakan maka semakin kecil nilai persentase penurunannya.

Selain itu persentase penurunan yang dihasilkan oleh kecepatan 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan 50 rpm. Hal ini terjadi karena penggunaan kecepatan yang terlalu tinggi atau diatas kecepatan optimal akan menyebabkan makroflor yang sudah terbentuk akan terdegradasi. Kecepatan yang terlalu tinggi akan menyebabkan tabrakan antar makroflor yang dapat menyebabkan makroflor tersebut pecah

sehingga menghasilkan persentase penyisihan yang semakin rendah (Mordishahla, dkk., 2008). Sedangkan kecepatan 50 rpm merupakan kecepatan terbaik untuk proses penyisihan zat warna. Hal ini dapat dibuktikan pada Tabel 4.1 dimana persentase penurunan zat warna Remazol Red RB pada menit ke-60 untuk kecepatan 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm secara berurutan sebesar 94,87%, 91,43%, 91,36%, dan 88,42%.

Berdasarkan Gambar 4.3 (b) dapat dilihat bahwa fenomena yang terjadi pada variasi tanpa pengadukan (0 rpm) berbeda dengan Gambar 4.3 (a). Fenomena tersebut terjadi pada 10 menit pertama yaitu pada menit ke-6 dan 9, persentase penurunan zat warna yang dihasilkan hanya meningkat sedikit. Hal ini terjadi karena koagulan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang telah terbentuk tidak berperan secara efektif dalam mengikat zat warna melainkan mengalami reaksi lebih lanjut membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Moreno, dkk., 2007).

Setelah 10 menit pertama, proses elektrokoagulasi dilanjutkan dengan menggunakan pengadukan lambat yaitu 50 rpm. Berdasarkan Gambar 4.3 (b) pada setiap variabel kecepatan pengadukan yaitu 0 rpm, 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm memiliki tren yang sama yaitu menghasilkan persentase penurunan zat warna Remazol Red RB yang semakin meningkat di setiap waktunya. Berdasarkan data pada Tabel 4.1, dapat diketahui bahwa persentase penurunan zat warna Remazol Red RB terbesar dihasilkan pada kecepatan pengadukan cepat 50 rpm sebesar 98,24% (menit ke-60). Sedangkan persentase penurunan zat warna pada kecepatan pengadukan cepat 0 rpm, 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm secara berturut-turut yaitu 97,63%, 98,01%, 97,76%, dan 97,53%. Data tersebut menunjukkan bahwa proses elektrokoagulasi dengan menggunakan pengadukan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa pengadukan. Hal tersebut dapat terjadi karena pengadukan akan mempercepat interaksi elektrostatis antara koagulan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dengan partikel zat warna membentuk mikrofluk (Ebeling dan Sarah, 2004).

Selain itu persentase penurunan zat warna yang dihasilkan oleh kecepatan 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan 50 rpm. Hal ini bersesuaian dengan hasil yang ditunjukkan pada variasi material Al – Fe, dimana penggunaan kecepatan yang terlalu tinggi atau diatas kecepatan optimal akan menyebabkan makrofluk yang sudah terbentuk akan terdegradasi dan menyebabkan makrofluk tersebut pecah. Hal ini menyebabkan persentase penurunan zat warna Remazol Red RB semakin rendah (Mordishahla, dkk., 2008).

Dapat dilihat pada Tabel 4.2, bahwa pada menit ke-20 untuk penggunaan pasangan material elektroda Fe – Fe memberikan hasil persentase penurunan konsentrasi zat warna yang cukup tinggi. Hasil ini mendekati dengan persentase yang dihasilkan oleh penggunaan pasangan elektroda Al – Fe pada menit ke-60. Sehingga pada penggunaan pasangan material elektroda Fe – Fe, hanya dibutuhkan waktu 20 menit untuk mendapatkan hasil yang optimal. Hal ini dikarenakan kuantitas koagulan yang dihasilkan pada pasangan material elektroda Fe – Fe lebih banyak dibandingkan pada pasangan material elektroda Al – Fe yang dapat dilihat dari nilai pengurangan massa anoda pada Tabel 4.3. Dengan kuantitas koagulan yang lebih banyak maka proses pengikatan partikel zat warna dapat berjalan lebih cepat.

Selain itu, dalam penelitian ini juga dilakukan perhitungan massa anoda sebelum dan sesudah proses elektrokoagulasi serta massa endapan yang didapatkan dari proses filtrasi. Berikut merupakan tabel perubahan massa anoda dan massa endapan pada setiap variasi pasangan material elektroda dan kecepatan pengadukan.

Tabel 4.2 Data perubahan massa anoda dan massa endapan dengan variasi pasangan material elektroda terhadap kecepatan pengadukan

Pasangan material elektroda	Pengadukan Cepat (rpm)	Pengurangan Massa Anoda (gram)	Massa Endapan (gram)
Al – Fe	0	0,02	0,12
	50	0,02	0,14
	100	-0,02	0,13
	150	0,02	0,12
	200	0,02	0,11
Fe – Fe	0	0,10	0,19
	50	0,17	0,27
	100	0,15	0,24
	150	0,13	0,22
	200	0,11	0,20

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan yang digunakan akan mempengaruhi pembentukan flok baik untuk pasangan material elektroda Al – Fe maupun Fe – Fe. Penggunaan kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan makroflok yang telah terbentuk hancur kembali menjadi mikroflok. Mikroflok akan lolos

melewati kertas saring pada proses filtrasi yang dapat menyebabkan massa endapan menjadi tidak akurat. Dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, penggunaan kecepatan pengadukan 50 rpm memberikan hasil yang terbaik yaitu persentase penyisihan tertinggi dan massa endapan terbesar. Massa endapan terbesar menandakan bahwa makroflok yang terbentuk tidak hancur kembali menjadi mikroflok sehingga massa yang didapatkan merupakan massa partikel zat warna yang disisihkan dan koagulan yang terbentuk.

Pada Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa pengurangan massa anoda pada variasi pasangan material elektroda Al – Fe di seluruh kecepatan pengadukan adalah konstan atau tidak terjadi perubahan massa. Hal ini berkaitan dengan lapisan oksida yang terbentuk pada pasangan material elektroda Al – Fe dimana lapisan oksida Al_2O_3 bersifat protektif yang melindungi logam Al mengalami reaksi oksidasi lanjutan. Jika ditinjau dari nilai potensial reduksi logam Al dan Fe, logam Al memiliki potensial sel lebih negatif daripada logam Fe yaitu $-1,66$ V/SHE dan $-0,4$ V/SHE untuk logam Fe. Semakin negatif nilai potensial reduksi suatu material, maka material tersebut akan semakin cepat mengalami proses korosi akibat reaksi oksidasi. Sehingga logam Al yang memiliki nilai potensial sel lebih negatif dibandingkan logam Fe menjadi lebih cepat terkorosi. Dimana jika proses korosi terjadi secara cepat, maka proses pembentukan lapisan oksida pun juga semakin cepat yang menyebabkan gas O_2 tidak memiliki waktu yang cukup untuk masuk dan bereaksi pada permukaan logam.

Sedangkan pada logam Fe proses korosi terjadi lebih lambat dibandingkan dengan logam Al, yang menyebabkan terbentuknya ruang kosong pada permukaan logam dan menyebabkan gas O_2 dapat dengan mudah masuk dan bereaksi pada permukaan logam. Sehingga massa dari logam Fe akan terus mengalami pengurangan akibat proses korosi yang terus terjadi.

Sehingga dapat diketahui bahwa penggunaan kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap proses penyisihan zat warna dalam proses elektrokoagulasi. Dalam penelitian ini, penggunaan kecepatan 50 rpm menghasilkan persentase penurunan zat warna terbesar yaitu 94,87% untuk material Al - Fe dan 98,24% untuk material Fe – Fe. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan 50 rpm merupakan kecepatan terbaik yang digunakan dalam penelitian ini.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh pasangan material elektroda dan kecepatan pengadukan terhadap penurunan persentase konsentrasi Remazol Red RB pada limbah pewarna tekstil dapat disimpulkan bahwa :

1. Penggunaan pasangan material elektroda Fe – Fe pada proses elektrokoagulasi memberikan hasil persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan pasangan material elektroda Al – Fe. Persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB pada penggunaan material Fe – Fe yaitu sebesar 97,63%, 98,24%, 98,00%, 97,76%, dan 97,52%. Sedangkan pada penggunaan pasangan material elektroda Al – Fe menghasilkan persentase penurunan sebesar 82,43%, 94,87%, 91,43%, 91,36%, dan 88,42
2. Kecepatan pengadukan 50 rpm merupakan kecepatan pengadukan terbaik pada penelitian ini karena menghasilkan persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB tertinggi baik untuk pasangan material elektroda Fe – Fe sebesar 98,24% maupun Al – Fe sebesar 94,87%.

5.2 Saran

Saran yang dapat disimpulkan kepada peneliti selanjutnya adalah :

1. Perlu dilakukan uji pH awal dan akhir dengan menggunakan pH meter untuk mengetahui nilai pH pada proses elektrokoagulasi
2. Perlu dilakukan pengujian terhadap flok yang terbentuk dari proses elektrokoagulasi
3. Perlu dilakukan pengujian terhadap endapan yang dihasilkan dari penggunaan pasangan material elektroda Fe – Fe.



Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. E. & Muhammad, A. 2012. Pengaruh Temperatur dan Waktu Pada Pengolahan Pewarna Sintetis Procion Menggunakan Reagen Fenton. *Jurnal Teknik Kimia*. 3 (18):54-61.
- Apriyani, N. 2018. Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*. 3 (1):21-29.
- Atkins P. 2010. *Shriver & Atkins Inorganis Chemistry 5th Revised Edition*. New York: Oxford University Press.
- Bhatia, S., R.K Sharma & Bera T. 2015. *Modern Applications of Plant Biotechnology in Pharmaceutical Sciences*. Oxford: Elseviers.
- Bragg W. L. 1913. The Structure of Some Crystals as Indictaed by Their Diffraction of X-Rays. *Mathematical and Physical Character*. 89:248-277.
- Brikholz, M. 2006. *Thin Film Analysis by X-Ray Scattering*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Burhanudin, R., Cucu, Z. S. & Sari. 2018. *Penerapan Model Pembelajaran Content Context Connection Researching Reasoning Reflecting (3C3R) Untuk Mengembangkan Keterampilan Generik Sains Siswa Pada Konsep Koloid*. Bandung: UIN Sunan Gunung Djati.
- Calvo, L. S., Leclerc, J. P., Tnguy, G., Cames, M. C., Paternotte, G., Valentin, G., Rostan, A., & Lapicque, F. 2003. An Electrocoagulation Unit For The Purification of Soluble Oil Wastes of High COD. *Environmental Progress*. 22 (1):57-65.
- Can, O. T., M. Bayramoglu, & M. Kobya. 2003. Decolorization of Reactive Dye Solutions by Electrocoagulation Using Alumunium Electrodes. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 42:3391-3396.
- Catanho, M. 2006. Avaliacao Dos Tratamentos Eletroquimico E Fotoeletroquimico Na Degradacao De Corantes Texteis. *Quim. Nova*. 29 (5):983-989.
- Christie, R. M. 2015. *Colour Chemistry 2nd Edition*. United Kingdom: The Royal Society of Chemistry.

Christina P, M., Mu'nisatun, S., Rany, S., & Djoko, M. 2007. Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Methyl Orange) Dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA. *Jurnal Forum Nuklir*. 1 (1):31-44.

Crittenden, John C., R. Rhodes Trussel, David, W. Hand, Kerry, J. Howe, & George, Tchobanoglous. 2012. *MWH's Water Treatment : Principles and Design, 3rd Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Liu, H., Xu, Z., & Jiuhui, Q. 2010. Electrocoagulation in Water Treatment. Dalam Comninellis, C. & Guohua, C. (Editor). *Electrochemistry For The Environment*. New York: Springer Science+Business Media.

Dachriyanus. 2004. *Analisis Struktur Organik Secara Spektroskopi*. Padang: Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi LPTIK Universitas Andalas.

Daneshvar, N., Sorkhabi, H. A., & Kasiri, M. B. 2004. Decolorization of Dye Solution Containing Acid Red 14 By Electrocoagulation With a Comparative Investigation of Different Electrode Connections. *Journal of Hazardous Materials*. B112:5 – 62.

Delil, A. D. & Nazim, G. 2019. Investigation of Electrocoagulation And Electrooxidation Methods of Real Textile Wastewater Treatment. *Journal of Science And Technology*. 20 (1):80-9.

Didar-UI Islam, S. M. 2017. Electrocoagulation (EC) Technology For Wastewater Treatment and Pollutants Removal. *Sustainable Resource Management : Water Practice Issues*. 5 (1): 359-380.

Dunitz J, D. 1995. Diffraction of X-Rays by Crystals. *X-Ray Analysis and and the Structure of Organic Molecules Verlag Helvetica Chimica Acta*. 23-27.

Dura, Adelaide. 2013. *Electrocoagulation for Water Treatment: The Removal of Pollutants Using Aluminum Alloys, Stainless Steels and Iron Anodes*. Thesis. National University of Ireland Maynooth.

Ebeling, J. M., Sibrell, P. L., Ogden, S. R., & Summerfelt, S. T. 2003. Evaluation of Chemical Coagulation – Flocculation Aids For The Removal of Suspended Solid And Phosphorus From Intensive Recirculating Aquaculture Effluent Discharge. *Aquacultural Engineering*. 29: 23-42.

- Ebeling, J. T. & Ogden, S. R. 2004. Application of Chemical Coagulation Aids For The Removal of Suspended Solid (TSS) And Phosphorus From The Microscreen Effluent Discharge of an Intensive Recirculating Aquaculture System. *North American Journal of Aquaculture*. 66: 198-207.
- Fayad, Nidal. 2017. *The Application of Electrocoagulation Process For Wastewater Treatment and For The Separation and Purification of Biological Media*. Perancis: Université Clermont Auvergne.
- Fatimah, N., Alimuddin, & Rahmat, G. 2018. Penurunan Intensitas Warna Remazol Red RB Dalam Limbah Batik Elektrokoagulasi Menggunakan NaCl. *Jurnal Atomik*. 3 (1):39-46.
- Ghalwa, Nasser M. Abu, Alaa M. Saeqer & Nader B. Farhat. 2016. Removal of Reactive Red 24 Dyes by Clean Electrocoagulation Process Using Iron and Aluminium Electrodes. *Journal of Engineering & Process Technology*. (7):269.
- Ghernaout, D., B. Ghernaout, A. Boucherit, M. W. Naceur, A. Khaelifa, & A. Kelil. 2009. Study On Mechanism of Electrocoagulation with Iron Electrodes In Idealised Conditions And Electrocoagulation of Humic Acids Solution In Batch Using Aluminium Electrodes. *Desalination and Water Treatment*. 8 :91-99.
- Gunadi, Natalia. 2008. *Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Remazol Red RB Dalam Sistem TiO₂ Suspensi*. Skripsi. Depok : Universitas Indonesia.
- Hanum, F., Rondang, T., M. Yusuf, R., & William, W. K. 2015. Aplikasi Elektrokoagulasi Dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia*. 4 (4):13-17.
- Hernaningsih, Taty. 2016. Tinjauan Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Dengan Proses Elektrokoagulasi. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*. 9 (1):31-46.
- Holt, Peter. K., Geoffrey, W. B., & Cynthia, A. M. 2004. The Future For Eelectrocoagulation As A Localised Water Treatment Technology. *Chemosphere*. (59): 335-367.
- Jarosz-Wilkolazka, A, J. Kochmanska-Rdest, E. Malarczyk, W. Wardas & A. Leonowics. 2002. Fungi and Their Ability to Decolorize Azo and Antraquinonic Dyes. *Enzyme and Microbial Technology*. (30): 566-572.

JDIH BPK RI. 2008. Peraturan Daerah (PERDA) Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta No. 20 Tahun 2008. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/26587>. (diakses 12 November 2019)

Khandegar, V. & Anil, K. S. 2013. Electrocoagulation For The Treatment of Textile Industry Effluent: A Review. *Journal of Environmental Management*. 128: 949-963.

Kuroda, Y., Kawada, Y., Takahashi, T., Ehara, Y., Ito, T., Zukeran, A., Kono, Y., & Yasumoto, K. 2003. Effect of Electrode Shape on Discharge Current and Performance With Barrier Discharge Type Electrostatic Precipitator. *J. Electrostat.* 57 (3):407-415.

Koby, M., Can, O. T., & Bayramoglu, M. 2003. Treatment of Textile Wastewaters By Electrocoagulation Using Iron and Aluminum Electrodes. *Journal of Hazardous Materials*. B100:163-178.

Koby, M., Ulu, F., Gebologlu, U., Demirbas, E., & Oncel, M. S. 2011. Treatment of Potable Water Containing Low Concentration of Arsenic With Electrocoagulation: Different Connection Modes and Fe - Al Electrodes. *Separation and Purification Technology*. 77 (3):283 – 293.

Kontogeorgis, Georgios M., & Soren, Kiil. 2016. *Introduction To Applied Colloid and Surface Chemistry, 1st Edition*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.

Latif, Azmir. 2017. *Study of Buildup & Color Fastness Properties of Different Reactive Dye in Knit Fabric*. Textile Engineering: Daffodil International University.

Lottermoser, B. G. 2007. *Mines Wastes : Characterization, Treatment, Environmental Impacts, 2nd Edition*. Heidelberg: Springer-Verlag.

Mahida, U.N. 1986. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: CV Rajawali.

Mahreni. 2016. *Batik Warna Alami*. Yogyakarta: UPN Veteran Yogyakarta.

Mardana, M. Y. A. 2007. *Pengolahan Yang Tepat Bagi Limbah Cair*. <http://akademik.che.itb.ac.id/labtek/wp-content/uploads/2007/08/modul-pengolahan-air.pdf>. (diakses 10 September 2019).

- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th Edition*. USA: McGraw-Hill Inc.
- Metcalf & Eddy. 2008. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. USA: McGraw-Hill Inc.
- Milani, J. M. & Abdolkhalegh, G. 2019. *Introductory Chapter: Some New Aspects of Colloidal Systems in Food*. London: Intech Open.
- Modirshahla, N., Behnajady, M. A., Mohammadi-Aghdam, S. 2008. Investigation of The Effect of Different Electrodes and Their Connections On The Removal Efficiency of 4-Nitrophenol From Aqueous Solution By Electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*. 154 (1 - 3):778 – 786.
- Mollah, M. Y. A., Morkovsky, P., Gomes, J. A. G., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. L. 2004. Fundamentals Present and Future Perspectives of Electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*. B114:199-210.
- Moody, V. & Howard, L. N. 2004. *Tufted Carpet : Textile Fibers, Dyes, Finishes, and Processes*. USA: William Andrew Inc.
- Moreno C., H. A., David, L. C., Jewel, A. G. G., Paul, M., J. R. Parga, Eric, P., & Christina, G. 2009. Electrochemical Reactions for Electrocoagulation Using Iron Electrodes. *Ind. Eng. Chem. Res.* 48:2275-2282.
- Mose, Yumike. 2014. *Penerapan Model Pembelajaran Predict-Observe-Explain (POE) Pada Materi Koloid Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis dan Keterampilan Proses Sains Siswa*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Muharam, S., Lela, M. Y., & Citra, I. R. 2017. Simultaneous Combination of Electrocoagulation and Chemical Coagulation Methods for Medical Wastewater Treatment. *Makara Journal of Science*. 21(3):113-118.
- Patel, B. H. 2011. Natural Dyes. Dalam Clark, M. (editor). *Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes, and Types of Dyes*; 395-424. United Kindom: Woodhead Publishing Limited.
- Peralta-Hernandez, J. M., Manuel, A. R., & Carloz, A. M. 2014. *Evaluation of Electrochemical Reactors as a New Way to Environmental Protection*. Kerala: Research Signpost

Petrucci, dkk. 2011. *Kimia Dasar Prinsip – Prinsip & Aplikasi Modern, Edisi IX*. Jakarta: Erlangga

Pubchem. 2018. *Compound Summary CID 102088839: Remazol Red RB*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/102600803>. (diakses 07 September 2019).

Pubchem. 2020. *Compound Summary Aluminium Hydroxide*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Aluminum-hydroxide>. (diakses 18 Februari 2020).

Pubchem. 2020. *Compound Summary Iron Hydroxide (Fe(OH)₂)*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Iron-hydroxide-Fe-OH-2>. (diakses 18 Februari 2020).

Pubchem. 2020. *Compound Summary Iron (III) Hydroxide*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Iron-III-hydroxide>. (diakses 18 Februari 2020).

Rachmawati, B., Yayok, S., & Mohamad, M. 2014. Proses Elektrokoagulasi Pengolahan Limbah Laundry. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. 6 (1):15-22.

Rekha, H. B. & Usha, N. M. 2018. Electrochemical Degradation of Remazol Red RB Using Sacrificial Electrodes. *MATTER : International Journal of Science and Technology*. 4 (18):106-128.

Rosyida, Ainur & Anik, Zulfiya. 2013. Pewarnaan Bahan Tekstil dengan Menggunakan Ekstrak Kayu Nangka dan Teknik Pewarnaannya untuk Mendapatkan Hasil yang Optimal. *Jurnal Rekayasa Proses*. 7 (2):52-58.

Saptati, D. A. S. & Nurul, F. H. 2018. *Perlakuan Fisiko-Kimia Limbah Cair Industri*. Malang: UB Press.

Satake, M., H. Yasuhisa, Y. Mido, S. A. Iqbal, & M. S. Sethi. *Colloidal And Surface Chemistry*. New Delhi: Discovery Publishing House.

Satoh, A. 2003. *Introduction to Molecular-Microsimulation of Colloidal Dispersions*. Amsterdam: Elsevier Science B. V.

- Schaeffer, L. 2015. The Role of Functional Groups in Drug–Receptor Interactions. Dalam Camille, W., David, A., Pierre, R., & Didier, R. (Editor). *The Practice of Medicinal Chemistry, 4th Edition*. London: Academic Press.
- Setianingrum, N. P., Agus, P., & Sarto. 2016. Pengaruh Tegangan Dan Jarak Antar Elektroda Terhadap Pewarna Remazol Red RB Dengan Metode Elektrokoagulasi. *Kimia*. 1 (2):93-97.
- Setianingrum, N. P., Agus, P., & Sarto. 2017. Pengurangan Zat Warna Remazol Red RB Menggunakan Metode Elektrokoagulasi secara Batch. *Jurnal Rekayasa Proses*. 11 (2):78-85.
- Sharma, B. K. 1991. *Industrial Chemistry*. India: KRISHNA Prakashan Media (P) Ltd.
- Sincero, A. P., & Sincero, G. A. 2003. *Physical-chemical Treatment of Water and Wastewater*. Boca Raton: CRC Press.
- Smallman, R. E. dan R. J. Bishop. 2000. *Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*. New York: Hill International Book Company.
- Suhartati, Tati. 2017. *Dasar-Dasar Spektrofotometri UV-Vis dan Spektrometri Massa Untuk Penentuan Struktur Senyawa Organik*. Bandar Lampung: CV. Anugrah Utama Raharja.
- Sutanto, Ani, I., & Sarahwati. 2018. Efisiensi dan Efektifitas Serta Kinetika Elektrokoagulasi Pengolahan Limbah Sagu Aren. *Ekologia*. 18 (1): 10-16.
- Sutapa, I. D. A. 2014. Perbandingan Efisiensi Koagulaan Poli Aluminium Khlorida dan Aluminium Sulfat Dalam Menurunkan Turbiditas Air Gambut Dari Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah. *Riset Geologi dan Pertambangan*. 24(1):13-21.
- Tadros, T. F. 2010. *Colloids in Paints*. Workingham: Wiley-VCH
- Ukiwe, L. N., Ibeneme, S. I., Duru, C. E., Okolue, B. N., Onyedika, G. O., & Nweze, C. A. 2014. Chemical and Electro-coagulation Techniques in Coagulation - Flocculation in Water and Wastewater Treatment- A Review. *Journal of Advances in Chemistry*. 9(3):1988-1999.

Wardhana, A. W. 1995. *Dampak Pencemaran Lingkungan Edisi II*. Yogyakarta: Andi

Offset.

Wang, Lawrence K., Yung-Tse, Hung, & Nazih, K. Shammas. 2004. *Physicochemical Treatment Processes*. New Jersey: Humana Press

Ziarani, G. M., Razieh, M., Negar, L., & Hendrik, G. K. 2018. *Metal-Free Synthetic Organic Dyes*. United Kingdom: Elsevier Inc.



LAMPIRAN

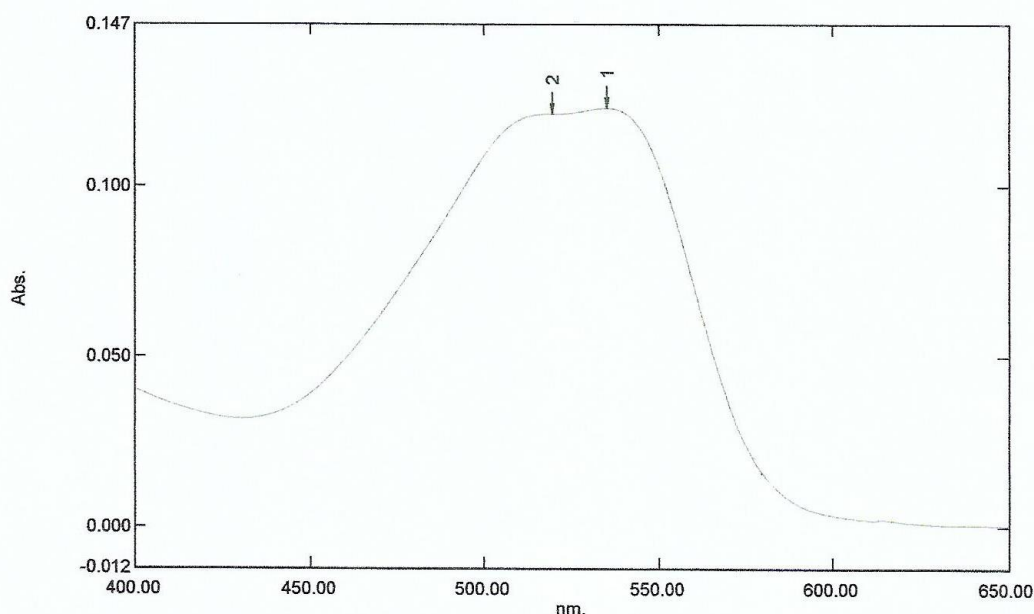
Lampiran A. Hasil Uji Spektrofotometer UV – Vis

1. Penentuan panjang gelombang maksimum

Spectrum Peak Pick Report

12/13/2019 04:26:17 PM

Data Set: File_191213_pjg gel RR bagus-yulizar - RawData



[Measurement Properties]
 Wavelength Range (nm.): 400.00 to 650.00
 Scan Speed: Medium
 Sampling Interval: 0.2
 Auto Sampling Interval: Enabled
 Scan Mode: Single

No.	P/V	Wavelength	Abs.	Description
1	↑	535.20	0.123	
2	↑	519.20	0.121	
3	↓	611.60	0.002	
4	↓	430.80	0.032	

[Instrument Properties]
 Instrument Type: UV-1900 Series
 Measuring Mode: Absorbance
 Slit Width: 1.0 nm
 Light Source Change Wavelength: 340.8 nm
 S/R Exchange: Normal

[Attachment Properties]
 Attachment: None

[Operation]
 Threshold: 0.0010000
 Points: 4
 InterPolate: Disabled
 Average: Disabled

[Sample Preparation Properties]
 Weight:
 Volume:
 Dilution:
 Path Length:
 Additional Information:



2. Kurva standar

Photometric Report

12/13/2019 04:27:44 PM

File Name: F:\2019\Desember\File_191213_kurva standar RR bagus-yulizar.pho

[Wavelengths]
 Wavelength Name: WL535.2
 Wavelength: 535.20 nm

[Calibration Curve]
 Column for Cal. Curve: WL535.2
 Cal. Curve Type: Multi Point
 Cal. Curve Unit: mg/l
 Selected Wavelength: WL535.2
 Calibration Equation: Abs = K1*(Conc) + K0
 Zero Interception: Not Selected

[Measurement Parameters(Standard)]
 Data Acquired by: Instrument
 Delay sample read: Disabled
 Repeat: Disabled

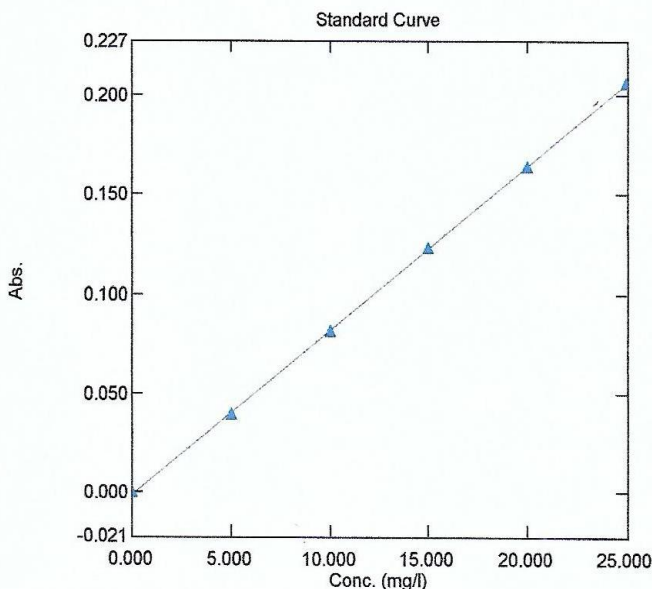
[Measurement Parameters(Sample)]
 Data Acquired by: Instrument
 Delay sample read: Disabled
 Repeat: Disabled

[Equations]

[Pass Fail]

[Method Summary]
 Title:
 Date/Time: 12/13/2019 04:17:14 PM
 Comments:
 Sample Preparations:

[Instrument Properties]
 Instrument Type: UV-1900 Series
 Measuring Mode: Absorbance
 Slit Width: 1.0 nm
 Light Source Change Wavelength: 340.8 nm
 S/R Exchange: Normal



y = 0.00825221 x - 6.97545e-004
 r2 = 0.99995
 Chi Square = -0.00095
 Standard Error of Estimate = 0.00060
 Residual Standard Deviation = 0.00054
 r(m)2 = 0.99995

[Attachment Properties]

Standard Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Wgt.Factor	Comments
1	1	Standard		0.000	0.000	1.000	
2	2	Standard		5.000	0.040	1.000	
3	3	Standard		10.000	0.081	1.000	
4	4	Standard		15.000	0.123	1.000	
5	5	Standard		20.000	0.164	1.000	
6	6	Standard		25.000	0.206	1.000	
7							

Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1						

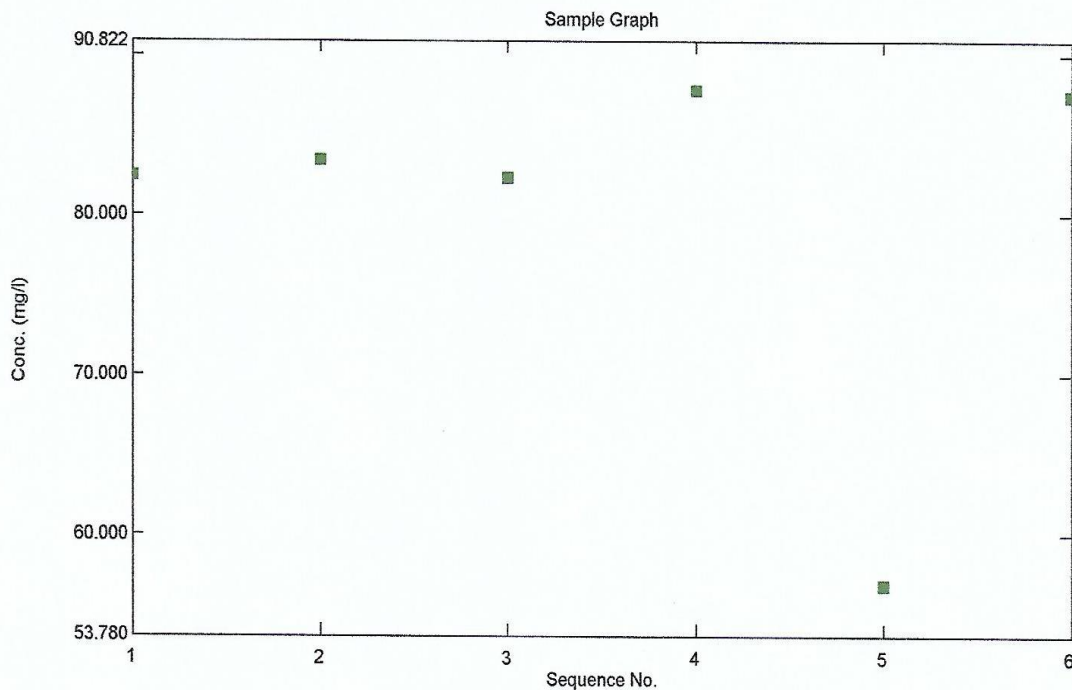


3. Pengujian UV-Vis Al – Fe, 10 menit

Sample Table Report

01/15/2020 03:23:32 PM

File Name: F:\2020\bagus-yulizar\10 (1-6).pho



Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1	10	Unknown		82.423	0.679	
2	10/2	Unknown		83.384	0.687	
3	10/3	Unknown		82.295	0.678	
4	10/4	Unknown		87.735	0.723	
5	10/5	Unknown		56.867	0.469	
6	10/6	Unknown		87.421	0.721	
7						

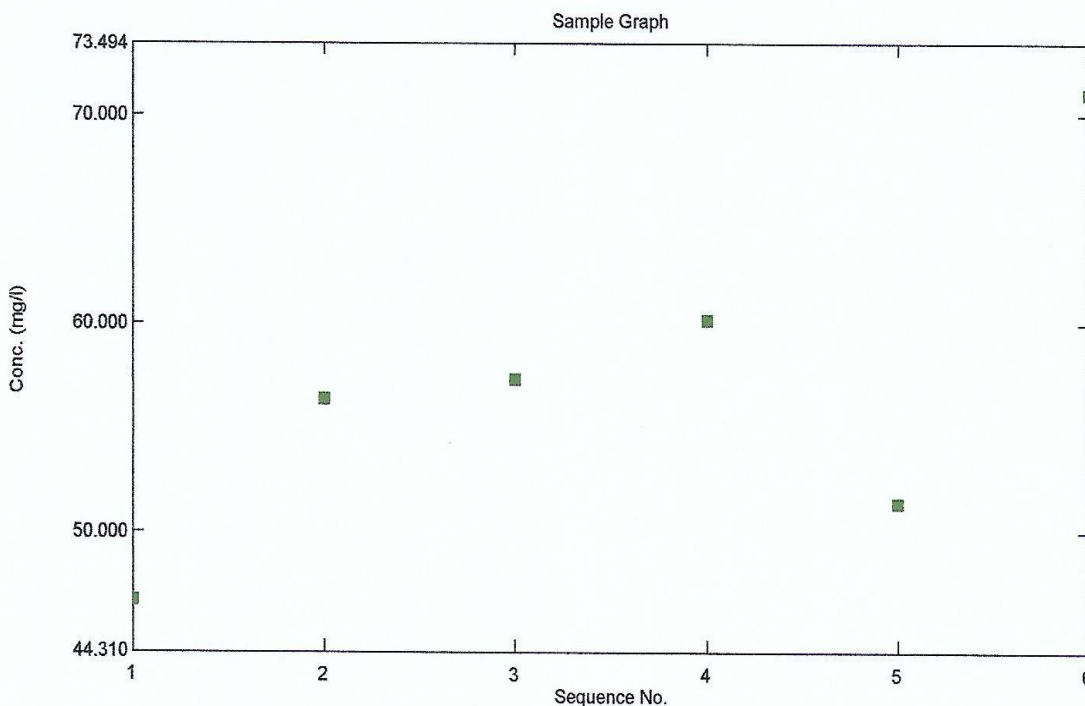
74

4. Pengujian UV-Vis Al – Fe, 20 menit

Sample Table Report

01/15/2020 03:24:49 PM

File Name: F:\2020\bagus-yulizar\20 (1-6).pho



Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1	20	Unknown		46.742	0.385	
2	20/2	Unknown		56.438	0.465	
3	20/3	Unknown		57.372	0.473	
4	20/4	Unknown		60.232	0.496	
5	20/5	Unknown		51.368	0.423	
6	20/6	Unknown		71.062	0.586	
7						

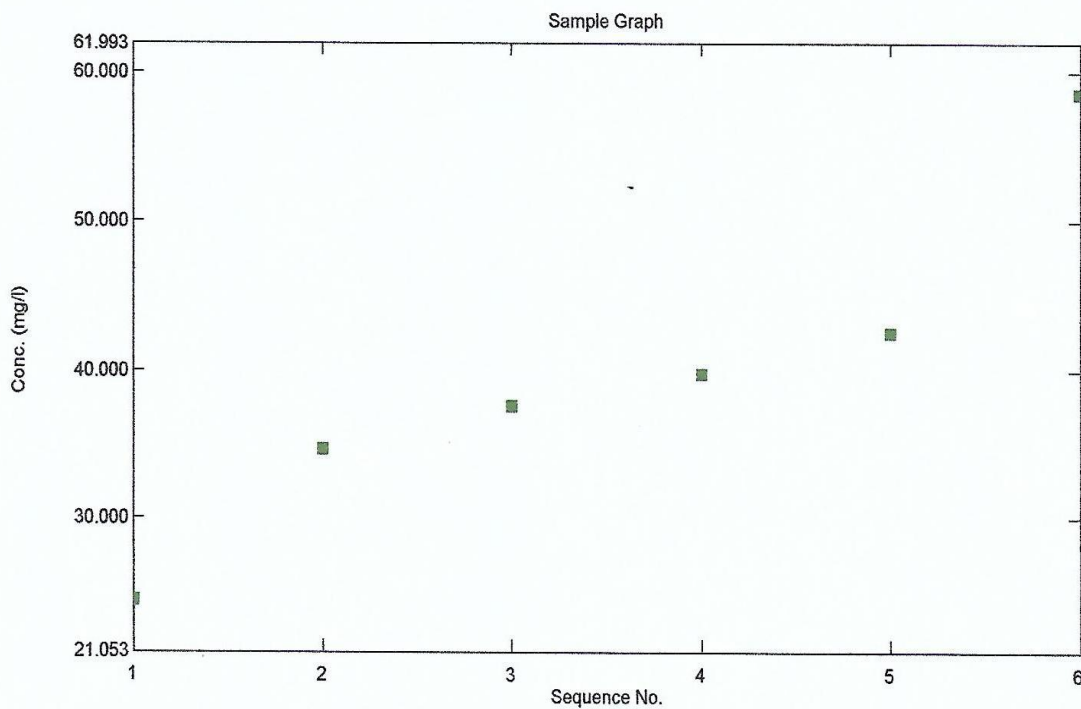


5. Pengujian UV-Vis Al – Fe, 30 menit

Sample Table Report

01/15/2020 03:26:04 PM

File Name: F:\2020\bagus-yulizar\30 (1-6).pho



Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1	30	Unknown		24.464	0.201	
2	30/2	Unknown		34.592	0.285	
3	30/3	Unknown		37.526	0.309	
4	30/4	Unknown		39.713	0.327	
5	30/5	Unknown		42.474	0.350	
6	30/6	Unknown		58.581	0.483	
7						

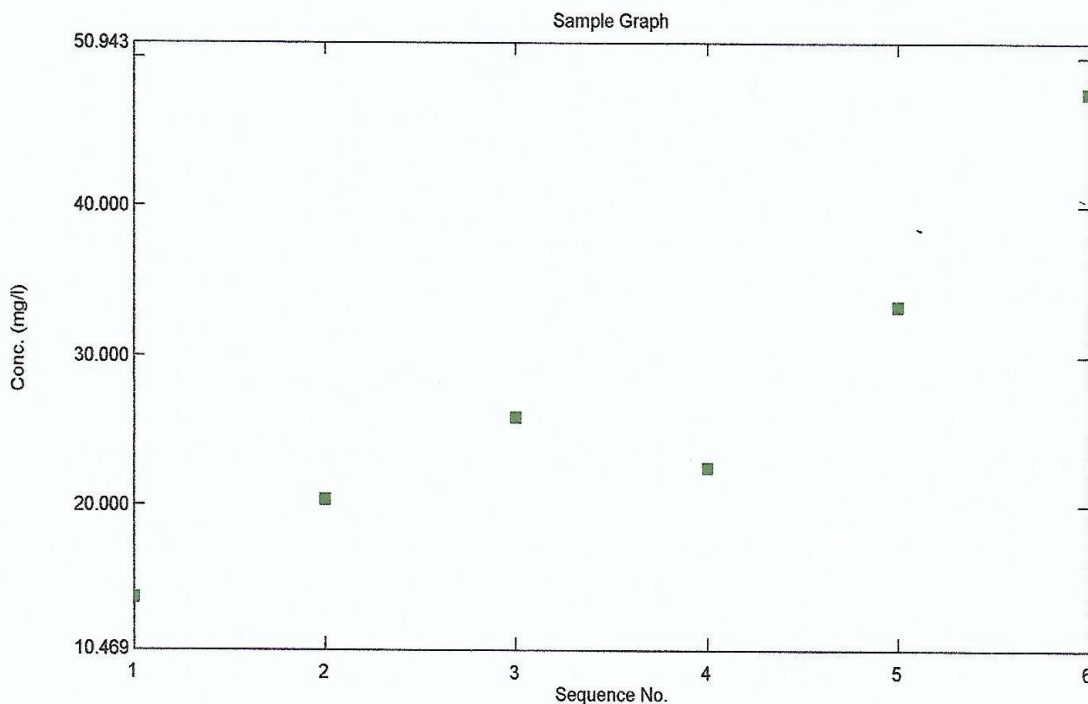


6. Pengujian UV-Vis Al – Fe, 40 menit

Sample Table Report

01/15/2020 03:28:29 PM

File Name: F:\2020\bagus-yulizar\40 (1-6).pho



Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1	40	Unknown		13.841	0.114	
2	40/2	Unknown		20.361	0.167	
3	40/3	Unknown		25.905	0.213	
4	40/4	Unknown		22.532	0.185	
5	40/5	Unknown		33.312	0.274	
6	40/6	Unknown		47.570	0.392	
7						

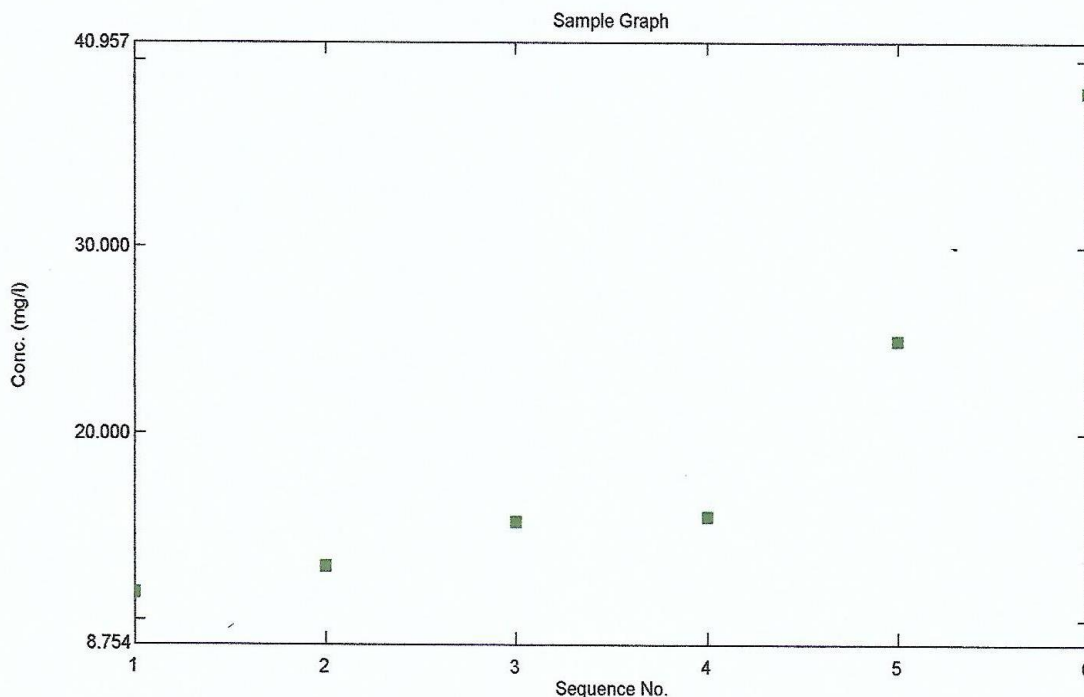


7. Pengujian UV-Vis Al – Fe, 50 menit

Sample Table Report

01/15/2020 03:13:33 PM

File Name: F:\2020\bagus-yulizar\50 (1-6).pho



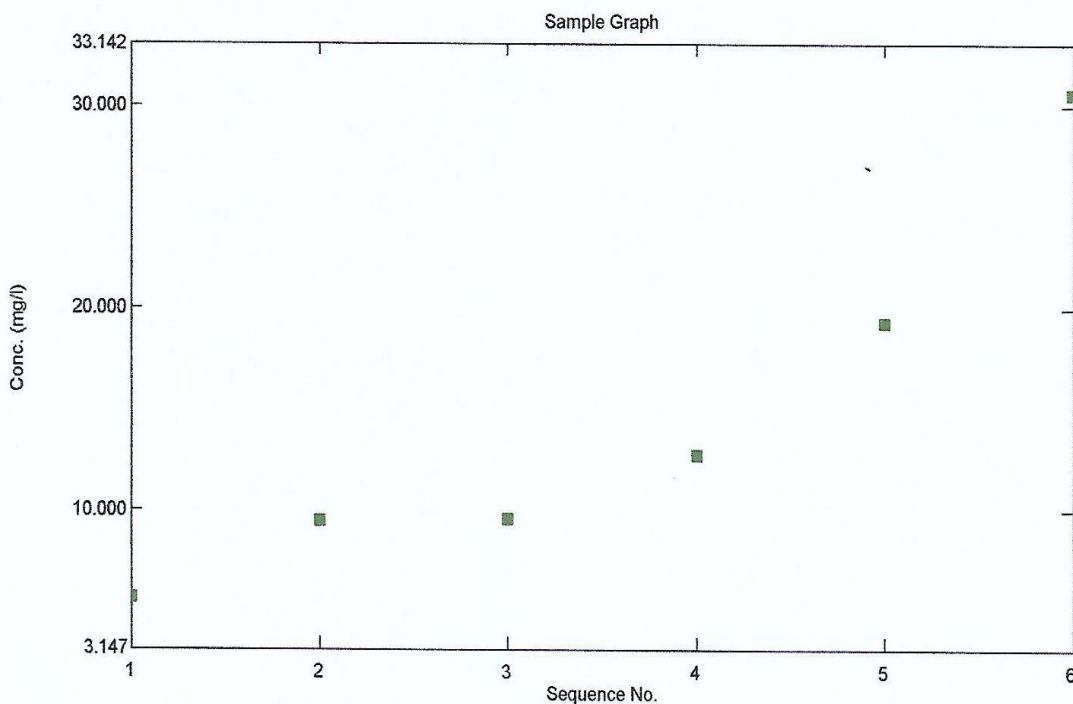
Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1	50	Unknown		11.438	0.094	
2	50/2	Unknown		12.841	0.105	
3	50/3	Unknown		15.226	0.125	
4	50/4	Unknown		15.565	0.128	
5	50/5	Unknown		24.945	0.205	
6	50/6	Unknown		38.273	0.315	
7						

Sample Table Report

01/15/2020 03:22:07 PM

File Name: F:\2020\bagus-yulizar\60 (1-6).pho



Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1	60	Unknown		5.646	0.046	
2	60/2	Unknown		9.428	0.077	
3	60/3	Unknown		9.504	0.078	
4	60/4	Unknown		12.739	0.104	
5	60/5	Unknown		19.324	0.159	
6	60/6	Unknown		30.642	0.252	
7						

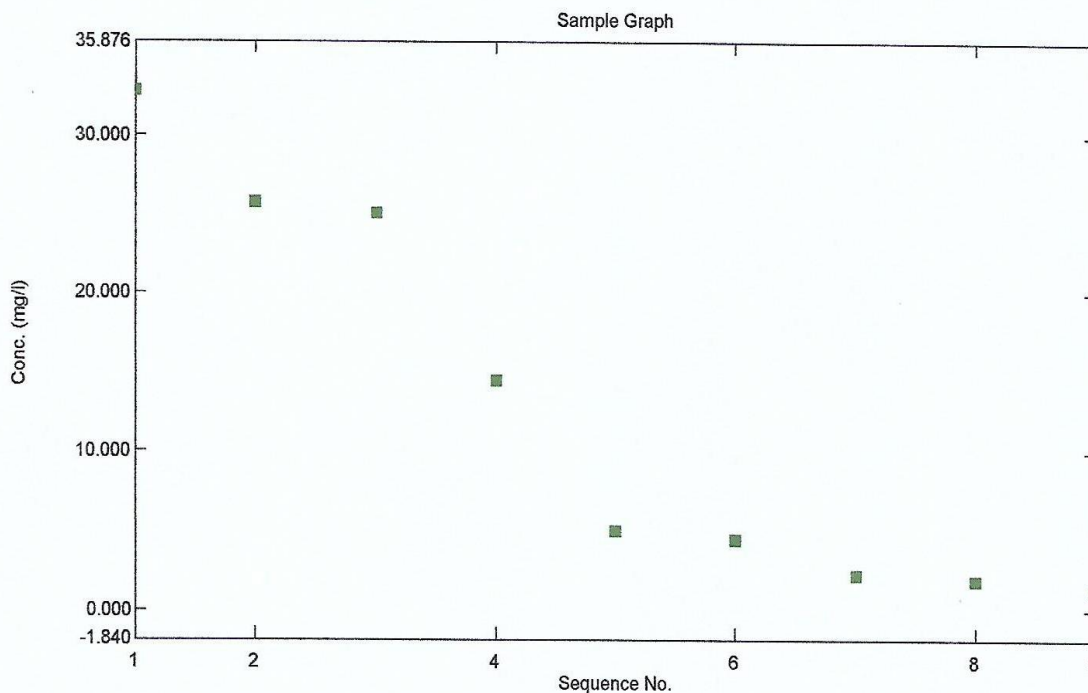


9. Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 0 rpm

Sample Table Report

01/22/2020 11:40:52 AM

File Name: F:\2020\bagus-yulizar\1 (3-60).pho



Sample Table

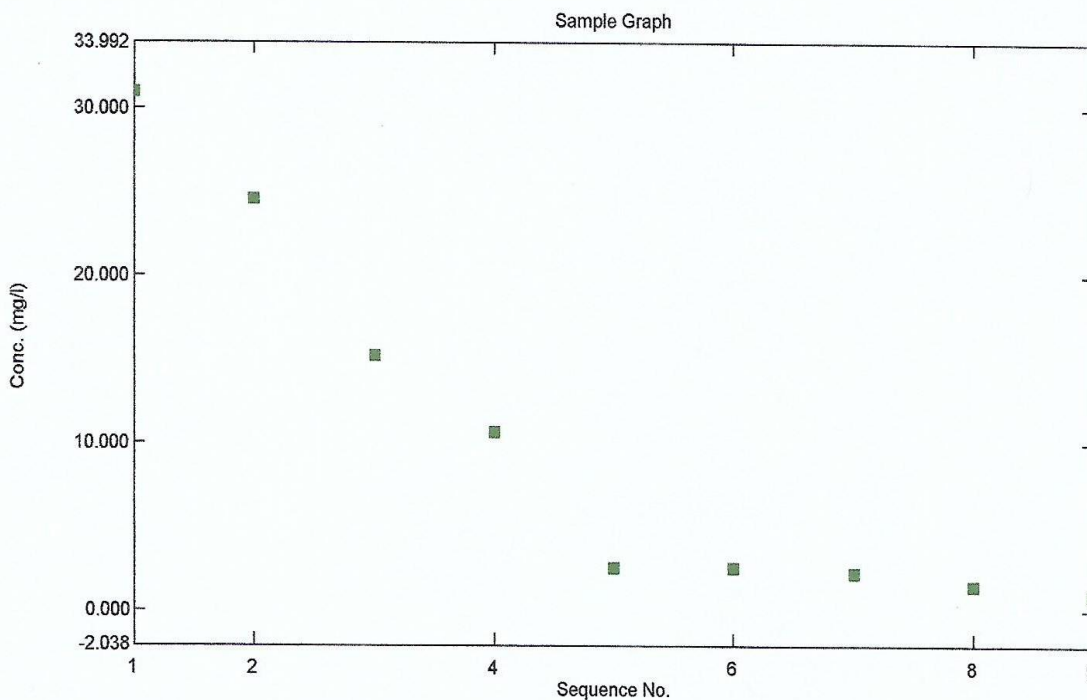
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1	3	Unknown		32.733	0.269	
2	6	Unknown		25.694	0.211	
3	9	Unknown		24.997	0.206	
4	12	Unknown		14.481	0.119	
5	20	Unknown		4.968	0.040	
6	30	Unknown		4.456	0.036	
7	40	Unknown		2.204	0.017	
8	50	Unknown		1.795	0.014	
9	60	Unknown		1.303	0.010	
10						

10. Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 50 rpm

Sample Table Report

01/22/2020 11:26:09 AM

File Name: F:\2020\bagus-yulizar\2 (3-60).pho



Sample Table

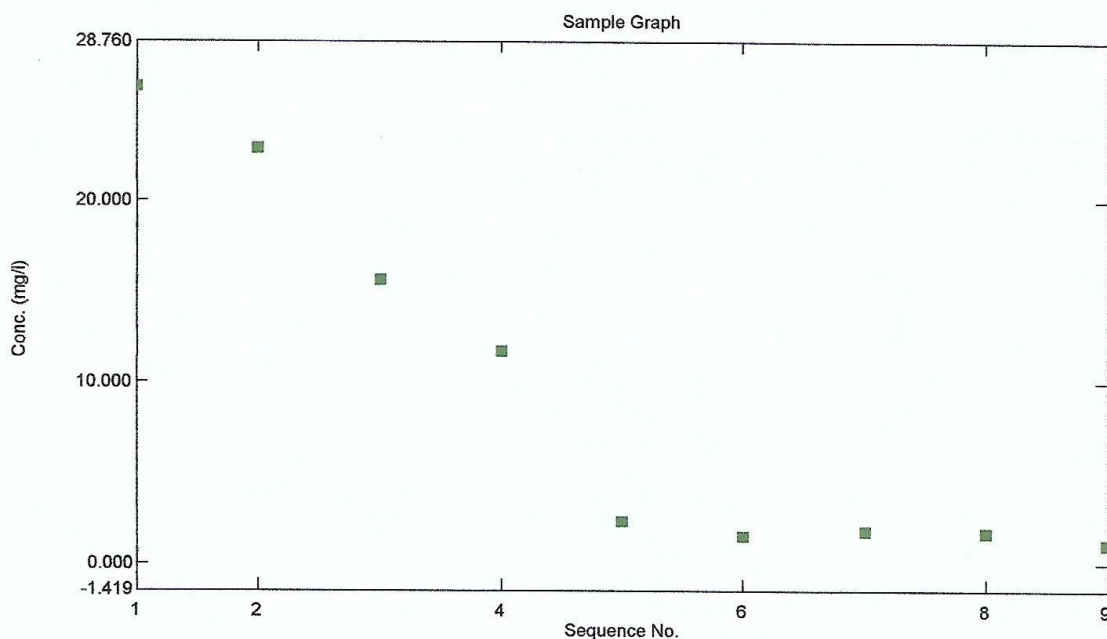
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1	3	Unknown		30.990	0.255	
2	6	Unknown		24.631	0.203	
3	9	Unknown		15.280	0.125	
4	12	Unknown		10.693	0.088	
5	20	Unknown		2.586	0.021	
6	30	Unknown		2.510	0.020	
7	40	Unknown		2.185	0.017	
8	50	Unknown		1.436	0.011	
9	60	Unknown		0.965	0.007	
10						

11. Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 100 rpm

Sample Table Report

02/03/2020 03:20:32 PM

File Name: F:\2020\bagus-yulizar\sample 31 jan 2020 3-60.pho



Sample Table

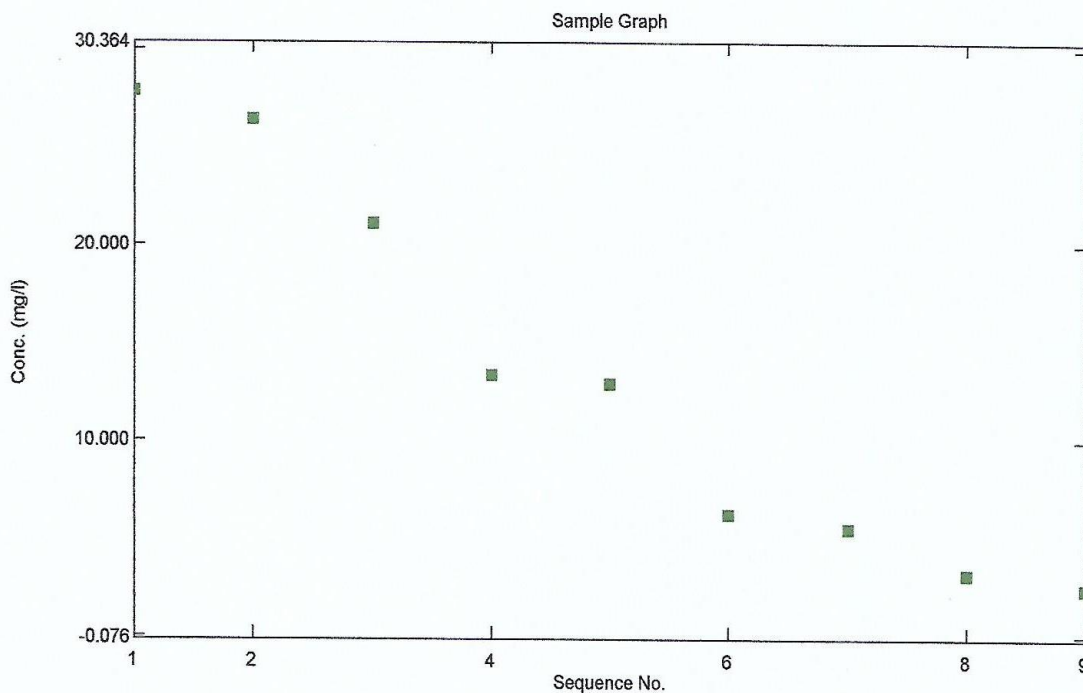
	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1	3	Unknown		26.245	0.216	
2	6	Unknown		22.854	0.188	
3	9	Unknown		15.593	0.128	
4	12	Unknown		11.665	0.096	
5	20	Unknown		2.316	0.018	
6	30	Unknown		1.551	0.012	
7	40	Unknown		1.823	0.014	
8	50	Unknown		1.715	0.013	
9	60	Unknown		1.096	0.008	
10						

12. Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 150 rpm

Sample Table Report

01/17/2020 03:47:37 PM

File Name: F:\2020\bagus-yulizar\sample 2.pho



Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1	3	Unknown		27.828	0.229	
2	6	Unknown		26.400	0.217	
3	9	Unknown		21.101	0.173	
4	12	Unknown		13.320	0.109	
5	20	Unknown		12.849	0.105	
6	30	Unknown		6.216	0.051	
7	40	Unknown		5.508	0.045	
8	50	Unknown		3.156	0.025	
9	60	Unknown		2.461	0.020	
10						

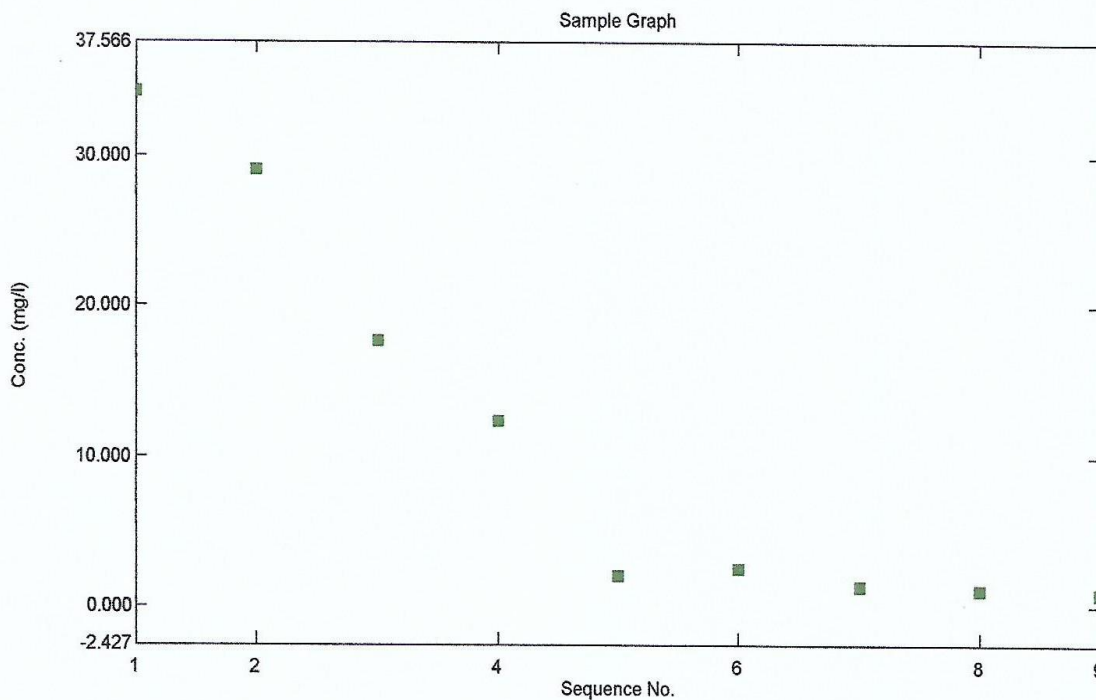
13. Pengujian UV-Vis Fe – Fe, 200 rpm

83

Sample Table Report

01/27/2020 11:28:23 AM

File Name: F:\2020\bagus-yulizar\3-60 mnt.pho



Sample Table

	Sample ID	Type	Ex	Conc	WL535.2	Comments
1	3	Unknown		34.233	0.282	
2	6	Unknown		29.068	0.239	
3	9	Unknown		17.719	0.146	
4	12	Unknown		12.401	0.102	
5	20	Unknown		2.083	0.016	
6	30	Unknown		2.586	0.021	
7	40	Unknown		1.346	0.010	
8	50	Unknown		1.174	0.009	
9	60	Unknown		0.906	0.007	
10						

Lampiran B. Data Pendukung Penurunan Konsentrasi Remazol Red RB

1. Pembuatan HCl 1 M

- a. Perhitungan konsentrasi HCl pekat

$$\text{Molaritas} = \frac{(10 \times \text{Persentase} \times \text{Berat Jenis})}{\text{Berat Molekul}}$$

$$\text{Molaritas} = \frac{(10 \times 37 \times 1,19)}{36,5}$$

$$\text{Molaritas} = 12,06 \text{ M}$$

- b. Perhitungan volume HCl pekat yang dibutuhkan untuk pembuatan HCl 1 M

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$

$$V_1 = \frac{1 \text{ M} \times 100 \text{ mL}}{12,06 \text{ M}}$$

$$V_1 = 8,3 \text{ mL}$$

2. Pembuatan NaOH 1 M

- a. Perhitungan mol NaOH yang dibutuhkan

$$\text{Molaritas} = \frac{\text{mol NaOH}}{\text{Volume}}$$

$$1 \text{ M} = \frac{\text{mol NaOH}}{0,01 \text{ L}}$$

$$\text{mol NaOH} = 0,01 \text{ mol}$$

- b. Perhitungan massa NaOH yang dibutuhkan

$$\text{Mol} = \frac{\text{massa NaOH}}{\text{Berat Molekul NaOH}}$$

$$0,01 \text{ mol} = \frac{\text{massa NaOH}}{40 \text{ gr/mol}}$$

$$\text{Massa NaOH} = 0,4 \text{ gr}$$

3. Pembuatan kurva kalibrasi Remazol Red RB

Dalam proses pembuatan kurva kalibrasi digunakan larutan standar dengan konsentrasi

- 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm serta larutan blanko (0 ppm). Larutan standar 25 ppm dibuat dengan mengencerkan larutan induk 110 ppm. Sedangkan untuk larutan standar 5, 10, 15, dan 20 ppm dibuat dengan cara mengencerkan larutan standar 25 ppm. Berikut merupakan perhitungan pengenceran dalam pembuatan larutan standar.

a. Perhitungan pengenceran larutan induk untuk menghasilkan larutan standar Remazol

Red RB 25 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$
$$V_1 = \frac{25 \text{ ppm} \times 30 \text{ mL}}{110 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 6,82 \text{ mL}$$

b. Perhitungan pengenceran larutan standar 25 ppm untuk menghasilkan larutan standar 20 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$
$$V_1 = \frac{20 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}}{25 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 8 \text{ mL}$$

c. Perhitungan pengenceran larutan standar 25 ppm untuk menghasilkan larutan standar 15 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$
$$V_1 = \frac{15 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}}{25 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 6 \text{ mL}$$

d. Perhitungan pengenceran larutan standar 25 ppm untuk menghasilkan larutan standar 10 ppm

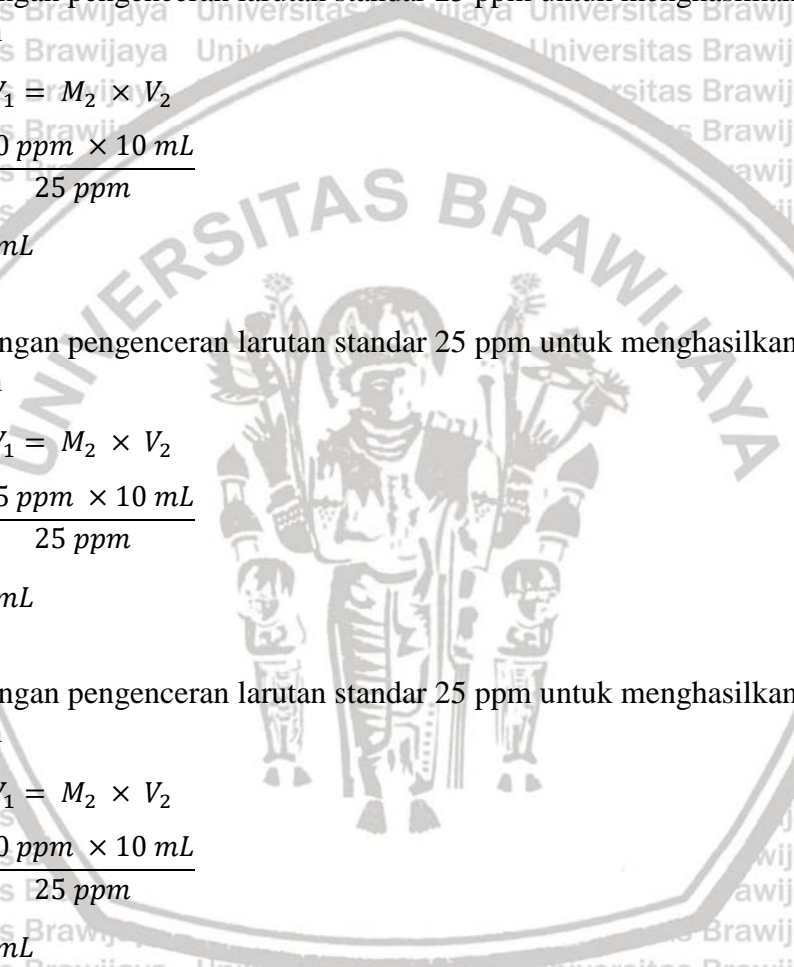
$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$
$$V_1 = \frac{10 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}}{25 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 4 \text{ mL}$$

e. Perhitungan pengenceran larutan standar 25 ppm untuk menghasilkan larutan standar 5 ppm

$$M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$$
$$V_1 = \frac{5 \text{ ppm} \times 10 \text{ mL}}{25 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 2 \text{ mL}$$



4. Perhitungan persentase penurunan Remazol Red RB

$$\eta(\%) = \left[\frac{C - C_t}{C} \right] \times 100$$

η = Efisiensi

C = Konsentrasi Awal

C_t = Konsentrasi Akhir

5. Perhitungan perubahan massa anoda

Penelitian ini menggunakan konfigurasi monopolar paralel yaitu 2 buah anoda dan 2 buah katoda. Selama proses elektrokoagulasi terjadi perubahan massa dari anoda yang digunakan karena terjadi disolusi anoda. Berikut merupakan perhitungan perubahan massa anoda.

$$\text{Perubahan massa} = \text{Massa Anoda 1 Akhir}^* - \text{Massa Anoda 1 Awal}^*$$

Ket : *Perhitungan diulangi untuk Anoda 2

Pasangan material elektroda	Kecepatan Pengadukan (rpm)	Perubahan Massa (gram)		
		Anoda 1	Anoda 2	Total
Al – Fe	0	-0,01	-0,01	-0,02
	50	-0,01	-0,01	-0,02
	100	-0,01	-0,01	-0,02
	150	-0,01	-0,01	-0,02
	200	-0,01	-0,01	-0,02
Fe – Fe	0	-0,07	-0,03	-0,10
	50	-0,11	-0,06	-0,17
	100	-0,1	-0,05	-0,15
	150	-0,09	-0,04	-0,13
	200	-0,07	-0,04	-0,11

6. Perhitungan massa endapan

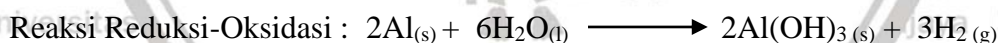
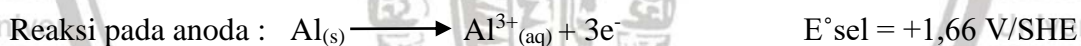
Setelah dilakukan proses elektrokoagulasi, sampel limbah sintetis Remazol Red RB didiamkan terlebih dahulu sebelum dilakukan penyaringan atau filtrasi untuk memisahkan padatan dengan larutan sampel. Berikut merupakan perhitungan massa endapan.

$$\text{Massa endapan} = \text{Massa Kertas Saring Akhir} - \text{Massa Kertas Saring Awal}$$

Pasangan material elektroda	Kecepatan Pengadukan (rpm)	Perubahan Massa (gram)		Massa Endapan Eksperimen (gram)	
		Kertas Saring Awal	Kertas Saring Akhir		
		Al – Fe			0
		50	0,49	0,63	0,14
		100	0,50	0,63	0,13
		150	0,49	0,61	0,12
		200	0,50	0,61	0,12
Fe – Fe		0	0,47	0,66	0,19
		50	0,47	0,74	0,27
		100	0,46	0,70	0,24
		150	0,47	0,69	0,22
		200	0,48	0,68	0,20

7. Energi Potensial Reaksi Reduksi – Oksidasi

a. Pasangan Pasangan material elektroda Al – Fe :

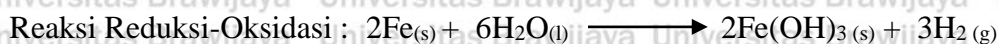
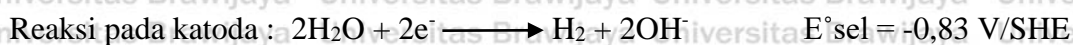
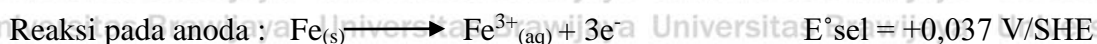


Energi potensial (E°) : $E^{\circ}_{\text{sel}} = E^{\circ}_{\text{anoda}} + E^{\circ}_{\text{katoda}}$

$E^{\circ}_{\text{sel}} = 1,66 \text{ V/SHE} + (-0,83 \text{ V/SHE})$

$E^{\circ}_{\text{sel}} = 0,83 \text{ V/SHE}$

b. Pasangan Pasangan material elektroda Fe – Fe :



Energi potensial (E°) :





$$E^\circ_{\text{sel}} = E^\circ_{\text{anoda}} + E^\circ_{\text{katoda}}$$

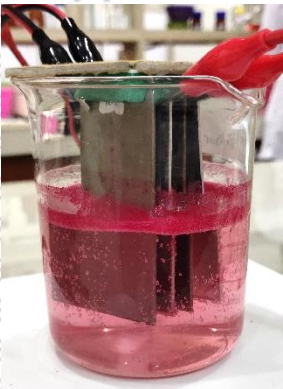

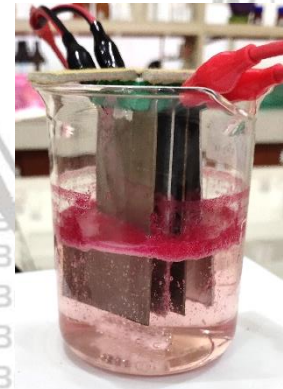

$$E^\circ_{\text{sel}} = 0,037 \text{ V/SHE} + (-0,83 \text{ V/SHE})$$

$$E^\circ_{\text{sel}} = -0,793 \text{ V/SHE}$$




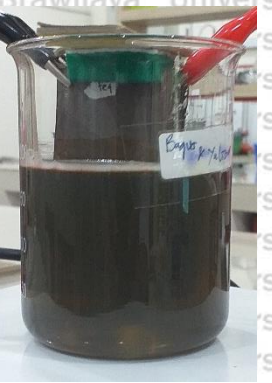


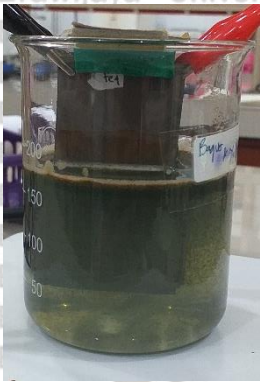
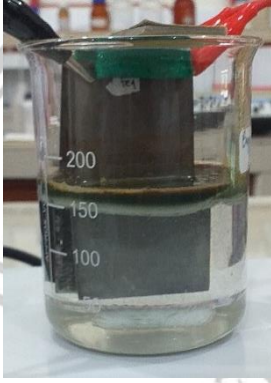

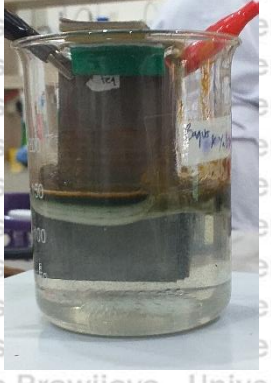
Lampiran C. Dokumentasi Penelitian




No.	Dokumentasi	Keterangan
1		<p>Pasangan material elektroda : Al - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-0 dengan pengadukan cepat 50 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
2		<p>Pasangan material elektroda : Al - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-10 dengan pengadukan cepat 50 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
3		<p>Pasangan material elektroda : Al - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-20 dengan pengadukan cepat 50 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
4		<p>Pasangan material elektroda : Al - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-30 dengan pengadukan cepat 50 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>

No.	Dokumentasi	Keterangan
5		<p>Pasangan material elektroda : Al - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-40 dengan pengadukan cepat 50 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
6		<p>Pasangan material elektroda : Al - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-50 dengan pengadukan cepat 50 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
7		<p>Pasangan material elektroda : Al - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-60 dengan pengadukan cepat 50 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
8		<p>Pasangan material elektroda : Al - Fe Endapan hasil elektrokoagulasi yang dikeringkan</p>



No.	Dokumentasi	Keterangan
9		<p>Pasangan material elektroda : Fe - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-0 dengan pengadukan cepat 100 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
10		<p>Pasangan material elektroda : Fe - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-3 dengan pengadukan cepat 100 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
11		<p>Pasangan material elektroda : Fe - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-6 dengan pengadukan cepat 100 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
12		<p>Pasangan material elektroda : Fe - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-9 dengan pengadukan cepat 100 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>

No.	Dokumentasi	Keterangan
13		<p>Pasangan material elektroda : Fe - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-12 dengan pengadukan cepat 100 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
14		<p>Pasangan material elektroda : Fe - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-20 dengan pengadukan cepat 100 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
15		<p>Pasangan material elektroda : Fe - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-30 dengan pengadukan cepat 100 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
16		<p>Pasangan material elektroda : Fe - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-40 dengan pengadukan cepat 100 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>

No.	Dokumentasi	Keterangan
17		<p>Pasangan material elektroda : Fe - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-50 dengan pengadukan cepat 100 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
18		<p>Pasangan material elektroda : Fe - Fe Elektrokoagulasi 110 ppm Remazol Red RB pada tegangan 5 Volt menit ke-60 dengan pengadukan cepat 100 rpm dan pengadukan lambat 50 rpm.</p>
19		<p>Pasangan material elektroda : Fe - Fe Endapan hasil elektrokoagulasi yang dikeringkan.</p>

Lampiran D. Riwayat Hidup**RIWAYAT HIDUP**

Bagus Yanuar Widarma Putra, Banyuwangi. 30 Januari 1998 anak pertama dari Ayah Sudaman dan Ibu Winarti, SD sampai SMP di kabupaten Badung, SMA di kota Denpasar lulus SMA tahun 2016, lulus program sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2020. Pengalaman kerja sebagai mahasiswa praktek kerja di PT. Styrindo Mono Indonesia (SMI), Serang – Banten tahun 2019. Finalis PKM-P dalam acara PKM Mahasiswa Baru Fakultas Teknik 2016, lolos tahap pendanaan PKM Pimnas bidang PKM-K tahun 2018.

Malang, 29 Juni 2020

Penulis



RIWAYAT HIDUP

Yulizar, 25 April 1998 anak dari ayah Herman Salim dan Ibu Hartati Alia, SD sampai SMA di kota Cilegon lulus SMA tahun 2016, lulus program sarjana teknik kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2020. Pengalaman kerja sebagai asisten Praktikum Operasi Teknik Kimia di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2019, tutor bimbingan belajar tahun 2017, Praktek Kerja Lapangan di PT Styrimdo Mono Indonesia (SMI), Serang – Banten tahun 2019, Juara 2 (*Silver Medal*) International Invention and Innovative (InIIC Series 2/2019).

Malang, 29 Juni 2020

Penulis



Penurunan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red RB Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dengan Variasi Material Elektroda dan Kecepatan Pengadukan

Bagus Yanuar Widarma Putra¹⁾, Yulizar^{1*)}, Bambang Ismuyanto¹⁾, dan Juliananda¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167, Malang 65145, Indonesia

^{*)}Penulis korespondensi : yulizar25@ub.ac.id

Abstract

Batik industry is a textile industry that has a negative impact for the environment when the wastewater containing dyes is discharged into the environment without going through processing first. When the production of batik increases, it will also increase the amount of wastewater produced. One of the methods that can be used to treat textile wastewater is electrocoagulation. Electrocoagulation is an electrochemical wastewater treatment method. The electrocoagulation process is carried out by varying the electrode material (Al-Fe and Fe-Fe) and stirring speed (0 rpm, 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, and 200 rpm). To determine the effect of variations in electrode material and stirring speed on the electrocoagulation process, dye concentration was measured using a UV-Vis spectrophotometer. The electrocoagulation process was carried out using parallel monopolar electrodes for 60 minutes. Based on this research, it can be seen that the electrode material and stirring speed influence the electrocoagulation process. The optimal percentage value in the process of dye concentration removal is produced using a stirring speed of 50 rpm which is 94,87% for Al-Fe and 98,24% for Fe-Fe. It can be seen that Fe-Fe is better than Al-Fe in the process of removing the concentration of textile dye wastewater.

Keywords: concentration; electrocoagulation; electrode material; stirring speed; Remazol Red RB

Abstrak

Industri batik merupakan industri tekstil yang memiliki dampak buruk bagi lingkungan apabila limbah cair berupa zat warna dibuang ke lingkungan tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu. Dengan semakin meningkatnya produksi batik maka jumlah limbah cair yang dihasilkan akan semakin banyak. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah pewarna tekstil adalah elektrokoagulasi. Elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan air limbah secara elektrokimia. Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan melakukan variasi pada material elektroda (Al-Fe dan Fe-Fe) dan kecepatan pengadukan (0 rpm, 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm dan 200 rpm). Untuk mengetahui pengaruh variasi material elektroda dan kecepatan pengadukan pada proses elektrokoagulasi maka dilakukan pengukuran konsentrasi zat warna dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Proses elektrokoagulasi dilakukan pada rangkaian elektroda monopolar paralel selama 60 menit. Berdasarkan penelitian ini, dapat diketahui bahwa material elektroda dan kecepatan pengadukan berpengaruh pada proses elektrokoagulasi. Nilai persentase penurunan zat warna optimum dihasilkan pada penggunaan kecepatan pengadukan 50 rpm yaitu 94,87% untuk Al-Fe dan 98,24% untuk Fe-Fe. Sehingga dapat diketahui bahwa penggunaan material Fe-Fe lebih baik daripada Al-Fe dalam proses penyisihan konsentrasi zat warna dalam limbah pewarna tekstil.

Kata kunci: elektrokoagulasi; kecepatan pengadukan; konsentrasi; material elektroda; Remazol Red RB



PENDAHULUAN

Industri batik merupakan salah satu industri yang berkembang pesat di Indonesia. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan meningkatnya produksi batik pada tahun 2010 sebesar 13% dari periode sebelumnya. Dengan meningkatnya nilai produksi batik, maka limbah yang dihasilkan pun akan terus meningkat setiap tahunnya. Salah satu proses yang menjadi sumber penyumbang limbah batik terbesar adalah proses pewarnaan. Hal ini dikarenakan pada proses pewarnaan, efisiensi fiksasi zat warna hanya sebesar 60-90% saja, sedangkan sisanya akan dilepaskan ke lingkungan sebagai limbah (Ghalwa dkk., 2016).

Zat warna yang banyak digunakan dalam proses pewarnaan batik adalah zat warna azo, salah satunya yaitu Remazol Red RB. Remazol Red RB merupakan zat warna reaktif yang mudah larut dalam air dan lebih mudah diaplikasikan dibanding jenis pewarna lainnya seperti indigosol, naftol, dan indanthrene (Fatimah, 2018). Remazol Red RB memiliki gugus kromofor (pembawa warna) azo dan gugus auksokrom (pengikat warna) sulfonat.

Zat warna merupakan koloid berjenis sol yang memiliki fase terdispersi padat dan medium pendispersinya adalah cairan (Tadros, 2010). Sebagian besar koloid merupakan partikel yang stabil, sehingga sulit untuk dipisahkan (Milani, 2019). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk proses destabilisasi koloid adalah metode elektrokoagulasi (Fayad, 2017).

Elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi kontinu yang menggunakan arus listrik searah (DC) melalui proses elektrokimia (Setianingrum, 2017). Proses elektrokoagulasi terdiri dari beberapa tahap proses yaitu proses ekuilibrasi, proses elektrokimia (flokulasi-koagulasi) dan proses pengendapan (Hernaningsih, 2016). Dalam metode elektrokoagulasi tidak ada penambahan bahan kimia sebagai koagulan, tetapi koagulan dihasilkan dengan cara elektrolisis (Sutanto, 2018). Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi proses elektrokoagulasi yaitu konduktivitas larutan, konfigurasi elektroda, bentuk elektroda, pH larutan, kerapatan arus, jarak antar elektroda, kecepatan pengadukan, waktu elektrolisis, konsentrasi awal polutan, pasivasi elektroda, dan tipe power supply (Khandegar, 2013).

Can, dkk. (2003), melakukan penelitian tentang penurunan konsentrasi zat warna menggunakan metode elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium. Dari penelitian tersebut didapatkan efisiensi penurunan konsentrasi zat warna sebesar 84,8% dengan kecepatan pengadukan 200 rpm dan material elektroda Al – Al. Semakin tinggi kecepatan pengadukan yang digunakan, efisiensi penurunan konsentrasi zat warna mengalami penurunan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Delil dan Nazim (2019), penggunaan elektroda Al – Fe dengan tegangan 6 V menghasilkan efisiensi penurunan zat warna pada limbah tekstil yang cukup

tinggi yaitu 87%. Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan oleh Koby, dkk. (2010), didapatkan persentase penyisihan zat warna pada kondisi optimum (konsentrasi = 500 mg/L, arus = 15 mA/cm², pH = 6) dengan menggunakan elektroda Fe – Fe sebesar 99,9%. Penelitian ini akan difokuskan pada pengaruh material elektroda dan kecepatan pengadukan dalam proses penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB pada limbah industri batik dengan konfigurasi elektroda monopolar paralel.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zat warna Remazol Red RB, akuades, NaOH, aseton, HCl, kertas saring, indikator pH universal, dan pelat aluminium dan besi sebagai elektroda. Ukuran pelat yang digunakan adalah 7x4 cm.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain spektrofotometer UV-Vis, oven, desikator, neraca digital, *power supply*, beaker glass, pipet ukur, labu ukur, gelas ukur, *hotplate & magnetic stirrer*, *magnetic bar stirrer*, pompa vakum.

Cara Kerja

1. Pembuatan Limbah Sintetis

Limbah sintetis dibuat dengan cara melarutkan 110 mg dengan 1 L akuades, sehingga didapatkan konsentrasi limbah sintetis sebesar 110 ppm.

2. Pre-treatment elektroda

Perlakuan awal elektroda (*pre-treatment*) dilakukan dengan pembilasan elektroda dengan akuades untuk menghilangkan kotoran yang berada pada permukaan elektroda. Selanjutnya elektroda direndam dengan aseton selama 10 menit untuk menghilangkan pengotor berupa lemak. Untuk elektroda besi dilanjutkan dengan perendaman di dalam HCl untuk menghilangkan lapisan *coating* pada permukaan elektroda selama 10 menit. Pelat elektroda selanjutnya dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 105 – 110 °C selama 10 menit. Kemudian pelat elektroda ditimbang dengan neraca digital hingga mendapatkan berat konstan.

3. Pengondisian pH awal limbah sintetis

Limbah sintetis dikondisikan dalam pH 8 dengan menambahkan NaOH 1 M sebanyak 0,15 mL.

4. Penentuan panjang gelombang maksimum

Penentuan panjang gelombang maksimum bertujuan untuk mengetahui posisi panjang

gelombang pada puncak terakhir hasil pembacaan. Pengukuran panjang gelombang maksimum dilakukan dengan menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 400 – 750 nm yang didasarkan oleh spektrum dari cahaya tampak yang terjadi pada rentang panjang gelombang tersebut. Dari hasil pengukuran pada panjang gelombang tersebut didapatkan Remazol Red RB memiliki panjang gelombang maksimum pada 535,20 nm.

5. Pembuatan kurva baku
 Kurva baku merupakan grafik hubungan antara konsentrasi dengan absorbansi larutan standar. Setiap titik pertemuan antara konsentrasi dengan absorbansi dihubungkan dengan regresi linear untuk mendapatkan persamaan linear dengan nilai R² mendekati 1. Untuk mendapatkan data absorbansi dan konsentrasi, maka dilakukan uji spektrofotometri UV-Vis dengan menggunakan larutan standar yang telah diketahui konsentrasi. Larutan standar yang digunakan dalam penelitian ini memiliki konsentrasi 0, 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm. Larutan standar diperoleh dengan mengencerkan limbah sintesis 110 ppm dengan akuades.

6. Proses elektrokoagulasi
 Proses elektrokoagulasi dilakukan dengan menggunakan dua variabel yaitu kecepatan pengadukan dan material elektroda. Variabel kecepatan pengadukan yang digunakan adalah 0, 50, 100, 150, dan 200 rpm. Sedangkan untuk variabel material elektroda yang digunakan adalah Al – Fe dan Fe – Fe. Proses elektrokoagulasi dilakukan selama 60 menit dengan volume limbah sintesis sebanyak 200 mL. Proses pengambilan sampel dilakukan setiap 10 menit sekali untuk variasi material elektroda Al – Fe. Sedangkan pada variasi material elektroda Fe – Fe, sampel diambil setiap 3 menit sekali pada 12 menit pertama kemudian dilanjutkan setiap 10 menit sekali dari menit ke-20 hingga selesai.

Gambar 1. Rangkaian sel elektrokoagulasi monopolar paralel

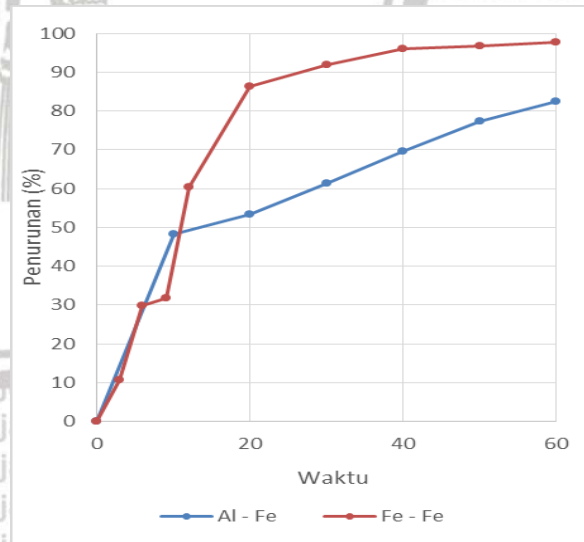
Keterangan:

1. Power supply
2. Digital magnetic stirrer
3. Magnetic bar stirrer
4. Beaker glass
5. Pelat katoda
6. Pelat anoda
7. Kabel Negatif
8. Kabel Positif
9. Penjepit
10. Spons

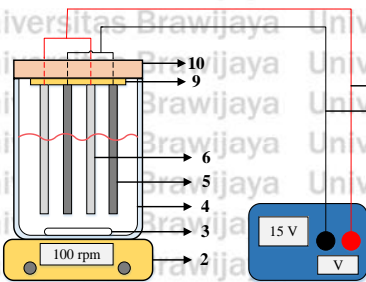
HASIL DAN PEMBAHASAN

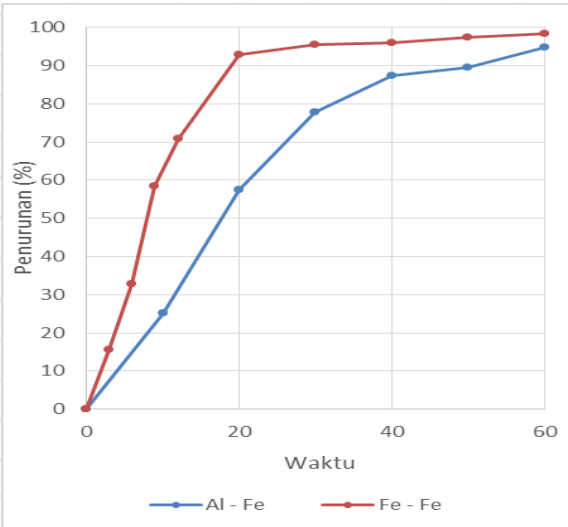
Pengaruh Material Elektroda terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red RB

Variasi material elektroda yang digunakan dalam penelitian ini adalah Al-Fe dan Fe-Fe dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh material material elektroda terhadap persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB pada limbah pewarna tekstil. Pengaruh material elektroda pada proses elektrokoagulasi zat warna Remazol Red RB ditunjukkan pada Gambar 2.

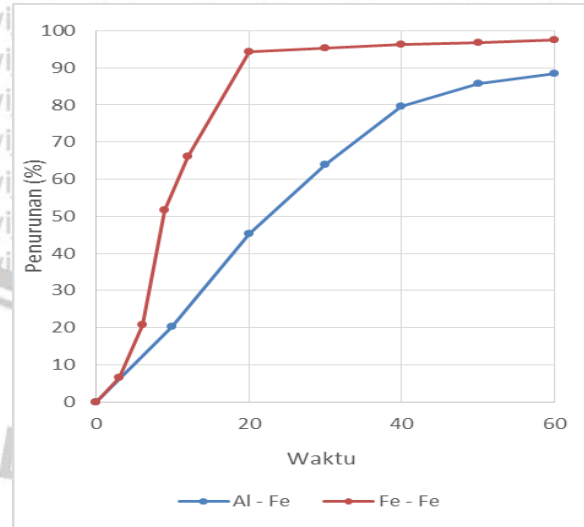


(a)

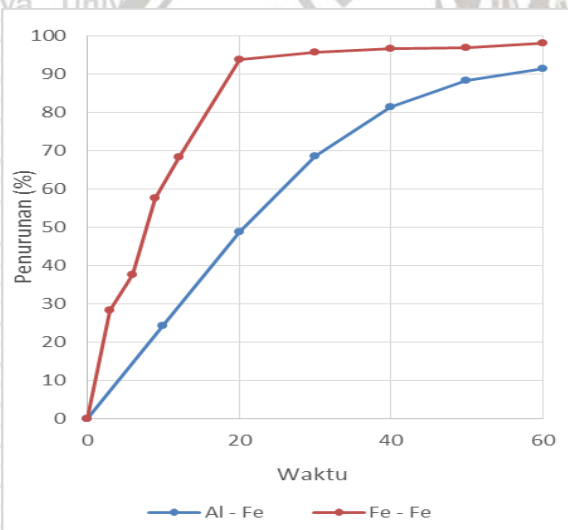




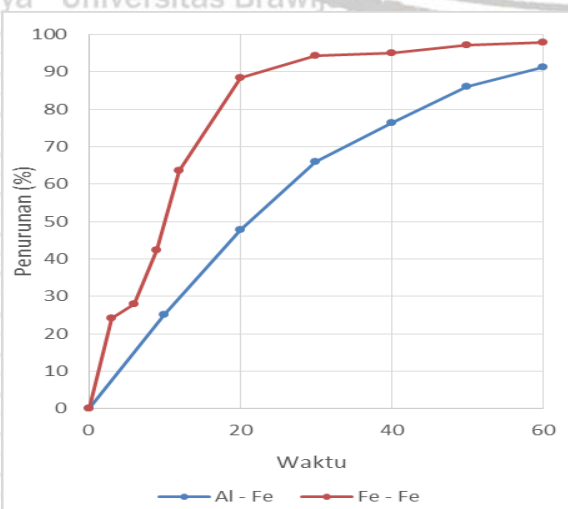
(b)



(e)



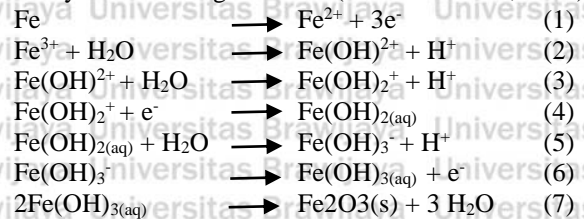
(c)



(d)

Gambar 2. Grafik persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB terhadap waktu pada variasi material elektroda dengan kecepatan pengadukan (a) 0 rpm (b) 50 rpm (c) 100 rpm (d) 150 rpm (e) 200 rpm

Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB mengalami peningkatan selama proses elektrokoagulasi pada semua variasi material elektroda untuk setiap kecepatan pengadukan. Peningkatan tersebut terjadi karena adanya interaksi elektrostatis yang terjadi antara partikel zat warna dengan koagulan (Muharam dkk., 2017). Fenomena interaksi elektrostatis tersebut dapat diamati secara fisik melalui perubahan warna yang terjadi selama proses elektrokoagulasi. Penggunaan pasangan material elektroda Fe-Fe menghasilkan beberapa perubahan warna yaitu merah, merah kecoklatan, oranye atau jingga, hijau, kuning dan tidak berwarna. Perubahan warna pada Fe-Fe tersebut terjadi akibat adanya reaksi sebagai berikut (Ghernaout dkk., 2009).



Banyaknya perubahan warna pada Fe-Fe terjadi karena menghasilkan dua jenis koagulan yaitu $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$. $\text{Fe}(\text{OH})_2$ yang terbentuk dalam larutan memiliki warna hijau dan bercampur dengan warna merah dari larutan sehingga menyebabkan larutan berubah warna menjadi merah kecoklatan. Selanjutnya $\text{Fe}(\text{OH})_2$ akan bereaksi dengan H_2O untuk membentuk $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang memiliki warna kuning yang mengakibatkan larutan berubah warna menjadi jingga.



Dari menit ke-20 hingga 60, larutan perlahan-lahan menjadi lebih jernih namun masih terdapat warna kuning akibat $\text{Fe}(\text{OH})_3$ masih terus terbentuk. Selain itu, endapan Fe_2O_3 berwarna merah-kuning-kecoklatan sebagai produk samping dari proses elektrokoagulasi mulai terbentuk (Moreno dkk., 2007).

Pada penggunaan variasi pasangan material elektroda Al-Fe tidak memberikan banyak fenomena perubahan warna yaitu merah, merah muda, dan jernih tidak berwarna. Hal ini dikarenakan hanya terdapat satu jenis koagulan yang terbentuk yaitu $\text{Al}(\text{OH})_3$. Selain itu pada penggunaan material elektroda Al-Fe tidak terbentuk endapan selama proses elektrokoagulasi dikarenakan karat yang terbentuk berupa Al_2O_3 (aluminium oksida) bersifat kuat tidak mudah hancur seperti Fe_2O_3 yang terbentuk pada variasi elektroda Fe-Fe.

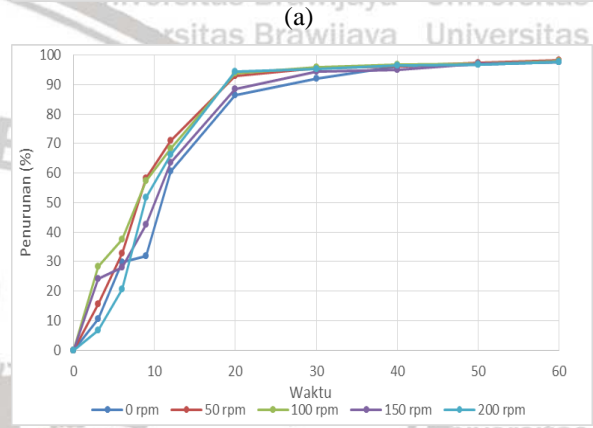
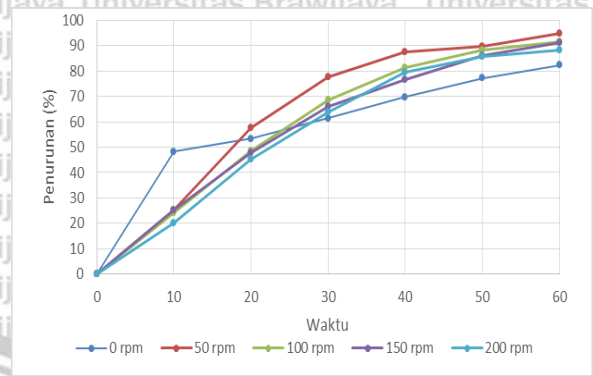
Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa proses elektrokoagulasi menggunakan material elektroda Al-Fe memberikan hasil persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB di akhir proses elektrokoagulasi (menit ke-60) yang lebih rendah dibandingkan penggunaan material elektroda Fe-Fe. Hal tersebut dapat terjadi karena pada penggunaan material elektroda Fe-Fe dapat membentuk dua jenis koagulan yaitu $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$, sedangkan pada penggunaan material Al-Fe hanya membentuk satu jenis koagulan yaitu $\text{Al}(\text{OH})_3$ sehingga proses pengikatan zat warna pada Fe-Fe berlangsung lebih cepat.

Jika ditinjau dari sifat keelektronegatifan, unsur Fe memiliki nilai elektronegatifitas sebesar 1,8 sedangkan Al hanya sebesar 1,5. Semakin besar nilai keelektronegatifan suatu unsur, maka akan semakin mudah unsur tersebut untuk mengikat elektron (Petrucci dkk., 2011). Sehingga $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ cenderung menarik pasangan elektron bebas (PEB) dari gugus sulfonat (SO_3^{2-}) membentuk ikatan kovalen koordinasi dibandingkan dengan $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Selain itu pada penggunaan Al-Fe terjadi fenomena pasivasi pada elektroda Al akibat proses oksidasi dan selanjutnya membentuk lapisan pasif Al_2O_3 pada permukaan logam Al. Lapisan pasif tersebut menyebabkan Al sukar teroksidasi dan berakibat pada pembentukan ion Al^{3+} akan semakin sedikit. Ketika ion Al^{3+} yang terbentuk sedikit, maka koagulan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang terbentuk akan semakin sedikit pula (Liu dkk., 2010).

Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red RB

Kecepatan pengadukan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0 rpm, 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm dan 200 rpm. Penggunaan kecepatan pengadukan yang berbeda bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan terhadap persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik persentase penurunan zat warna Remazol Red RB terhadap waktu pada variasi kecepatan pengadukan dengan material elektroda (a) Al-Fe (b) Fe-Fe

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB mengalami peningkatan selama proses elektrokoagulasi pada setiap kecepatan pengadukan baik untuk material elektroda Al-Fe maupun Fe-Fe. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya interaksi elektrostatik antara koagulan dan partikel zat warna (Muharam dkk., 2017). Salah satu faktor yang mempengaruhi interaksi elektrostatik adalah kecepatan pengadukan. Adanya kecepatan pengadukan akan meningkatkan pergerakan koagulan dan partikel zat warna sehingga memungkinkan interaksi yang terjadi antara keduanya semakin cepat (Modirshahla dkk., 2008).

Tabel 1. Data persentase penurunan zat warna Remazol Red RB dengan variasi material elektroda terhadap kecepatan pengadukan

Material Elektroda	Waktu (menit)	% Penurunan				
		0 rpm	50 rpm	100 rpm	150 rpm	200 rpm
Al-Fe	0	0	0	0	0	0
	10	48,3	25,1	24,2	25,2	20,2



Material Elektroda	Waktu (menit)	% Penurunan				
		0 rpm	50 rpm	100 rpm	150 rpm	200 rpm
Al-Fe	20	53,3	57,5	48,7	47,8	45,2
	30	61,4	77,7	68,6	65,9	63,9
	40	69,7	87,4	81,5	76,5	79,5
	50	77,3	89,6	88,3	86,1	85,8
	60	82,4	94,8	91,4	91,4	88,4
	0	0	0	0	0	0
Fe-Fe	3	10,7	15,5	28,4	24,1	6,64
	6	29,9	32,8	37,7	28,0	20,7
	9	31,8	58,3	57,5	42,5	51,7
	12	60,5	70,8	68,2	63,7	77,5
	20	86,5	93,0	93,7	88,3	94,3
	30	91,9	95,4	95,8	94,4	95,3
	40	96,0	96,0	96,7	95,0	96,3
	50	96,7	97,4	96,9	97,2	96,8
	60	97,6	98,2	98,0	97,7	97,5

Berdasarkan Gambar 3 (a) dan Tabel 1 dapat diketahui bahwa proses elektrokoagulasi tanpa pengadukan (kecepatan pengadukan cepat 0 rpm) akan memberikan persentase penurunan konsentrasi zat warna yang cukup tinggi yaitu 48,3% pada 10 menit pertama. Hal ini dikarenakan koagulan hanya terdistribusi secara efektif di area sekitar elektroda saja (Calvo dkk., 2003). Karena adanya fenomena tersebut, maka interaksi elektrostatis antara koagulan dan zat warna hanya terjadi di bagian atas reaktor saja.

Setelah 10 menit, proses elektrokoagulasi dilanjutkan dengan pengadukan lambat sebesar 50 rpm, akibatnya koagulan dan zat warna yang berada di bagian bawah reaktor (belum mengalami elektrokoagulasi) barulah terdistribusi secara merata. Hal tersebut mengakibatkan persentase penurunan zat warna dari menit ke-10 hingga ke 20 hanya mengalami peningkatan sebesar 5%. Pada menit ke-30 hingga 60, persentase penurunan zat warna untuk 0 rpm meningkat dari 61,39% menjadi 82,43%. Meskipun demikian, nilai tersebut merupakan nilai terendah jika dibandingkan dengan variabel kecepatan pengadukan cepat lainnya pada waktu yang sama. Hal ini dikarenakan partikel dan zat warna baru terdistribusi secara merata setelah adanya pengadukan (setelah menit ke-10). Sedangkan pada penggunaan kecepatan pengadukan cepat sejak awal proses (10 menit pertama), koagulan dan partikel zat warna sudah terdistribusi secara merata sejak awal sehingga

pembentukan mikroflokk telah terjadi secara efektif sejak awal proses.

Sedangkan untuk kecepatan 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm dan 200 rpm memberikan hasil persentase penurunan konsentrasi zat warna yang meningkat hingga diatas 90%. Hal ini dikarenakan menggunakan pengadukan cepat pada awal proses dapat mempercepat pembentukan mikroflokk sehingga proses pembentukan makroflokk dari menit ke-10 hingga 60 lebih cepat dibandingkan dengan tanpa pengadukan (Ebeling dan Sarah, 2004).

Selain itu, persentase penurunan zat warna yang dihasilkan pada kecepatan 100 rpm, 150 rpm dan 200 rpm lebih rendah dibandingkan 50 rpm. Hal ini terjadi karena penggunaan kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi (didasar kecepatan normal) dapat menyebabkan makroflokk yang sudah terbentuk pecah (Modirshahla, dkk., 2008). Sedangkan kecepatan 50 rpm memberikan persentase penurunan zat warna tertinggi yang menandakan 50 rpm merupakan kecepatan pengadukan optimal.

Berdasarkan Gambar 3 (b) dan Tabel 1 dapat dilihat bahwa fenomena yang terjadi pada variasi tanpa pengadukan (0 rpm) berbeda dengan Gambar 2 (a), dimana pada 10 menit pertama khususnya pada menit ke-6 hingga 9 hanya terjadi sedikit peningkatan persentase penurunan zat warna. Hal ini terjadi karena koagulan $Fe(OH)_2$ yang telah terbentuk tidak berperan secara efektif untuk mengikat zat warna melainkan mengalami reaksi lebih lanjut membentuk $Fe(OH)_3$ (Moreno dkk., 2007).

Berdasarkan data pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa persentase penurunan zat warna pada menit ke-60 untuk kecepatan 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm dan 200 rpm secara berturut-turut yaitu 98,24%, 97,6%, 98,0%, 97,7% dan 97,5%. Berdasarkan data tersebut, dapat diketahui bahwa kecepatan pengadukan cepat 50 rpm merupakan kecepatan pengadukan optimal pada proses elektrokoagulasi dengan material Fe-Fe. Hal tersebut bersesuaian dengan hasil yang ditunjukkan pada variasi Al-Fe.

Selain itu, terdapat data perubahan massa anoda dan massa endapan pada setiap variasi material elektroda dan kecepatan pengadukan yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data perubahan massa anoda dan massa endapan dengan variasi material elektroda terhadap kecepatan pengadukan

Material Elektroda	Kecepatan Pengadukan (rpm)	Pengurangan Massa Anoda (gram)	Massa Endapan (gram)
Al-Fe	0	0,02	0,12
	50	0,02	0,14
	100	0,02	0,13
	150	0,02	0,12
	200	0,02	0,11

Material Elektroda	Kecepatan Pengadukan (rpm)	Pengurangan Massa Anoda (gram)	Massa Endapan (gram)
Fe-Fe	0	0,10	0,19
	50	0,17	0,27
	100	0,15	0,24
	150	0,13	0,22
	200	0,11	0,20

Berdasarkan data pada Tabel 1 dan Tabel 2 dapat diketahui pada penggunaan kecepatan pengadukan 50 rpm memberikan hasil yang terbaik yaitu persentase penyisihan tertinggi dan massa endapan terbesar. Massa endapan terbesar menandakan bahwa proses penyisihan zat warna berlangsung dengan sangat baik. Selain itu, dapat diketahui bahwa penggunaan kecepatan pengadukan 50 rpm merupakan kecepatan optimal yang digunakan dalam penelitian ini karena menghasilkan persentase penurunan zat warna serta massa endapan terbesar baik pada material Al-Fe maupun Fe-Fe.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh material elektroda dan kecepatan pengadukan terhadap penurunan persentase konsentrasi Remazol Red RB pada limbah pewarna tekstil dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan material elektroda Fe-Fe pada proses elektrokoagulasi memberikan hasil persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan material elektroda Al-Fe.
2. Kecepatan pengadukan 50 rpm merupakan kecepatan pengadukan optimal pada penelitian ini karena menghasilkan persentase penurunan konsentrasi zat warna Remazol Red RB tertinggi baik untuk material elektroda Fe-Fe maupun Al-Fe.

DAFTAR PUSTAKA

Calvo, L.S., Leclerc, J.P., Tnguy, G., Cames, M.C., Paternotte, G., Valentin, G., Rostan, A., dan Lopicque, F. (2003). An Electrocoagulation Unit For The Purification of Soluble Oil Wastes of High COD. *Environmental Progress*, 22(1), 57-65.

Can, O.T., M. Bayramoglu, dan M. Kobya. (2003). Decolorization of Reactive Dye Solutions by Electrocoagulation Using Aluminium Electrodes. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42, 3391-3396.

Delil, A.D. dan Nazim, G. (2019). Investigation of Electrocoagulation And Electrooxidation Methods of Real Textile Wastewater

Treatment. *Journal of Science And Technology*, 20(1), 80-9.

Ebeling, J.T. dan Ogden, S.R. (2004). Application of Chemical Coagulation Aids For The Removal of Suspended Solid (TSS) And Phosphorus From The Microscreen Effluent Discharge of an Intensive Recirculating Aquaculture System. *North American Journal of Aquaculture*, 66, 198-207.

Fatimah, N., Alimuddin, dan Rahmat, G. (2018). Penurunan Intensitas Warna Remazol Red RB Dalam Limbah Batik Elektrokoagulasi Menggunakan NaCl. *Jurnal Atomik*, 3(1), 39-46.

Fayad, Nidal. (2017). *The Application of Electrocoagulation Process For Wastewater Treatment and For The Separation and Purification of Biological Media*. Perancis: Université Clermont Auvergne.

Ghernaout, D., B. Ghernaout, A. Boucherit, M.W. Naceur, A. Khaelifa, dan A. Kelil. (2009). Study On Mechanism of Electrocoagulation with Iron Electrodes In Idealised Conditions And Electrocoagulation of Humic Acids Solution In Batch Using Aluminium Electrodes. *Desalination and Water Treatment*, 8, 91-99.

Hernaningsih, Taty. (2016). Tinjauan Teknologi Pengolahan Air Limbah Industri Dengan Proses Elektrokoagulasi. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 9(1), 31-46.

Khandegar, V. dan Anil, K.S. (2013). Electrocoagulation For The Treatment of Textile Industry Effluent: A Review. *Journal of Environmental Management*, 128, 949-963.

Liu, H., Xu, Z., dan Jiuhui, Q. (2010). Electrocoagulation in Water Treatment. Dalam *Electrochemistry For The Environment*, Editor: Comminellis, C. dan Guohua, C. New York: Springer Science+Business Media.

Tadros, T.F. (2010). *Colloids in Paints*. Workingham: Wiley-VCH.

Milani, J.M. dan Abdolkhalegh, G. (2019). *Introductory Chapter: Some New Aspects of Colloidal Systems in Food*. London: Intech Open.

Moreno C.H.A., David, L.C., Jewel, A.G.G., Paul, M., J. R. Parga, Eric, P., dan Christina, G. (2009). Electrochemical Reactions for

Electrocoagulation Using Iron Electrodes. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 48, 2275-2282.

Modirshahla, N., Behnajady, M.A., dan Mohammadi-Aghdam, S. (2008). Investigation of The Effect of Different Electrodes and Their Connections On The Removal Efficiency of 4-Nitrophenol From Aqueous Solution By Electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, 154 (1 - 3), 778 – 786.

Muharam, S., Lela, M.Y., dan Citra, I.R. (2017). Simultaneous Combination of Electrocoagulation and Chemical Coagulation Methods for Medical Wastewater Treatment. *Makara Journal of Science*, 21(3), 113-118.

Petrucci, dkk. (2011). *Kimia Dasar Prinsip – Prinsip & Aplikasi Modern, Edisi IX*. Jakarta: Erlangga

Sutanto, Ani, I., dan Sarahwati. (2018). Efisiensi dan Efektifitas Serta Kinetika Elektrokoagulasi Pengolahan Limbah Sagu Aren. *Ekologia*, 18(1), 10-16.

Setianingrum, N.P., Agus, P., dan Sarto. (2017). Pengurangan Zat Warna Remazol Red RB Menggunakan Metode Elektrokoagulasi secara Batch. *Jurnal Rekayasa Proses*, 11(2), 78-85.

