

**EVALUASI PROSES ELEKTROFLOTASI-BIOKOAGULASI
MENGUNAKAN BIOKOAGULAN KACANG ARAB (*Cicer
arietinum*) DAN BIJI KELOR (*Moringa oleifera*) UNTUK
PENGOLAHAN LIMBAH LABORATORIUM KIMIA**

SKRIPSI

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

**Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta**



Diajukan oleh:

ANDRIE MUHAMMAD IQBAL

No. Mahasiswa: 15612182

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2020

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

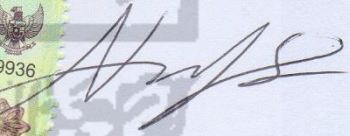
Nama : Andrie Muhammad Iqbal

Nim : 15612182

Menyatakan bahwa seluruh komponen dan isi laporan dalam tugas akhir saya yang berjudul Evaluasi Proses Elektroflotasi-Biokoagulasi menggunakan Biokoagulan Kacang Arab (*Cicer arietinum*) dan Biji Kelor (*Moringa oleifera*) untuk Pengolahan Limbah Laboratorium Kimia adalah hasil karya sendiri dan bersifat asli. Apabila kemudian hari terbukti ada dari beberapa bagian karya ini ditemukan ketidaksesuaian pada pernyataan ini, maka saya siap menerima konsekuensinya sesuai ketentuan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Mei 2020




(Andrie Muhammad Iqbal)

**EVALUASI PROSES ELEKTROFLOTASI-BIOKOAGULASI
MENGUNAKAN BIOKOAGULAN KACANG ARAB (*Cicer
arietinum*) DAN BIJI KELOR (*Moringa oleifera*) UNTUK
PENGOLAHAN LIMBAH LABORATORIUM KIMIA**

Oleh:

ANDRIE MUHAMMAD IQBAL

No. Mahasiswa: 15612182


telah dipertahankan oleh Panitia Ujian Skripsi
Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia

Tanggal: 13 Februari 2020

Dewan Penguji:

1. Rudy Syah Putra, S.Si., M.Sc., Ph.D.
2. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D.
3. Mai Anugrahwati, S.Si., M.Sc.

Tanda tangan



Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia



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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan skripsi ini kepada :

Papah (Bapak Walhadi) dan mamah (Ibu Juminah)

Puji Sawitri



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualikum Warhmatullahi Wabarakatuh

Pertama-tama senantiasa bersyukur atas limpahan rahmat dan nikmat yang Allah SWT berikan kepada saya, yang telah memberikan banyak nikmat. Nikmat iman, nikmat sehat, sehingga saya dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **Evaluasi Proses Elektroflotasi-Biokoagulasi menggunakan Biokoagulan Kacang Arab (*Cicer arietinum*) dan Biji Kelor (*Moringa oleifera*) untuk Pengolahan Limbah Laboratorium Kimia**. Insya Allah diberkahi oleh Allah SWT serta dinaungi oleh para malaikat, sehingga saya Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Akhiirul anbiyaa' Nabiyallah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman.

Skripsi adalah salah satu mata kuliah wajib bagi mahasiswa semester akhir Program Studi S-1 untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Program Studi Kimia, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.

Skripsi dapat terselesaikan hingga tersusunnya laporan ini, tidak lepas dari bimbingan dan pengarahan berbagai pihak. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Riyanto, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
2. Ibu Dr. Is Fatimah, selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.

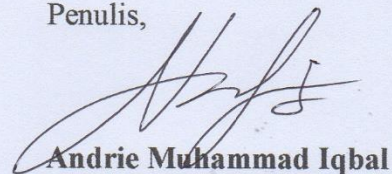
3. Bapak Dr. Dwiarso Rubiyanto, selaku Ketua Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Rudy Syah Putra, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, saran serta arahnya selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi. saya ucapkan banyak terimakasih telah mendidik saya banyak hal dan mohon maaf karena telah banyak saya kecewakan.
5. Papah Walhadi dan mamah Mimin Juminah yang sangat berjasa selama ini mendampingi serta senantiasa yang tiada hentinya mendoakan. Penulis sangat berterima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orangtua penulis yang selalu *support* doa dan uang dalam penelitian dan penyelesaian skripsi ini.
6. Irfan arirahman, rekan satu tim penelitian saya yang selalu membantu dan memberi dorongan dalam proses penelitian saya.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan proposal skripsi ini sangat penulis harapkan dari semua pihak. Semoga Naskah Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi diri penulis dan bagi para pembaca.

Wassalaamualikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 20 Mei 2020

Penulis,



Andrie Muhammad Iqbal

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
INTISARI	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Aplikasi Proses Elektroflotasi pada Pengolahan Limbah Cair.....	6
2.2 Aplikasi Proses Biokoagulan pada Pengolahan Limbah Cair	7
2.3 Aplikasi Proses Elektroflotasi-Koagulasi pada Pengolahan Limbah Cair ..	9
BAB III DASAR TEORI	11
3.1 Elektroflotasi	11
3.2 Biokoagulasi.....	14

3.2.1	Biji kelor (<i>Moringa oleifera</i>).....	15
3.2.2	Kacang arab (<i>Cicer arietinum</i>).....	18
3.2.3	Mekanisme biokoagulasi dan flokulasi	19
3.3	Elektroflotasi Biokoagulasi	22
3.4	Uji Parameter Limbah Laboratorium	24
3.5	Spektrofotometri Serapan Atom.....	26
BAB IV METODE PENELITIAN		28
4.1	Alat dan Bahan	28
4.1.1	Alat	28
4.1.2	Bahan.....	28
4.2	Cara Kerja	29
4.2.1	Elektroflotasi	29
4.2.2	Preparasi biokoagulan	33
4.2.3	Elektroflotasi	33
4.2.4	Biokoagulasi	34
4.2.5	Elektroflotasi-biokoagulasi.....	34
4.2.6	Analisis nilai efisiensi pengolahan limbah	34
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		37
5.1	Karakteristik limbah laboratorium	37
5.2	Elektroflotasi	38
5.2.1	Optimasi tegangan	38
5.2.2	Proses elektroflotasi.....	42
5.3	Hasil Proses Koagulasi dengan PAC dan biokoagulan.....	43

5.4	Proses Elektroflotasi Biokoagulasi.....	46
5.5	Efektifitas Pengolahan Limbah Proses Elektroflotasi Biokoagulasi.....	48
5.5.1	Efektifitas persen penurunan turbiditas	48
5.5.2	Efektifitas persen penurunan TDS.....	50
5.5.3	Efektifitas persen massa endapan.....	52
5.5.4	Persen penurunan konsentrasi logam berat	53
5.5.5	Biaya operasi elektroflotasi-biokoagulasi	55
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		56
6.1	Kesimpulan.....	56
6.2	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN.....		63



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Biji kelor (<i>Moringa oleifera</i>)	16
Gambar 2 4-(α -L-Rhamnosiloksi) benzil isotiosianat	17
Gambar 3 Kacang arab (<i>Cicer arietinum</i>).....	19
Gambar 4 Ilustrasi gaya Van der Waals dan gaya tolakan elektrostatik.....	20
Gambar 5 Mekanisme koagulasi polielektrolit pada protein (Haver, 2017)	20
Gambar 6 Asam amino bersifat amfoter.....	21
Gambar 7 Cara kerja spektrofotometri serapan atom.....	26
Gambar 8 Rangkaian reaktor elektroflotasi. Reaktor elektroflotasi dihubungkan dengan catu daya DC dan digital multimeter yang terkoneksi ke perangkat komputer (a) dan ilustrasi skema rangkaian elektroflotasi (b).	29
Gambar 9 Skema pengukuran gelembung gas elektroflotasi secara manual.....	30
Gambar 10 Konfirmasi hasil pengukuran diameter gelembung gas elektroflotasi dengan aplikasi ImageJ.	30
Gambar 11 ImageJ : Pengaturan skala	31
Gambar 12 ImageJ : Proses memperjelas citra gelembung dengan perintah smooth (a), find edges (b), changes to 8-bit (c) dan binary (d).....	32
Gambar 13 ImageJ : Pengukuran citra gelembung menggunakan ImageJ.....	33
Gambar 14 Konfirmasi hasil pengukuran diameter dan jumlah gelembung gas untuk optimasi tegangan elektroflotasi	41
Gambar 15 Hasil proses penggunaan biokoagulan. (a) Penggunaan kacang arab, (b) Penggunaan biji kelor, dan (c) Penggunaan PAC.....	46

Gambar 16 Perbandingan persen penurunan turbiditas 49

Gambar 17 Perbandingan persen penurunan TDS 50



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Klasifikasi tanaman kelor	15
Tabel 2 Kandungan kimia biji kelor (<i>Moringa oleifera</i>) dengan porsi 100 gr ...	16
Tabel 3 Klasifikasi tanaman kacang arab	18
Tabel 4 Kandungan kimia kacang arab (<i>Cicer arietinum</i>) dengan porsi 100 gr...	19
Tabel 5 Standar baku mutu limbah cair laboratorium yang merujuk pada standar baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan	25
Tabel 6 Karakteristik limbah laboratorium yang dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah.	37
Tabel 7 Hasil data optimasi tegangan.....	39
Tabel 8 Hasil dari proses elektroflotasi.....	42
Tabel 9 Hasil dari proses koagulasi.....	44
Tabel 10 Hasil dari proses elektroflotasi biokoagulasi.....	47
Tabel 11 Hasil persen massa endapan.....	52
Tabel 12 Hasil penurunan konsentrasi logam berat dengan proses elektroflotasi, biokoagulasi dan elektroflotasi biokoagulasi	53

EVALUASI PROSES ELEKTROFLOTASI-BIOKOAGULASI MENGUNAKAN BIOKOAGULAN KACANG ARAB (*Cicer arietinum*) DAN BIJI KELOR (*Moringa oleifera*) UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH LABORATORIUM KIMIA

INTISARI

Andrie Muhammad Iqbal

NIM: 15612182

Limbah laboratorium kimia kurang diperhatikan karena laboratorium dianggap hanya menghasilkan sedikit limbah, namun jika selalu diabaikan dan prosedur pengolahannya tidak sesuai, akan menimbulkan risiko yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, diperlukan dalam pengolahan limbah laboratorium kimia yaitu melalui proses elektroflotasi dengan bantuan biokoagulan. Biokoagulan yang digunakan koagulan sintesis (PAC) dan koagulan alami yaitu kacang arab (*Cicer arietinum*) dan biji kelor (*Moringa oleifera*) dengan variasi dosis masing-masing sebesar 0,05; 0,1; dan 0,2 gram/250 mL. Proses elektroflotasi dilakukan dengan elektroda inert yaitu elektroda grafit pada anoda dan *stainless steel* pada katoda dengan tegangan konstan DC 21 V selama 60 menit. Efektivitas proses elektroflotasi-biokoagulasi dievaluasi dengan melihat penurunan angka konduktivitas listrik (EC), total zat padat terlarut (TDS), turbiditas, dan logam Pb.

Hasil menunjukkan bahwa proses elektroflotasi-biokoagulasi lebih efektif dibandingkan proses elektroflotasi dan koagulasi. Konduktivitas listrik (EC) berhasil direduksi sampai 14,63% oleh kacang arab 0,1 gram/500 mL, TDS (zat padat terlarut) direduksi sampai 23,51% oleh kacang arab 0,1 gram/500 mL, turbiditas limbah direduksi sampai 92,78% oleh kacang arab 0,1 gram/500 mL, dari persen berat endapan dapat diketahui aktivitas koagulan kacang arab 0,1 gram/500 mL sebesar 96,36% dan konsentrasi logam berat timbal (Pb) direduksi sampai 14,365%.

Kata kunci: Limbah Laboratorium Kimia, Elektroflotasi-Biokoagulasi, Biokoagulan, Kacang Arab (*Cicer arietinum*), Biji Kelor (*Moringa oleifera*)

EVALUATION OF ELECTROFLOTATION-BIOCOAGULATION PROCESS USING BIOCOAGULANT OF CHICKPEA (*Cicer arietinum*) AND MORINGA SEEDS (*Moringa oleifera*) FOR LABORATORY WASTEWATER TREATMENT

ABSTRACT

Andrie Muhammad Iqbal

NIM: 15612182

Laboratory wastewater receives less attention because the the laboratory is considered to produce less waste, but if it is always ignored and inappropriate processing procedures, it is will raises unwanted risks. Therefore, it is needed the treatment of laboratory wastewater that is through the electrofotation process with addition of biocoagulants. In this study, chickpea and moringa were used as biocoagulants compared with PAC as chemical coagulant. all coagulants used variations in doses of 0.05; 0.1; and 0.2 gram / 250 mL The electrofotation process was carried out with graphite electrodes as the anode and stainless steel as the cathode with a constant voltage of 21 V DC for 60 minutes. The effectiveness of the electrofotation-biokoagulation process is evaluated by looking at the reduction in the number of Electrical Conductivity (EC), Total Dissolved Solids (TDS), Turbidity, and Pb and Cu Metals.

The results showed that the electrofotation-biocoagulation process is more effective than the electroflotation and coagulation process. The electrical conductivity (EC) has been reduced 14.63% by chickpea at dosage of 0.1 gram /500 mL, TDS (soluble solids) was reduced to 23.51% by arab beans 0.1 gram / 500 mL, waste turbidity was reduced up to 92.78% by chickpea seeds 0.1 gram / 500 mL, from the weight percent of the precipitate we can know chickpea coagulant activity of 0.1 gram /500 mL by 96.36% and the concentration of lead heavy metals (Pb) is reduced to 14,365%.

Keywords: Laboratory Wastewater, Electrofotation-Biocoagulation, Biocoagulant, Chickpea (*Cicer arietinum*), Moringa seed (*Moringa oleifera*)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Masalah limbah menjadi perhatian serius masyarakat dan pemerintah Indonesia, terutama dalam beberapa dekade belakangan ini bukan hanya industri di sektor lain juga menghasilkan limbah seperti di kesehatan, penelitian pengembangan dan juga pendidikan terkhusus yang mempunyai laboratorium seperti di Universitas Islam Indonesia. Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup sebagai pengganti Undang-undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup (menggantikan Undang-undang Nomor 4 Tahun 1982) (Malayadi, 2017).

Laboratorium Terpadu UII sebagai pusat kegiatan penelitian tidak terlepas dari limbah padat, cair ataupun gas. Limbah ini diperoleh dari proses penelitian dari peralatan hasil atau sisa reaksi bahan kimia, bahan sekali pakai atau bahan berbahaya dan beracun (B3) (Lasut,2006). Limbah laboratorium kurang diperhatikan karena jumlahnya yang dianggap kecil, namun jika selalu diabaikan dan prosedur pengolahan tidak sesuai tidak menutup kemungkinan terjadi risiko yang tidak diinginkan (McKusick, 1981).

Metode pengolahan limbah laboratorium telah banyak dilakukan diantaranya metode koagulasi (Said, 2009), metode koagulasi adsorpsi (Audiana dkk, 2017), metode koagulasi flokulasi (Raimon, 2011), metode elektroflotasi (Muhammad dan Warjito, 2014). Pengolahan limbah industri umumnya menggunakan metode

sedimentasi (Cahyadi dan Trihadinigrum, 2000), metode adsorpsi (Cholil, 1997), metode biodegradasi (Sudijanto, 1993), metode elektroflotasi (Rochman, 2016), metode biokoagulasi (Magaji, 2015), metode elektrokoagulation-elektroflotation (Adjeroud dkk. 2017). Koagulasi merupakan proses pengolahan limbah dengan penambahan dan pencampuran suatu koagulan. Koagulan yang umum digunakan adalah garam aluminium antara lain aluminium sulfat ($Al_4(SO_4)_3$) dan *poly aluminium chloride* (PAC), garam besi dan termasuk polimer anorganik dengan berat molekul besar (Siregar, 2005).

Elektroflotasi merupakan proses pengolahan limbah dengan mengapungkan ion atau partikel padat, kemudian tersuspensi, dengan pelepasan gelembung hidrogen dan oksigen yang terbentuk pada katoda dan anoda (Nanseau-Njiki, 2009). Elektroflotasi dapat menjadi alternatif karena efisien dan dapat untuk skala kecil, menengah atau bahkan besar (Kurniawan, 2006). Proses koagulasi biasa digunakan sebagai pengolahan air minum dan air limbah, tetapi menggabungkan koagulasi dengan proses lainnya dapat meningkatkan keseluruhan kinerja untuk berbagai tugas rehabilitasi lingkungan (Ramadhan, 2016). Penelitian Mansour (2007) yaitu metode koagulasi-elektroflotasi telah dilakukan dengan sistem bertahap, pertama limbah dikoagulasi, kemudian dialirkan ke sistem elektroflotasi dan koagulan yang digunakan adalah alum $Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$. Beberapa studi melaporkan bahwa senyawa alum dan $FeCl_2$ dapat memicu penyakit *Alzheimer* (Campbell, 2002), dan penyakit neurologis seperti demensia pra-pikun

Koagulan alami atau dikenal biokoagulan direkomendasikan untuk pengolahan air (Kihampa, 2011) dan ditemukan keberadaannya dengan diekstrak

dari mikroorganisme, hewan dan tumbuhan yang aman bagi kesehatan manusia. (Yongabi dkk. 2010) seperti biji kelor (*Moringa oleifera*) (Eman, 2014). Biokoagulan sudah digunakan pada penelitian lain adalah kacang arab (*Cicer arietinum*) menggunakan proses koagulasi mampu menurunkan turbiditas 81,20% dan kadar COD sampai 90,00% pada limbah penyamakan kulit (Kazi dan Virupakshi, 2013). Kelor merupakan tanaman yang dapat tumbuh dengan cepat, berumur panjang dan cocok dengan iklim Indonesia. Kelor saat ini sudah mulai dimanfaatkan di Indonesia untuk bahan pangan, obat-obatan dan penjernihan air. Biji kelor digunakan dalam penelitian ini untuk mengkonfirmasi kemampuan biji kelor dalam proses penjernihan air, kemudian dievaluasi dengan perbandingan menggunakan koagulan alami lain yang belum banyak digunakan yaitu kacang arab (Amina, 2015).

Pada penelitian ini berdasar pada uraian sebelumnya untuk memaksimalkan proses pengolahan limbah maka dilakukan terobosan pengolahan limbah laboratorium dengan gabungan proses elektroflotasi dan biokoagulasi dengan memanfaatkan kacang arab (*Cicer arietinum*) dan biji kelor (*Moringa oleifera*) sebagai biokoagulan pengganti koagulan sintetik. Sehingga tidak menimbulkan efek samping akibat penggunaan koagulan sintetik dan lebih mengoptimalkan hasil dari pengolahan limbah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan biokoagulan kacang arab (*Cicer arietinum*) dan biji kelor (*Moringa oleifera*) dibandingkan dengan koagulan sintesis *Poly aluminium chloride* (PAC) pada pengolahan limbah laboratorium kimia?
2. Bagaimana efektivitas dan efisiensi proses elektroflotasi-biokagulasi dibandingkan dengan proses elektroflotasi dan koagulasi untuk pengolahan limbah laboratorium kimia melalui analisis pH, elektrokonduktivitas, TDS (zat padat terlarut), turbiditas, persen berat endapan dan konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kemampuan biokoagulan kacang arab (*Cicer arietinum*) dan biji kelor (*Moringa oleifera*) dibandingkan dengan koagulan sintesis *Poly aluminium chloride* (PAC) pada pengolahan limbah laboratorium kimia.
2. Mengetahui efektifitas dan efisiensi proses elektroflotasi-biokoagulasi dibandingkan dengan proses elektroflotasi dan koagulasi untuk pengolahan limbah laboratorium kimia melalui analisis pH, elektrokonduktifitas, TDS (zat padat terlarut), turbiditas, persen berat endapan dan konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan tembaga (Cu).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui proses elektroflotasi-biokoagulasi merupakan proses pengolahan limbah laboratorium terbarukan karena menggunakan koagulan alami dari tumbuhan.
2. Penelitian ini diharapkan dapat efektif dan efisien pada proses pengolahan limbah cair laboratorium dan dapat berguna bagi ilmu pengetahuan untuk diaplikasikan pada berbagai macam pengolahan limbah.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aplikasi Proses Elektroflotasi pada Pengolahan Limbah Cair

Elektroflotasi merupakan suatu proses pengolahan limbah sederhana dengan mengapungkan ion atau partikel padat tersuspensi, yaitu dengan adanya pelepasan gelembung hidrogen dan oksigen yang terbentuk pada katoda dan anoda (Nanseu-Njiki, 2009).

Haryono (2018) melaporkan bahwa proses elektroflotasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya tegangan dan waktu kontak. Muhammad (2014) telah melakukan penelitian tentang proses elektroflotasi dalam pengolahan limbah batik dengan elektroda aluminium aloy pada katoda dan anoda. Variasi tegangan yang digunakan adalah 5, 10, 15, 20, dan 25 V. Distribusi gelembung menggunakan pengukuran diameter gelembung dan volume gelembung. Gelembung yang dominan dihasilkan yaitu pada diameter gelembung 205-255 μm dan 5-55 μm , sedangkan luas permukaan gelembung yang diukur setiap 20 detik adalah 0,39; 1,3; 2,4; 3,43; dan 4,55 mL. Penurunan nilai TSS (%) dan turbiditas (%) dari limbah batik setelah proses elektroflotasi adalah 97,09% dan 99,16% dengan menggunakan tegangan 10 V, kemudian penambahan 50 gram alum dan perbandingan limbah dengan air yaitu 1:14.

Mota (2014) telah melakukan penelitian dalam pengolahan air tanah yang terkontaminasi logam berat akibat pengeboran sumur minyak. Konsentrasi logam berat timbal, barium dan seng pada air terkontaminasi adalah 15 mg/dm^3 . Penelitian ini menggunakan penambahan natrium deodesil sulfat (SDS), sel elektroflotasi

berukuran 13 cm × 13 cm × 13 cm berbahan akrilik, arus kontinu 0-30 V/0-15 A yang terhubung ke elektroda *stainless steel* melalui kawat tembaga. Hasil penelitian menunjukkan proses elektroflotasi mampu menurunkan konsentrasi logam berat 97% pada pH 10. Khelifa (2005) melaporkan dalam penelitiannya untuk penghilangan kadar logam Cu konsentrasi 500 mg/L pada limbah cair sintetik dengan mencapai hasil maksimum 99% dengan arus 0,3 A, pH 5, 2 g/L elektrolit Na₂SO₄, waktu elektroflotasi 90 menit dan temperatur 20 °C.

2.2 Aplikasi Proses Biokoagulan pada Pengolahan Limbah Cair

Andiwijaya (2016) telah melaporkan tentang alternatif koagulan alami dengan mengganti koagulan sintetik. Penggunaan bahan kimia sebagai koagulan sintetik seperti aluminium sulfat (Al₄(SO₄)₃) dan *poly aluminium chloride* (PAC) dapat menyebabkan efek samping seperti penyakit *Alzheimer*, *Parkinson* dan penyakit syaraf lainnya. Oleh karena itu terdapat beberapa alternatif pengganti koagulan sintetik yang berasal dari bahan alam yang ramah lingkungan dan mudah terdegradasi secara alamiah, yaitu biji kelor (*Moringa oleifera*) dan spesies polong-polongan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biji kelor (*Moringa oleifera*) dapat digunakan sebagai pengganti Aluminium Sulfat pada proses pengolahan air konvensional. Aho dkk, (2012) menggunakan biji kelor (*Moringa oleifera*) yang sudah tua kemudian dihaluskan menjadi serbuk untuk pengolahan air sumur bor dan air permukaan di Nigeria. Eman dkk. (2014) melaporkan bahwa serbuk biji kelor (*Moringa oleifera*) yang ditambahkan pada sampel limbah dengan konsentrasi 120.000-130.000 mg/L setelah didiamkan selama 2 jam dapat menurunkan turbiditas dari 520 NTU menjadi 3 NTU. Beberapa spesies polong-polongan seperti

kacang arab (*Cicer arietinum*), kacang locust (*Ceratonia siliqua*), dan buncis (*Phaseolus vulgaris*) mempunyai aktivitas koagulasi yang baik untuk menurunkan tingkat turbiditas (Sciban dkk. 2005)

Kazi T dan Virupakshi A (2013) melakukan penelitian tentang pengolahan limbah penyamakan kulit menggunakan koagulan alami. Koagulan alami yang digunakan dalam penelitiannya adalah kacang arab (*Cicer arietinum*), biji kelor (*Moringa oleifera*), dan kaktus (*Cactus*). Koagulan alami tersebut diambil bijinya dikeringkan dengan suhu 60 °C selama 24 jam kemudian ditumbuk dalam penggilingan dan diayak untuk mendapat partikel 600 mesh. Proses koagulasi flokulasi menggunakan 500 mL limbah penyamakan kulit dan variasi dosis koagulan alami sebanyak 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 gram/500 mL. Proses pengadukan dijalankan dengan 1 menit pengadukan cepat (100 rpm) dan 10 menit pengadukan lambat (30 rpm). Suspensi diendapkan selama 20 menit kemudian sampel dipipet di bagian tengah supernatan untuk diuji sifat fisikokimianya. Hasil terbaik didapatkan kacang arab (*Cicer arietinum*) dan biji kelor (*Moringa oleifera*) yang mampu mereduksi turbiditas sebesar 81,20% dan 82,02%.

Thakur dan Choubey (2014) melaporkan pengolahan air minum menggunakan biji kelor (*Moringa oleifera*) sebagai alternatif koagulan kimia karena harga yang cukup mahal. Biji kelor (*Moringa oleifera*) dievaluasi pH dan dosis untuk hasil optimal. Evaluasi pH dilakukan pada koloid kaolin sintesis 150 NTU, variasi pH yang digunakan adalah 2, 4, 6, 8, 10 dan 12. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada pH 6-8 dan 10-12 koagulan alami menghasilkan pengurangan turbiditas yang cukup besar. Total padatan terlarut (TDS) mengalami

penurunan sebesar 37,8% dan menurut Muralimohan dkk. (2014) pada pengolahan limbah tekstil menggunakan biji kelor (*Moringa oleifera*) dapat menurunkan TDS sebesar 70,51%.

Lima sampel air sumur di kota Pasuruan mengandung logam Pb di atas baku mutu persyaratan air bersih berdasarkan PERMENKES Nomor 416 Tahun 1990. Pengolahan air bersih menggunakan proses koagulasi dengan bantuan koagulan serbuk biji kelor (*Moringa oleifera*). Menurut Wei dkk. (2015) proses koagulasi berlangsung optimum pada pH 7-10. Ion Pb^{2+} dalam air sumur akan berikatan dengan anion yang terkandung dalam biji kelor. Nugroho dkk. (2014) telah melakukan penelitiannya menunjukkan bahwa serbuk biji kelor mampu menurunkan kandungan Pb dalam air sumur dari 2,05 menjadi 0,09 ppm. Efisiensi penurunan kandungan Pb dalam air sumur mencapai 95,6%. Pada penelitian lain kacang arab (*Cicer arietinum*) dapat menurunkan kandungan logam Pb sebesar 40% dan logam Cu sebesar 21%. Kusdarini (2016) melaporkan bahwa biji kelor (*Moringa oleifera*) dan kacang arab (*Cicer arietinum*) dapat mereduksi kandungan logam karena mengandung protein bermuatan positif yang dapat berfungsi sebagai kation polielektrolit. Kation ini akan berikatan dengan anion yang terkandung dalam air sumur sehingga terjadi reaksi *displacement* (penggantian).

2.3 Aplikasi Proses Elektroflotasi-Koagulasi pada Pengolahan Limbah Cair

Mansour dkk. (2007) telah melakukan penelitian menggunakan proses koagulasi-elektroflotasi dalam pengolahan limbah industri kertas di Tunisia. Parameter yang dioptimalkan adalah kerapatan arus, pH dan konsentrasi koagulan. Koagulan yang digunakan adalah aluminium sulfat ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$). Durasi

waktu pengolahan ditetapkan 20 menit dan tegangan divariasikan pada interval 7-9 V untuk mendapat rapat arus dan konduktivitas medium. Reaktor elektroflotasi berbentuk kolom persegi panjang. Luas area permukaannya $11,25 \text{ cm}^2$ ($2,5 \text{ cm} \times 4,5 \text{ cm}$) dan tingginya 90 cm. Elektroda yang digunakan titanium dilapisi *ruthenium oxide* pada anoda dan *stainless steel* pada katoda. Dua elektroda tersebut terhubung dengan catu daya DC dan jarak antar elektroda yaitu 8 mm. Karakteristik limbah sebelum pengolahan menunjukkan elektrokonduktivitas sebesar $1,9 \text{ mS/cm}$; pH 7,4; COD 684 mg/L ; dan turbiditas 556 NTU.

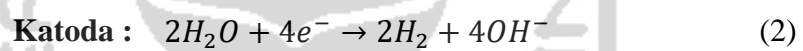
Mansour dan Ksentini (2006) juga telah melaporkan pengolahan limbah industri karton dengan metode koagulasi-elektroflotasi dengan mode kontinu. Tegangan yang digunakan adalah 7 dan 9 V selama 30 menit. Efisiensi pengolahan limbah industri karton ini mampu menurunkan COD dari $3600 \text{ mg O}_2/\text{L}$ sampai dengan $144 \text{ mg O}_2/\text{L}$ dengan efisiensi 96%, BOD dari $500 \text{ mg O}_2/\text{L}$ menjadi $45 \text{ mg O}_2/\text{L}$ dengan efisiensi 91% dan padatan terlarut dari 266 mg/L menjadi $9,3 \text{ mg/L}$ dengan efisiensi 96,5%.

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Elektroflotasi

Proses pengolahan limbah cair, termasuk limbah tekstil yang dapat diterapkan adalah proses elektroflotasi (Parkin dkk. 2003). Elektroflotasi merupakan proses pemisahan polutan pada cairan dengan cara mengapungkan zat atau partikel polutan terdispersi di dalam air ke permukaan oleh gaya angkat gelembung gas oksigen dan hidrogen. Gelembung gas tersebut terbentuk dari reaksi elektrolisis terhadap air menurut reaksi reduksi dan oksidasi berikut (Yanqing dkk. 2009).



Elektroflotasi memiliki beberapa keunggulan dibandingkan flotasi konvensional, yaitu: gelembung gas yang dihasilkan lebih kecil, ukuran gelembung gas yang dihasilkan dapat dikendalikan dan probabilitas tumbukan antara gelembung dengan partikel polutan lebih besar (Sarkar, 2012). Salah parameter penting yang dapat mempengaruhi proses elektroflotasi adalah rapat arus. Arus listrik sebanding dengan laju reaksi elektrokimia dan tidak hanya menentukan laju dosis koagulan tetapi juga tingkat produksi gelembung (Holt dkk. 2002).

Hubungan antara arus dan gelembung pada elektroflotasi dapat dijelaskan dengan mengaitkan Hukum Ohm dan Hukum Faraday I. Ohm (1827) menjelaskan dalam sebuah penelitiannya bila hambatan tetap, arus dalam rangkaian berbanding lurus dengan tegangan. bila tegangan bertambah, maka arus menjadi bertambah.

Sedangkan bila tegangan tetap, maka arus dalam rangkaian menjadi berbanding terbalik terhadap rangkaian itu. Bila hambatan bertambah, maka arus berkurang

Hukum Ohm menjelaskan bahwa tegangan (V) berbanding lurus dengan nilai arus (I) dan hambatan (R). Kemudian dapat dituliskan dengan persamaan :

$$V = I \times R \quad (3)$$

Hukum Faraday I berbunyi massa zat W yang dihasilkan pada suatu elektroda selama proses elektrolisis berbanding lurus dengan muatan listrik Q yang digunakan. Muatan listrik Q dalam elektron di suatu titik kawat dapat dihitung jika mengetahui arus listrik I ampere yang melewatinya selama t detik. 1 faraday sama dengan 1 mol elektron mengandung muatan listrik 96.500 coloumb.

$$W \approx Q \quad (4)$$

$$W = e \times F \quad (5)$$

$$W = \frac{e \times I \times t}{96.500} \quad (6)$$

Jika Hukum Ohm dikaitkan dengan Hukum Faraday I dan merujuk pada persamaan 6. Maka massa zat yang terbentuk pada masing-masing elektroda sebanding dengan kuat arus listrik yang mengalir pada elektrolisis tersebut (Wiratini, 2016). Pada persamaan 6 dapat juga mengaitkan Hubungan kuantitatif antara waktu dan tegangan (kuat arus) listrik terhadap jumlah spesi kimia pada reaksi redoks (Chang, 2010). Artinya pada kuat arus listrik tertentu, yang nilainya sebanding dengan tegangan listrik, jumlah (berat) gas O₂ dan H₂ akan semakin meningkat seiring dengan penambahan waktu reaksi redoks. Demikian pula jika ditinjau pada lama reaksi redoks tertentu, gas O₂ dan H₂ yang dihasilkan akan semakin banyak dengan ditingkatkannya kuat arus listrik (Haryono, 2018)

Jarak antar elektroda dapat mempengaruhi hasil pengolahan limbah tekstil dan peristiwa ini dapat dijelaskan dari hukum ohm, yaitu hantaran suatu sel elektrokimia dipengaruhi oleh jarak antar kedua elektroda dan dirumuskan pada persamaan 7, sebagai berikut

$$C = \frac{K \times A}{l} \quad (7)$$

dalam hal ini C adalah hantaran (ohm^{-1}), K adalah hantaran jenis ($\text{ohm}^{-1}\text{cm}^{-1}$), A adalah luas penampang elektroda (m^2), dan l adalah jarak antar elektroda (m). Berdasarkan rumus tersebut, semakin dekat jarak antar elektroda, maka hantaran semakin besar (Wiratini dan Kartowasono, 2016)

Mekanisme kontak antarmuka antara gas dengan molekul surfaktan dalam sistem elektroflotasi terdiri dari pengapungan, penyerapan, dan pelekatan. Pengapungan terjadi karena ikatan antara gelembung gas dengan molekul surfaktan yang berlangsung secara fisik. Penyerapan berlangsung pada struktur flokulan tersuspensi terhadap gelembung gas. Pelekatan terjadi gaya tarik intra molekular yang digunakan pada suatu permukaan antara dua fase dan mengakibatkan tegangan permukaan. Ada beberapa macam interaksi spesies dalam larutan pada proses elektroflotasi, yaitu:

1. Migrasi ke elektroda yang bermuatan berlawanan dan penggabungan untuk membentuk senyawa netral.
2. Kation atau ion hidroksi (OH^-) membentuk endapan dengan polutan.
3. Logam kation berinteraksi dengan OH^- membentuk hidroksi, yang mempunyai sisi yang mengadsorpsi polutan (*bridge coagulation*).

4. Hidroksi membentuk struktur besar dan membersihkan polutan (*sweep coagulation*).
5. Oksidasi polutan sehingga mengurangi toksisitasnya.
6. Penghilangan melalui elektroflotasi dan adhesi gelembung udara.

Proses ini dapat mengambil lebih dari 99% kation beberapa logam berat dan dapat juga membunuh mikroorganisme dalam air. Proses ini juga dapat mengendapkan koloid-koloid yang bermuatan seperti molekul surfaktan dan menghilangkan ion-ion lain, koloid-koloid, dan emulsi-emulsi dalam jumlah yang signifikan. (Rochman, 2016).

3.2 Biokoagulasi

Koagulan sintetik yang digunakan untuk pengolahan air diduga dapat menimbulkan masalah kesehatan syaraf seperti penyakit *Alzheimer*, *Parkinson* dan penyakit syaraf lainnya. Peneliti lain juga menyebutkan aluminium berbahaya bagi kesehatan karena tidak dapat dihilangkan sepenuhnya sehingga masih meninggalkan sisa residu pada sampel air minum. Penggunaan polimer organik seperti akrilamida juga dilaporkan mempunyai sifat neurotoksik dan dapat menyebabkan kanker. Penggunaan ion logam besi sebagai koagulan seperti besi klorida juga belum sepenuhnya diketahui bahayanya bagi manusia (Andiwijaya, 2016).

Koagulan alami sebagian besar berupa karbohidrat (polisakarida) dan protein. Koagulan adalah polimer senyawa yang memiliki karakter ionik (kation atau anion), ion biasanya dikenal sebagai polielektrolit (Rodiño-Arguello, 2015). Komponen koagulasi aktif dapat diekstraksi dari bagian tanaman dan digunakan

dalam bentuk murni atau semi murni (Ghebremichael dkk. 2005). Koagulan alami juga memiliki kemampuan untuk mengurangi polutan anorganik seperti logam dalam air limbah. Keuntungan menggunakan koagulan alami adalah mereduksi turbiditas organik dan anorganik, tanaman mudah ditemukan di daerah dengan iklim tropis dan tersebar luas, memerlukan biaya lebih sedikit daripada menggunakan koagulan kimia dan dapat membentuk flok yang lebih kuat terhadap gesekan pada saat aliran turbulen dibandingkan dengan koagulan kimia (Yin, 2010).

3.2.1 Biji kelor (*Moringa oleifera*)

Tanaman kelor banyak tumbuh di India, tetapi kini tanaman kelor banyak ditemukan di daerah beriklim tropis seperti Indonesia (Grubben, 2004). Kelor biasanya tumbuh di daerah panas dan sedikit gersang dengan curah hujan 250–1500 mm. Berikut ini adalah klasifikasi tanaman kelor pada Tabel 1 (Krisnadi, 2015).

Tabel 1 Klasifikasi tanaman kelor

Kingdom	<i>Plantae</i>
Divisi	<i>Magnoliophyta</i>
Kelas	<i>Magnoliopsida</i>
Famili	<i>Moringaceae</i>
Genus	<i>Moringa</i>
Spesies	<i>Moringa oleifera</i>

Kelor (*Moringa oleifera*) termasuk jenis tanaman perdu yang memiliki ketinggian batang 7-11 m. Pohon kelor tidak terlalu besar. Batang kayunya getas (mudah patah) dengan cabangnya jarang, tetapi mempunyai akar yang kuat. Batang pondoknya berwarna kelabu (Jonni, 2008).

Biji kelor (*Moringa oleifera*) berbentuk segi tiga memanjang yang disebut kelantang (Jawa) dan berbau minyak “behen” atau “ben”. Buahnya berbentuk memanjang, berwarna hijau, keras, dengan panjang 30-50 cm (Jonni, 2008). Biji kelor dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Biji kelor (*Moringa oleifera*)

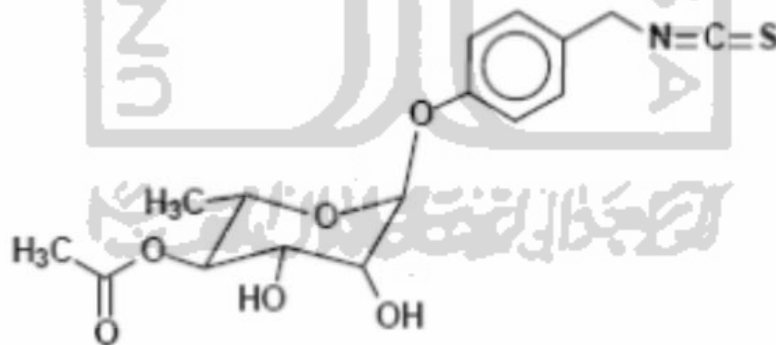
Kandungan kimia dalam biji kelor dapat dilihat pada Tabel 2 (Hidayat, 2006).

Tabel 2 Kandungan kimia biji kelor (*Moringa oleifera*) dengan porsi 100 gram

Nama	Jumlah	Satuan
Moisture	86,9	%
Protein	2,5	gram
Lemak	0,1	gram
Serat	4,89	gram
Karbohidrat	3,7	gram
Mineral	2	gram
Ca	30	mg
Mg	24	mg
P	110	mg
K	259	mg
Cu	3,1	mg
Fe	5,3	mg
S	137	mg
Vit α - β Karoten	0,1	mg
Vit B Kaolin	423	mg
Vit B1 Tiamin	0,05	mg
Vit B2 Riboflavin	0,07	mg
Vit B3 Asam Nikotin	0,2	mg
Vit C Asam Askorbat	120	mg

Biji kelor (*Moringa oleifera*) dapat digunakan sebagai biokoagulan karena kandungan protein biji kelor yaitu polielektrolit kationik berbasis polipeptida atau protein larut dapat menyebabkan koagulasi (Pritchard, 2010). Polielektrolit membantu proses koagulasi dalam mengadsorpsi dan menetralkan partikel-partikel koloid dalam air (Sutherland, 1994).

Koagulan biji kelor (*Moringa oleifera*) merupakan bahan alami yang dapat membantu dalam pengolahan limbah cair yang relatif sama efektifnya jika dilakukan dengan cara pengolahan limbah menggunakan bahan kimia (Ulfiana, 2016). Efektivitas proses koagulasi dengan biji kelor (*Moringa oleifera*) ditentukan oleh kandungan protein kationik dengan bobot molekul sekitar 6,5 kDa. Zat aktif dalam biji kelor (*Moringa oleifera*) adalah 4-(α -L-rhamnosiloksi) struktur benzil isotiosianat dapat dilihat pada Gambar 2 (Muharto dkk. 2007).



Gambar 2 4-(α -L-Rhamnosiloksi) benzil isotiosianat

Zat aktif pada Gambar 2 dapat mengkoagulasi dan menetralkan muatan negatif yang ada di dalam air dengan mekanisme adsorpsi menggunakan serbuk biji kelor dan untuk menarik logam berat yang bermuatan positif dalam air (Nand dkk. 2012).

3.2.2 Kacang arab (*Cicer arietinum*)

Kacang Arab (*Cicer arietinum*) adalah tanaman *leguminosae* kedua yang paling banyak ditanam setelah kedelai. Kacang arab memiliki akar yang dalam, rambut dan batang bercabang, mencapai ketinggian hingga 0,60 m. Karakteristik kacang arab polong panjang; bijinya besar, kurang keriput, putih atau krem (A. K. Jukanti, 2012). Berikut ini adalah klasifikasi tanaman kacang arab pada Tabel 3 (Al-Snafi, 2016).

Tabel 3 Klasifikasi tanaman kacang arab

Kingdom	<i>Plantae</i>
Divisi	<i>Magnoliophyta</i>
Kelas	<i>Magnoliopsida</i>
Ordo	<i>Fabales</i>
Famili	<i>Fabaceae</i>
Subfamili	<i>Fabodeae</i>
Genus	<i>Cicer</i>
Spesies	<i>Cicer arietinum</i>

Kacang arab merupakan tanaman budidaya yang ditanam di daerah tropis, sub-tropis dan beriklim sedang. Spesies dari kacang arab ditemukan Persia utara, Turki Tenggara, dan Suriah (Van der Maesen, 1987), namun, bukti botani dan arkeologis menunjukkan bahwa kacang arab pertama kali dikembangkan di Timur Tengah dan banyak dibudidayakan di India, daerah Mediterania (Duke, 1981). Kacang arab kaya akan protein tetapi mereka juga mengandung sejumlah besar asam amino bebas (Giraldo, 2016).



Gambar 3 Kacang arab (*Cicer arietinum*)

Kandungan kimia kacang arab dapat dilihat pada Tabel 4 (USDA, 2013).

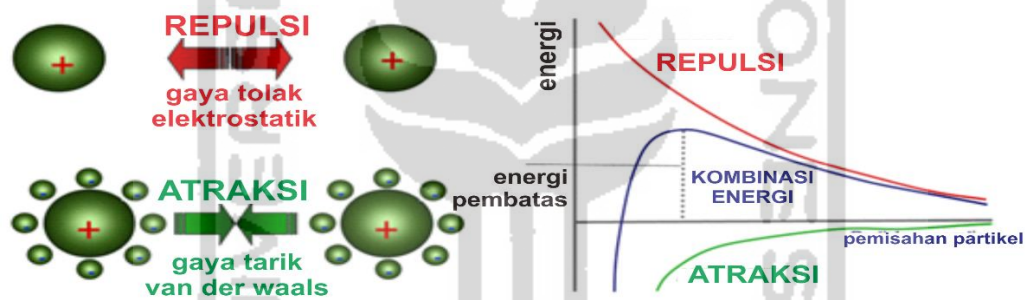
Tabel 4 Kandungan kimia kacang arab (*Cicer arietinum*) dengan porsi 100 gram

Nama	Jumlah	Satuan
Energi	378	Kcal
Protein	20,47	gram
Lemak	6,04	gram
Serat	12,2	gram
Karbohidrat	62,95	gram
Na	24	mg
Ca	57	mg
Mg	79	mg
P	252	mg
K	715	mg
Cu	0,656	mg
Fe	4,83	mg
Zn	2,78	mg
Vit B6	0,535	mg
Vit B Kaolin	99,3	mg
Vit B1 Tiamin	0,477	mg
Vit B2 Riboflavin	0,212	mg
Vit E	0,82	mg
Vit C	4	mg

3.2.3 Mekanisme biokoagulasi dan flokulasi

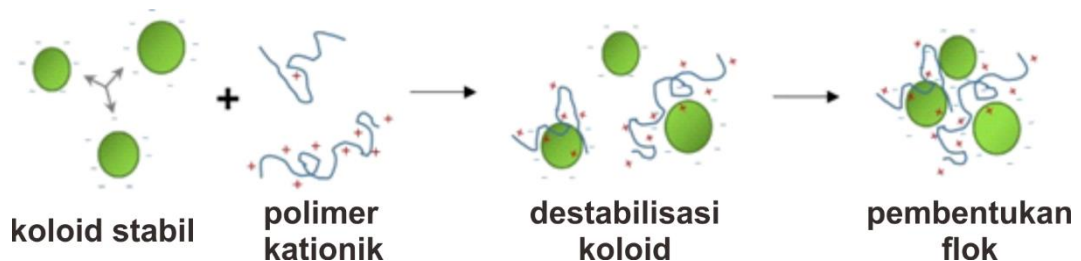
Turbiditas dalam air disebabkan oleh zat-zat tersuspensi dalam bentuk lumpur kasar, lumpur halus, dan koloid. Koloid berasal dari kata *colla* (Yunani) yang artinya lengket atau lem, karena tampak seperti lapisan film atau bentuk gelatin.

Permukaan koloid memiliki muatan listrik sehingga koloid sulit untuk bersatu membentuk partikel yang berukuran lebih besar, akibatnya partikel stabil dan sulit untuk mengendap secara alami.. Untuk itulah diperlukan proses koagulasi untuk mendestabilkan koloid-koloid tersebut. Dalam koloid terdapat dua jenis gaya, yaitu gaya *Van der Waals* dan gaya tolakan elektrostatis. Ilustrasi gaya *Van der Waals* dan gaya tolakan elektrostatis dapat dilihat pada Gambar 4. Stabilitas suspensi koloid akan tergantung pada keseimbangan gaya tarik dan gaya tolak. Gaya tolakan elektrostatis yang lebih besar daripada gaya *Van der Waals* akan meningkatkan stabilitas suspensi koloid (Pararaja, 2008).



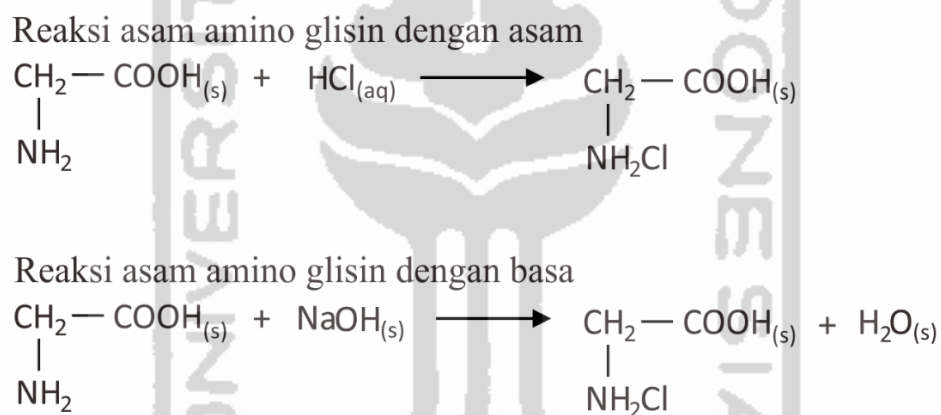
Gambar 4 Ilustrasi gaya *Van der Waals* dan gaya tolakan elektrostatis

Biji kelor dan kacang arab dapat dimanfaatkan sebagai koagulan alami karena mengandung protein polielektrolit kationik. Polielektrolit mampu membantu koagulasi dengan cara menetralkan muatan-muatan partikel koloid (Stevens, 2001), adsorpsi dan membuat jembatan antar partikel (Hidayat, 2006)



Gambar 5 Mekanisme koagulasi polielektrolit pada protein (Haver, 2017)

Protein dalam koagulan alami mengandung asam amino yang jika dilarutkan dalam air akan mengalami ionisasi atau disosiasi. Asam amino berbentuk ion dan dwikutub apabila berada dalam larutan netral (Wirahadikusumah, 1997). Molekul asam amino mengandung gugus karboksilat (-COOH) dan gugus amina (-NH₂). Gugus tersebut merupakan komponen aktif yang dapat mengikat partikel koloid dan membentuk flok yang dapat mengendap (Prihatiningtyas, 2013). Asam amino dapat bereaksi dengan asam dan basa karena bersifat amfoter (Fessenden dan Fessenden, 1999).



Gambar 6 Asam amino bersifat amfoter

Koagulasi adalah proses penggumpalan partikel koloid karena penambahan bahan kimia sehingga partikel-partikel tersebut bersifat netral dan membentuk endapan karena adanya gaya gravitasi (Wahyu, 2014)

Flokulasi adalah suatu proses aglomerasi (penggumpalan) partikel-partikel terdestabilisasi menjadi flok dengan ukuran yang memungkinkan dapat dipisahkan oleh sedimentasi dan filtrasi. Flokulasi terdapat dua jenis yaitu flokulasi perikinetik dan flokulasi ortokinetik. Flokulasi perikinetik adalah aglomerasi partikel dengan

mengandalkan gerak Brownian, sedangkan flokulasi ortokinetik adalah aglomerasi partikel dimana gerak Brownian diabaikan pada kecepatan tumbukan antar partikel, tetapi memerlukan pengaduk buatan (*artificial mixing*) (Vigneswaran dan Visvanathan, 1995)

Gerak brown adalah gerakan partikel zat cair atau gas secara terus menerus (tidak pernah dalam keadaan stasioner). Partikel semakin cepat bertumbukan apabila temperatur makin tinggi (Hestiningasih, 2009). Hal tersebut dapat dijelaskan dengan persamaan 6 tentang teori energi kinetik partikel gas

$$E_k = \frac{3}{2} \times N \times k \times T \quad (8)$$

Dimana E_k adalah energi kinetik rata-rata partikel (J), k adalah konstanta boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K), N adalah jumlah partikel dan T adalah suhu gas (K)

3.3 Elektroflotasi Biokoagulasi

Proses elektroflotasi-koagulasi memiliki beberapa kelebihan yaitu laju penghapusan partikel polutan yang cepat, elektroflotasi mampu mencapai flotasi dan koagulasi yang simultan dengan menghasilkan sedikit endapan, peralatannya tidak rumit dan pengoprasiannya mudah karena hanya mengatur tegangan dari sumber daya serta biaya operasional yang rendah (Hosny dkk. 1992 dan Calvin dkk. 1997). Teknik elektroflotasi sangat kompetitif dibandingkan dengan teknik flotasi lain seperti flotasi udara terlarut atau flotasi udara terdispersi (Bums dkk. 1997 dan, Gu dan Chiang, 1999)

Kombinasi koagulasi dengan elektroflotasi menyebabkan semakin beragam sifat kimia dan fisika dalam rangkaian. Koagulan dapat melakukan koagulasi pada sel elektroflotasi dengan bantuan efek flotasi. Flotasi tidak hanya berperan dalam

pemisahan polutan dengan gelembung tetapi dapat membantu proses koagulasi. Mekanisme koagulasi dengan teknik flotasi kontak antara koagulan dengan gelembung sesuai dengan hukum termodinamika dan terdapat gaya antara koagulan dan gelembung yaitu gaya tarik antar molekul, gaya elektrostatik dan gaya hidrasi dari grup koagulan hidrofilik. Jika campuran partikel hidrofobik dan hidrofilik tersuspensi dalam air, dan udara digelembungkan melalui suspensi, maka partikel hidrofobik cenderung melekat gelembung udara dan melayang ke permukaan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Lapisan buih yang terbentuk pada permukaan kemudian akan sangat banyak mengandung mineral hidrofobik, dan dapat dihilangkan sebagai produk terpisah. Partikel-partikel hidrofilik akan memiliki kecenderungan lebih sedikit untuk melekat pada udara gelembung, dan itu akan tetap dalam suspensi dan dibuang (Whelan dan Brown, 1956).

Faktanya, elektrofotasi mendukung elektrolisis air yang diolah karena lewatnya arus listrik antara elektroda tidak larut (Ho, 1986) elektrofotasi karena fakta bahwa gelembung hidrogen yang terkecil dengan pH netral dan untuk gelembung oksigen mereka ukuran meningkat dengan pH (Fukui, 1985). Selain pH dan kerapatan arus ada beberapa parameter lain yang mempengaruhi proses ini sebagai negara, pengaturan elektroda (Llerena, 1996), sifatnya air yang akan diolah dan durasi pemrosesan. Tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk mengoptimalkan perawatan kardus limbah cair industri menggunakan proses koagulasi-elektrofotasi. Studi ini mencakup mode kontinu dan batch. Itu parameter operasi yang akan dioptimalkan dalam mode batch adalah: saat ini kepadatan, pH dan konsentrasi koagulan. Dalam mode kontinu, parameter yang akan dioptimalkan adalah waktu

pemrosesan (Mansour, 2001). Mempertimbangkan jumlah parameter, alat ilmiah untuk analisis adalah metodologi perencanaan eksperimen yang meminimalkan jumlah percobaan dan memungkinkan penentuan persamaan regresi yang menghubungkan efisiensi pengurangan COD dengan parameter operasi (Mansour, 2007).

3.4 Uji Parameter Limbah Laboratorium

Laboratorium merupakan salah satu penghasil limbah cair, padat maupun gas. Kuantitas dan frekuensi limbah laboratorium termasuk kecil, sedangkan kandungan bahan pencemar termasuk bervariasi dan bahkan ada yang mengandung bahan berbahaya beracun (B3). Limbah padat di laboratorium kimia relatif kecil dan masih dapat diatasi karena biasanya berupa endapan atau kertas saring. Demikian pula limbah berupa gas umumnya berjumlah kecil dan masih aman untuk dibuang langsung di udara. Tetapi berbeda dengan limbah cair, limbah cair yang meresap ke dalam air tanah dan membahayakan lingkungan sekitar (Widjajanti, 2009).

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Pasal 1 Nomor 101 Tahun 2014 tentang pengolahan limbah bahan berbahaya dan beracun, Bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat merusak, mencemarkan lingkungan hidup, kesehatan dan kelangsungan makhluk hidup.

Karakteristik limbah B3 meliputi limbah laboratorium (mudah terbakar, menyengat, korosif, toksik, eksplosif, oksidasi, karsinogenik, berbahaya bagi lingkungan, limbah organik, dan bahan kadaluwarsa) rekomendasi sistem

pengolahan limbah B3 dari salah satu universitas yaitu pengumpulan, penyimpanan sementara, dan pengolahan (Larastika, 2011).

Parameter uji yang dilakukan pada penelitian pengolahan air limbah laboratorium terpadu dengan sistem kontinu menggunakan metode koagulasi adsorpsi adalah pengujian COD, jenis polutan yang diamati adalah zat padat terlarut (TDS), derajat keasaman (pH), logam Besi (Fe), mangan (Mn), krom total (Cr-T) dan senyawa amoniak (NH₃-N) (Raimon, 2011). Pengolahan limbah cair laboratorium teknik lingkungan dengan koagulasi dan adsorpsi tujuannya adalah menurunkan kadar COD, logam Fe dan Pb. Hasil uji dari nilai parameter COD, logam Fe dan Pb dibandingkan dengan nilai parameter yang diperbolehkan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 (Audiana dkk, 2011).

Tabel 5 Standar baku mutu limbah cair laboratorium yang merujuk pada standar baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan

Parameter	Satuan	Kadar Paling Tinggi
Zat Padat Terlarut (TDS) ^a	mg/L	2.000
Zat Padat Tersuspensi (TSS) ^a	mg/L	200
pH ^a	-	6-9
Tembaga (Cu) ^a	mg/L	2
Timbal (Pb) ^a	mg/L	0,1
Turbiditas ^b	NTU	25

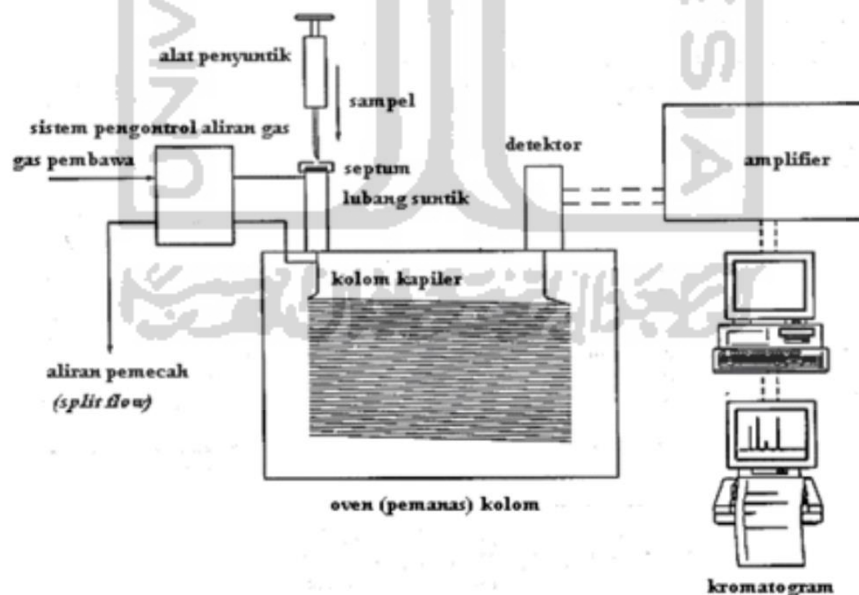
a.) PERMEN LH Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014

b.) PERMENKES Republik Indonesia Nomor 416 Tahun 1990

3.5 Spektrofotometri Serapan Atom

Spektrofotometri serapan atom telah lama digunakan untuk analisis kuantitatif unsur-unsur logam dalam jumlah renik. Spektrofotometri dirancang menggunakan sistem optik berkas-tunggal atau berkas-ganda (Harvey 2000).

Analisis AAS didasarkan pada penyerapan energi sinar pada panjang gelombang tertentu oleh atom-atom netral dalam keadaan gas dari zat yang dianalisis. Prinsip kerja alat ini adalah nyala api yang mengandung atom-atom netral dari unsur yang dianalisis, yang berada pada keadaan dasarnya, disinari oleh sinar yang dipancarkan sumber sinar. Sebagian intensitas sinar tersebut dengan panjang gelombang tertentu akan diserap oleh atom, sebagian lagi diteruskan ke monokromator lalu berturut-turut ke detektor, amplifier, dan recorder (Day & Underwood 2002).



Gambar 7 Cara kerja spektrofotometri serapan atom

Menurut Khopkar (1998), keberhasilan analisis ini bergantung pada proses eksitasi dan cara memperoleh garis resonansi yang tepat. Jika sumbernya

monokromatis, hukum *Lambert* menyatakan bahwa proporsi sinar datang yang diserap oleh bahan/medium tidak bergantung pada intensitasnya. Hukum ini tentunya hanya berlaku jika di dalam bahan atau medium tidak ada reaksi kimia atau proses fisis yang dapat dipicu atau diimbasi oleh sinar datang. Intensitas sinar yang melewati bahan/medium dapat dituliskan sebagai.

$$I = T \times I_0 \quad (9)$$

dengan I adalah intensitas sinar keluar, I_0 adalah intensitas sinar datang, dan T adalah transmitans. Jika transmitans dinyatakan dalam persen, maka

$$\%T = (I/I_0) \times 100\% \quad (10)$$

Hukum Beer lebih lanjut menyatakan bahwa absorbansi sinar berbanding lurus dengan konsentrasi dan ketebalan bahan/medium:

$$A = \varepsilon \times c \times l \quad (11)$$

dengan ε adalah absorptivitas molar untuk panjang gelombang tertentu, atau koefisien ekstingsi (dalam $L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), c adalah konsentrasi (mol L^{-1}), dan l adalah ketebalan medium yang dilintasi sinar (cm).

Pada AAS, panjang gelombang garis absorpsi resonansi identik dengan garis emisi, karena keserasian transisinya. Untuk itu, diperlukan sumber radiasi yang mengemisikan sinar pada panjang gelombang tepat sama dengan pada proses absorpsinya. Dengan demikian, efek pelebaran puncak dapat dihindarkan. Sumber radiasi tersebut dikenal sebagai lampu katode cekung.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Alat dan Bahan

4.1.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain, perlengkapan yang digunakan dalam proses elektroflotasi seperti catu daya DC (Sanfix SP-6010, Taiwan), kamera Nikon Coolpix 3200 (3.2MP *Digital Camera with 3x Optical Zoom*, Jepang), kaca pembesar 8x perbesaran, seperangkat alat reaktor elektroflotasi yang terbuat dari bahan kaca 5 mm dengan dimensi 10 (P) X 10 (L) X 15 (T) cm, dan elektroda grafit pada anoda dan stainless steel pada katoda.

Alat ukur lain yang digunakan adalah multi tester pH meter, TDS meter dan elektrokonduktivitas (HI 9813-5, Romania), turbidimeter (*Thermo Scientific*, EUTECH TN-100, USA), spektrofotometer serapan atom (*Perkin Elmer PinAAcle* 900T, USA), neraca analitik (*Ohaus Pioneer* PA214, China), pengaduk magnet (SH-2B, China), ayakan 200 mesh (*Retsch, AS 200 Basic*, USA), oven (*Binder*, 08-37521, USA), *blender* 550 watt (AQUA AB KF815G, Jepang) dan seperangkat alat gelas (*Iwaki Pyrex*, Jepang), gelas arloji, lumpang alu, sendok sugu, spatula, botol sampel.

4.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain biji kelor (*Moringa oleifera*), kacang arab (*Cicer arietum*), *poly aluminium chloride* (PAC) (Brataco, Indonesia), $MgSO_4$ (Merck, 011-022-00-6, Germany), NaCl (Merck, CAS-7647-

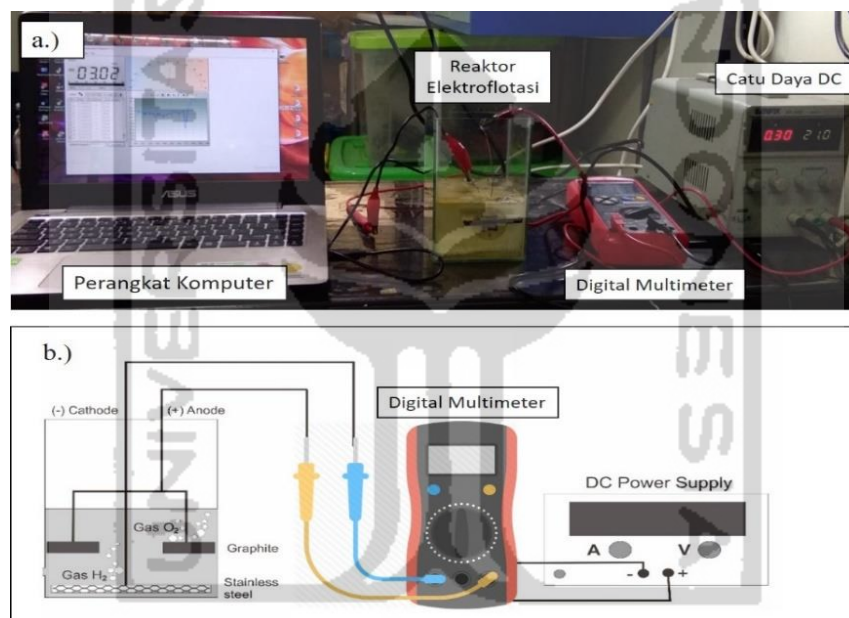
14-5, Germany) NaOH (Merck, 011-022-00-6, Germany), HNO₃ 65% (Merck, Germany) kertas indikator pH (Whatman, 2613991) air kran dan aquades.

4.2 Cara Kerja

4.2.1 Elektroflotasi

4.2.1.1 Reaktor elektroflotasi

Reaktor Elektroflotasi yang dirancang untuk penelitian ini dibuat dari kaca ketebalan 5 mm dengan dimensi 10 (P) x 10 (L) x 10 (T) cm.

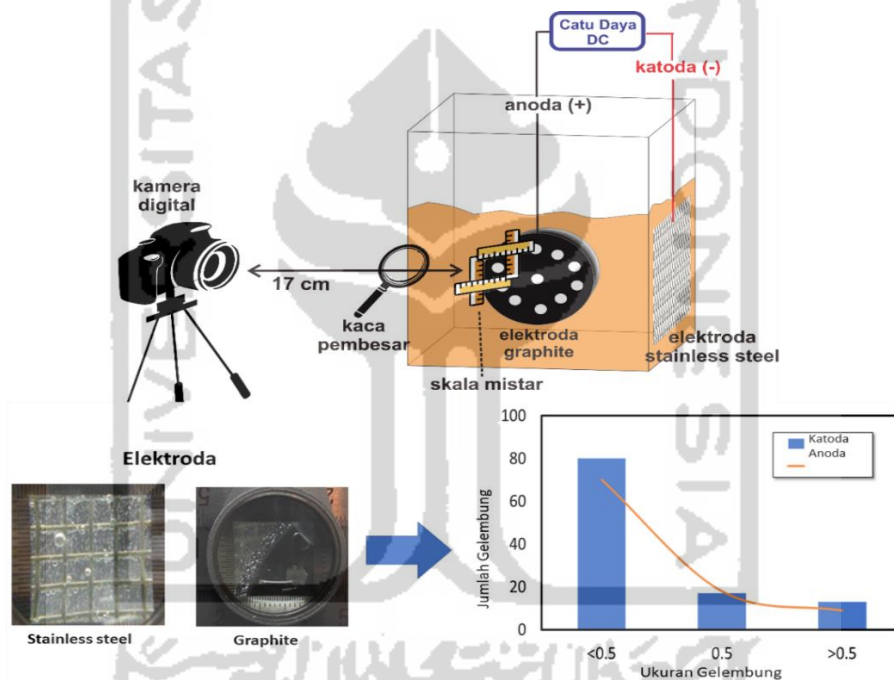


Gambar 8 Rangkaian reaktor elektroflotasi. Reaktor elektroflotasi dihubungkan dengan catu daya DC dan digital multimeter yang terkoneksi ke perangkat komputer (a) dan ilustrasi skema rangkaian elektroflotasi (b).

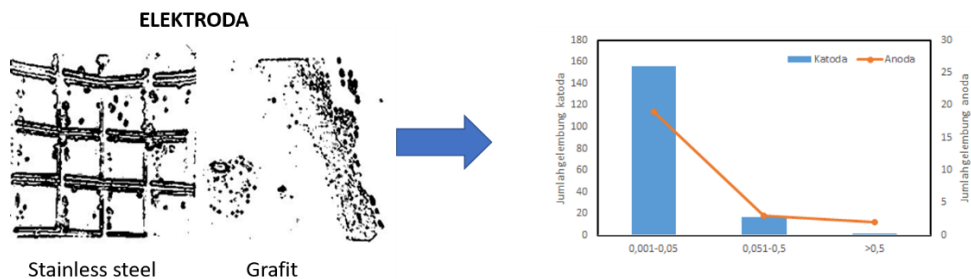
Elektroda yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan elektroda inert yaitu elektroda grafit pada anoda dan *stainless steel* pada katoda. Catu daya DC dihubungkan pada elektroda dengan bantuan kawat *stainless steel*. Tegangan listrik diukur dengan digital multimeter yang terkoneksi ke perangkat komputer untuk merekam tegangan listrik pada proses elektroflotasi. Rangkaian reaktor untuk metode elektroflotasi dan elektroflotasi-biokoagulasi ditunjukkan pada Gambar 8.

4.2.1.2 Optimasi tegangan

Optimasi tegangan pada proses elektroflotasi menggunakan larutan elektrolit MgSO_4 0,001 M sebanyak 500 ml. Optimasi tegangan dilakukan dengan variasi tegangan DC sebesar 12, 15, 18, 21, dan 24 V selama 30 menit. Gelembung gas hidrogen dan oksigen dipotret menggunakan kamera digital pada menit ke 15 dengan bantuan kaca pembesar 8 kali perbesaran pada jarak 17 cm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

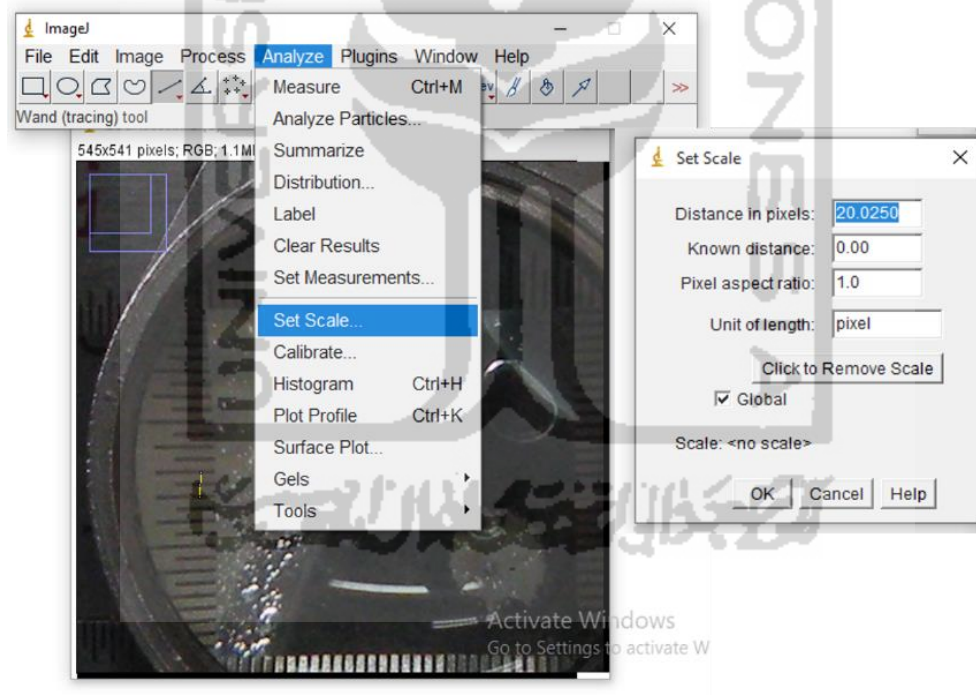


Gambar 9 Skema pengukuran gelembung gas elektroflotasi secara manual



Gambar 10 Konfirmasi hasil pengukuran diameter gelembung gas elektroflotasi dengan aplikasi *ImageJ*.

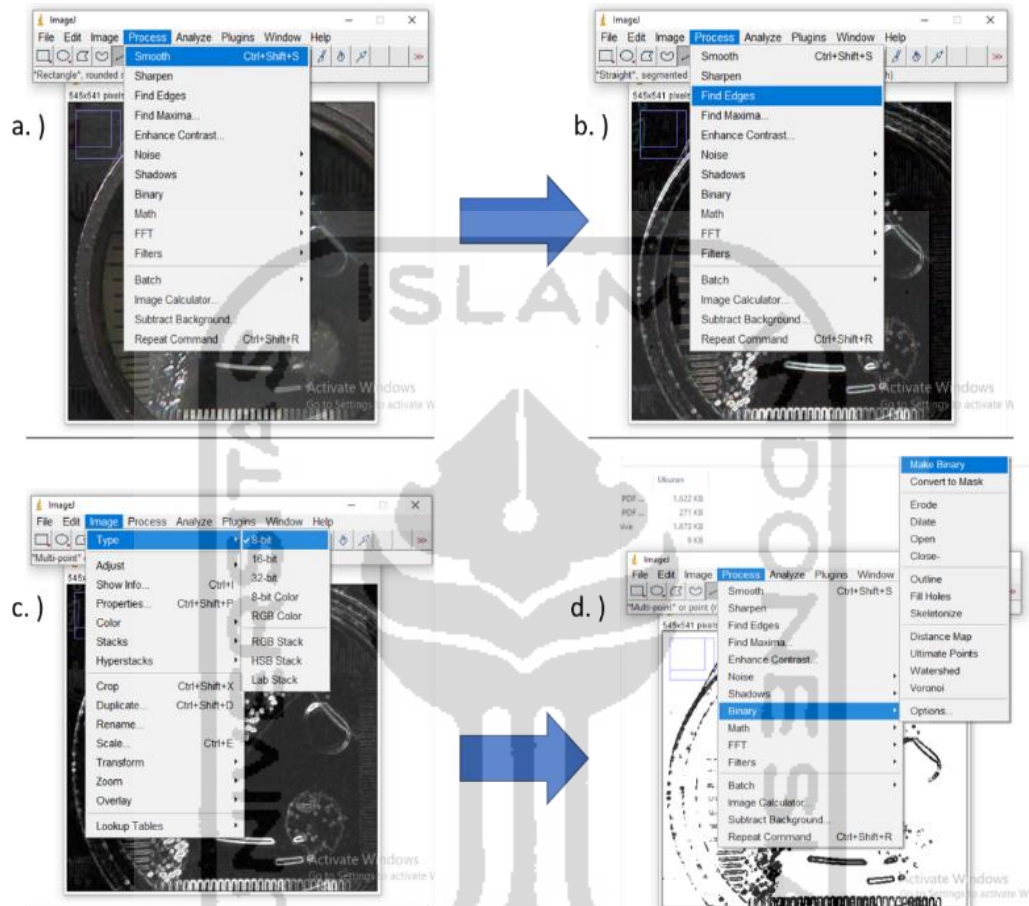
Citra gambar gelembung gas digunakan untuk menghitung distribusi jumlah gelembung secara manual yang dinyatakan dalam tiga ukuran gelembung yaitu $<0,5$; $0,5$; dan $>0,5$ mm. Hasil perhitungan tersebut divalidasi menggunakan aplikasi *ImageJ digital image analysis*. Proses analisis dimulai dengan mengatur skala pada gambar menggunakan mistar dengan ketelitian 1 mm. Cara mengatur skala pada aplikasi adalah dengan membuat garis lurus terhadap gambar kemudian klik *analyze, set scale*. Pada *windows set scale* masukkan parameter 1 mm di *known distance* kemudian mengganti ukuran *pixel* menjadi milimeter. Perintah tersebut ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 ImageJ : Pengaturan skala

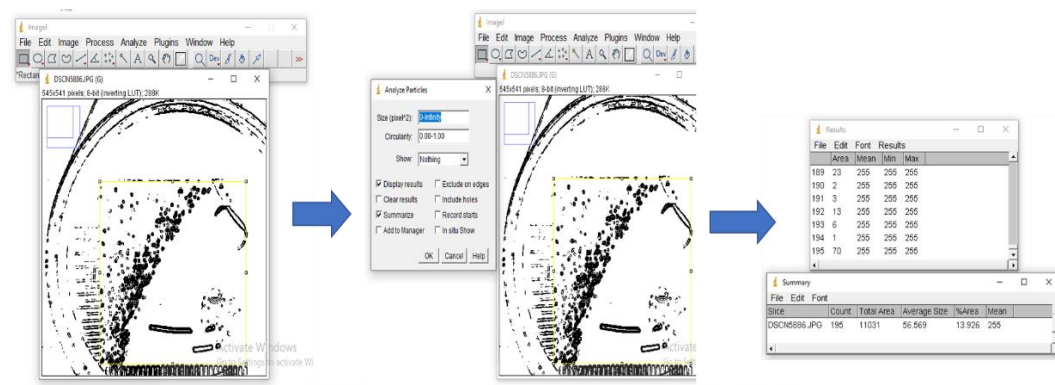
Gambar gelembung diperjelas menggunakan perintah *find edges*, *smooth*, *changes to 8-bit* dan *binary*. Dari proses ini akan didapat kelompok gelembung

mikro yang sudah jelas visualisasinya. Tahapan memperjelas citra gelembung dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 ImageJ : Proses memperjelas citra gelembung dengan perintah *smooth* (a), *find edges* (b), *changes to 8-bit* (c) dan *binary* (d)

Citra gambar dibatasi area pengukurannya sebelum menganalisis ukuran partikel dengan perintah *rectangle*. Selanjutnya, mikro gelembung tersebut diukur menggunakan perintah *analyze particles*. Hasil pengukuran akan menampilkan data seluruh ukuran gelembung. Data tersebut dikelompokkan dan dihitung menggunakan aplikasi *windows excel* dalam ukuran $<0,5$; $0,5$; dan $>0,5$ mm. Tahapan pengukuran dan hasil dari aplikasi ImageJ ditunjukkan pada Gambar 13 .



Gambar 13 ImageJ : Pengukuran citra gelembung menggunakan ImageJ

4.2.2 Preparasi biokoagulan

Proses persiapan biokoagulan dilakukan dengan cara berbeda untuk setiap jenis biokoagulan. Biji kelor (*Moringa oleifera*) dalam bentuk serbuk dan kacang arab (*Cicer arietinum*) mentah diperoleh dari pasar komersial.

Serbuk biji kelor diseragamkan ukuran partikelnya menjadi 200 mesh menggunakan *shieve shaker*. Sedangkan kacang arab mentah dikeringkan di bawah sinar matahari selama 5 hari, kemudian dimasukkan ke dalam oven pada suhu 60 °C selama 24 jam. Kacang arab yang sudah kering dihaluskan menggunakan blender dan diseragamkan ukuran partikelnya menjadi 200 mesh. Selanjutnya semua biokoagulan dikarakterisasi menggunakan FTIR.

4.2.3 Elektroflotasi

Pengolahan limbah laboratorium sebanyak 500 mL dengan 10 kali pengenceran dilakukan menggunakan metode elektroflotasi selama 60 menit. Tegangan arus DC optimum digunakan sebesar 21 V dan pH pada proses ini tidak dikontrol karena limbah sudah bersifat asam. Sampel limbah hasil proses

pengolahan elektroflotasi diambil dengan propipet sebanyak 50 mL kemudian dilakukan analisis nilai efisiensi pengolahan limbah.

4.2.4 Biokoagulasi

Limbah laboratorium sebanyak 250 mL dengan 10 kali pengenceran dimasukkan ke dalam 3 gelas beker berbeda. pH larutan disesuaikan dengan penambahan NaOH 1 M hingga pH larutan menjadi 8. Selanjutnya ditambahkan kacang arab, biji kelor dan PAC dengan variasi dosis 0,025; 0,05; dan 0,1 mg/250ml. Proses koagulasi dilakukan dengan pengadukan cepat 5 menit dan pengadukan lambat 25 menit. Setelah pengadukan selesai suspensi didiamkan selama 3 jam untuk mengendapkan flok yang terbentuk. Sampel limbah yang telah dikoagulasi diambil dengan propipet sebanyak 50 mL kemudian dilakukan analisis nilai efisiensi pengolahan limbah.

4.2.5 Elektroflotasi-biokoagulasi

Biokoagulan kacang arab dan biji kelor digunakan untuk meningkatkan kinerja dari proses elektroflotasi. Proses elektroflotasi-biokoagulasi menggunakan limbah laboratorium sebanyak 500 mL dengan 10 kali pengenceran. Biokoagulan ditambahkan setelah 1 menit proses elektroflotasi. Variasi dosis biokoagulan yang digunakan adalah 0,05; 0,1; dan 0,2 gram/500 mL. Proses elektroflotasi biokoagulasi dilakukan selama 60 menit menggunakan tegangan optimal 21 volt. Setelah proses elektroflotasi-biokoagulasi sampel limbah diambil dengan propipet sebanyak 50 mL kemudian dilakukan analisis nilai efisiensi pengolahan limbah.

4.2.6 Analisis nilai efisiensi pengolahan limbah

Penelitian ini menggunakan tiga metode pengolahan limbah yaitu elektroflotasi, biokoagulasi dan elektroflotasi-biokoagulasi. Hasil pengolahan

limbah laboratorium ditentukan nilai efisiensi pengolahan limbah melalui analisis penurunan total padatan terlarut (TDS) menggunakan persamaan 12.

$$\text{Penurunan total padatan terlarut (\%)} = \frac{TDS_i - TDS_f}{TDS_i} \times 100\% \quad (12)$$

Dimana TDS_i adalah nilai TDS adalah kondisi awal total padatan terlarut (mg/L) sampel dan TDS_f adalah kondisi total padatan terlarut (mg/L) setelah pengolahan.

Nilai efisiensi pengolahan limbah yang kedua dilakukan melalui perhitungan penurunan turbiditas menggunakan persamaan 13.

$$\text{Penurunan turbiditas (\%)} = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% \quad (13)$$

T_i adalah kondisi turbiditas (NTU) awal sampel dan T_f adalah kondisi turbiditas (NTU) setelah proses pengolahan.

Sampel hasil pengolahan limbah disaring menggunakan pompa vakum dan corong *buchner* yang dilengkapi kertas saring *whatman* 42 (110 mm). Lumpur endapan dikeringkan di desikator selama 15 menit. Endapan ditimbang sebagai berat basah kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 60 °C selama 30 menit. Selanjutnya sampel ditimbang sebagai berat endapan kering. Nilai efisiensi pengolahan limbah dilihat dari persen kinerja biokoagulan yang ditentukan menggunakan perhitungan *sludge mass indeks* pada persamaan 14.

$$\text{Massa endapan (\%)} = \frac{W - D}{W} \times 100\% \quad (14)$$

Dimana W adalah berat endapan basah (g) dan D adalah berat endapan kering (g).

Konsentrasi Logam berat Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) dianalisis menggunakan spektroskopi serapan atom nyala (SSA-nyala). Preparasi sampel menggunakan metode destruksi basah. Sampel hasil pengolahan limbah dipipet sebanyak 10 mL kemudian ditambahkan HNO_3 1 mL. Larutan dipanaskan

menggunakan *hot plate* sampai kering. Larutan ditambahkan akuades 10 mL kemudian larutan disaring dengan kertas saring. Filtrat diukur absorbansinya dengan SSA. Persen penurunan logam berat dihitung melalui persamaan 15.

$$\text{Penurunan konsentrasi logam (\%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \quad (15)$$

C_0 adalah konsentrasi logam (mg/L) pada sampel sebelum pengolahan dan C_f adalah konsentrasi logam (mg/L) setelah pengolahan sampel.



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakteristik limbah laboratorium

Pengolahan limbah laboratorium diawali dengan karakterisasi limbah. Karakterisasi limbah bertujuan untuk mengetahui kadar pencemaran air limbah pada setiap parameter. Parameter pencemaran limbah yang digunakan yaitu derajat keasaman (pH), elektrokonduktivitas (EC), total padatan terlarut (TDS), kekeruhan (Turbiditas), konsentrasi logam timbal (Pb) dan tembaga (Cu). Karakteristik limbah laboratorium dibandingkan dengan standar baku mutu limbah laboratorium yang merujuk dari PERMEN LH Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 bagi usaha dan/atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan. Kadar limbah laboratorium dan standar baku mutunya dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6 Karakteristik limbah laboratorium yang dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah.

Parameter	Satuan	Kadar Limbah Laboratorium	Standar Baku air limbah
pH ^a	-	5,9	6-9
Elektrokonduktivitas (EC) ^a	mS/cm	0,41	3,125
Zat Padat Terlarut (TDS) ^a	mg/L	296	2.000
Turbiditas ^b	NTU	41,0	25
Tembaga (Cu) ^a	mg/L	0,022	2
Timbal (Pb) ^a	mg/L	0,968	0,1

a.) PERMEN LH Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014

b.) PERMENKES Republik Indonesia Nomor 416 Tahun 1990

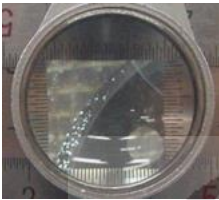
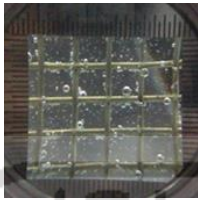
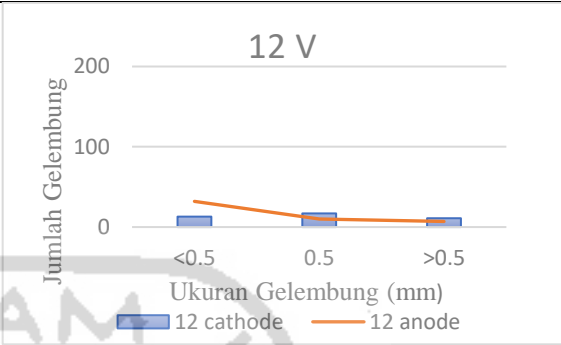
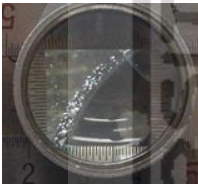
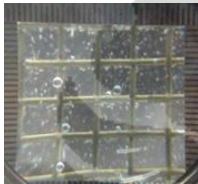
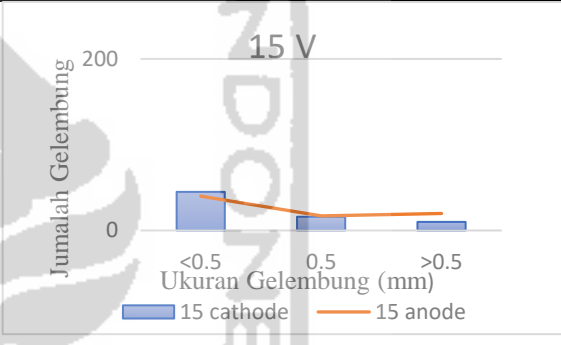

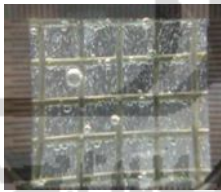
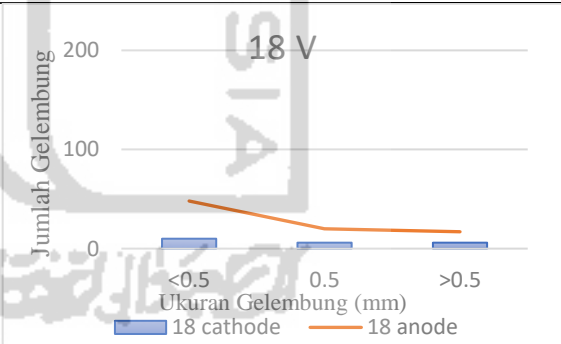

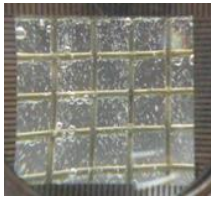
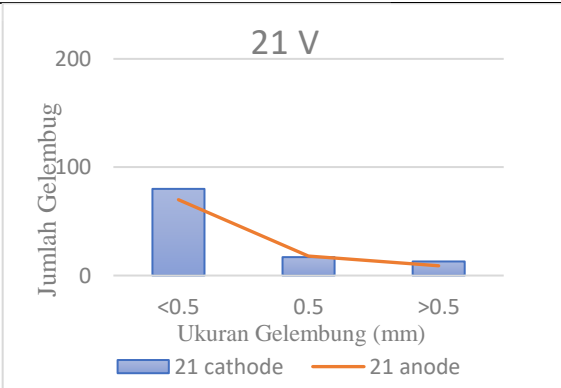
Hasil karakterisasi limbah laboratorium yang dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah menunjukkan bahwa parameter turbiditas dan kadar timbal melebihi standar baku sampai 164% dan 968% untuk kadar limbah. Sementara parameter lain tidak melebihi standar baku mutu air limbah namun tetap dilakukan pengujian untuk mengevaluasi efektifitas proses elektroflotasi biokoagulasi untuk parameter derajat keasaman (pH), elektrokonduktivitas (EC), total padatan terlarut (TDS), kekeruhan (Turbiditas), konsentrasi logam timbal (Pb) dan tembaga (Cu).

5.2 Elektroflotasi

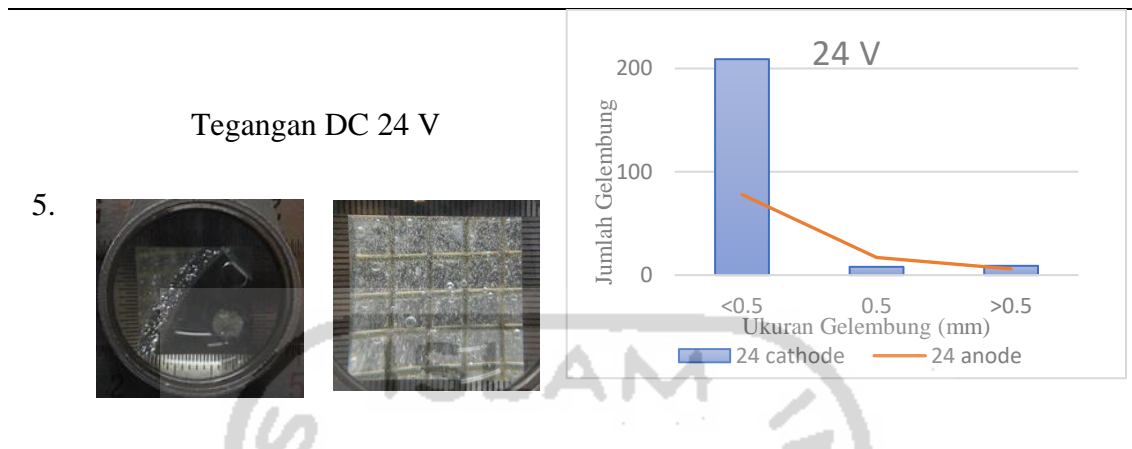
5.2.1 Optimasi tegangan

Optimasi tegangan bertujuan untuk menentukan jumlah gelembung, ukuran gelembung, dan distribusi gelembung dengan berbagai variasi tegangan. Proses elektroflotasi dapat optimal apabila jumlah gelembung yang dihasilkan cukup banyak, ukurannya relatif kecil dan distribusi gelembung pada anoda dan katoda merata. Ukuran gelembung dibagi menjadi tiga kategori ukuran yaitu $< 0,5$; $0,5$; dan $>0,5$ mm. Hasil dari pengamatan gelembung gas dari anoda dan katoda ditunjukkan pada Tabel 7.

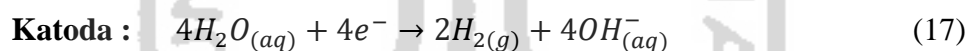
Tabel 7 Hasil data optimasi tegangan

No	Anoda	Katoda	Distribusi Gelembung Gas
	Tegangan DC 12 V		
1.			
	Tegangan DC 15 V		
2.			
	Tegangan DC 18 V		
3.			
	Tegangan DC 21 V		
4.			

Lanjutan Tabel 7



Secara umum, jumlah gelembung gas yang dihasilkan pada permukaan katoda lebih banyak dibandingkan anoda. Hal tersebut dikarenakan reaksi reduksi oksidasi yang terjadi pada katoda dan katoda, dimana pada katoda menghasilkan dua gelembung hidrogen dan pada anoda hanya menghasilkan satu gelembung oksigen. Reaksi redoks pada sel elektrolisis dapat dilihat pada persamaan berikut:

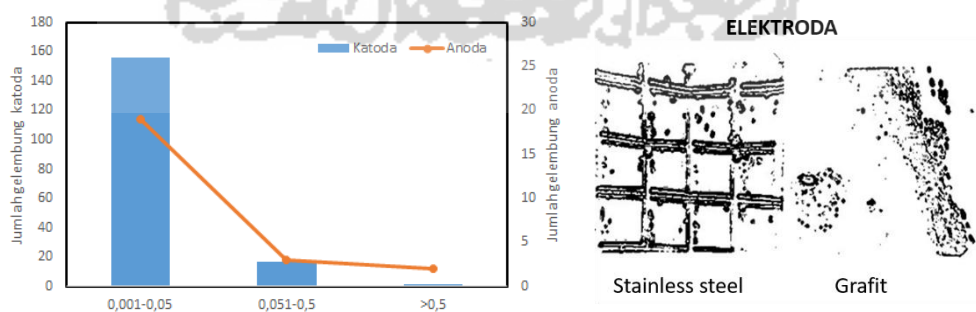


Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 6, dapat dilihat jumlah gelembung pada anoda dengan tegangan DC 12 V, 15 V, dan 18 V menghasilkan gelembung kurang dari 50 gelembung pada ukuran < 0,5 mm, sedangkan pada tegangan DC 21 V dan 24 V diperoleh jumlah gelembung gas lebih banyak pada ukuran < 0,5 mm.

Pemilihan tegangan difokuskan pada tegangan 21 V dan 24 V yang menunjukkan proses elektrolisis bekerja optimum jika gelembung yang terbentuk banyak dan berukuran kecil. Pada ukuran 0,5 mm jumlah gelembung sama banyaknya pada tegangan DC 21 V dan 24 V yaitu 20 gelembung, Namun untuk

ukuran gelembung $> 0,5$ mm menunjukkan tegangan DC 21 V lebih banyak jumlah gelembungnya dibandingkan tegangan DC 24 V. Sarkar (2010) menyatakan bahwa tegangan mempengaruhi jumlah gelembung, ukuran gelembung, dan distribusi gelembung. Putri (2016) menyatakan proses elektroflotasi dipengaruhi beberapa faktor, yaitu arus listrik, jenis elektroda, konsentrasi larutan elektrolit, konsentrasi limbah, dan kemampuan gelembung membawa polutan menuju permukaan. Produksi gelembung meningkat dengan penambahan elektrolit (misal. $MgSO_4$) dalam larutan untuk meningkatkan aliran arus dalam sistem.

Tegangan DC 21 V dipilih karena ukuran gelembung gas yang dihasilkan pada katoda gelembung gas yang dihasilkan lebih banyak pada ukuran $< 0,5$ mm, akan tetapi perbedaan gelembung yang dihasilkan pada ukuran $< 0,5$; $0,5$; dan $> 0,5$ mm tidak terpaut jauh, sehingga diharapkan proses elektroflotasi dapat berlangsung dengan optimal. Hal tersebut diperkuat dengan konfirmasi pemilihan tegangan optimal melalui aplikasi pengolahan gambar ImageJ. Aplikasi imageJ menghitung gelembung melalui jumlah pixel yang terdapat pada citra gambar hasil potret gelembung pada elektroda. Hasil gambar dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14 Konfirmasi hasil pengukuran diameter dan jumlah gelembung gas untuk optimasi tegangan elektroflotasi

5.2.2 Proses elektroflotasi

Elektroflotasi mampu mereduksi EC, TDS dan turbiditas pada limbah laboratorium. Elektroda yang digunakan berupa stainless steel dan grafit, keduanya bersifat inert sehingga katoda tidak tereduksi dan anoda tidak teroksidasi. Hal tersebut menyebabkan reaksi reduksi oksidasi pada air dan menghasilkan gelembung gas hidrogen dan oksigen. Gelembung gas tersebut dapat mengapungkan polutan pada limbah dengan prinsip flotasi. Prinsip flotasi yaitu pemisahan suatu mineral (polutan) dengan mineral lainnya melalui pengapungan gelembung gas. Partikel berhidrofobik akan menempel pada gelembung gas. Gelembung gas akan bergerak berhamburan dan terjadi kontak dengan mineral, partikel mineral bergerak sesuai dengan hukum termodinamika, kemudian lapisan tipis pada mineral pecah dan terjadi penempelan yang diawali dengan terbentuknya kontak tiga fasa yaitu air, gelembung dan mineral sehingga terbentuk kesetimbangan tegangan antarmuka (Rao, 1995).

Tabel 8 Hasil dari proses elektroflotasi

Kondisi	Parameter			
	pH	EC (mS/cm)	TDS (mg/L)	Turbiditas (NTU)
Kondisi Awal Limbah Lab.	5,9	0,41	296	41,0
Elektroflotasi	7,0	0,39 (4,88%)	285 (3,72%)	7,75 (81.09%)

Pada Tabel 8. Elektroflotasi yang mengandalkan tegangan listrik untuk menghasilkan gelembung dari elektroda mampu berturut-turut menurunkan nilai EC sampai 4,88%, TDS sampai 3,72% dan turbiditas sampai 81,09%. Penurunan turbiditas sampai 81,09% disebabkan oleh mineral polutan pada limbah bersifat

hidrofobik sehingga dapat diapungkan oleh gelembung gas. Sedangkan polutan padatan terlarut yang bersifat hidrofilik tidak dapat diapungkan oleh gelembung dan tetap larut dalam limbah. Hal tersebut yang menyebabkan nilai EC dan TDS tetap tinggi (Whelan dan Brown, 1956).

5.3 Hasil Proses Koagulasi dengan PAC dan biokoagulan

Metode koagulasi digunakan untuk menguji efektifitas biokoagulan dengan cara membandingkan hasil biokoagulan dengan koagulan sintetis (PAC). Efektifitas biokoagulan/PAC diuji karena koagulan sintetis khususnya PAC dapat menimbulkan efek samping setelah hasil air olahannya digunakan manusia (Patrick dkk. 2004). Pada proses koagulasi pH dikendalikan supaya mendapat kondisi optimal. Selaras dengan pernyataan Diaz (1999) dan Sciban (2005), pH dikendalikan dalam proses ini dikarenakan biokoagulan bekerja lebih optimal pada pH basa antara pH 8–10.

Tabel 9 menunjukkan perbandingan hasil proses koagulasi antara koagulan sintesis dengan biokoagulan (kacang arab dan biji kelor) untuk mengolah limbah laboratorium dengan tereduksinya parameter lingkungan seperti elektrokonduktifitas (EC), total padatan terlarut (TDS) dan turbiditas (turbiditas).

Berdasarkan hasil koagulasi biokoagulan lebih mampu secara efektif menurunkan EC, TDS dan turbiditas pada limbah. Turbiditas limbah menggunakan PAC berhasil turun sampai 80,32% namun parameter EC dan TDS mengalami kenaikan, sedangkan pada biokoagulan berturut-turut parameter EC, TDS dan turbiditas mengalami penurunan. Turbiditas biokoagulan turun lebih dari 80%. Hal tersebut dikarenakan biokoagulan yang digunakan yaitu kacang arab dan biji kelor

merupakan biokoagulan jenis protein yang mampu memberikan nilai penurunan turbiditas lebih baik dibanding koagulan lainnya. Hal ini terjadi karena protein memiliki kandungan asam amino dan gugus aktif yang memiliki potensi interaksi elektrostatik dengan mineral untuk netralisasi muatan pada koloid sehingga membentuk flok netral yang kemudian mengendap (Mudenur, 2016). Asam amino pada biokoagulan protein bersifat amfoter sehingga dapat mengikat partikel-partikel koloid yang bermuatan positif dan negatif (Prihatiningtyas dan Effendi, 2013)

Tabel 9 Hasil dari proses koagulasi

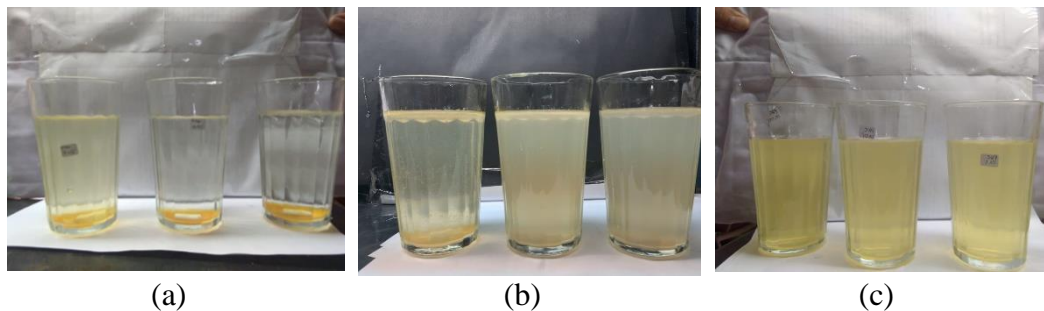
Dosis (g/250 mL)	Parameter			
	pH	EC (mS/cm)	TDS (mg/L)	Turbiditas (NTU)
Limbah Laboratorium	8,1	0,64	459	41,0
PAC 0,025	7,9	0,75 (-18,03%)	537 (-16,99%)	8,07 (80,32%)
PAC 0,05	8,2	0,69 (-7,8%)	498 (-8,49%)	14,69 (64,17%)
PAC 0,1	8,3	0,86 (-34,38%)	617 (-34,42%)	8,88 (78,34%)
Kacang Arab 0,025	8,9	0,66 (-3,13%)	475 (-3,49%)	16,93 (58,71%)
Kacang Arab 0,05	8,7	0,60 (6,25%)	427 (6,97%)	9,68 (76,39%)
Kacang Arab 0,1	8,6	0,57 (10,94%)	408 (11,11%)	30,6 (25,37%)
Biji Kelor 0,025	7,7	0,64 (0%)	456 (0,65%)	5,87 (85,6%)
Biji Kelor 0,05	7,5	0,67 (-4,68%)	480 (-4,58%)	13,51 (67%)
Biji Kelor 0,1	8,6	0,70 (-9,38%)	505 (-10,02%)	9,40 (77%)

Pada Tabel 9 dapat dilihat bahwa kinerja koagulan alami lebih baik dari pada koagulan sintesis dan dapat diamati dari foto hasil kacang arab dan biji kelor terlihat lebih dapat mengkoagulasi limbah. Hasil foto dapat dilihat pada Gambar 14 hal itu dikarenakan kacang arab dan biji kelor memiliki kandungan protein cukup tinggi dan protein larut air tersebut memiliki sifat seperti polielektrolit alum dan

merupakan polimer yang dapat mengikat partikel koloid dan membentuk flok yang dapat mengendap.

Perbandingan antara dua biokoagulan kacang arab dan biji kelor berdasarkan hasil yang telah diperoleh secara umum kacang arab lebih efektif menurunkan parameter EC, TDS dan turbiditas dibandingkan biji kelor. Pada Tabel 9. Hasil dari koagulan biji kelor hanya mampu mempertahankan nilai EC dan menurunkan nilai TDS 0,65%, namun mampu menurunkan turbiditas sampai 85,6% pada dosis 0,025 gram/250 mL, sedangkan kacang arab menurunkan nilai turbiditas hanya 76,39% pada dosis 0,05 gram/250 mL, namun nilai EC dan TDS turun berturut-turut sampai 10,94% dan 11,11% pada dosis 0,1 gram/250 mL. Secara umum dapat disimpulkan kacang arab lebih efektif mengolah limbah laboratorium dibandingkan biji kelor. Hal tersebut dikarenakan kacang arab memiliki kandungan protein yang cukup tinggi 20,47 gram/100 gram dan biji kelor hanya 2,5 gram/100 gram. Dan kacang arab lebih baik dari PAC karena protein didalamnya memiliki sifat polielektrolit yang dapat mengikat polutan anion dan kation dalam limbah.

Perubahan visual limbah laboratorium kimia setelah koagulasi dengan koagulan kacang arab, koagulan biji kelor, dan koagulan PAC dapat dijadikan indikator awal keberhasilan proses tersebut. Perubahan visual yang nyata dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Hasil proses penggunaan biokoagulan. (a) Penggunaan kacang arab, (b) Penggunaan biji kelor, dan (c) Penggunaan PAC

5.4 Proses Elektroflotasi Biokoagulasi

Elektroflotasi-biokoagulasi adalah pengaplikasian biokoagulan dengan menambahkannya pada proses elektroflotasi. Parameter yang mempengaruhi proses diantaranya adalah tegangan, waktu, jenis koagulan dan dosis koagulan. Waktu dan tegangan yang digunakan pada proses elektroflotasi-biokoagulasi sesuai dengan kondisi optimal proses elektroflotasi yaitu selama 60 menit dan digunakan tegangan 21 V (Haryono, 2018). Jenis koagulan yang digunakan kacang arab dan biji kelor. Penentuan dosis koagulan merujuk pada dosis koagulan pada proses koagulasi. Penentuan dosis menggunakan perbandingan 1:2, dimana pada proses koagulasi menggunakan dosis koagulan 0,05 gram/250 mL maka pada proses elektroflotasi-biokoagulasi dosis koagulannya 0,1 gram/500 mL (Kazi dan Virupakshi, 2013).

Pengolahan limbah pada proses elektroflotasi-biokoagulasi pH limbah tidak dikendalikan karena kondisi pH sudah di antara asam ringan – pH netral, karena pada kondisi tersebut gelembung hidrogen dan oksigen terbentuk optimal (Mansour, 2007)

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa secara umum proses elektroflotasi-biokoagulasi menggunakan koagulan kacang arab lebih baik dibandingkan biji kelor. Hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 10. Pada dosis 0,05 gram/250 mL koagulan kacang arab mampu menurunkan berturut-turut EC, TDS dan turbiditas sampai 14,63%, 23,51%, dan 92,78%, sedangkan biji kelor menurunkan nilai EC, TDS dan turbiditas sebesar 9,76%, 8,78%, dan 91,7%. Kacang arab menurunkan nilai EC dan TDS lebih efektif dikarenakan kacang arab memiliki kandungan protein lebih tinggi (20,47 gram/100 gram) dibanding biji kelor yang berarti kacang arab (2,5 gram/100 gram) lebih banyak kandungan protein yang bersifat seperti polielektrolit dan gugus aktif bergerak elektrostatis akan mengikat kation dan anion mineral polutan pada limbah (Stevens, 2001).

Tabel 10 Hasil dari proses elektroflotasi biokoagulasi

Dosis (g/500 mL)	Parameter			
	pH	EC (mS/cm)	TDS (mg/L)	Turbiditas (NTU)
Limbah Laboratorium	5,9	0,41	296	41,0
Kacang Arab 0,05	8,0	0,36 (12,19%)	262 (11,49%)	3,13 (92,37%)
Kacang Arab 0,1	7,4	0,35 (14,63%)	256 (23,51%)	2,96 (92,78%)
Kacang Arab 0,2	7,0	0,38 (7,32%)	277 (6,42%)	5,74 (86,0%)
Biji Kelor 0,05	6,7	0,41 (0%)	294 (0,68%)	4,38 (89,3%)
Biji Kelor 0,1	7,3	0,37 (9,76%)	270 (8,78%)	3,83 (91,7%)
Biji Kelor 0,2	7,0	0,42 (-2,44%)	302 (-2,08%)	36,7 (10,4%)

Dosis koagulan yang sama tidak seluruhnya menunjukkan penurunan nilai parameter EC, TDS dan turbiditas terbaik. Berdasarkan tabel 9. dosis koagulan optimal ditunjukkan pada dosis 0,1 gram/500 mL, namun turbiditas lebih tinggi tingkat penurunannya pada dosis 0,05 gram/500 mL. Hasil yang fluktuatif juga

ditunjukkan pada dosis tertinggi pada kacang arab dan biji kelor. Dosis 0,2 gram/500 mL penurunan turbiditas tidak optimal dibandingkan dosis yang lebih kecil. Hal tersebut dimungkinkan karena Penambahan dosis koagulan yang berlebih akan memberikan efisiensi penurunan turbiditas yang tidak berbeda jauh karena akan terjadi kegagalan pembentukan flok. Mekanisme yang terjadi adalah polimer-polimer dalam koagulan alami akan menutupi seluruh permukaan partikel koloid sehingga tidak ada tempat untuk rantai akhir menempel dan proses flokulasi tidak terjadi. Keadaan ini dapat mengakibatkan partikel koloid akan kembali stabil atau tidak dapat bergabung dengan partikel lain (Larry dan Joseph dalam Srawaili, 2008). Flokulan-flokulan tersebut terbentuk karena kacang arab dan biji kelor mengandung protein yang jika dilarutkan dalam air akan menjadi seperti protein polielektrolit yang dapat mengikat koloid membentuk flok.

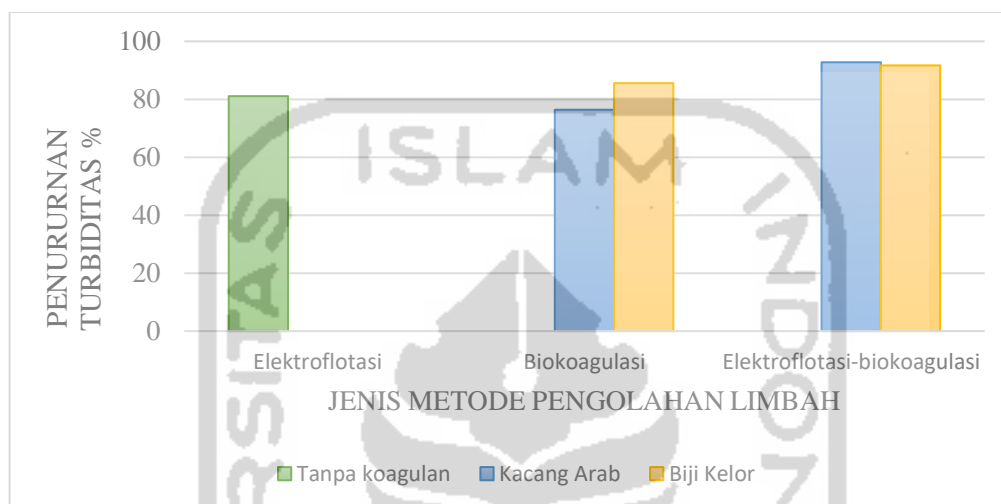
Interaksi juga terjadi antara koagulan dengan arus elektron yang mengalir. Elektron akan dialirkan oleh katoda kemudian melintasi limbah untuk menuju anoda. Pada saat melintasi limbah reaksi akan terbentuk dengan menghasilkan gelembung, ion positif dan negatif. Dimana ketika tegangan DC sudah optimal, gelembung yang dihasilkan juga akan optimal dan kemungkinan tabrakan antara gelembung-gelembung ini, kemudian dikoagulasi mengapung secara optimal. Akibatnya, lebih banyak partikel akan dihilangkan (Mansour, 2007).

5.5 Efektifitas Pengolahan Limbah Proses Elektroflotasi Biokoagulasi

5.5.1 Efektifitas persen penurunan turbiditas

Efektifitas elektroflotasi-biokoagulasi dapat dilihat pada persen penurunan turbiditas yang dibandingkan dengan persen penurunan proses elektroflotasi dan koagulasi. Data hasil persen penurunan turbiditas menunjukkan bahwa proses

elektroflotasi-biokoagulasi menggunakan kacang arab dan biji kelor lebih efektif mengolah limbah laboratorium dibandingkan proses lainnya. Data tersebut diambil dari nilai optimal setiap proses pengolahan dari jenis koagulan kacang arab dan biji kelor dan dapat dilihat pada Gambar 16.



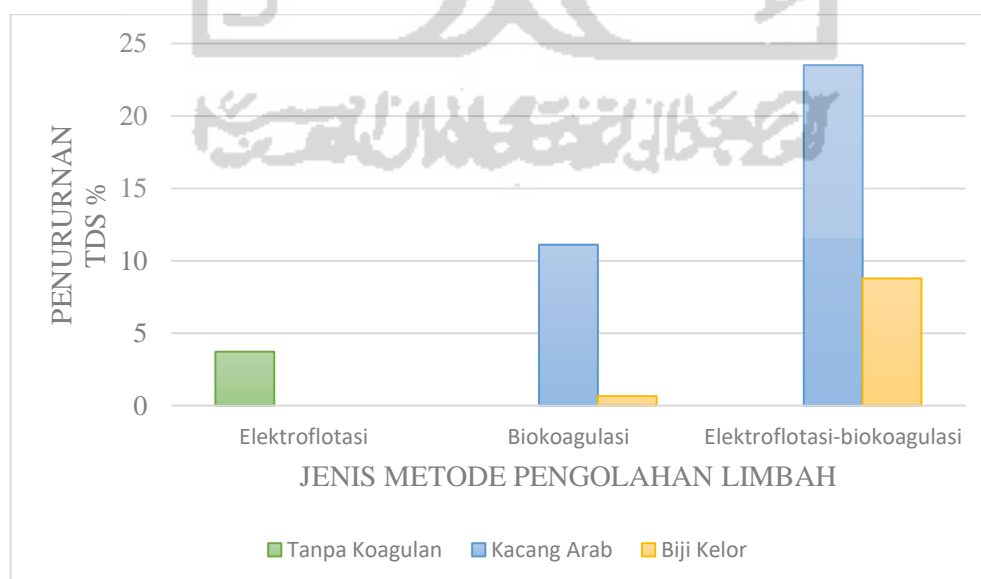
Gambar 16 Perbandingan persen penurunan turbiditas

Proses elektroflotasi menghasilkan persen efisiensi penurunan turbiditas sebesar 81,09% (41–7,75 NTU). Proses koagulasi menggunakan koagulan kacang arab dosis 0,05 gram/250 mL menurunkan turbiditas hingga 78,39% (41–9,68 NTU), sedangkan biji kelor dosis 0,025 gram/250 mL menurunkan turbiditas sebesar 85,6% (41–5,87 NTU). Proses elektroflotasi-biokoagulasi dengan bantuan koagulan kacang arab dosis 0,1 gram/500 mL menurunkan turbiditas sebesar 92,78% (41 – 2,96 NTU), sedangkan biji kelor dosis 0,1 gram/500 mL menurunkan turbiditas sebesar 91,7% (41–3,83 NTU). Hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil optimal dari setiap proses dan koagulan sangat bergantung pada dosis optimal koagulan, karena kemampuan koagulan berbeda-beda untuk membentuk flok dan bergantung pada proses pengolahannya (Larry dan Joseph, 2008). Dapat

disimpulkan bahwa proses elektroflotasi-biokoagulasi dengan koagulan kacang arab memberikan efektifitas 11% lebih tinggi dari proses elektroflotasi tanpa bantuan koagulan alami. Hasil tersebut menunjukkan bahwa koagulan alami mampu meingkatkan kinerja proses elektroflotasi dan proses elektroflotasi-biokoagulasi jika dibandingkan dengan proses koagulasi hasilnya menunjukkan lebih efektif proses elektroflotasi-biokoagulasi.

5.5.2 Efektifitas persen penurunan TDS

Nilai efektifitas persen penurunan TDS (total padatan terlarut) digunakan sebagai data pendukung untuk menguji keefektifan dari proses elektroflotasi-biokoagulasi. Hasil data persen penurunan TDS menunjukkan bahwa proses elektroflotasi-biokoagulasi lebih efektif menurunkan nilai TDS dibandingkan proses elektroflotasi dan proses koagulasi. Data persen penurunan TDS diambil dari nilai optimal setiap proses pengolahan dari koagulan kacang arab dan biji kelor yang dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17 Perbandingan persen penurunan TDS

Proses koagulasi menggunakan koagulan kacang arab dosis 0,1 gram/250 mL mereduksi TDS sebesar 11,11% (459–408 mg/L), sedangkan koagulan biji kelor dosis 0,025 gram/250 mL mereduksi TDS sebesar 0,65% (459–456 mg/L), sedangkan hasil terbaik diperoleh dari proses elektroflotasi-biokoagulasi menggunakan koagulan kacang arab dengan dosis 0,1 gram/500 mL mereduksi TDS sebesar 23,51% (296–256 mg/L) dan koagulan biji kelor dosis 0,1 gram/ 500 mL dapat mereduksi TDS sebesar 8,78% (296–270 mg/L). Peningkatan efektivitas penurunan TDS seiring dengan meningkatnya dosis biokoagulan. Hal ini menunjukkan semakin tinggi konsentrasi polielektrolit yang diberikan, efektivitas penurunan TDS yang dihasilkan semakin baik karena akan mengakibatkan berkurangnya kestabilan koloid dan mengurangi gaya tolak menolak antar partikel sehingga membentuk flok (Srawaili, 2008), namun jika dosis koagulan yang diberikan melebihi batas maka koloid akan kembali stabil dan tidak terbentuk flok. Berdasarkan hal tersebut dosis koagulan merupakan faktor terpenting untuk menentukan kondisi optimal dalam pengolahan limbah laboratorium kimia. Oleh karena itu, dalam menentukan dosis optimal untuk meminimalkan biaya dan mendapatkan kinerja yang optimal dalam pengolahan limbah laboratorium kimia (Putri, 2018).

Elektroflotasi-biokoagulasi menggunakan kacang arab mampu lebih tinggi 12,40% menurunkan TDS dibandingkan proses koagulasi dan menggunakan biji kelor lebih tinggi 8,12% menurunkan TDS dibandingkan proses koagulasi.

5.5.3 Efektifitas persen massa endapan

Kinerja aktivitas koagulan dievaluasi pada setiap proses pengolahannya dengan perhitungan *sludge mass* untuk mengetahui tingkat efektifitas proses elektroflotasi-biokoagulasi. Sampel diuji aktifitas koagulannya dengan menimbang hasil endapan, semakin rendah berat endapan keringnya maka hasil akan semakin bagus dengan ditunjukkan oleh tingginya aktifitas koagulan. Pada proses koagulasi didapat persen aktivitas koagulan sebesar 95,85% dan pada proses elektroflotasi-biokoagulasi sebesar 96,36% dengan menggunakan persamaan 18.

$$\text{Massa endapan (\%)} = \frac{W - D}{W} \times 100\% \quad (18)$$

Dimana W adalah berat endapan basah (g) dan D adalah berat endapan kering (g). Data hasil persen massa endapan dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11 Hasil persen massa endapan

Jenis	Aktivitas Koagulan
koagulasi K. Arab 0,1 gram/250 mL	95,85%
Elektroflotasi-biokoagulasi K. Arab 0,1 gram/500 mL	96,36%

Hasil dari persen aktivitas koagulan menunjukkan bahwa aktivitasnya lebih tinggi dari proses koagulasi. Hasil ini disebabkan karena aktifasi koagulan dalam proses elektroflotasi-biokoagulasi dengan bantuan flokulasi perikinetik yang mengandalkan gerak brown (Vigneswaran dan Visvanathan, 1995) dan aktifasi koagulannya dibantu juga dengan proses flotasi dan perpindahan elektron dari elektroflotasi (Yanqing dkk, 2009). Sedangkan proses koagulasi tumbukan antar partikel hanya mengandalkan proses pengadukkan.

5.5.4 Persen penurunan konsentrasi logam berat

Pada persen penurunan logam berat menunjukkan tingkat keefektifan proses elektroflotasi-biokoagulasi. Hasil menunjukkan proses koagulasi dengan koagulan kacang arab 0,05 gram/250 mL dapat menurunkan konsentrasi logam Pb pada limbah laboratorium sebesar 12,809% dari konsentrasi awal 0,968 mg/L.

Tabel 12. Menunjukkan hasil pengolahan limbah pengaruh proses elektroflotasi dan pengaruh biokoagulan dengan proses elektroflotasi-biokoagulasi terhadap konsentrasi logam Pb dan Cu.

Tabel 12 Hasil penurunan konsentrasi logam berat dengan proses elektroflotasi, biokoagulasi dan elektroflotasi biokoagulasi

Dosis koagulan (gram/500 mL)	Konsentrasi (mg/L)	
	Logam Pb	Logam Cu
Limbah Laboratorium	0,968	0,0222
Proses elektroflotasi		
Elektroflotasi	0,953 (1,549%)	0,107
Proses koagulasi		
Kacang Arab 0,05*	0,844 (12,809%)	0,087
Biji Kelor 0,025*	0,937 (3,202%)	0,047
Proses elektroflotasi-biokoagulasi		
Kacang Arab 0,05	0,875 (9,607%)	0,094
Kacang Arab 0,1	0,906 (6,405%)	0,125
Kacang Arab 0,2	0,829 (14,359%)	0,027
Biji Kelor 0,05	0,906 (6,405%)	0,152
Biji Kelor 0,1	0,844 (12,809%)	0,119
Biji Kelor 0,2	0,906 (6,405%)	0,083

Nil: Luar batas deteksi ala

* : dosis dengan volume 250 ml

Hasil menunjukkan proses elektroflotasi-biokoagulasi koagulan kacang arab 0,2 gram/500 mL dapat menurunkan konsentrasi logam Pb pada limbah laboratorium sebesar 14,359% dari konsentrasi awal 0,968 mg/L, sedangkan pada proses elektroflotasi hanya mampu menurunkan sebesar 1,549%. Hal ini menunjukkan penambahan biokoagulan dapat meningkatkan kinerja proses elektroflotasi.

Mekanisme penurunan konsentrasi logam berat juga dimungkinkan karena adanya aktivitas asam amino bioflokulan yang mampu mengadsorpsi dan membentuk ikatan antar partikel air limbah dan bioflokulan sehingga terbentuk ikatan-ikatan yang stabil dapat mengendap. Hendriarianti dan Humairoh (2011).

Konsentrasi logam Cu pada limbah laboratorium sebesar 0,022 mg/L. Hal ini terjadi karena limbah laboratorium diencerkan sebesar 10x sehingga konsentrasi logam Cu sangat rendah atau kurang dari LOD (*Limit of Detection*) standar. Konsentrasi logam Cu pada limbah laboratorium setelah proses elektroflotasi tidak mengalami perubahan, sedangkan pada proses elektroflotasi-biokoagulasi dengan penambahan koagulan sebesar 0,1 gram/250 mL meningkatkan konsentrasi logam Cu menjadi 0,125 mg/L. Hal ini menunjukkan penambahan biokoagulan belum efektif dalam menurunkan konsentrasi logam Cu dan menyebabkan terjadinya mekanisme proses pemekatan konsentrasi logam Cu. Kenaikan konsentrasi logam Cu dimungkinkan karena elektroda yang digunakan dalam proses elektroflotasi memiliki kandungan Cu dan terjadi peluruhan. Hal ini ditunjukkan pada tabel 12. dimana kenaikan logam Cu lebih tinggi terjadi pada proses yang menggunakan elektroda sedangkan pada proses koagulasi tidak menggunakan elektroda.

Proses koagulasi nilai Cu mengalami kenaikan namun tidak signifikan, hal tersebut dimungkinkan karena koagulan yang digunakan memiliki kandungan logam Cu.

5.5.5 Biaya operasi elektroflotasi-biokoagulasi

Biaya operasi dalam proses pengolahan limbah elektroflotasi-biokoagulasi dihitung untuk mengetahui berapa efisiensi metode elektroflotasi-biokoagulasi untuk diaplikasikan. Hasil pengolahan yang baik tentu harus didukung dengan biaya operasional yang tidak terlalu mahal. Biaya operasional dapat dihitung dengan persamaan 19

$$C_{en} = \frac{U \times i \times t}{V} \quad (19)$$

Dimana U adalah tegangan (V), i adalah arus (A), t adalah waktu proses (h) dan V adalah volume limbah yang diolah (m^3)

Konsumsi listrik selama 60 menit untuk satu kali proses elektroflotasi dengan volume limbah sebanyak 500 mL diperlukan listrik sebesar 21 kWhm^{-3} jika dirupiahkan berdasarkan tagihan PLN untuk golongan non subsidi $>1.300 \text{ VA}$ dikenakan tarif normal Rp 1467/kWh artinya untuk menjalankan satu proses memerlukan biaya operasional listrik sebesar Rp 30807/ m^3 . Biaya untuk bahan baku koagulan alami yang dibutuhkan untuk satu kali proses adalah 0,1 gram dengan biaya Rp 50 untuk biji kelor dan Rp 5 untuk kacang arab.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian dilakukan memperoleh hasil, sehingga dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses kogulasi menggunakan biokoagulan kacang arab (*Cicer arietinum*) lebih baik dibandingkan dengan koagulan sintesis *Poly aluminium chloride* (PAC) dan biokoagulan biji kelor (*Moringa oleifera*) dalam pengolahan limbah laboratorium kimia.
2. Efektifitas dan efisiensi proses elektroflotasi-biokoagulasi dibandingkan dengan proses elektroflotasi dan koagulasi untuk pengolahan limbah laboratorium kimia menunjukkan bahwa proses elektroflotasi-biokoagulasi lebih efektif dan efisien. Hasil ini ditunjukkan oleh tereduksinya berbagai parameter terutama TDS, Turbiditas dan konsentrasi logam Pb.

6.2 Saran

Pengolahan limbah dengan proses elektroflotasi-biokoagulasi merupakan inovasi terbaru, sehingga masih perlu pengembangan lanjutan untuk memperoleh hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adjeroud, N., dkk., 2017, Effect of *Opuntia Ficus Indica* Mucilage on Copper Removal from Water by Electrocoagulation-Electroflotation Technique, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **811**, 26–36.
- Aho, I.M., and Lagasi, J.E., 2012, A New Water Treatment System Using *Moringa oleifera* Seed, *American Journal of Scietific and Industrial Research*, **3**, 487-492.
- Al-Snafi, A.E., 2016, The Medical Importance of *Cicer arietinum*: A Review, *IOSR Journal of Pharmacy*, **6**, 3, 29-40.
- Andiwijaya, A.F., 2016, Alternatif Koagulan Alami sebagai Pengganti atau Pembantu Aluminium Sulfat pada Proses Pengolahan Air Minum, *Journal of Water Resource and Protection*, **8**, 1-6.
- APHA, 1989, *Standard Methods For The Examination Of Waters And Wastewater. 17th Ed*, American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C.
- Aoudj, S., Khelifa, A., Drouiche, I., 2017, Removal of Fluoride, SDS, Ammonia and Turbidity from Semiconductor Wastewater by Combined Electrocoagulation -Electroflotation. *Chemosphere* **180**, 379-387.
- Asrafuzzaman, M., Fakhrudin, A.N.M., Hossain, M.A., 2011, Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagullants, *ISRN Microbiology* **11**, .
- Audiana, M., 2017, *Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Teknik Lingkungan dengan Koagulasi dan Adsorpsi untuk Menurunkan COD, Fe dan Pb*, Penelitian, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Boyd, C.E., 1990, *Water Quality In Ponds For Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station*, Auburn University, Alabama.
- Bums, S.E., Yiacoumi, S., Tsouris, C., 1997, Microbubble Generation for Environmental and Industrial Separations. *Sep. Purif. Technol.*, **11**, 221–232.
- Cahyadi dan Trihadiningrum, Y., 2000, Studi Penggunaan Kalsium Sulfat untuk Pengolahan Limbah Deterjen, *Jurnal Kimia Lingkungan*, **3**, 7–14.
- Campbell, A., 2002, The Potential Role of Aluminium in Alzheimer's Disease, *Neprhol Dial Transplant*, **17**, 2, 17-20.
- Chang, R., 2010, *Chemistry, 10th edition*, McGraw-Hill Companies, New York.
- Cholil, M., 1997, *Adsorpsi Deterjen oleh Campuran Bentonit dan Arang Aktif*, Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Airlangga, Surabaya.

- Duke, J.A., 1981, *Handbook of Legumes of World Economic Importance*, Plenum Press, New York.
- Effendi, H., 2003, *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*, Kanisius (Anggota IKAPI), Jakarta.
- Effendi, H., Sari, R.D., Hasibuan, S., 2015, *Moringa oleifera* as Coagulant for Batik Effluent Treatment, *International Association for Impact Assessment Conference*.
- El-Hosiny, F.I., Selim, K.A., Khalek, M.A.A., Osama, I., 2017, Physicochemical Study of Dye Removal Using Electro-Coagulation-Flotation Process, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, **54**, 1, 1-14.
- Eman, N.A., 2014, Impact of *Moringa oleifera* Cake Residue Application on Waste Water Treatment, A Case Study, *Journal of Water Resource and Protection*, **6**, 677-687.
- Fukui, Y., and Yuu, S., 1985, Removal of Colloidal Particles in Electroflotation, *AIChE Journal*. **31**, 201–208.
- Ghebremichael, K.A., Gunaratna, K.R., Henriksson, H., Brumer, H., Dalhammar, G.A., 2005, Simple Purification and Activity Assay of the Coagulant Protein from *Moringa oleifera* Seed, *Water Res.*, **39**: 2338 – 2344.
- Grubben, G.J.H., 2004, *Plant Resources of Tropical Africa 2 Vegetables*, PROTA Foundation, Belanda.
- Gu, X., and Chiang, S.H., 1999, A Novel Flotation Column for Oily Water Cleanup, *Sep. Purif. Technology*, **16**, 193–203.
- Harush, D.P., Hampannavar, U., Mallikarjunaswami, M.E., 2011, Treatment of Dairy Wastewater Using Aerobic Biodegradation and Coagulation, *International Journal of Environmental Sciences and Research*, **1**, 1, 23-26.
- Haryono., D.M, Faizal., N.C, Liamita., Rostika, A., 2018, Pengolahan Limbah Zat Warna Tekstil Terdispersi dengan Metode Elektroflotasi, *Jurnal Kimia dan Pendidikan*, **3**, 1, 94-105.
- Haver, L.V., and Nayar, S., 2017, Polyelectrolyte Flocculants in Harvesting Microalgal Biomass for Food and Feed Applications, *Algal Research*, **24**, 167-180.
- Hestningsih, 2009, *Efektifitas Biji Kelor (Moringa oleifera Lamk.) Tanpa Lemak sebagai Koagulan pada Air Sungai Bengawan Solo*, Skripsi. Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Hidayat, S., 2006, *Pemberdayaan Masyarakat Bantaran Sungai Lematang dalam Menurunkan Turbiditas Air dengan Biji Kelor (Moringa oleifera L.) sebagai Upaya Pengembangan Proses Penjernihan Air*, Disertasi, Universitas Negeri Malang, Malang.

- Ho, C.C., and Chan, C.Y., 1986, Application of Lead Dioxide-Coated Titanium Anode in the Electroflotation of Palm Oil Mill Effluent, *Water Research*, **20**, 1523–1527.
- Holt, P.K., Barton, G.W., Wark, M., Mitchell, C.A., 2002, A Quantitative Comparison between Chemical Dosing and Electrocoagulation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **211**, 2, 233-248.
- Jonni, M.S., Sitorus, M., Katharina, N., 2008, *Cegah Malnutrisi dengan Kelor*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Kazi, T., dan Virupakshi, A., 2013, Treatment of Tannery Wastewater Using Natural Coagulants, *Internasional Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, **2**, 8, 4061-4068.
- Khelifa, A., S, Moulay., A.W, Naceur., 2005, Treatment of Metal Finishing Effluents by the Electroflotation Technique, *Desalination*, **181**, 27-33.
- Khopkar, S.M., 1990, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, Universitas Indonesia Press, Jakarta.
- Kihampa, C., Mwegoha, W.J.S., Kaseva, M.E., Marobhe, N., 2011, Performance of *Solanum incunum* Linnaeus as Natural Coagulant and Disinfectant for Drinking Water. *African Journal of Environmental Science and Technology*, **5**, 10, 867-872.
- Kurniawan, T.A., Chan, G.Y.S., Lo, W.H., Babel, S., 2006, Physico-chemical Treatment Techniques of Wastewater Laden with Heavy Metals, *Chem Eng Journal*, **118**, 83–98.
- Kusdarini, E., 2016, Kajian Metode Koagulasi pada Pengolahan Air Sumur Mengandung Timbal Bervalensi II di Kota Pasuruan, *Jurnal IPTEK*, **20**, 1, 44-54.
- Larastika, W., 2011, *Studi Awal Karakterisasi dan Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) di Universitas Indonesia (Studi Kasus: Beberapa Laboratorium di FT, FMIPA, FK, dan FKG)*, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Lasut, R., 2006, *Implementasi Manajemen Bahan Kimia dan Limbah Laboratorium Kimia (Studi Kasus di Laboratorium PT Pupuk Kaltim, Tbk)*, Skripsi, Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Llerena, C., Ho, J.C.K., Piron, D.L., 1996, Effect of pH on Electroflotation of Sphalerite, *Chem. Eng. Commun.* **155**, 217–228.
- Magaji, U.F., 2015, Biocoagulation Activity of *Moringa oleifera* Seeds for Water Treatment, *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)*, **4**, 2, 19-26.

- Malayadi, A.F., 2017, *Karakteristik dan Sistem Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Laboratorium Universitas Hasanudin*, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanudin, Makassar.
- Mansour, L.B., Abdou, Y.B., Gabsi, S., 2001, Effects of Some Parameters on Removal Process of Nickel by Electroflotation, *Water Waste Environment Research*, **2**, 51–58.
- Mansour, L.B., I. Ksentini., B. Elleuch., 2007, Treatment of Wastewaters of Paper Industry by Coagulation–Electroflotation. *Desalination*, **208**, 34–41.
- Mansour, L.B., I. Ksentini., 2007, Treatment of Effluents from Cardboard Industry by Coagulation–Electroflotation. *Journal of Hazardous Materials*, **20**, 1–4.
- McKusick, B. C. 1981. *Prudent Practices for Handling Hazardous Chemical in Laboratories Sciences*, **211**, 777-780.
- Mota, I.O., Castro, J.A., Casqueira, R.G., Junior, A.G.O., 2014, Study of Electroflotation Method for Treatment of Wastewater from Washing Soil Contaminated by Heavy Metals, *Journal of Materials Research and Technology*, **4**, 2, 109–113.
- Muhammad, S. dan Warjito, 2014, *Elektroflotasi untuk Pemisahan Zat Warna Batik*, Penelitian, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Muharto., Kuswytasari, N.D., Aunurohim., 2007, *Biji kelor (Moringa oleifera) sebagai Bahan Penyerap untuk Menurunkan Kadar Detergen Logam Berat serta Bakteri dalam Air Jernih*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Muralimohan, N., Palanisamy, T., Vimaladevi, M.N., 2014, Experimental Study on Removal Efficiency of Blended Coagulants in Textile Wastewater Treatment, *Int. J. of Resource Eng. Technol*, **2**, 2321–8843.
- Nand, V., Maata, M., Koshy, K., Sotheeswaran, S., 2012, Water Purification Using *Moringa oleifera* and Other Locally Available Seeds in Fiji for Heavy Metal Removal. *International Journal of Applied Science and Technology*, **2**, 5, 4.
- Nanseu-Njiki, C.P., Tchamango, S.R., Ngom, P.C., Darchen, A., Ngameni, E., 2009, Mercury(II) Removal from Water Byelectrocoagulation Using Aluminium and Iron Electrodes, *J. Hazard Mater*, **168**, 2-3, 1430–1436.
- NN, 1988, *Guidelines for Drinking Water Quality*, vol 2, World Health Organization, Belgium.
- Novita, E., Indarto., Hasanah, T.L., 2014, Optimasi Penggunaan Koagulan Alami Biji Kelor (*Moringa oleifera*) pada Pengolahan Limbah Cair Mocaf, *Jurnal Agroteknologi*, **8**, 2. 171-178.

- Nugroho, A., Miswadi., Sundari, S., Santosa., Nurwachid, B., 2014, Penggunaan Serbuk Biji Kelor untuk Menurunkan Kadar Pb, Turbiditas dan Intensitas Warna, *Indonesian Journal of Chemical Science*, **3**, 3.
- Parkin, G.F., Sawyer, C.N., McCarty, P.L., 2003, *Chemistry for Environmental Engineering and Science*, 5th edition, McGraw-Hill Companies, New York,.
- Patrick, N., Frédéric, M., Abdelkrim, A., Robert, H., 2004, Impacts of Substituting Aluminum-Based Coagulants in Drinking Water Treatment. *Water Qual. Res. J. Canada*, **39**, 3, 303–310.
- Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson, A., O’neill, J.G., 2010, A Comparison between *Moringa oleifera* and Chemical Coagulants in the Purification of Drinking Water: An Alternative Sustainable Solution for Developing Countries, *Jurnal Physics and Chemistry of the Earth*, **35**, 798-805.
- Rodiño-Arguello, J.P., Feria-Diaz, J.J., Paternina-Urib, R.J., Marrugo-Negrete, J.L., 2015, Sinú River Raw Water Treatment by Natural Coagulants, *Revista Facultad de Ingeniería*, **76**, 90-98.
- Raimon, 2011, Pengolahan Air Limbah Laboratorium Terpadu dengan Sistem Kontinyu, Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang, *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, **22**, 2, .
- Ramadhan, D., 2017, *Peran Koagulasi dalam Meningkatkan Efisiensi Pemrosesan dan Efektivitas Biaya dalam Proses Pengolahan Air dan Air Limbah*, Penelitian, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Rao, N., 2005, *Use of Plant Material as Natural Coagulants for Treatment of Waste Water*, McGraw-Hill, New York.
- Rochman, F., Hamami, H., Sapuan, I., 2016, Pembuatan IPAL Limbah Deterjen Metode Elektroflotasi Skala Pilot, *Journal Kimia Riset*, **1**, 1, 58-64.
- Said, M., 2009, Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Menggunakan Koagulan Alum Sulfat dan Poli Aluminium Klorida (PAC), *Jurnal Penelitian Sains*, **12**, 8, 38-43.
- Sarkar, S.K.A., 2012, *Electroflotation: Its Application to Water Treatment and Mineral Processing*, Thesis, University of Newcastle, Callaghan.
- Šciban, M., Klašnja, M., Stojimirovic, J., 2005, Investigation of Coagulation Activity of Natural Coagulants from Seeds of Different Leguminose Species. *Acta Periodica Technologica*, **36**, 81-87.
- Siregar, S., 2005, *Instalasi Pengolahan Air Limbah*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Sudijanto, A., 1993, *Uji Tingkat Biodegradasi Limbah Deterjen Metode Activated Sludge*, Skripsi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Sutherland, J.P., Folkard, G.K., Mtawali, M.A., Grant, W.D., 1994, *Moringa oleifera* as a Natural Coagulant, *Affordable Water Supply & Sanitation. Proceedings of the 20th WEDC Conference*; Colombo, 22-26.
- Syarifudin, D., 1993, *Petunjuk Pemeriksaan Air Minum/Air Bersih*, Departemen Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
- Thakur, S.S., and Choubey, S., 2014, Use of Tannin Based Natural Coagulants for Water Treatment: An Alternative to Inorganic Chemicals, *International Journal of ChemTech Research*, **6**, 2, 3628-3634.
- Ulfiana, V., Rachmadiarti, F., Fitrihidajati, H., 2016, The Effect of *Moringa oleifera*'s Powder on the Reduction Level of Lead Metal (Pb) of Batik Industrial Waste in Karah Surabaya, *Lentera Bio*, **5**, 3, 139-143.
- Van der Maesen, L.J.G., 1987, *Cicer L.* Origin, History and Taxonomy of Chickpea, 11-34.
- Vangronsveld, J., and Clijsters, H., 1994, *Toxic effects of metals, in: Plants and the Chemical Elements: Biochemistry, Uptake, Tolerance and Toxicity*, VCH Publishers, Weinheim.
- Wei, N., Zhang, Z., Liu, D., Wu, Y., Wang, J., Wang, Q., 2015, Coagulation Behavior of Polyaluminium Chloride: Effects of pH and Coagulant Dosage, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, **23**, 6, 1041-1046.
- Widjajanti, E., 2009, *d*, Laporan Pengabdian, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Wiratini, N.M., dan Kartowasono, N., 2016, Dampak Rangkaian Sel Elektroda Al-C dalam Elektrokimia untuk Mendegradasi Limbah Tekstil, *Reaktor*, **16**, 2, 65-71.
- Yanqing, X., Shang, J.Q., Yono, F.W., Gary, G., Coleman, D.P., Sioshansi, M., Sullivan, S., 2009, Electrokinetic Flotation of Process Water from Paint Booths, *Water Qual. Res. J. Can*, **44**, 2, 189-200.
- Yongabi, K.A., 2010, Bio-coagulants for Water and Waste Water Purification: a Review, *International Review of Chemical Engineering*, **2**, 3, .
- Yin, C.Y., 2010, Emerging Usage of Plant-Based Coagulants for Water and Wastewater Treatment, *Journal of Process Biochemistry*, **45**, 1434-1444.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan Penurunan TDS (%)

1. Penurunan TDS Elektroflotasi

$$\begin{aligned} \text{Penurunan TDS (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\ &= \frac{296 - 285}{296} \times 100\% \\ &= 3,72\% \end{aligned}$$

2. Penurunan TDS Biokoagulasi

a) *Poly Aluminium Chloride* (PAC)

$$\begin{aligned} \text{Penurunan TDS PAC 0,025 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\ &= \frac{459 - 537}{459} \times 100\% \\ &= -16,99\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan TDS PAC 0,05 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\ &= \frac{459 - 498}{459} \times 100\% \\ &= -8,49\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan TDS PAC 0,1 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\ &= \frac{459 - 617}{459} \times 100\% \\ &= -34,42\% \end{aligned}$$

b) Kacang Arab (*Cicer arietinum*)

$$\begin{aligned} \text{Penurunan TDS K. Arab 0,025 gr (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\ &= \frac{459 - 475}{459} \times 100\% \\ &= -3,49\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan TDS K. Arab 0,05 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\
 &= \frac{459 - 427}{459} \times 100\% \\
 &= 6,97\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan TDS K. Arab 0,1 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\
 &= \frac{459 - 408}{459} \times 100\% \\
 &= 11,11\%
 \end{aligned}$$

c) Biji Kelor (*Moringa oliefera*)

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan TDS B. Kelor 0,025 gr (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\
 &= \frac{459 - 456}{459} \times 100\% \\
 &= 0,65\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan TDS B. Kelor 0,05 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\
 &= \frac{459 - 480}{459} \times 100\% \\
 &= -4,57\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan TDS B. Kelor 0,1 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\
 &= \frac{459 - 505}{459} \times 100\% \\
 &= -10,02\%
 \end{aligned}$$

3. Penurunan TDS Elektroflotasi Biokoagulasi

a) Kacang Arab (*Cicer arietinum*)

$$\begin{aligned} \text{Penurunan TDS K. Arab 0,05 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\ &= \frac{296 - 262}{296} \times 100\% \\ &= 11,49\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan TDS K. Arab 0,1 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\ &= \frac{296 - 256}{296} \times 100\% \\ &= 6,97\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan TDS K. Arab 0,2 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \times 100\% \\ &= \frac{296 - 277}{296} \times 100\% \\ &= 6,42\% \end{aligned}$$

b) Biji Kelor (*Moringa oliefera*)

$$\begin{aligned} \text{Penurunan TDS B. Kelor 0,05 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \\ &\quad \times 100\% \\ &= \frac{296 - 294}{296} \times 100\% \\ &= 0,68\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan TDS B. Kelor 0,1 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \\ &\quad \times 100\% \\ &= \frac{296 - 270}{296} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 8,78\% \\ \text{Penurunan TDS B. Kelor 0,2 gram (\%)} &= \frac{\text{TDS}_i - \text{TDS}_f}{\text{TDS}_i} \\ &\quad \times 100\% \\ &= \frac{296 - 302}{296} \times 100\% \\ &= -2,08\% \end{aligned}$$



Lampiran 2 Perhitungan Penurunan Turbiditas (%)

1. Penurunan Turbiditas Elektroflotasi

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kekeruhan (\%)} &= \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% \\
 &= \frac{41 - 7,75}{41} \times 100\% \\
 &= 81,09\%
 \end{aligned}$$

2. Penurunan Turbiditas Biokoagulasi

a) *Poly Aluminium Chloride* (PAC)

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kekeruhan PAC 0,025 gram (\%)} &= \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% \\
 &= \frac{41 - 8,07}{41} \\
 &\times 100\% \\
 &= 80,32\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kekeruhan PAC 0,05 gram (\%)} &= \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% \\
 &= \frac{41 - 14,69}{41} \\
 &\times 100\% \\
 &= 64,1\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kekeruhan PAC 0,1 gram (\%)} &= \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% \\
 &= \frac{41 - 8,88}{41} \\
 &\times 100\% \\
 &= 78,34\%
 \end{aligned}$$

b) Kacang Arab (*Cicer arietinum*)

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kekeruhan K. Arab 0,025 gr (\%)} &= \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% \\
 &= \frac{41 - 16,93}{41} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= 58,71\%$$

$$\text{Penurunan Kekeruhan K. Arab 0,05 gr (\%)} = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\%$$

$$= \frac{41 - 9,68}{41} \times 100\%$$

$$= 76,39\%$$

$$\text{Penurunan Kekeruhan K. Arab 0,1 gram (\%)} = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\%$$

$$= \frac{41 - 30,6}{41} \times 100\%$$

$$= 25,37\%$$

c) Biji Kelor (*Moringa oliefera*)

$$\text{Penurunan Kekeruhan B. Kelor 0,025 gr (\%)} = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\%$$

$$= \frac{41 - 5,87}{41} \times 100\%$$

$$= 85,60\%$$

$$\text{Penurunan Kekeruhan B. Kelor 0,05 gr (\%)} = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\%$$

$$= \frac{41 - 13,51}{41} \times 100\%$$

$$= 67\%$$

$$\text{Penurunan Kekeruhan B. Kelor 0,1 gram (\%)} = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\%$$

$$= \frac{41 - 9,40}{41} \times 100\%$$

$$= 77\%$$

3. Penurunan Turbiditas Elektroflotasi Biokoagulasi

a) Kacang Arab (*Cicer arietinum*)

$$\text{Penurunan Kekeruhan K. Arab 0,05 gram (\%)} = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\%$$

$$= \frac{41 - 3,13}{41} \times 100\% = 92,37\%$$

Penurunan Kekeruhan K. Arab 0,1 gram (%)

$$= \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% = \frac{41 - 2,96}{41} \times 100\% = 92,78\%$$

Penurunan Kekeruhan K. Arab 0,2 gram (%)

$$= \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% = \frac{41 - 5,74}{41} \times 100\% = 86,0\%$$

b) Biji Kelor (*Moringa oliefera*)

Penurunan Kekeruhan B. Kelor 0,05 gram (%)

$$= \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% = \frac{41 - 4,38}{41} \times 100\% = 89,3\%$$

Penurunan Kekeruhan B. Kelor 0,1 gram (%)

$$= \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% = \frac{41 - 3,83}{41} \times 100\% = 89,3\%$$

Penurunan Kekeruhan B. Kelor 0,2 gram (%)

$$= \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} &= \frac{41 - 36,7}{41} \\ &\times 100\% \\ &= 10,4\% \end{aligned}$$



Lampiran 3 Perhitungan Penurunan Massa Endapan (%)

$$\begin{aligned}\text{Penurunan Massa Endapan PAC 0,1 gram (\%)} &= \frac{W - D}{W} \times 100\% \\ &= \frac{2,93 - 0,064}{2,93} \times 100\% \\ &= 97,82\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penurunan Massa Endapan K. Arab 0,1 gr (\%)} &= \frac{W - D}{W} \times 100\% \\ &= \frac{1,18 - 0,049}{1,18} \times 100\% \\ &= 95,85\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penurunan Massa Endapan Elektroflotasi Biokoagulasi 0,1 gram (\%)} &= \frac{W - D}{W} \times 100\% \\ &= \frac{1,59 - 0,092}{1,59} \times 100\% \\ &= 96,36\%\end{aligned}$$

Lampiran 4 Perhitungan Penurunan Konsentrasi Logam Berat (%)

1. Penurunan Konsentrasi Logam Berat Koagulasi

a) Penurunan Logam Pb (Timbal)

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kons. Logam Pb PAC 0,025 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,968 - 0,906}{0,968} \\
 &\quad \times 100\% \\
 &= 6,405\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kons. Logam Pb K. Arab 0,025 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,968 - 0,844}{0,968} \\
 &\quad \times 100\% \\
 &= 12,809\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kons. Logam Pb B. Kelor 0,025 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,968 - 0,937}{0,968} \\
 &\quad \times 100\% \\
 &= 3,202\%
 \end{aligned}$$

b) Penurunan Logam Cu (Tembaga)

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kons. Logam Cu PAC 0,025 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,022 - 0,042}{0,022} \\
 &\quad \times 100\% \\
 &= -90,909\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kons. Logam Cu K. Arab 0,05 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,022 - 0,087}{0,022} \\
 &\quad \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= -295,455\%$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan Kons. Logam Cu B. Kelor 0,025 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\ &= \frac{0,022 - 0,047}{0,022} \times 100\% \\ &= -113,636\% \end{aligned}$$

2. Penurunan Konsentrasi Logam Berat Elektroflotasi Biokoagulasi

a) Penurunan Logam Pb (Timbal) dan Cu (Tembaga) Elektroflotasi

$$\begin{aligned} \text{Penurunan Konsentrasi Logam Pb (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\ &= \frac{0,968 - 0,953}{0,968} \times 100\% \\ &= 1,549\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan Konsentrasi Logam Cu (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\ &= \frac{0,022 - 0,107}{0,022} \times 100\% \\ &= -386,364\% \end{aligned}$$

b) Penurunan Logam Pb (Timbal)

$$\begin{aligned} \text{Penurunan Kons. Logam Pb K. Arab 0,05 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\ &= \frac{0,968 - 0,875}{0,968} \times 100\% \\ &= 9,607\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kons. Logam Pb K. Arab 0,1 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,968 - 0,906}{0,968} \\
 &\quad \times 100\% \\
 &= 6,405\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kons. Logam Pb K. Arab 0,2 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,968 - 0,829}{0,968} \\
 &\quad \times 100\% \\
 &= 14,359\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kons. Logam Pb B. Kelor 0,05 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,968 - 0,906}{0,968} \times 10 \\
 &= 6,405\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kons. Logam Pb B. Kelor 0,1 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,968 - 0,844}{0,968} \times 10 \\
 &= 12,809\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kons. Logam Pb B. Kelor 0,2 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,968 - 0,906}{0,968} \times 10 \\
 &= 6,405\%
 \end{aligned}$$

c) Penurunan Logam Cu (Tembaga)

$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan Kons. Logam Cu K. Arab 0,05 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,022 - 0,094}{0,022} \\
 &\quad \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -327,273\% \\
 \text{Penurunan Kons. Logam Cu K. Arab 0,1 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,022 - 0,125}{0,022} \\
 &\quad \times 100\% \\
 &= -468,182\% \\
 \text{Penurunan Kons. Logam Cu K. Arab 0,2 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,022 - 0,027}{0,022} \\
 &\quad \times 100\% \\
 &= -22,727\% \\
 \text{Penurunan Kons. Logam Cu B. Kelor 0,05 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,022 - 0,152}{0,022} \times 100\% \\
 &= -509,909\% \\
 \text{Penurunan Kons. Logam Cu B. Kelor 0,1 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,022 - 0,118}{0,022} \times 100\% \\
 &= -436,364\% \\
 \text{Penurunan Kons. Logam Cu B. Kelor 0,2 gram (\%)} &= \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \\
 &= \frac{0,022 - 0,083}{0,022} \times 100\% \\
 &= -277,273\%
 \end{aligned}$$

Lampiran 5 Keterangan lengkap perhitungan persen berat endapan

Jenis	Kertas Sarung (gr)	Endapan + Kertas Saring Basah (gr)	Endapan Basah (gr)	Endapan + Kertas Saring Kering (gr)	Endapan Kering (gr)	Aktivitas Koagulan
Biokoagulasi Kacang Arab 0,1 gram	0,995	2,715	1,18	1,044	0,049	95,85%
Elektroflotasi -Biokoagulasi K. Arab 0,1 gram	0,972	2,562	1,59	1,064	0,092	96,36%



Lampiran 6 Perhitungan biaya operasional

$$C_{en} = \frac{U \times i \times t}{V}$$

$$C_{en} = \frac{21 V \times 0,5 A \times 1 jam}{0,0005 m^3}$$

$$C_{en} = \frac{21 kWh}{m^3}$$



Lampiran 7 Data spektroskopi serapan atom (SSA)

1. Penyerapan logam Pb pada proses koagulasi menggunakan SSA



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA LABORATORIUM TERPADU

LAB. INSTRUMENTASI, FISIKA DASAR DAN KIMIA DASAR

Jl Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584 Telp. (0274)895920 ext. 3045, 3016, Fax (0274) 896439 ext. 3020

Website: <http://lab.uui.ac.id>, e-mail : lab.terpadu@uui.ac.id

No Dok Form-36/Hasil Uji Rev 0

Tgl Terbit 24 Oktober 2018

Hasil Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Sampel : Cair
Kode Sampel : 2936/C/AAS
Asal Sampel : Kimia UII
Tanggal diterima : 22 Juli 2019
Tanggal dianalisis : 24 Juli 2019
Parameter : Pb

koagulasi

No	Sample ID	Seq No	El	Standar	Mean Sig (Absorbance)	Limit Detection from standard	Mean Samp	Std Dev	Samp Units
1	Calib Blank	2	Pb	0	0.0002			0.00010	mg/L
2	std 1	3	Pb	0.5	0.0034	0.0005		0.00020	mg/L
3	std 2	4	Pb	1	0.0062	0.0005		0.00020	mg/L
4	std 3	5	Pb	2	0.0128	0.0005		0.00010	mg/L
5	std 4	6	Pb	3	0.0201	0.0005		0.00030	mg/L
6	std 5	7	Pb	5	0.0326	0.0005		0.00020	mg/L
7	std 6	8	Pb	10	0.0645	0.0005		0.00020	mg/L
8									
9									
10	2936-4	114	Pb		0.0060		0.9062	0.00020	mg/L
11	2936-5	115	Pb		0.0056		0.8442	0.00010	mg/L
12	2936-6	116	Pb		0.0062		0.9371	0.00020	mg/L

2. Penyerapan logam Cu pada proses koagulasi menggunakan SSA



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
LABORATORIUM TERPADU
LAB. INSTRUMENTASI, FISIKA DASAR DAN KIMIA DASAR
Jl Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584 Telp. (0274)895920 ext. 3045, 3016, Fax (0274) 896439 ext. 3020
Website: <http://lab.uii.ac.id>, e-mail : lab.terpadu@uui.ac.id

No. Dok. Form-36 Hasil Uji Rev. 0
Tgl Terbit: 24 Oktober 2018

Hasil Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Sampel : Cair
Kode Sampel : 2936/C/AAS
Asal Sampel : Kimia UII
Tanggal diterima : 22 Juli 2019
Tanggal dianalisis : 24 Juli 2019
Parameter : Cu

koagulasi

No	Sample ID	Seq No	El	Standar	Mean Sig (Absorbance)	Limit Detection from standard	Mean Samp	Std Dev	Samp Units
1	Calib Blank	2	Cu	0	-0.0001			0.00020	mg/L
2	std 1	3	Cu	0.5	0.0262	0.0005		0.00040	mg/L
3	std 2	4	Cu	1	0.0475	0.0005		0.00010	mg/L
4	std 3	5	Cu	2	0.0935	0.0005		0.00010	mg/L
5	std 4	6	Cu	3	0.1466	0.0005		0.00010	mg/L
6	std 5	7	Cu	5	0.2211	0.0005		0.00010	mg/L
7									
8									
9									
10	2936-1	18	Pb		0.0055		0.0424	0.00010	mg/L
11	2936-2	19	Pb		0.0075		0.0872	0.00010	mg/L
12	2936-3	20	Pb		0.0057		0.0469	0.00020	mg/L

*PAC adiknya
k.A. 005
B.k 0025*

Jogjakarta 24 Juli 2019

3. Penyerapan logam Pb pada proses elektroflotasi-biokoagulasi menggunakan SSA



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
LABORATORIUM TERPADU

LAB. INSTRUMENTASI, FISIKA DASAR DAN KIMIA DASAR

Jl Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584 Telp. (0274)895920 ext. 3045, 3016, Fax (0274) 896439 ext. 3020

Website: <http://lab.uui.ac.id>, e-mail : lab.terpadu@uui.ac.id

No Dok Form 35/Hasil Uji Rev 0

Tgl Terbit 24 Oktober 2018

Hasil Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Sampel : Cair

Kode Sampel : 2933/C/AAS

Asal Sampel : Kimia UII

Tanggal diterima : 22 Juli 2019

Tanggal dianalisis : 24 Juli 2019

Parameter : Pb

Elektroflotasi + biokoagulasi

Zeeleme

K-A

S.K

Elektroflotasi

No	Sample ID	Seq No	El	Standar	Mean Sig (Absorbance)	Limit Detection from standard	Mean Samp	Std Dev	Samp Units
1	Calib Blank	2	Pb	0	0.0002			0.00010	mg/L
2	std 1	3	Pb	0.5	0.0034	0.0005		0.00020	mg/L
3	std 2	4	Pb	1	0.0062	0.0005		0.00020	mg/L
4	std 3	5	Pb	2	0.0128	0.0005		0.00010	mg/L
5	std 4	6	Pb	3	0.0201	0.0005		0.00030	mg/L
6	std 5	7	Pb	5	0.0326	0.0005		0.00020	mg/L
7	std 6	8	Pb	10	0.0645	0.0005		0.00020	mg/L
8									
9									
10	2933-9	106	Pb		0.0064		0.9681	0.00020	mg/L
11	2933-10	107	Pb		0.0058		0.8752	0.00000	mg/L
12	2933-11	108	Pb		0.0060		0.9062	0.00010	mg/L
13	2933-12	109	Pb		0.0055		0.8267	0.00000	mg/L
14	2933-13	110	Pb		0.0060		0.9062	0.00040	mg/L
15	2933-14	111	Pb		0.0056		0.8442	0.00020	mg/L
16	2933-15	112	Pb		0.0060		0.9062	0.00040	mg/L
17	2933-16	113	Pb		0.0063		0.9526	0.00030	mg/L

Jogjakarta 24 Juli 2019

4. Penyerapan logam Cu pada proses elektroflotasi-biokoagulasi menggunakan SSA



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
LABORATORIUM TERPADU

LAB. INSTRUMENTASI, FISIKA DASAR DAN KIMIA DASAR

Jl Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584 Telp. (0274)895920 ext. 3045, 3016, Fax (0274) 896439 ext. 3020

Website: <http://lab.uui.ac.id>, e-mail : lab.terpadu@uui.ac.id

No. Dok. Form-36/Hasil Uji Rev. 0

Tgl. Terbit : 24 Oktober 2018

Hasil Analisis Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Sampel : Cair
Kode Sampel : 2933/C/AAS
Asal Sampel : Kimia UII
Tanggal diterima : 22 Juli 2019
Tanggal dianalisis : 24 Juli 2019
Parameter : Cu

Elektroflotasi & Biokoagulasi

No	Sample ID	Seq No	El	Standar	Mean Sig (Absorbance)	Limit Detection from standard	Mean Samp	Std Dev	Samp Units
1	Calib Blank	2	Cu	0	-0.0001			0.00020	mg/L
2	std 1	3	Cu	0.5	0.0262	0.0005		0.00040	mg/L
3	std 2	4	Cu	1	0.0475	0.0005		0.00010	mg/L
4	std 3	5	Cu	2	0.0935	0.0005		0.00010	mg/L
5	std 4	6	Cu	3	0.1466	0.0005		0.00010	mg/L
6	std 5	7	Cu	5	0.2211	0.0005		0.00010	mg/L
7									
8									
9									
<i>Baseline BK</i>	2933-1	10	Cu		0.0046		0.0222	0.00040	mg/L
	2933-2	11	Cu		0.0078		0.0939	0.00020	mg/L
	2933-3	12	Cu		0.0092		0.1253	0.00020	mg/L
	2933-4	13	Cu		0.0048		0.0267	0.00010	mg/L
<i>K-A</i>	2933-5	14	Cu		0.0104		0.1522	0.00030	mg/L
	2933-6	15	Cu		0.0089		0.1186	0.00020	mg/L
	2933-7	16	Cu		0.0073		0.0827	0.00020	mg/L
<i>Elektroflotasi</i>	2933-8	17	Cu		0.0084		0.1074	0.00020	mg/L

Lampiran 8 Publikasi Ilmiah

Electroflotation-biocoagulant process using chickpea (*Cicer arietinum*) for laboratory wastewater treatment

Cite as: AIP Conference Proceedings 2242, 040049 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0007847>
Published Online: 01 June 2020

R. S. Putra, A. M. Iqbal, I. Arirahman, and M. Sobari



ARTICLES YOU MAY BE INTERESTED IN

Turbidity removal of synthetic wastewater using biocoagulants based on protein and tannin
AIP Conference Proceedings 2242, 040028 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0007846>

Electroflotation-Biocoagulant Process Using Chickpea (*Cicer arietinum*) for Laboratory Wastewater Treatment

R. S. Putra^{a)}, A. M. Iqbal, I. Arirahman and M. Sobari

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences (FMIPA), Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta 55584, Indonesia

^{a)}Corresponding author: rudy.syahputra@uii.ac.id

Abstract. Wastewater treatment from chemical laboratory using electroflotation-biocoagulation (EB), that is the enhancement of electroflotation process using biocoagulants has been evaluated. The electroflotation was performed by graphite electrode as anode and stainless steel as cathode at DC constant voltage of 21 V for 60 min. Biocoagulant used in this study was chickpea (*Cicer arietinum*) with a dosage of 0.05, 0.1, and 0.2 g/500 mL. The effectiveness of EB process was evaluated by the decreasing of turbidity, total dissolved solid (TDS), electrical conductivity (EC), and solution pH. The initial concentration of the liquid laboratory samples which have been diluted as much as 10× showed that 296 mg/L, 0.41 mS/cm, 41 NTU and 5.9, respectively for TDS, EC, turbidity and solution pH. The optimum results obtained from EB process showed that the decreasing of those similar parameters were 256 mg/L, 0.35 mS/cm, 2.96 NTU and 7.4, respectively.

Keywords: Biocoagulation, chickpea (*Cicer arietinum*), chemical laboratory wastewater, electroflotation