

**PENINGKATAN KINERJA ELEKTROFLOTASI
MENGUNAKAN BIOKOAGULAN BIJI ALPUKAT (*Persea
americana*) DAN KULIT BUAH NAGA (*Hylocerus polyhizus*)
UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH LABORATORIUM KIMIA**

SRIPSI

**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**



Oleh :

IRFAN ARIRAHMAN

NIM: 15612168

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2020**

**PENINGKATAN KINERJA ELEKTROFLOTASI
MENGUNAKAN BIOKOAGULAN BIJI ALPUKAT (*Persea
americana*) DAN KULIT BUAH NAGA (*Hylocerus polyhizus*)
UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH LABORATORIUM KIMIA**

Oleh:

**IRFAN ARIRAHMAN
No. Mahasiswa : 15612168**

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

Tanggal : 24 Februari 2020

Dewan Penguji

1. Rudy Syah Putra, M.Si., Ph.D.
2. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D.
3. Febi Indah Fajarwati, 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.

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Irfan Arirahman
NIM : 15612168
Program Studi : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“PENINGKATAN KINERJA ELEKTROFLOTASI MENGGUNAKAN BIJI ALPUKAT (*Persea americana*) DAN KULIT BUAH NAGA (*Hylocerus polyhizus*) UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH LABORATORIUM KIMIA”** bersifat asli dan tidak berisi material yang telah diterbitkan sebelumnya kecuali yang disebutkan di dalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulis lain, maka penulis tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam skripsi ini.

Apabila kemudian hari ditemukan ketidak sesuaian pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan penuh tanggung jawab.

Yogyakarta, 24 Februari 2020



Irfan Arirahman
NIM: 15612168

PERSEMBAHAN



*Karya ini ku persembahkan kepada:
Orang pertama yang telah memberikan pendidikan
kepada saya
Bapak (Djadjang Surahman)
dan
Ibu (Ayi Juariah)
Saudara – saudara kandung dan dekat yang saya
hormati dan sayangi
Saudara – saudara seiman yang selalu mendukung
dengan arahan dan nasihat*

*Semoga karya ini menjadi manfaat untuk
kedepannya*

Motto Hidup



“Bergeraklah selagi bumi masih berputar . Bangunlah kembali saat bumi masih berputar . Jangan sia - siakan setiap perputaran bumi . Sesungguhnya ketika bumi benar - benar telah berhenti berputar . Saat itulah waktu kita berdiam”

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil 'alamin, puji syukur kami panjatkan kepada Allah *azza wa jala* atas segala keberkahan, rahmat serta nikmatnya. Pemberian atas kehendaknya berupa nikmat iman, nikmat Islam, nikmat sehat serta nikmat kesempatan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi. Sholawat serta salam kami haturkan kepada junjungan seluru umat muslim, Nabiyallah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman.

Alhamdulillah atas kehendak Allah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Peningkatan Kinerja Elektroflotasi Menggunakan Biji Alpukat (*Persea americana*) dan Kulit Buah Naga (*Hylocerus polyhizus*) dalam Pengolahan Limbah Laboratorium Kimia”**. Ucapan terimakasih saya ucapkan kepada seluruh kalangan yang berperan dalam penulisan Skripsi. Tanpa bantuan, dorongan dan motivasi persiapan skripsi tidak dapat terealisasikan dengan baik. Skripsi merupakan salah satu mata kuliah wajib serta tugas akhir bagi mahasiswa semester VIII 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 tersusun laporan, tidak lepas dari bimbingan dan pengarahan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D. sebagai Rektor Universitas Islam Indonesia
2. Prof. Riyanto, Ph.D. sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
3. Prof. Dr. Is Fatimah, S.Si., M.Si. sebagai Kepala Jurusan Kimia Universitas Islam Indonesia.
4. Dr. Dwiarso Rubiyanto S.Si., M.Si sebagai Ketua Program Studi Kimia Universitas Islam Indonesia.
5. Rudy Syah Putra, M.Si., Ph.D. sebagai Pembimbing Skripsi yang telah memberikan bimbingan, motivasi, saran, semangat serta arahan dalam proses penelitian hingga penyusunan skripsi.
6. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Kimia Universitas Islam Indonesia
7. Keluarga penulis yang tiada hentinya mendoakan serta men=memberikan semangat selama proses pengerjaan skripsi.
8. Andre Muhammad Iqbal rekan seperjuangan yang selalu semangat, pantang menyerah dan membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi..

9. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini dan tidak bias disebutkan satu per satu

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini sangat penulis harapkan dari semua pihak. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kebaikan bagi penulis sendiri secara khusus dan kepada para pembaca secara umum.

Aamiin Aamiin ya Rabbal'alamiin

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 20 Januari 2020

(Irfan Arirahman)

PENINGKATAN KINERJA ELEKTROFLOTASI MENGUNAKAN BIOKOAGULAN BIJI ALPUKAT (*Persea americana*) DAN KULIT BUAH NAGA (*Hylocerus polyhizus*) UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH LABORATORIUM KIMIA

INTISARI

IRFAN ARIRAHMAN

NIM: 15612168

Evaluasi proses peningkatan kinerja elektroflotasi menggunakan biokoagulan telah dilakukan pada pengolahan limbah laboratorium kimia. Elektroflotasi merupakan metode pengolahan limbah menggunakan gelembung gas dalam mekanisme pengapungan partikel koloid dan ion pada larutan. Pada penelitian ini, kemampuan dari biokoagulan biji alpukat (*Persea americana*), kulit naga (*Hylocerus polyhizus*) serta kombinasinya. Limbah hasil pengolahan telah menggunakan proses elektroflotasi dengan tegangan 21 V dan penambahan biokoagulan dengan dosis 50, 100, dan 200 mg/500 mL pada sistem tunggal dan rasio kulit buah naga:biji alpukat 25:75; 50:50; dan 75:50 per 100 mg biokoagulan pada sistem tunggal. Sampel dianalisis total zat padat terlarut (TDS), konduktivitas (EC), turbiditas dan logam berat. Karakterisasi spektra IR didapatkan gugus fungsi hidroksi (-OH) dan karbonil (-COOH) pada sampel biokoagulan. Didapatkan %indeks berat endapan pada biji alpukat dan kulit buah naga sebesar 83,57% dan 93,95%. Hasil paling efektif pada penurunan TDS dan EC didapatkan pada biokoagulan biji alpukat dosis 200 mg/500 mL dengan konsentrasi 199 mg/500 mL dan 0,27 mS/cm. Penurunan turbiditas diperoleh oleh kombinasi pektin:tanin 75:25 dengan nilai turbiditas 1,07 NTU. Penurunan logam timbal pada kulit buah naga dosis 50 mg/500 mL dengan konsentrasi 0,448 mg/L, penurunan logam kromium didapatkan oleh kulit buah naga dengan konsentrasi 0,156 mg/L.

Kata kunci : *Elektroflotasi, Biokoagulan, Biji alpukat, Kulit buah naga, Limbah cair laboratorium*

**ENHANCEMENT OF ELECTROFLOTATION
PERFORMANCE USING AVOCADO SEEDS (*Persea
americana*) AND DRAGON FRUIT PEELS (*Hylocerus polyhizus*)
FOR CHEMICAL LABORATORY WASTE WATER
TREATMENT**

ABSTRACT

IRFAN ARIRAHMAN
STUDENT NUMBER: 15612168

Enhancement of electroflotation process using biocoagulant was evaluated for chemical laboratory wastewater treatment. Electroflotation is a wastewater treatment using bubble gas oxygen and hydrogen for flotation mechanism and separating colloidal particles and ions in the solution. In this study, the ability of avocado seeds (*Persea americana*), dragon fruit peels (*Hylocerus polyhizus*) and their combination were evaluated as biocoagulant. Wastewater was treated using electroflotation for voltage potential 21 V and biocoagulant addition at 50, 100, and 200 mg/L for single system and dragon fruit peels:avocado seeds mass ratio 25:75; 50:50; and 75:25 for combination system. Total dissolve solids (TDS), conductivity (EC), turbidity and heavy metal of samples were determined. FTIR Characterization was carried out to confirm the presence of functional groups acting as active groups in the coagulation process (i.e. -OH, -COOH). Result of %sludge weight was gained by avocado seeds and dragon fruit peels respectively at 83,57% and 93,95%. The enhancement of electroflotation performance was gained effectiveness result for total TDS and EC removal was gained by avocado seeds at dosage 200 mg/500 mL at 199 mg/L and 0,27 mS/cm. Effectiveness of turbidity removal was gained by system biocoagulant combination biocoagulant with pectine:tannin ratio 75:25 at 1,07 NTU. Heavy metal removal was gained by dragon fruit peels with dosage 50 mg/500 mL for lead at 0,448 mg/L and 0,156 mg/L for chromium.

Keywords: *Electroflotation, Biocoagulant, Avocado seeds, Dragon fruit peels, Chemical Laboratory wastewater treatment*

DAFTAR ISI

HALAMAN JURDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
INTISARI	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
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. Karakter dan Pengolahan Limbah Cair B3	6
2.2. Aplikasi Elektroflotasi dalam Pengolahan Limbah Cair B3	8
2.3. Aplikasi Biokoagulan dalam Pengolahan Limbah Cair B3	10
2.4. Metode Peningkatan Kinerja Elektroflotasi	11
BAB III. DASAR TEORI	15
3.1. Proses Elektroflotasi	15
3.2. Proses Koagulasi-Flokulasi	17
3.3. Biokoagulan	18
3.4. Fourier Transform Infrared (FTIR).....	20
3.5. Spektrofotometri Serapan Atom	23
3.3.1. Prinsip Instrumental.....	23
3.3.2. Metode Analisis	25
3.6. Hipotesis Penelitian	26
BAB IV. METODE PENELITIAN	27

4.1. Alat dan Bahan.....	27
4.1.1. Alat.....	27
4.1.2. Bahan	27
4.2. Cara kerja	28
4.2.1. Evaluasi proses biokoagulasi	28
4.2.1.1 Preparasi Biokoagulan.....	28
4.2.1.2 Proses Biokoagulasi.....	28
4.2.2. Evaluasi proses elektroflotasi	29
4.2.2.1 Pengukuran ukuran gelembung menggunakan metode manual.....	29
4.2.2.2 Verifikasi metode pengukuran gelembung menggunakan software <i>ImageJ</i>	31
4.2.2.3 Proses elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan.....	35
4.2.3 Evaluasi proses peningkatan kinerja elektroflotasi.....	35
4.2.3.1 Penambahan biokoagulan dosis tunggal.....	35
4.2.3.2 Penambahan kombinasi biokoagulan	36
4.2.4 Analisis sampel pengolahan limbah.....	36
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
5.1. Evaluasi Kemampuan Biokoagulan.....	38
5.1.1 Komponen gugus fungsi pada biokoagulan	38
5.1.2 Perbandingan PAC dan biokoagulan pada proses biokoagulasi	41
5.2. Proses Elektroflotasi	43
5.2.1 Distribusi ukuran gelembung	43
5.2.2 Pengaruh waktu pada proses elektroflotasi	47
5.3 Proses Peningkatan Kinerja Elektroflotasi.....	48
5.3.1 Pengaruh biokoagulan tunggal terhadap penurunan TDS, EC dan turbiditas	49
5.3.2 Pengaruh dosis biokoagulan tunggal terhadap penurunan logam berat	50

5.3.3 Pengaruh kombinasi biokoagulan terhadap penurunan TDS, EC dan turbiditas	52
5.3.4 Pengaruh kombinasi biokoagulan terhadap penurunan logam berat.....	53
BAB VI. KESIMPULAN	55
6.1. Kesimpulan	55
6.2. Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN.....	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mekanisme proses koagulasi-flokulasi	17
Gambar 2. Struktur molekul pektin (a) dan tannin (b).....	19
Gambar 3. Skema prinsip dasar Spektrofotometer IR	23
Gambar 4. Alur pengambilan data distribusi gelembung secara manual.....	24
Gambar 5. Alur pengambilan data ukuran gelembung menggunakan ImageJ	30
Gambar 6. Proses membuka file (a) dan mengatur skala pada citra (b)	31
Gambar 7. Proses memperjelas visualisasi citra dengan perintah <i>smooth</i> (a) 8-bit (b) <i>binary</i> (c)	32
Gambar 8. Proses pembatasan pengukuran (<i>rectangle</i>) (a) dan analisis ukuran partikel (b)	33
Gambar 9. Hasil akhir pengukuran partikel	35
Gambar 10. Spektra <i>Poly aluminum chloride</i>	38
Gambar 11. Spektra IR kulit buah naga (a) dan biji alpukat (b)	40
Gambar 12. Hasil analisis citra (a) dan Pengukuran distribusi gelembung (b) Menggunakan ImageJ	47
Gambar 13. Hasil pengaruh dosis tunggal terhadap (%)penurunan TDS dan EC	49
Gambar 14. Hasil pengaruh dosis tunggal terhadap (%)penurunan turbiditas.....	49
Gambar 15. Hasil pengaruh sistem kombinasi biokoagulan terhadap (%)penurunan TDS, EC (a) dan turbiditas (b).....	52

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	
Tabel 1. Hasil remediasi limbah proses koagulasi dan nilai %berat endapan	41
Tabel 2. Hasil pengukuran distribusi gelembung secara manual.....	45
Tabel 3. Hasil pengaruh waktu proses elektroflotasi	48
Tabel 4. Hasil penurunan konsentrasi logam berat dengan proses peningkatan kinerja elektroflotasi biokoagulan tunggal.....	51
Tabel 5. Hasil penurunan konsentrasi logam berat dengan proses peningkatan kinerja elektroflotasi biokoagulan tunggal.....	53



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Faktor peningkatan populasi dan industrialisasi menyebabkan kebutuhan air bersih serta kuantitas limbah yang dihasilkan baik secara domestik maupun industri meningkat. Pengolahan limbah cair menjadi suatu pilihan yang tersedia untuk menjaga sumber air dan mengamankan lingkungan. Limbah cair perlu diolah terlebih dahulu sampai tingkat keamanan tertentu untuk digunakan atau dibuang ke lingkungan (Tekile et al. 2017). Stoenica et al. (2011) mengatakan bahwa Air merupakan sumber daya alam non-hayati yang menjadi kebutuhan utama pada kehidupan manusia serta seluruh flora dan fauna yang ada di bumi. Akan tetapi, produksi limbah yang dibuang yang belum diolah tetap meningkat, sehingga menurut Undang-undang No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, menjadikan masalah bahan dan limbah berbahaya sebagai salah satu perhatian utama melihat dampak terhadap manusia dan lingkungan bila tidak diolah secara baik (Malyadi. 2017)

Limbah cair merupakan air bersih yang telah terkontaminasi limbah sehingga memiliki kualitas yang berbeda dengan air yang belum terkontaminasi dalam parameter tertentu. Air yang terkontaminasi oleh limbah, yang merupakan sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang dapat mengandung bahan berbahaya dan beracun karena sifat, konsentrasi dan jumlahnya dapat mencemarkan atau merusak lingkungan baik secara langsung, maupun tidak langsung (Sulman dan Irawan. 2016). Industri bukan satu satunya sumber penghasil limbah berbahaya dan

beracun, tetapi terdapat juga beberapa institusi seperti rumah sakit dan laboratorium kimia. Sarana kegiatan riset ilmiah, eksperimen, pengujian serta pendidikan dilakukan di laboratorium kimia yang membutuhkan bahan-bahan kimia utama maupun pendukung. Limbah hasil buangan laboratorium kimia relatif kecil, sehingga kurang menjadi perhatian (Subamia et al. 2016). Akan tetapi, kondisi limbah hasil aktivitas laboratorium kimia dapat digolongkan sebagai bahan berbahaya dan beracun (B3), mempunyai sifat fisik dan kimia seperti mudah terbakar (*flameable*), mudah meledak (*explosive*), korosif, oksidator-reduktor, mutagenik, patogenik dan penyebab iritasi (Pourzamani et al. 2019).

Raimon (2011) mengatakan terdapat beberapa teknologi pengolahan limbah laboratorium kimia yang telah dievaluasi, antara lain: proses koagulasi-flokulasi, filtrasi, pertukaran ion dan membran sel. Operasi pengolahan limbah cair laboratorium kimia dengan teknik tradisional tidak menghasilkan performa dan efisiensi yang maksimal. Sehingga, diperlukan proses tambahan seperti pengenceran limbah (Mota et al. 2015). Penggunaan metode teknologi membran masih mempunyai kekurangan dalam proses pengolahan limbah seperti diperlukan penggantian komponen filter secara berkala pada metode filtrasi, selain itu dibutuhkan tekanan tinggi serta perawatan khusus pada metode *reverse osmosis*. Oleh karena itu, diperlukan biaya perawatan yang cukup tinggi pada proses pengolahan limbah laboratorium kimia (Wenten. 2016).

Elektroflotasi merupakan suatu metode pemisahan dan pemurnian air melalui pembentukan gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan pada katoda dan anoda pada reaksi oksidasi dan reduksi. Proses tersebut dapat mengapungkan

komponen seperti ion dan partikel padat tersuspensi, sehingga dapat menjadi alternatif dalam pengolahan limbah cair (Alam dan Shang. 2016). Akan tetapi, pembentukan gelembung gas yang kurang maksimal menyebabkan metode tersebut jarang digunakan. Oleh karena itu, peningkatan performa elektroflotasi dapat dilakukan pengaturan pH untuk mengoptimalkan pembentukan gas (Muhammad dan Warjito. 2014) serta penambahan surfaktan, dan koagulan sebagai agen pengikat (Makuei et al. 2018).

Koagulan digunakan untuk menghasilkan proses koagulasi-flokulasi dalam meningkatkan kinerja elektroflotasi. Pada umumnya, koagulan yang digunakan berupa koagulan sintetik seperti alum, *poly aluminum chloride* (PAC), dan FeCl_3 . Beberapa studi melaporkan bahwa alum dapat memicu penyakit Alzheimer (Mirza et al. 2017). Sedangkan beberapa monomer penyusun polimer sintetik PAC juga memiliki sifat neurotoksisitas (Hendrawati et al. 2013). Oleh karena itu, diperlukan untuk mengganti penggunaan koagulan sintetik seperti biokoagulan berbasis tumbuhan dalam proses koagulasi-flokulasi.

Alpukat adalah tumbuhan yang tumbuh subur di negara tropis. Ketersediaan buah alpukat melimpah, menghasilkan produk samping berupa biji alpukat yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Identifikasi kandungan tanin pada biji alpukat telah dilakukan dan dilaporkan jumlah tanin total sebesar 11,2-41.33 mg/kg (Malangni. 2012 dan Halimah et al. 2014). Buah naga yang berasal dari Meksiko, Amerika Tengah dan Amerika Selatan didapatkan kegiatan penanaman secara luas di daerah Asia Tenggara. Pemanfaatan kulit buah naga dinilai kurang maksimal, dimana getah pada kulit buah naga terdapat asam galakturonat sebagai penyusun

polimer pektin (Choy et al. 2014). Komponen polimer tersebut bersifat polielektrolit alami dalam proses destabilisasi dalam sistem terlarut melalui interaksi antara polimer biokoagulan dengan partikel koloid (Kumar et al., 2017). Biokoagulan tersebut dapat menjadi alternatif terhadap meningkatkan kinerja elektroflotasi. Berdasarkan latar belakang tersebut perlu dilakukan penelitian tentang pengolahan limbah cair laboratorium kimia menggunakan metode elektroflotasi dengan penambahan biji alpukat (*Persea americana*) dan kulit buah naga (*Hylocerus polyhizus*) untuk meningkatkan kinerja elektroflotasi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Apakah biji alpukat (*Persea americana*) dan kulit buah naga (*Hylocerus polyhizus*) dapat menjadi biokoagulan pengolahan limbah laboratorium kimia?
2. Bagaimana efektifitas biokoagulan sistem tunggal dalam meningkatkan kinerja elektroflotasi pada pengolahan limbah laboratorium kimia melalui analisis TDS, EC, % turbiditas, konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kromium (Cr)?
3. Bagaimana efektifitas biokoagulan sistem kombinasi dalam meningkatkan kinerja proses elektroflotasi pada pengolahan limbah laboratorium kimia melalui analisis TDS, EC, % turbiditas, konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kromium (Cr)?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui kemampuan biji alpukat (*Persea americana*) dan kulit buah naga (*Hylocerus polyhizus*) sebagai biokoagulan dalam pengolahan limbah laboratorium kimia.
2. Mengetahui efektifitas biokoagulan sistem tunggal dalam meningkatkan kinerja elektroflotasi pada pengolahan limbah laboratorium kimia melalui analisis TDS, EC, % turbiditas, konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kromium (Cr)
3. Mengetahui efektifitas biokoagulan sistem kombinasi dalam meningkatkan kinerja proses elektroflotasi pada pengolahan limbah laboratorium kimia melalui analisis TDS, EC, % turbiditas, konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kromium (Cr)

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu:

1. Dapat mengetahui kemampuan biji alpukat (*Persea americana*) dan kulit buah naga (*Hylocerus polyhizus*) sebagai dalam pengolahan limbah laboratorium kimia.
2. Dapat mengetahui efektifitas biokoagulan sistem tunggal dalam meningkatkan kinerja elektroflotasi pada pengolahan limbah laboratorium kimia melalui analisis TDS, EC, % turbiditas, konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kromium (Cr)
3. Dapat mengetahui efektifitas biokoagulan sistem kombinasi dalam meningkatkan kinerja proses elektroflotasi pada pengolahan limbah laboratorium kimia melalui analisis TDS, EC, % turbiditas, konsentrasi logam berat timbal (Pb) dan kromium (Cr)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakter dan Pengolahan Limbah Cair B3

Limbah cair bahan berbahaya dan beracun (B3) pada umumnya berupa zat cair yang telah terkontaminasi dengan bahan sisa usaha atau kegiatan baik itu organik maupun anorganik yang bersifat berbahaya, beracun mutagenic dan karsinogenik (Nasr et al. 2007). Limbah tersebut dapat berasal dari industri kimia dan instansi laboratorium kimia yang terkandung bahan beracun dan sukar terdegradasi dalam skala besar maupun kecil. Oleh karena itu, limbah cair yang terkontaminasi bahan berbahaya dan beracun, pada kondisi belum diolah dapat berdampak pada kerusakan lingkungan dan kesehatan pada sistem perairan baik secara langsung maupun tidak langsung. Proses pengolahan limbah B3 merupakan faktor penting pada pengurangan kandungan bahan yang tidak terdegradasi dan beracun menggunakan teknik pengolahan tertentu (Shen et al. 2019).

Limbah yang dihasilkan dari laboratorium kimia secara luas terdapat tiga jenis yaitu *liquid* (cair) berupa larutan, minyak dan pelarut. *Sludge* (endapan) yang merupakan zat padat yang sukar terlarut dalam media cair. *Solid* (padatan) seperti gelas kimia, kertas, sampel dan peralatan lainnya. Selain itu, terdapat jenis emisi gas yang pada umumnya telah masuk pada definisi limbah secara luas. Spesifik pada limbah cair (*Liquid waste/wastewater*) mempunyai karakter berbeda dengan kategori limbah lainnya. Hal tersebut disebabkan zat cair dapat membawa beberapa zat lainnya yang bersifat racun maupun berbahaya jika langsung dibuang ke lingkungan. Oleh sebab itu, kondisi jumlah limbah cair laboratorium yang

relative sedikit memerlukan proses pengolahan khusus dan proses identifikasi terlebih dahulu sebelum dilepas ke lingkungan. Zat – zat yang membuat limbah cair terkontaminasi dapat berupa zat organik, anorganik dan logam berat (EHSC-RSC. 2014).

Menurut Kong et al (2019) pengertian pengolahan limbah cair B3 secara garis besar terdapat dua prinsip yaitu melalui metode fisika dan metode kimia. Metode fisika yang telah umum digunakan untuk pengolahan limbah cair berupa proses destilasi, adsorpsi, ekstraksi dan membran filtrasi. Proses pengolahan metode fisika mempunyai prinsip pada mentransfer, mengkonversi, dan fenomena dekomposisi suatu bahan pengotor. Adapun metode kimia yang mempunyai prinsip pembentukan produk baru, terdapat beberapa metode seperti proses degradasi, klorinasi, mineralisasi, oksidasi dan teknologi ozon, dinilai mempunyai efektivitas yang baik dalam pengolahan limbah cair secara khusus pada limbah cair berbahan organik. Akan tetapi, besarnya jumlah bahan kimia yang diperlukan sehingga membutuhkan banyak biaya yang dikeluarkan.

Verlicchi et al (2010) telah melakukan pengolahan limbah cair dengan teknik konvensional seperti filtrasi mineral, sedimentasi, flokulasi dan koagulasi sebagai proses pengolahan utama serta pemanfaatan bioteknologi sebagai proses kedua. Proses pengolahan limbah tersebut bertujuan untuk penurunan mikropolutan secara sebagian atau menyeluruh. Adapun proses adsorpsi pada pengolahan limbah laboratorium melalui penggunaan karbon aktif telah umum digunakan seperti pemanfaatan biochar, graphen oksida dan karbon nanotube (CNT) dan jenis adsorben lainnya berupa material organoclay, organologam dan pengembangan

polimer (Fenyvesi et al. 2019). Selain itu, beberapa limbah kimia seperti limbah obat kadaluarsa dan pestisida, mempunyai resistensi terhadap metode pengolahan limbah secara kimia seperti ozonasi, klorinasi, fotolisis dan oksidasi. Sehingga, metode tersebut dinilai mempunyai keterbatasan seperti jumlah energy yang dibutuhkan, manajemen penggunaan katalis, serta potensi terbentuknya residu beracun pada proses pengolahan limbah kimia (Lofrano et al. 2017).

2.2. Aplikasi Elektroflotasi dalam Pengolahan Limbah Cair B3

Teknologi elektrokimia telah banyak digunakan pada proses pengolahan limbah cair dengan berbagai tipe pencemaran pada air. Beberapa teknologi elektrokimia yang digunakan meliputi elektrooksidasi, elektrocoagulasi, elektrodeposisi dan elektroflotasi. Pada awalnya proses elektroflotasi dapat berlangsung spontan, sehingga digunakan secara bersamaan dengan metode elektrokimia lainnya seperti elektrodeposisi dan elektrokoagulasi pada pencemaran limbah kimia bersifat organik maupun anorganik. Perkembangan proses elektroflotasi telah dilakukan pada pengolahan limbah kimia, disebabkan dapat mengapungkan partikel ion dan padatan tersuspensi melalui pembentukan gas hidrogen dan oksigen (Antonyova dan Antony. 2015). Proses elektroflotasi pada umumnya digunakan pada limbah kimia cair yang terkandung minyak atau senyawa polar, pertambangan, peluruhan logam, tekstil dan petrokimia.

Mirshafiee et al (2018) telah melakukan pengolahan limbah cair menggunakan metode elektroflotasi pada limbah cair sintetik berbahan dasar minyak. Proses elektroflotasi dilakukan dalam sistem batch menggunakan elektroda *stainless steel mesh* dengan luas area spesifik sebesar 243,6 cm² dan

mempunyai 10 pori. Proses elektroflotasi limbah sebanyak 950 mL dilakukan pada kerapatan arus $1,64 \text{ mA/cm}^2$ sampai dengan $6,56 \text{ mA/cm}^2$ dengan penempatan anoda dan katoda dengan penempatan elektroda pada dasar reaktor. Metode elektroflotasi dapat menjadi potensi disebabkan teknik tersebut mempunyai efisiensi yang tinggi, kesesuaian dengan lingkungan serta peralatan yang sederhana dibandingkan teknik pengolahan limbah minyak konvensional seperti pemisahan berdasarkan gravitasi dan flotasi udara.

Pemanfaatan gelembung gas hidrogen dan oksigen pada proses elektrolisis air juga dapat digunakan untuk pengolahan limbah cair kimia yang terkandung zat warna atau limbah cat. Proses pemisahan partikel tersuspensi melalui teknik flotasi dengan katoda dan anoda yang dialiri tegangan listrik ditempatkan didasar reaktor. Proses elektroflotasi menggunakan elektroda plat *stainless steel* dengan luas permukaan 108 cm^2 yang disusun secara paralel monopolar. Proses elektroflotasi dilakukan pada kerapatan arus sebesar 50, 75, 100 A/m^2 . Evaluasi yang diamati pada penelitian tersebut berupa penurunan konsentrasi *Total suspended solids* (TSS), konsumsi energi spesifik dan jumlah massa molekul yang dihasilkan elektroda pada proses elektroflotasi (Mohtashami dan Shang, 2019).

Penelitian Selvaraj et al (2018) melaporkan terdapat studi pengolahan limbah secara elektroflotasi tanpa proses elektrokoagulasi yang menggunakan anoda mudah terlarut. Faktor – faktor seperti penambahan elektrolit, pengaturan pH dan penambahan surfaktan dapat meningkatkan efektifitas dalam penurunan konsentrasi beragam logam berat. Khelifa et al (2005) telah melakukan proses penurunan konsentrasi logam berat berupa timbal dan nikel menggunakan metode

elektroflotasi dengan elektroda Ti/RuO₂ sebagai anoda dan *stainless steel* sebagai anoda. Proses yang berlangsung menggunakan kuat arus 0,3 A dan kondisi pH 5 dapat menurunkan konsentrasi logam berat pada rentang waktu 15 – 105 menit.

2.3. Aplikasi Biokoagulan dalam Pengolahan Limbah Cair B3

Nilai turbiditas pada pengendalian limbah cair dan perairan pada umumnya dijadikan suatu standar untuk proses evaluasi kualitas air. Hal tersebut menyebabkan diperlukan teknik penurunan nilai turbiditas pada suatu limbah cair. Penurunan nilai turbiditas dapat dilakukan proses koagulasi menggunakan koagulan berbasis tumbuhan (biokoagulan) seperti biji *Azadirachta indica* dan *Acanthocereus tetragonus* melalui preparasi ekstrak. Pengamatan dilakukan pada limbah cair warna sintetik pada konsentrasi tertentu dengan variasi koagulan 900, 1500 dan 3800 mg/L. Proses koagulasi dilakukan pada *jar test* standar dengan pengadukan 200 rpm selama 5 menit, dilanjutkan pada 50 rpm selama 15 menit dan proses presipitasi selama 90 menit (Mudenur et al. 2016).

Penelitian Effendi et al. (2015) telah melaporkan penurunan nilai turbiditas, zat padat tersuspensi (TSS), dan kebutuhan oksigen kimiawi (COD) pada limbah cair batik menggunakan biokoagulan *Moringa oleifera*. Proses koagulasi dilakukan pada pengadukan 100 rpm selama 3 menit dan 40 rpm selama 12 menit. Pengamatan yang dilakukan melalui variasi dosis biokoagulan berupa 30000, 40000, dan 50000 mg/L serta variasi waktu presipitasi selama 60, 120, dan 180 menit. Pengolahan limbah cair menggunakan biokoagulan berbasis protein serbuk halus *Moringa oleifera* menghasilkan persen penurunan kadar TSS COD dan turbiditas secara berturut – turut sebesar 87,5%, 83,3 dan 95,5%.

Choy et al. (2016) melakukan pengolahan limbah batik cair dengan karakter berwarna dan nilai turbiditas yang tinggi juga telah dilakukan menggunakan koagulan berbasis tanin seperti spesies kaktus *Acacia mearnsii* dan *Opuntia spp.* Koagulan berbasis polisakarida seperti pati telah dikembangkan pada proses penurunan nilai turbiditas melalui proses koagulasi dua tahap. Preparasi larutan pati dengan konsentrasi sebesar 3% melalui proses autoclave dan tanpa proses autoclave. Proses koagulasi dilakukan pada konvensional *jar test* dengan intensitas pengadukan cepat 100 rpm selama 2 menit dan pengadukan lambat 4m rpm selama 20 menit. Rentang dosis koagulan yang digunakan yaitu 0-600 mg/L pada limbah sintetik kaolin sebanyak 500 mL.

Aplikasi biji alpukat sebagai koagulan alami telah dilakukan pada pengolahan air sungai Bogonta dengan menghasilkan penurunan turbiditas sebesar 80,45%. Preparasi koagulan digunakan ekstrak biji alpukat dengan metode refluks dengan penambahan asam asetat 10% dan etanol 10% dengan konsentrasi 200000 ppm pada 100 mL air. Proses *Jar test* dilakukan dengan pengadukan awal sebesar 125 rpm selama 5 menit, dilanjutkan pengadukan pada 50 rpm selama 20 menit. Penambahan koagulan dengan variasi konsentrasi yaitu 50, 100, 200, dan 300 ppm dengan rasio koagulan 0,25% pada total volume (David. 2018).

Penggunaan biokoagulan berjenis pektin telah dilakukan dengan memanfaatkan kulit buah naga yang diekstrak menggunakan air destilasi. Pengujian biokoagulan dilakukan menggunakan perlengkapan *jar floc test* pada pH netral dengan dosis biokoagulan 30, 50, 70 dan 90 mg/L pada perlakuan pengadukan sebanyak 100 rpm selama 4 menit dilanjutkan pengadukan pada 40

rpm selama 25 menit. Pengolahan limbah cair tersebut menghasilkan nilai persen penurunan turbiditas, TDS dan TSS secara berturut-turut yaitu 67%, 69% dan 36% (Ismail et al. 2018).

2.4. Metode Peningkatan Kinerja Proses Elektroflotasi

Kombinasi proses elektrokoagulasi-elektroflotasi telah banyak dievaluasi sebagai metode pengolahan air dan limbah cair. Metode tersebut pada awalnya mempunyai beberapa kekurangan seperti tingginya biaya proses serta kurang efisien dalam penggunaannya, hingga ditemukan material elektroda yang baik serta percobaan pada variasi tegangan. Metode gabungan elektrokoagulasi-elektroflotasi secara umum digunakan pada pengolahan limbah yang terkandung zat organik seperti kebutuhan oksigen kimiawi (COD) pada limbah laundry dan penyamakan kulit serta zat anorganik seperti logam berat. Proses elektrokoagulasi-elektroflotasi secara luas dapat digunakan untuk menghilangkan zat dengan densitas yang padat termasuk minyak dan pelumas (Vu et al. 2014).

Aoudj et al. (2017) Pengolahan limbah cair industri material semikonduktor telah dilakukan menggunakan metode elektrokoagulasi-elektroflotasi terpisah untuk meningkatkan kinerja terhadap proses menghilangkan polutan seperti sodium dodecyl sulfate (SDS), fluoride dan ammonia. Proses elektrokoagulasi-elektroflotasi menggunakan elektroda *stainless steel* pada katoda dan besi/aluminium pada anoda dalam kompartemen elektrokoagulasi. Penggunaan *stainless steel* pada katoda dan Ti/RuO₂ pada anoda diletakkan pada kompartemen elektroflotasi. Hasil pengolahan didapatkan konsentrasi SDS, fluoride, amonia dan nilai turbiditas yaitu 0,27 mg/L, 6,23 mg/L, 0,22 mg/L dan 4,35 NTU.

Monsour et al (2007) telah melakukan pengolahan limbah industri kertas melalui proses koagulasi dan dilanjutkan proses elektroflotasi dalam kompartemen berbeda sistem kontinyu. Proses pada *batch* pertama dilakukan optimasi konsentrasi koagulan, nilai pH, kerapatan arus dan waktu pengolahan. Penggunaan koagulan sintetik berupa $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ yang merupakan agen koagulan. Hasil yang didapatkan menunjukkan penurunan pada parameter TDS, COD, BOD dan konsentrasi Cl^- dengan penurunan lebih dari 95% pada pengolahan optimum.

Penambahan ekstrak *Opuntia ficus indica* sebagai flokulan alami telah dilakukan pada peningkatan metode elektroflotasi-elektrokoagulasi untuk pengolahan limbah cair. Getah yang terdapat pada *Opuntia ficus indica* terkandung beberapa jenis polisakarida seperti L-arabinose, D-galaktosa, L-rhamnose, D-xylose, dan asam poligalakturonat (pektin) yang dapat membuat proses koagulasi. Proses elektroflotasi-elektrokoagulasi menggunakan elektroda aluminium pada anoda dan katoda dengan jarak 1 cm. Kerapatan arus yang digunakan sebesar $43,6 \text{ mA/cm}^2$ dengan volume ekstrak *Opuntia ficus indica* $0,0015 \text{ mL/L}$, nilai pH 7,7 dan nilai konduktivitas $1,4 \text{ mS/cm}$. Hasil yang didapatkan pada penambahan koagulan alami didapatkan nilai penurunan turbiditas sebesar 86,9%. Perbandingan pada proses tanpa penambahan koagulan alami didapatkan penurunan turbiditas sebesar 71,9% (Nawel et al. 2015).

Khelifa et al (2013) telah melakukan evaluasi penurunan konsentrasi nikel, tembaga serta EDTA menggunakan gabungan metode elektroflotasi dan elektroklorinasi. Proses elektroflotasi menggunakan elektroda Ti/RuO_2 sebagai anoda dan *stainless steel* sebagai katoda. Proses pengolahan limbah sintetik

sebanyak 3 L dilakukan pada tegangan konstan dengan variasi waktu pada rentang 50 – 300 menit serta pengaturan pH pada rentang 8,3 – 12. Proses elektroklorinasi bertujuan sebagai agen elektro-oksidasi secara tidak langsung menghasilkan pembentukan ion klorin untuk mengoksidasi polutan organik. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan nilai penurunan nikel dan EDTA secara berturut-turut sebesar 77% dan 78% pada larutan campuran nikel dan EDTA. Selain itu pada larutan campuran tembaga dan EDTA didapatkan nilai penurunan secara berturut-turut yaitu 89 dan 96%.



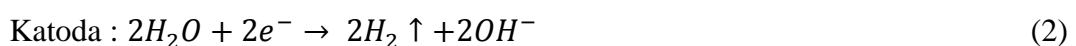
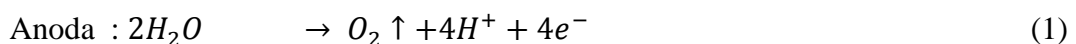
BAB III

DASAR TEORI

3.1. Proses Elektroflotasi

Elektroflotasi merupakan salah satu aplikasi dari sel elektrolisis pada proses elektrokimia. Dengan kata lain, sel elektrolisis mengalami fenomena penggunaan energi listrik untuk menghasilkan reaksi reduksi dan oksidasi yang diinginkan. Reaksi reduksi dan oksidasi pada molekul air dapat dilakukan dengan pemanfaatan energi listrik sehingga menghasilkan proses dekomposisi menjadi gas hidrogen dan gas oksigen (Aftab dan Ishaq, 2010). Proses elektroflotasi mempunyai prinsip dasar pada pengapungan ion atau partikel padat, tersuspensi atau terlarut dalam fasa cair. Fenomena tersebut disebabkan oleh adanya pelepasan gelembung kecil hidrogen dan oksigen yang terbentuk pada katoda dan anoda yang bergerak ke atas sel elektrolisis. Pengapungan spesi kimia dapat dipengaruhi oleh hal – hal seperti sifat hidrofobik dan rasio kolektor terhadap ion logam. Oleh sebab itu, jumlah kolektor yang digunakan pada flotasi ion harus lebih tinggi dari sifat busa pada proses stoikiometri (Nanseu et al. 2009).

Proses elektroflotasi adalah memanfaatkan gelembung – gelembung mikro yang dihasilkan pada elektrolisis air sehingga terbentuk gas hidrogen pada katoda dan gas oksigen pada anoda, seperti pada persamaan 1 dan 2.



Koefisien perpindahan massa pada pemisahan gas oksigen dipengaruhi dari turunan teori *two-film*. Diasumsikan bahwa laju difusi gas oksigen melewati lapisan gas lebih tinggi dibandingkan laju difusi pada lapisan cair, sehingga kapasitas

oksigen (OC) dihasilkan oleh massa oksigen yang dapat ditransferkan dengan sistem aerasi per m³ dan per jam ditunjukkan oleh persamaan 3.

$$OC = K_L a(C^* - C_0) \quad (3)$$

Dimana dC/dt merupakan laju perubahan konsentrasi oksigen dengan waktu, $K_L a$ adalah, C^* adalah kesetimbangan konsentrasi oksigen dalam fasa cair dan C_0 konsentrasi awal oksigen terpisah (Kotti et al, 2013).

Fenomena dalam elektriflotasi terdapat kompleksitas proses nukleasi pada permukaan elektroda serta partikel terapan. Peningkatan proses nukleasi terjadi pada keberadaan zat padat yang dapat berperan sebagai agen nukleasi. Bagaimanapun, pada proses flotasi sel agitasi selalu terdapat zat padat tersuspensi. Hal tersebut menjadi pengaruh pengapungan zat pada sistem flotasi menggunakan gelembung gas yang dihasilkan. Melalui hasil analisis, laju produksi gas ditunjukkan pada persamaan 4 (Sarkar et al. 2011).

$$Q_c = \int (IRT / zFP) \quad (4)$$

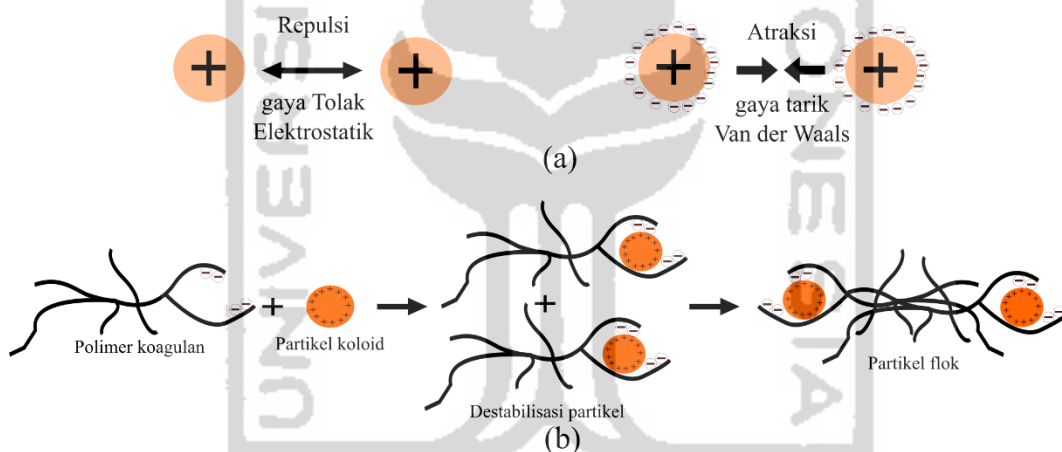
Dimana I adalah arus, R adalah konstanta gas, T adalah temperature, P adalah tekanan pada sistem, z adalah nomer elektron yang dibutuhkan untuk produksi 1 mol gas dan F adalah konstanta Faraday's.

Faktor – faktor yang mempengaruhi proses elektroflotasi antara lain konsentrasi larutan elektrolit, potensial tegangan listrik, kerapatan arus, jenis elektroda, serta konsentrasi analit. Secara umum, metode elektroflotasi mempunyai beberapa keuntungan seperti gelembung gas yang dihasilkan mengalami dispersi dengan bentuk yang seragam dan sangat halus, kerapatan arus bervariasi sehingga memungkinkan untuk memvariasi konsentrasi gelembung gas dalam sel elektrolisis

dan meningkatkan propabilitas tumbukan partikel gelembung, selanjutnya adalah pada permukaan elektroda dan kondisi larutan yang tepat memungkinkan mendapatkan hasil optimal untuk proses pemisahan spesi kimia (Alam. 2015).

3.2. Proses Koagulasi-Flokulasi

Limbah cair yang terkandung zat – zat kimia pada umumnya tersusun atas partikel koloid yang tidak dapat diendapkan secara alami dalam waktu singkat. Koloid tersebut tidak dapat mengendap secara alami disebabkan cenderung bersifat negatif stabilitas suspensi koloid oleh gaya tarik van der waals, gaya tolak repulsive elektrostatis dan gerak brown (Chang. 2011).



Gambar 1. Ilustrasi gaya Van der Waals dan gaya Tolakan Elektrostatis (a) serta mekanisme koagulasi-flokulasi

Kondisi stabil pada koloid tersebut, maka diperlukan penambahan koagulan agar dapat menetralkan muatan negatif koloid (destabilisasi). Penambahan koagulan pada partikel koloid mampu menetralkan muatan negative dari partikel koloid. Proses tersebut disebabkan adanya interaksi donor muatan positif oleh koagulan untuk menstabilisasi muatan negatif partikel. Dengan kata lain, penambahan koagulan dan flokulan pada air mengalami proses koagulasi dengan tujuan untuk memperbaiki pembentukan flok. Koagulan yang digunakan pada

pengolahan air secara umum yaitu garam alumunium dan garam bersi (Hubbard. 2002).

Proses koagulasi selalu beriringan dengan proses flokulasi, Dimana terjadinya penggabungan inti menjadi flok yang berukuran besar. Proses koagulasi-flokulasi terjadi disebabkan pada unit pengaduk cepat dan pengaduk lambat. Penambahan koagulan pada pengadukan cepat dilakukan dengan tujuan kandungan dalam koagulan dapat tercampur secara homogen. Sedangkan pada pengadukan lambat, terjadinya proses pembentukan flokulan yang berukuran besar sehingga mudah mengendap pada bak sedimentasi. Proses koagulasi-sedimentasi memiliki faktor utama yang berpengaruh seperti kekeruhan air, padatan tersuspensi, temperatur, pH, komposisi kation dan amnion, durasi, dosis koagulan serta tingkat agitasi pada proses koagulasi-flokulasi (Wei et al. 2018).

3.3. Biokoagulan

Koagulan dapat dikategorikan menjadi koagulan kimia seperti aluminum sulfat dan ferri klorida, polimer organik sintetis, serta koagulan alami seperti biokoagulan. Melalui fenomena proses koagulasi, koagulan dapat berfungsi mengurangi kekeruhan, mengurangi warna akibat adanya partikel koloid anorganik maupun organik serta menurunkan dan menaikkan pH (Rifai, 2007). Polimer koagulan alami (Biokoagulan) telah mendapat perhatian sebagai agen pengolahan limbah yang aman, bersifat biodegradasi dan tidak beracun. Pada umumnya biokoagulan berupa biomassa dengan komponen makromolekul seperti polisakarida yang terkandung struktur cincin. Selain itu, material alami juga terdapat pada senyawa mikromolekul dengan kerapatan muatan rendah serta tidak

mudah larut dalam air, telah diaplikasikan sebagai biokoagulan (Anthony dan Sims, 2013).

Tanin merupakan senyawa metabolit sekunder dengan klasifikasi senyawa polifenol. Polimer tanin terdiri dari gabungan rantai asam tanat dalam polimerisasi mempunyai berat molekul dari 500 hingga ribuan Dalton. Kelarutan dalam air pada tanin cukup tinggi sehingga dapat dilarutkan dalam air dan menghasilkan warna khusus dari merah tua sampai coklat, struktur tanin ditunjukkan pada Gambar 2 (a). Studi pengolahan limbah telah menggunakan biomass yang terkandung tanin sebagai koagulan atau flokulan alami baik dalam bentuk serbuk atau ekstrak (Hameed et al. 2018). Sifat polielektrolit pada tanin dengan memberi karakter kation dan anion pada senyawa sehingga menyebabkan proses netralisasi pada sistem koloid dan terjadi koagulasi. Ejifor et al. (2018) dalam penelitiannya telah mengidentifikasi tanin dalam biji alpukat sebesar $6,98 \pm 0,04$ mg dalam 100 g.

Tabel 1. Karakter dan kandungan metabolit biji alpukat

Nutrient	Kadar (g/100 g)	Non-nutrient	Kadar (g/100 g)
Protein	$15,55 \pm 0,36$	Kelembapan	$15,10 \pm 0,14$
Lemak	$17,90 \pm 0,40$	Tanin	$06,98 \pm 0,04$
Karbohidrat	$49,03 \pm 0,02$	Oksalat total	$14,98 \pm 0,03$
Debu	$02,26 \pm 0,23$	Asam fitik	$03,18 \pm 0,16$

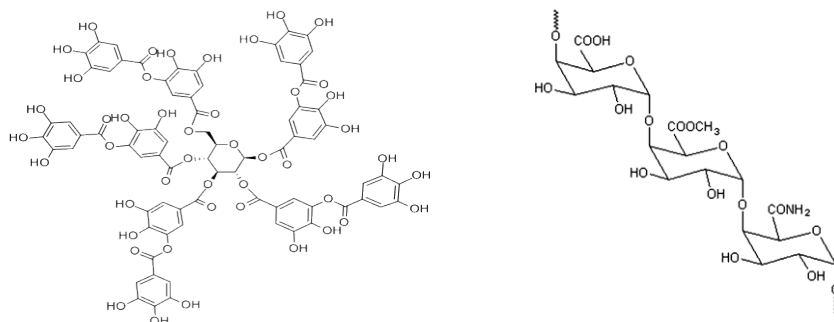
Pektin dapat ditemukan berlimpah pada dinding sel primer tumbuhan berupa struktur polisakarida yang ditunjukkan pada Gambar 2 (b). Kompleks anionic polisakarida tersebut terdapat bagian metil-esterifikasi pada belakang rantai (backbone) (1-4) asam α -D-galakturonat dengan residu gugus gula netral arabinose, galaktosa, dan xylose pada sisi rantai. Pektin dapat berperan sebagai agen pembentukan gen dan emulsifier dalam proses destabilisasi. Buah naga merupakan

salah satu famili *Cactaceae* yang mempunyai karakter koagulan seperti pada jenis *Latifaria* dan *Opuntia* menunjukkan dapat mengurangi turbiditas pada pengolahan air. Koagulan – koagulan tersebut terkandung asam poligalacturonat, suatu biopolimer dengan kemampuan koagulasi dan flokulasi (Torres, 2012).

Tabel 2. Kandungan metabolit pada kulit buah naga

Proksimat	Kadar(%)	Monosakarida	Kadar(%)
Kelembapan	7,81±0,10	Monnose	17,78±1,07
Debu	4,73±0,09	Rhamnose	14,47±0,39
Lemak total	0,04±0,01	Asam Galakturonat	39,11±1,87
Protein	1,15±0,03	Glukosa	10,82±0,44
Serat	62,76±0,05	Galaktosa	11,91±0,48
Lain Lain	23,51±0,06	Xylosa	2,41±0,02
		Arabinosa	3,49±0,07

Buah naga merupakan buah – buahan yang berasal dari Mexico, America Selatan dan Amerika Tengah. Akan tetapi penyebaran buah tersebut sangat luas sampai Asia Tenggara. Getah dari buah naga mengandung asam galacturonat, yang menjadi agen koagulan dominan. Selain itu, kulit buah naga kaya akan senyawa pektin. Koagulan alami mempunyai beberapa keunggulan seperti biodegradable, material yang berkelanjutan, murah, tidak beracun serta aman bagi kesehatan manusia. Kandungan yang terdapat pada buah naga ditunjukkan pada tabel 2 (Ismail et al. 2018).



Gambar 2. Struktur molekul tanin (a) dan pektin (b)

3.4. *Fourier Transform-Infra Red Spectrophotometry (FT-IR)*

Pemanfaatan radiasi inframerah melalui variasi bilangan gelombang secara spektroskopi yang menjadi prinsip alat instrumental *Fourier Transform-Infrared Spectroscopy* dalam penentuan gugus fungsi pada material. Hasil pengukuran serapan radiasi inframerah menyebabkan interaksi pada molekul dan menghasilkan spektrum grafik %transmitasi lawan bilangan gelombang (Khan et al. 2018). Pada umumnya hubungan emisi inframerah mengacu pada bagian spektrum elektromagnetik inframerah yang terdapat diantara cahaya tampak dan komposit mikro pada rentang 400 nm sampai dengan 800 nm. Prinsip yang dimiliki gelombang elektromagnetik mengacu pada persamaan 5 yang menunjukkan bahwa panjang gelombang berbanding terbalik dengan frekuensi. Hal tersebut menyebabkan panjang gelombang inframerah lebih rendah daripada gelombang mikro yang mempunyai panjang gelombang lebih dari 1 nm (Sastrohamidjojo. 1992).

$$E = c/\lambda \quad (5)$$

Dimana E adalah energy, c adalah kecepatan cahaya dan λ adalah panjang gelombang.

Metode spektroskopi inframerah berdasarkan interaksi penyerapan sinar inframerah oleh suatu molekul senyawa. Kondisi panjang gelombang inframerah lebih rendah dari pada cahaya tampak dan ultra-violet menyebabkan energi inframerah tidak dapat menyebabkan eksitasi elektron, tetapi menyebabkan vibrasi suatu molekul. Radiasi inframerah yang mempunyai frekuensi kurang dari 10^2 cm^{-1} atau dengan panjang gelombang 10^2 micrometer diserap oleh molekul dan

dikonversi ke dalam energi rotasi molekul. Sedangkan radiasi inframerah pada rentang 10^3 sampai 10^2 cm^{-1} dengan panjang gelombang 1 sampai 10^2 micrometer menyebabkan proses penyerapan radiasi oleh molekul dan dikonversi menjadi energy vibrasi molekul. Karakterisasi spektroskopi vibrasi gelombang elektromagnetik dirumuskan dalam bentuk bilangan gelombang yang merupakan resiproks dari panjang gelombang, mengacu pada persamaan 6 (Setiabudi et al. 2012).

$$\bar{\nu} = 1/\lambda \quad (6)$$

Dimana $\bar{\nu}$ sebagai bilangan gelombang dan λ adalah panjang gelombang.

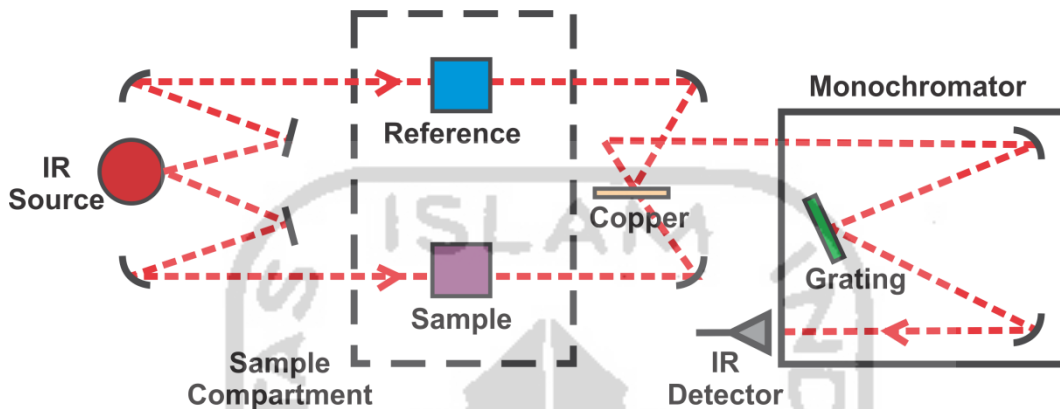
Proses vibrasi molekul dua atom pada ikatan kimia dapat diumpamakan dengan vibrasi dua bola yang dihubungkan dengan pegas. Jarak ikatan dapat berubah secara kontinyu serta dapat ditentukannya keseimbangan atau jarak ikatan rata – rata. Enersi potensial dapat naik jika pegas direntangkan atau ditekan pada jarak keseimbangan. Kondisi pegas yang bergetar mengacu pada hukum Hooke atau disebut massa tereduksi (μ) dengan m sebagai massa atom yang terdapat pada persamaan 7.

$$\mu = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \quad (7)$$

Perhitungan frekuensi vibrasi mengacu pada persamaan 8 ditentukan melalui penurunan dari persamaan hukum Hooke, dengan tetapan K yang dipengaruhi oleh jenis ikatan (Sastrohamidjojo. 2007)

$$\bar{\nu} = \frac{1}{2\pi c} \sqrt{\frac{K}{\mu}} \quad (8)$$

Dimana $\bar{\nu}$ bilangan gelombang, K adalah konstanta gaya, c adalah kecepatan cahaya dan μ sebagai panjang gelombang.



Gambar 3. Skema prinsip dasar Spektrofotometer IR

3.5. Spektrofotometri Serapan Atom

3.5.1 Prinsip dasar dan instrumentasi

Prinsip dasar spektrofotometri serapan atom didasari dengan interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan atom. Proses penyerapan pada spektroskopi serapan atom dimulai pada penyerapan energi oleh atom sehingga atom mengalami transisi elektronik dari keadaan dasar kepada keadaan tereksitasi yang disebut teori elementer. Padanan kedua permukaan energy yang terkuantiasi antara keadaan dasar hingga kondisi tereksitasi dengan penyerapan cahaya dan banyaknya energi yang diserap dapat ditetapkan oleh hukum Bohr pada persamaan 9.

$$\Delta E = E_1 - E_0 = hv = \frac{hc}{\lambda} \quad (9)$$

Dimana ΔE adalah energy, h tetapan Planck, c adalah kecepatan cahaya λ adalah panjang gelombang. Proses tersebut disebabkan unsur yang menumbulkan

spektrum garis karaktersistik tertentu sehingga terdapat keadaan eksitasi yang berlainan dan dikaitkan dengan unsur yang berlainan (Jeffrey et al. 1989).

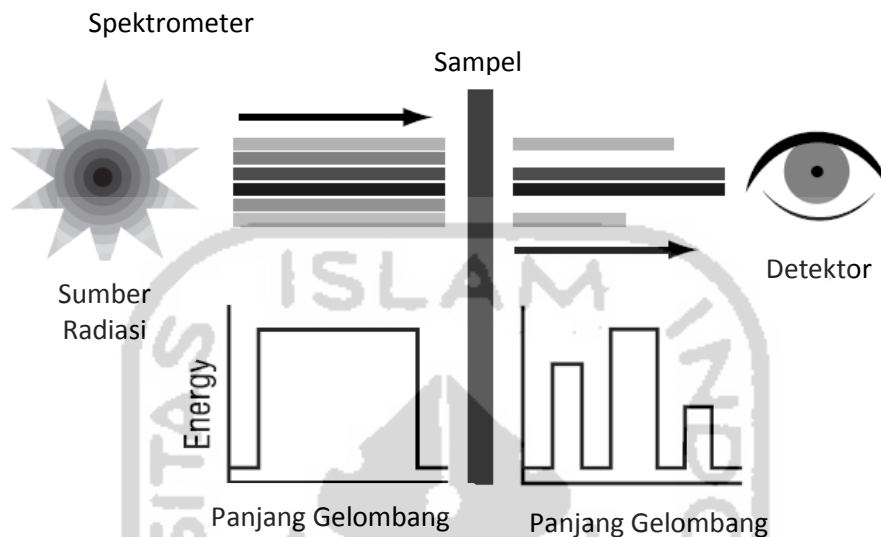
Populasi keadaan dasar dengan keadaan eksitasi mempunyai hubungan yang ditentukan oleh tetapan Boltzmann yang ditunjukkan pada persamaan 10. Hal tersebut menjelaskan bahwa perbandingan banyaknya atom dalam keadaan eksitasi dengan keadaan dasar dapat meningkat bergantung pada energi eksitasi maupun pada temperatur. Analisa pengukuran pada metode ini didasarkan pada pengukuran intensitas sinar yang diserap oleh atom sehingga terjadi eksitasi. Adapun komponen penting seperti sumber radiasi monokromatik dan alat penguapan sampel yang diperlukan untuk proses absorbsi sehingga diperoleh atom dalam keadaan dasar dari unsur yang diinginkan. Spektrofotometri serapan atom merupakan metode analisis yang tepat pada unsur logam-logam dengan konsentrasi rendah (Day dan Underwood. 2001).

$$N_1/N_0 = (g_1/g_0)e^{-\Delta E/kT} \quad (10)$$

Dengan N_1/N_0 adalah perbandingan atom keadaan tereksitasi dan keadaan dasar, g_1/g_0 adalah perbandingan bobot statistik N_1/N_0 , ΔE adalah energi eksitasi, k adalah tetapan Boltzmann, dan T adalah temperatur (Slavin. 1979).

Cara kerja spektroskopi serapan atom ditunjukkan pada gambar 4, berprinsip terhadap absorpsi cahaya oleh atom-atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung sifat unsurnya. Cahaya pada panjang gelombang tertentu mempunyai cukup energi untuk mengubah tingkat elektron suatu atom. Adanya absorpsi energi, berarti suatu atom pada keadaan dasar dinaikkan pada keadaan eksitasi (Mulja, 1995). Bahan bakar yang digunakan pada

proses spektroskopi serapan atom adalah propane, butane, hidrogen dan asetilen, sedangkan oksidatornya adalah udara, oksigen, N_2O dan asetilen (Khopkar, 2011).



Gambar 4. Skema cara kerja Spektrofotometer serapan atom.

3.5.2 Metode Analisis

Analisis menggunakan spektrofotometer serapan atom melalui prinsip dasar pada absorpsi radiasi oleh suatu unsur dengan melibatkan pengukuran intensitas cahaya atau energy radiasi. Cahaya pada panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang terkandung atom bebas, sehingga sebagian cahaya akan diserap menyebabkan intensitas penyerapan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas. *Hukum Lambert* yang menyatakan suatu sumber sinar monokromatik melewati medium transparan menyebabkan berkurangnya intensitas sinar yang diteruskan dan bertambahnya ketebalan medium pengabsorpsi. Sedangkan *Hukum Beer* menyatakan bahwa intensitas sinar yang diteruskan dapat berkurang secara eksponensial melalui penyerapan sinar oleh spesi yang meningkat konsentrasinya. Berdasarkan hukum tersebut dapat ditunjukkan pada persamaan 11.

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

Dimana A adalah absorbansi, ε adalah absorpsivitas molar, b adalah panjang medium/tebal nyala dan c adalah konsentrasi atom penyerap sinar.

Nilai Absorpsivitas molar merupakan konstanta dengan nilai spesifik pada jenis zat dan panjang gelombang tertentu, berbeda dengan tebal sel dalam aplikasinya tetap. Oleh karena itu suatu spesi akan menjadi fungsi linier dari konsentrasi sehingga dengan mengukur absorbansi suatu konsentrasi suatu spesi dapat ditentukan dengan perbandingan dengan konsentrasi larutan standar. Berdasarkan persamaan tersebut dapat dinyatakan bahwa absorbansi cahaya berbanding lurus dengan konsentrasi atom (Manahan, 2001).

3.6. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka dan dasar teori yang telah dijelaskan, dapat ditentukan beberapa hipotesa yaitu :

1. Biji alpukat dan kulit buah naga masing – masing mengandung komponen polimer tanin dan pektin yang mempunyai aktivitas sebagai biokoagulan.
2. Polimer tanin dan pektin dalam biji alpukat dan kulit buah naga dapat menjadi agen koagulan untuk meningkatkan kinerja elektroflotasi.
3. Analisis pengaruh penurunan parameter TDS, EC, turbiditas, logam berat timbal dan kromiu dapat menentukan efektivitas peningkatan kinerja elektroflotasi.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Alat dan Bahan

4.1.1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari alat proses eksperimen berupa seperangkat reaktor elektroflotasi berbahan dasar kaca dengan dimensi 10 (P) x 10 (L) x 15 (T) cm. Elektroda grafit dengan dimensi 5 cm (P) x 3 cm (L) ketebalan 0,5 cm dan 5 cm (d) ketebalan 1 cm digunakan sebagai anoda, sedangkan *stainless steel netwire* (12 mesh) dengan dimensi 8 (P)x 8 (L) cm digunakan sebagai katoda. Power Supply DC (Sanfix SP-6010, Taiwan) digunakan sebagai penghasil sumber tegangan DC.

Alat penunjang performa penelitian antara lain: kaca pembesar 8x pembesaran, kamera digital optical zoom 5x 3.2 megapixels (Nikon Coolpix 3200, Jepang), Ayakan 200 mesh, *sieve shaker* (Retsch, AS 200 Basic, USA), Oven (Binder, 08-37521, USA), magnetic stirrer, timbangan, blender (AQUA, AB-KF815G, Jepang), pH/EC/TDS meter (HANNA, HI9813-5, Romania), turbidity meter (Thermo Scientific, EUTECH TN-100, USA), multimeter digital (Krisbow, KW06-796), Spectrofotometer serapan atom (Perkin Elmer PinAAcle 900T, USA), FT-IR (Perkin Elmer Spectrum Two, MA 02451, USA) ,dan peralatan gelas laboratorium.

4.1.2. Bahan

Limbah laboratorium kimia yang diperoleh dari Laboratorium Penelitian Kimia Universitas Islam Indonesia. Biokoagulan yang digunakan pada penelitian

ini yaitu biji alpukat (*Persea americana*) dan kulit buah naga (*Hylocereus polyhizus*) yang didapatkan di toko buah di sekitar Universitas Islam Indonesia. PAC (Brataco, C19024041, Jepang), NaCl (Merck, CAS-7647-14-5, Jerman) NaOH (Merck, 011-022-00-6, Jerman), HNO₃ 65% (Merck, 100456, Jerman), kertas saring 42 110 mm (Whatman, CAT 1442-110), air keran dan akuades

4.2. Cara Kerja

4.2.1. Evaluasi proses biokoagulasi

4.2.1.1 Preparasi biokoagulan

Biji alpukat (*Persea americana*) dan kulit buah naga (*Hylocereus polyhizus*) merupakan biokoagulan yang berbasis tanin dan pektin. Sampel biomassa di potong hingga ukuran ± 5 cm, dicuci dengan air dan dikeringkan dibawah sinar matahari selama dua hari sehingga terbentuk simplisia. Sampel dikeringkan dalam oven pada 60 °C selama 24 jam dengan tujuan memastikan hilangnya kadar air dalam sampel. Proses penggilingan menggunakan blender untuk menghasilkan serbuk halus. Setelah itu, sampel serbuk halus diseragamkan ukuran partikel menggunakan ayakan 200 mesh dan *sieve shaker*. Biokoagulan yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan FT-IR untuk memperoleh informasi keberadaan gugus fungsi –OH dan –COOH pada sampel biokoagulan.

4.2.1.2 Proses biokoagulasi

Proses koagulasi-flokulasi dilakukan menggunakan gelas beaker 250 mL dan seperangkat alat *magnetic stirrer*. Limbah laboratorium kimia dikondisikan pH pada 8-9 dengan penambahan 2 M NaOH. Setelah itu limbah ditambahkan biokoagulan (biji alpukat dan kulit buah naga) dan koagulan sintetik berupa *Poly*

Aluminum Chloride dengan dosis 25; 50 dan 100 mg/250 mL. Proses pengadukan dilakukan dengan pengadukan cepat selama 5 menit yang bertujuan melarutkan senyawa koagulan pada limbah serta pengadukan lambat selama 25 menit untuk mempertahankan pembentukan flokulan. Setelah proses pengadukan, dilakukan proses presipitasi selama 3 jam. Sampel setelah pengolahan diambil sebanyak 50 mL dan dianalisis EC, TDS serta kekeruhan.

Penentuan kinerja biokoagulan juga ditentukan melalui %berat endapan. Limbah setelah proses koagulasi disaring menggunakan kertas saring Whatman 42 (100 mm) dan menggunakan corong buchner dan pompa vakum. Endapan basah kemudian ditimbang untuk mendapat nilai berat endapan basah. Setelah, endapan basah dikeringkan dalam oven pada 60 °C selama 30 menit. Endapan yang telah dikeringkan berupa endapan kering ditimbang untuk mendapat nilai berat endapan kering. Nilai %berat endapan ditentukan melalui persamaan 12.

$$\text{berat endapan (\%)} = \frac{E_0 - E_f}{E_0} \times 100 \quad (12)$$

E_0 adalah endapan basah dan E_f adalah endapan kering. Hasil tersebut bertujuan untuk menentukan potensi pembentukan limbah baru berupa endapan yang dihasilkan proses koagulasi.

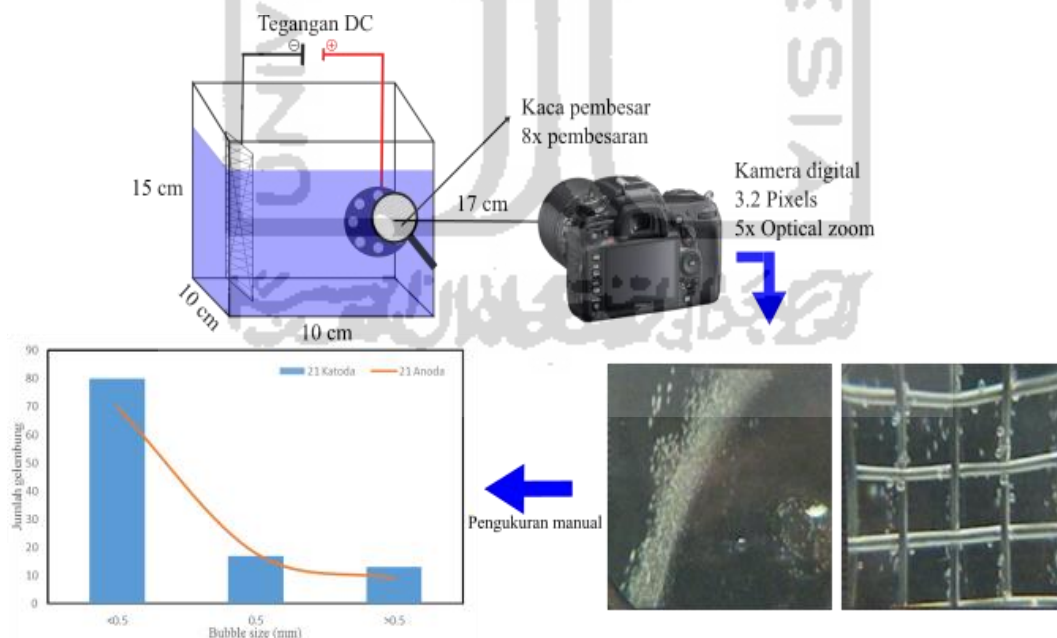
4.2.2. Evaluasi proses elektroflotasi

4.2.2.1 Pengukuran ukuran gelembung menggunakan metode manual

Evaluasi tegangan DC bertujuan untuk menentukan tegangan DC optimum yang digunakan pada proses elektroflotasi. Penentuan distribusi ukuran gelembung dilakukan melalui metode elektroflotasi pada sistem batch dengan dimensi reaktor 10 (P) x 10 (L) x 15 (T) cm. Penggunaan elektroda grafit sebagai anoda dengan

dimensi 4 (d) cm (ketebalan 0,75 cm) dan *stainless steel* dimensi 9 (P) x 9 (L) cm sebagai katoda. Gelembung gas oksigen dan hidrogen yang dihasilkan berperan dalam performa proses elektroflotasi. Kondisi tegangan optimal pada proses elektrolisis molekul air menyebabkan pembentukan gelembung gas pada ukuran optimum pada anoda dan katoda.

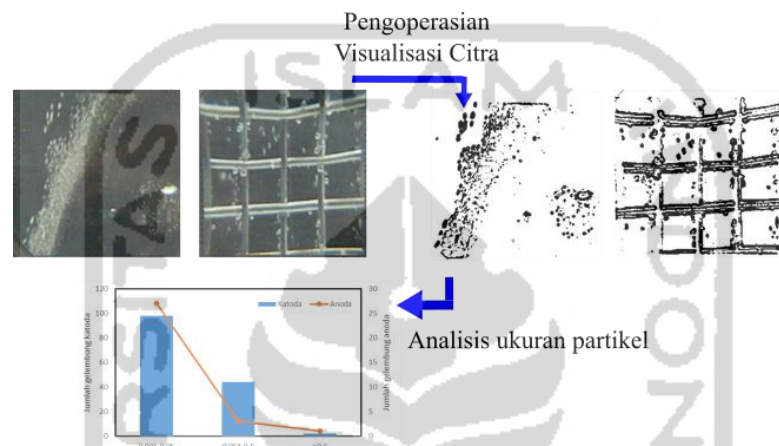
Penentuan tegangan DC optimum dilakukan melalui proses elektrolisis larutan natrium klorida 0,001 M selama 30 menit pada tegangan DC 12, 15, 18, 21, 24 V. Gas yang dihasilkan diamati dengan kaca pembesar 8x yang dimodifikasi dengan penggaris (akurasi 0,5 mm). Pengambilan citra dilakukan menggunakan kamera digital dengan jarak konstan 17 cm. Penentuan distribusi gelembung gas dilakukan melalui pengukuran manual ukuran gelembung pada ukuran <0,5; 0,5; >0,5 mengacu pada Gambar 5 (Kim et al. 2010).



Gambar 5. Alur pengambilan data distribusi gelembung secara manual

4.2.1.2 Verifikasi metode pengukuran ukuran gelembung menggunakan software *ImageJ*

Hasil pengukuran manual diverifikasi melalui analisis citra menggunakan free-software *ImageJ digital image analysis*. *ImageJ* berfungsi untuk menentukan ukuran gelembung yang dihasilkan pada proses elektrolisis melalui analisis citra.



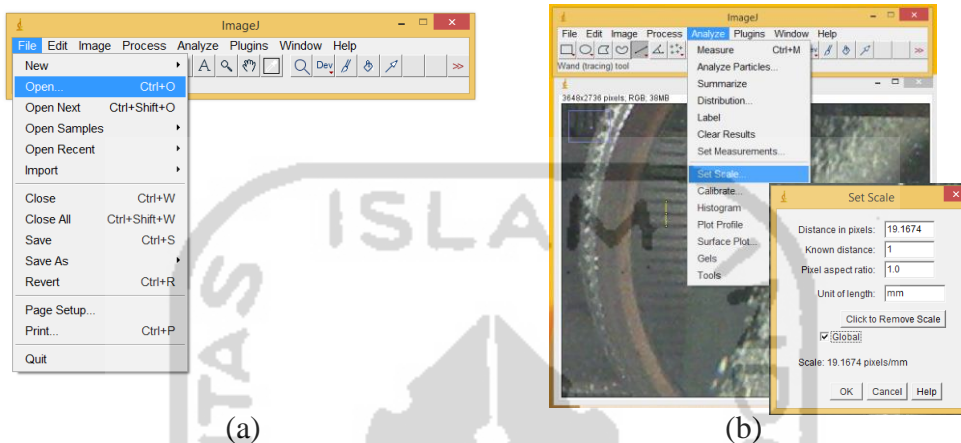
Gambar 6. Alur pengambilan data ukuran gelembung menggunakan *ImageJ*

Pengambilan data ukuran gelembung dimulai dari pengoperasian visualisasi citra untuk membatasi pengukuran gelembung dan proses analisis partikel untuk menentukan ukuran gelembung yang terdapat pada citra. Secara rinci, langkah-langkah pengambilan data menggunakan *ImageJ* adalah sebagai berikut:

- a) *Open file* dan pengaturan skala pada citra

Software yang telah diaktifkan dapat membuka file dengan klik open dan menentukan file citra yang akan dianalisis. Proses selanjutnya yaitu pengaturan skala pada citra terhadap software. Skala acuan digunakan penggaris dengan ketelitian 0,5 mm melalui garis lurus yang dibuat pada citra. Gambar 6 menunjukkan pengaturan skala dengan klik *Analyze; Set Scale* sampai muncul windows *Set Scale*.

Parameter yang dimasukkan pada kolom *known distance* = 1 mm dan 1 mm pada kolom *unit of length*. Skala pada citra diatur menjadi ukuran default dengan klik kolom global.



Gambar 7. Proses membuka file (a) dan mengatur skala pada citra (b)

b) Proses memperjelas visualisasi citra citra

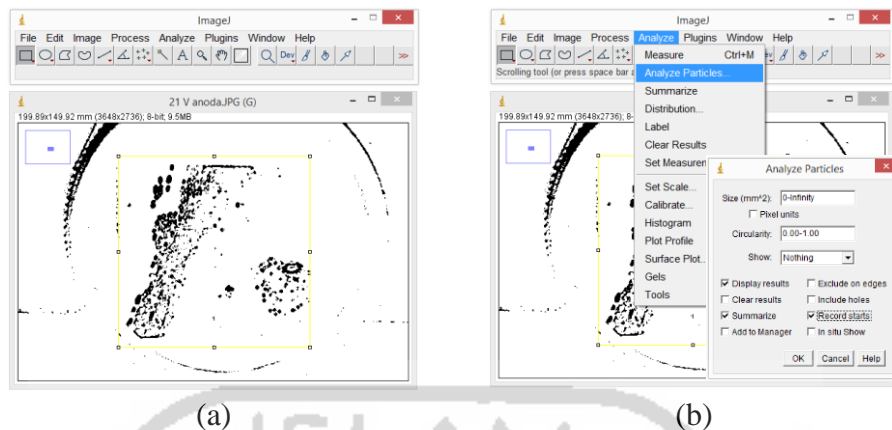
Gambar 8 menunjukkan langkah visualisasi citra dalam software diperjelas melalui beberapa tahap, pertama dengan perintah *Process; Find Edges* (a). Proses tersebut bertujuan pemisahan dan pembatasan bagian yang akan dianalisis. Selanjutnya adalah perintah *Process; Smooth* (b) yang berfungsi mempertajam hasil dari proses *find edges*. Kemudian diberikan penggantian tipe citra menjadi berbentuk *grayscale* melalui perintah *Image; Type; 8-bit* (c). Perintah tersebut bertujuan untuk mensortir gambar menjadi jelas. Tahap terakhir adalah perintah *process; binary; make a binary* (d) dengan tujuan untuk proses akhir visualisasi citra yang akan dianalisis.



Gambar 8. Proses memperjelas visualisasi citra dengan perintah *find edges* (a) *smooth* (b) *8-bit* (c) dan *Binary* (d)

c) Proses analisis ukuran partikel

Gambar 9 menunjukkan penentuan ukuran partikel pada citra dimulai dengan diberikan perintah *rectangle* (a) melalui pembuatan bingkai persegi pada posisi citra yang terdapat gelembung. Perintah tersebut bertujuan untuk membatasi area pengukuran sebesar luas *rectangle* seperti pada Gambar 8. *Area rectangle* yang dibuat pada pengukuran ini yaitu *width* = 15 pixel dan *height* = 20 pixel. Tahap selanjutnya adalah proses analisis partikel melalui perintah *Analyze; Analyze particles* (b).



Gambar 9. Pproses pembatasan pengukuran (*rectangle*) (a) dan analisis ukuran partikel (b)

d) Hasil akhir

Gambar 10 menunjukkan hasil pengukuran setelah proses analisis partikel akan ditampilkan dua buah *window* yang memperlihatkan seluruh hasil pengukuran luas area dan hasil rata – rata pengukuran dari seluruh gelembung yang diukur.

Distribusi ukuran gelembung ditentukan berdasarkan analisis ukuran partakel. Hasil dari ukuran gelembung yang dihasilkan dikelompokkan menjadi 3 kelas yaitu kelas 1 (0-0,05 mm), 2 (0,051-0,5 mm), 3 (>0,5 mm) (Laksana, 2008). Tegangan optimum pada proses elektroflotasi ditentukan melalui jumlah produksi gelembung dengan ukuran optimal.

Area	Mean	Min	Max	XStart	YStart	
1	200.911	255	255	255	2021	1454
2	0.009	255	255	255	2149	1454
3	0.018	255	255	255	2123	1466
4	0.045	255	255	255	2128	1486
5	0.012	255	255	255	2118	1472
6	0.003	255	255	255	2167	1472
7	0.015	255	255	255	2124	1474
8	0.024	255	255	255	2123	1474
9	0.003	255	255	255	2081	1476
10	0.009	255	255	255	2076	1477
11	0.003	255	255	255	2079	1481
12	0.006	255	255	255	2111	1497
13	0.006	255	255	255	2113	1501
14	0.063	255	255	255	2121	1504
15	0.006	255	255	255	2095	1510
16	0.139	255	255	255	2083	1515
17	0.048	255	255	255	2087	1518
18	0.006	255	255	255	2094	1521
19	0.015	255	255	255	2078	1554
20	0.270	255	255	255	2275	1580
21	0.003	255	255	255	2105	1581
22	0.003	255	255	255	2236	1582
23	0.012	255	255	255	2229	1584
24	0.006	255	255	255	2280	1588
25	0.009	255	255	255	2088	1613
26	0.003	255	255	255	2082	1618
27	0.006	255	255	255	2064	1619
28	0.003	255	255	255	2066	1632
29	0.003	255	255	255	2075	1637
30	0.006	255	255	255	2050	1648
31	0.003	255	255	255	2066	1657

File	Count	TotalArea	Average Size	%Area	Mean
21 V anoda.JPG	31	204.664	6.602	90.796	255

Gambar 10. Hasil akhir pengukuran ukuran partikel

4.2.2.2 Proses elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan

Pengolahan limbah laboratorium kimia menggunakan metode elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan. Proses elektroflotasi dilakukan dalam sistem batch pada reaktor dengan dimensi 10 (P) x 10 (L) x 15 (T) cm. Penggunaan elektroda berupa anoda grafit 6 (P) x 2 (L) cm (ketebalan 0,5 cm) dan katoda *stainless steel* 9 (P) x 9 (L) 12 mesh *netwire*. Proses pengolahan limbah laboratorium kimia dilakukan pada tegangan DC optimum 21 V dengan variasi waktu 30, 60 dan 90 menit. Waktu optimum ditentukan melalui hasil penentuan TDS, EC turbiditas dan nilai arus pada rentang 3 detik. Proses elektroflotasi ditentukan nilai konsumsi energi melalui persamaan 13.

$$E = \frac{(V \times I \times t)}{V_s} \quad (13)$$

Dimana V adalah potensial tegangan (volt) I arus listrik rata – rata (Ampere), t waktu proses elektroflotasi (jam) dan V_s adalah volume sampel yang digunakan (m^3).

4.2.3. Evaluasi proses peningkatan kinerja elektroflotasi

4.2.3.1 Penambahan biokoagulan sistem tunggal

Biokoagulan biji alpukat dan kulit buah naga digunakan untuk meningkatkan proses elektroflotasi pada pengolahan limbah laboratorium kimia. Proses elektroflotasi menggunakan tegangan DC optimum 21 V selama 60 menit dengan penambahan biokoagulan dengan variasi dosis 50, 100, dan 200 mg/500 mL pada masing masing biokoagulan. Sampel limbah setelah diolah diambil

sebanyak 50 mL dan dianalisis konsentrasi TDS, nilai EC, turbiditas dan logam berat serta nilai (%) penurunan mengacu pada persamaan 14 – 16.

4.2.4.2 Aplikasi sistem kombinasi biokoagulan

Proses sistem kombinasi telah dievaluasi dengan kombinasi dua jenis biokoagulan biji alpukat dan kulit buah naga pada pengolahan limbah laboratorium kimia. Proses elektroflotasi menggunakan tegangan optimum 21 V selama 60 menit dengan penambahan 2 jenis biokoagulan dengan variasi rasio berat kulit buah naga-biji alpukat berupa 25:72, 50:50, dan 75:25 dari dosis 100 mg/500 mL. Sampel limbah setelah diolah diambil sebanyak 50 mL dan dianalisis konsentrasi TDS, nilai EC, turbiditas dan logam berat serta nilai (%) penurunan mengacu pada persamaan 14 – 16.

4.2.4. Analisis Sampel Pengolahan Limbah

Sampel limbah laboratorium kimia sebelum dan setelah proses pengolahan untuk menentukan kinerja proses peningkatan kinerja elektroflotasi. Proses analisis parameter berupa *electrical conductivity* (EC), *total dissolve solids* (TDS), kekeruhan, konsentrasi timbal total (Pb) dan kromium (Cr). Parameter EC, TDS dan kekeruhan diukur menggunakan EC/TDS/Turbidity meter. Konsentrasi logam berat Pb dan Cr dianalisis menggunakan metode SNI-06-6989.8-2004 dengan Spektrofotometer Serapan Atom-Nyala (Flame-AAS).

Proses analisis logam berat Pb dan Cr sebelumnya dilakukan destruksi cair pada sampel uji. Sebanyak 10 mL sampel dimasukkan ke dalam gelas piala dan ditambahkan 0,5 mL asam nitrat 65%. Selanjutnya sampel dipanaskan menggunakan pemanas listrik sampai larutan sampel uji hampir kering. Setelah itu

ditambahkan 5 mL akuades yang ditambahkan asam nitrat 65% sampai pH akuades sama dengan 2, kemudian dimasukkan kedalam labu ukur 10 mL melalui kertas saring dan ditepatkan 10 mL dengan akuades. Analisis logam berat Pb dan Cu dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia.

$$\text{Penurunan Turbiditas (\%)} = \frac{T_0 - T_f}{T_0} \times 100 \quad (14)$$

$$\text{Penurunan Konsentrasi EC (\%)} = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100 \quad (15)$$

$$\text{Penurunan Konsentrasi TDS dan Logam Berat (\%)} = \frac{L_0 - L_f}{L_0} \times 100 \quad (16)$$

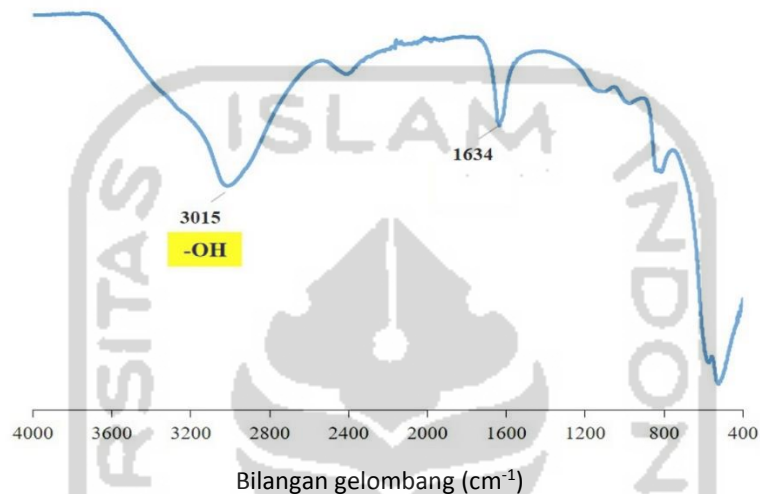
Dimana T_0 adalah kondisi kekeruhan (NTU) awal sampel dan T_f adalah kondisi setelah proses pengolahan sampel, C_0 dan C_f adalah nilai konduktivitas (mS/cm) sebelum dan setelah proses pengolahan. Sedangkan L_0 dan L_f adalah konsentrasi TDS, Pb dan Cr (mg/L) sebelum dan setelah proses pengolahan.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Evaluasi Kemampuan Biokoagulan

5.2.1 Komponen Gugus Fungsi pada Biokoagulan



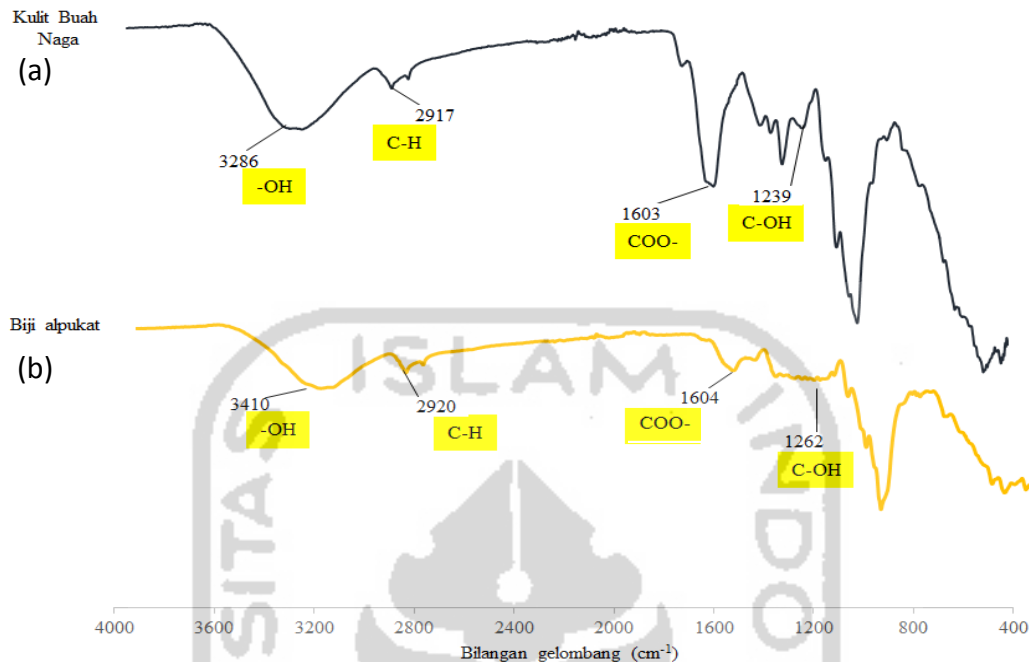
Gambar 11. Spektra IR *Poly Aluminum Chloride*

Kandungan kimia yang terdapat pada biokoagulan dapat menyebabkan proses destabilisasi komponen muatan negatif suatu partikel. Kondisi stabil pada suatu sistem koloid dapat dilakukan melalui penambahan koagulan yang terdapat komponen polielektrolit. Sehingga, keberadaan komponen polielektrolit dapat ditentukan melalui karakterisasi gugus fungsi dalam sampel biokoagulan. Karakterisasi gugus fungsi menggunakan *Fourier Transform-Infrared Spectrophotometer* (FT-IR) dapat menentukan komponen senyawa pada biokoagulan. Gambar 11 menunjukkan bahwa terdapat pelebaran puncak pada 3015 cm^{-1} yang menandakan vibrasi gugus fungsi -OH. Kemunculan peak pada 1634 cm^{-1} merupakan ikatan molekular yang terserap. Hal tersebut menunjukkan komponen poli alumunium klorida dalam sampel koagulan. PAC merupakan

koagulan sintetik yang telah umum digunakan pada proses koagulasi-flokulasi memiliki rumus molekul umum $[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]$. Senyawa tersebut merupakan polimer antara monomer $AlCl_3$ dan $Al(OH)_3$ melalui ikatan yang dijumpai gugus hidroksil yang merupakan gugus aktif (Zhou et al. 2014).

Penggunaan biokoagulan dalam penelitian ini yaitu biji alpukat dan kulit buah naga merupakan biokoagulan berbasis tanin dan pektin. Penentuan gugus fungsi seperti hidroksi ($-OH$), karbonil ($C=O$) dan karbonil karboksilat (COO) yang merupakan gugus aktif penyusun struktur polimer tanin dan pektin. Gugus fungsi tersebut adalah komponen aktif dalam proses destabilisasi partikel koloid pada proses koagulasi-flokulasi (Kumar et al. 2016).

Penentuan gugus fungsi pada biokoagulan berbasis kulit buah naga telah dievaluasi melalui spektra inframerah pada Gambar 12 (a). Daerah serapan didapatkan pada puncak 3286 cm^{-1} yang merupakan daerah yang dihasilkan vibrasi gugus O-H ($2400-3600\text{ cm}^{-1}$). Pita serapan vibrasi pada C-H metil ester senyawa asam galacturonat ($2900-2950\text{ cm}^{-1}$) didapatkan pada puncak 2917 cm^{-1} . Diperolehnya puncak pada 1603 cm^{-1} yang termasuk pita serapan $1600-1645\text{ cm}^{-1}$ dihasilkan oleh gugus C=O karbonil (ester). Serapan rendah berupa 1239 cm^{-1} didapatkan pada vibrasi C-OH ($1200-1300\text{ cm}^{-1}$). Gugus fungsi yang didapatkan melalui spektra menentukan terdapatnya komponen penyusun struktur pektin terhadap kulit buah naga. Struktur yang membentuk polimer pektin berupa rantai linear alfa (1-4) yang menghubungkan (*linked*) D-asam galacturonat yang menjadikan senyawa pektin mempunyai gugus fungsi hidroksi dan karboksilat (Nagarajan et al. 2019).



Gambar 12. Spektra IR kulit buah naga (a) dan biji alpukat (b)

Gambar 12 (b) menunjukkan spektra biokoagulan biji alpukat, didapatkan penyerapan peak pada bilangan 3410 cm^{-1} pada gugus -OH. Selain itu, serapan pada peak daerah $2800\text{-}3000 \text{ cm}^{-1}$ (2920 cm^{-1}) dihasilkan oleh vibrasi rantai -CH- dan -CH₂ alifatik. Adapun daerah serapan $1600\text{-}1700 \text{ cm}^{-1}$ merupakan serapan vibrasi gugus fungsi COO, didapatkan oleh puncak pada 1604 cm^{-1} dan daerah serapan $1200\text{-}1400 \text{ cm}^{-1}$ yang dihasilkan oleh vibrasi C-OH didapatkan pada perolehan puncak 1262 cm^{-1} . Penentuan gugus fungsi yang dihasilkan pada spektra mengindikasikan terdapatnya struktur polimer tanin yang terkandung pada biji alpukat. Tanin merupakan senyawa metabolit sekunder golongan polifenol, dimana gugus fungsi -OH dan C=O dapat berinteraksi dengan partikel bermuatan positif dan negatif yang terkandung dalam limbah (Hameed et al. 2016).

5.2.2 Perbandingan PAC dan Biokoagulan pada proses koagulasi

Proses remediasi limbah laboratorium kimia dilakukan menggunakan metode koagulasi menggunakan biokoagulan yang telah dipreparasi berupa biji alpukat dan kulit buah naga serta koagulan sintetik poli aluminium klorida (PAC). Hal tersebut bertujuan untuk menentukan kemampuan biokoagulan dalam pengolahan limbah, dibandingkan dengan koagulan sintetik. Hasil yang diperoleh berupa parameter pada limbah sebelum dan setelah diolah melalui parameter zat padat terlarut (TDS), konduktivitas, turbiditas serta % indeks berat endapan setelah proses presipitasi selama 3 jam.

Tabel 3. Hasil remediasi limbah proses koagulasi dan nilai % berat endapan

Parameter	Limbah Awal	Dosis Koagulan					
		PAC (mg)	Hasil	BA (mg)	Hasil	KN (mg)	Hasil
EC (mS/cm)	0,93	50	0,93	50	0,81	25	0,88
TDS (mg/L)	653	50	667	50	603	25	624
Turbiditas (NTU)	104	100	5,64	100	26,9	100	25
% berat endapan	-	100	87,62	100	83,57	100	93,95
PAC (poly aluminum chloride)							dosis mg/250 mL
BA (biji alpukat)							
KN (kulit buah naga)							

Tabel 3 menunjukkan hasil proses koagulasi menggunakan PAC dan biokoagulan terhadap konsentrasi TDS, nilai konduktivitas, turbiditas dan (%) berat endapan. Penggunaan koagulan PAC pada pengolahan limbah dihasilkan konsentrasi TDS dan nilai konduktivitas sebesar 667 mg/L dan 0,93 mS/cm dengan dosis koagulan 50 mg/250 mL. Proses koagulasi menggunakan PAC tidak dapat menurunkan konsentrasi TDS dan nilai EC dari limbah mula-mula. Hal tersebut

menyebabkan zat aktif koagulan sintetik berbasis polimer tidak dapat mengolah komponen partikel ion dalam sistem limbah. Hasil turbiditas dan berat endapan(%) yang diperoleh proses koagulasi menggunakan PAC yaitu sebesar 5,64 NTU dan 87,62%. Penggunaan PAC pada penurunan nilai turbiditas sangat efektif dibandingkan parameter TDS dan EC (Rumapea. 2009).

Hasil yang didapatkan setelah proses koagulasi oleh biokoagulan dengan limbah awal ditunjukkan oleh Tabel 1. Hal tersebut dapat dinyatakan bahwa konsentrasi TDS dan nilai konduktivitas paling rendah didapatkan oleh penambahan biokoagulan biji alpukat sebanyak 50 mg/250 mL, dimana konsentrasi TDS dan nilai konduktivitas sebesar 603 mg/L dan 0,81 mS/cm. Sedangkan pada biokoagulan kulit buah naga didapatkan pada penambahan 25 mg/250 mL dengan konsentrasi TDS dan nilai konduktivitas secara berturut turut 630 mg/L dan 0,88 mS/cm.

Penggunaan biokoagulan dalam menurunkan nilai turbiditas terdapat pada Tabel 3. Limbah laboratorium kimia sebelum proses koagulasi mempunyai nilai turbiditas sebesar 104 NTU. Proses koagulasi mempengaruhi nilai turbiditas disebabkan interaksi zat aktif koagulan melalui pembentukan flok pada limbah. Penggunaan biokoagulan dalam meredusi nilai turbiditas paling rendah oleh penambahan biji alpukat dan kulit buah naga pada dosis 100 mg/250 mL, dengan nilai turbiditas secara berturut-turut 26,9 dan 25 NTU.

Kemampuan biokoagulan dapat didukung melalui penentuan potensi limbah baru berupa endapan yang terbentuk oleh proses koagulasi-flokulasi. Penentuan potensi limbah baru dilakukan dengan nilai % indeks berat endapan yang diperoleh

pada jenis koagulan setelah proses koagulasi. Tabel 1 menunjukkan nilai %berat endapan pada biokoagulan biji alpukat dan kulit buah naga serta koagulan sintetik PAC. Biokoagulan biji alpukat dan kulit buah naga mempunyai nilai %Indeks berat endapan sebesar 83,62% dan 93,95%. Sedangkan pada koagulan sintetik didapatkan nilai %indeks berat endapan sebesar 87,62%. Hasil tersebut menggambarkan kestabilan pembentukan endapan dan flok pada biji alpukat dapat berkurang karena faktor pemanasan dibandingkan biokoagulan kulit buah naga dan koagulan sintetik PAC.

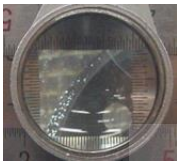
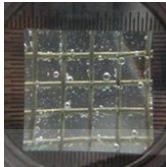
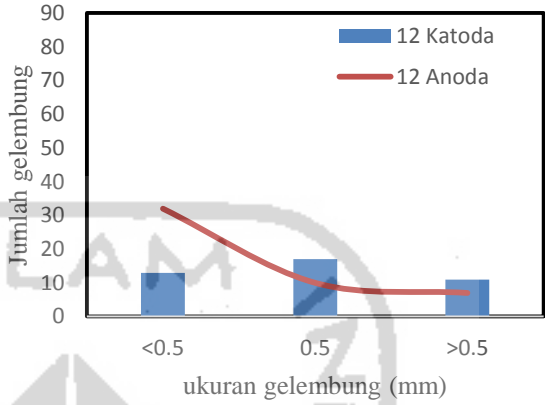

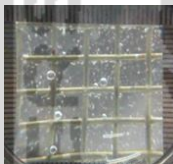
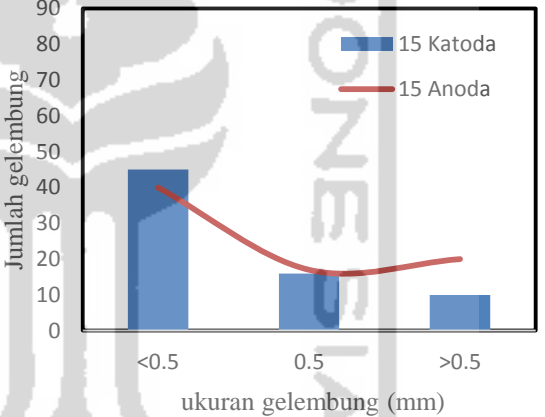
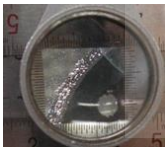
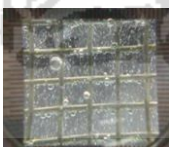
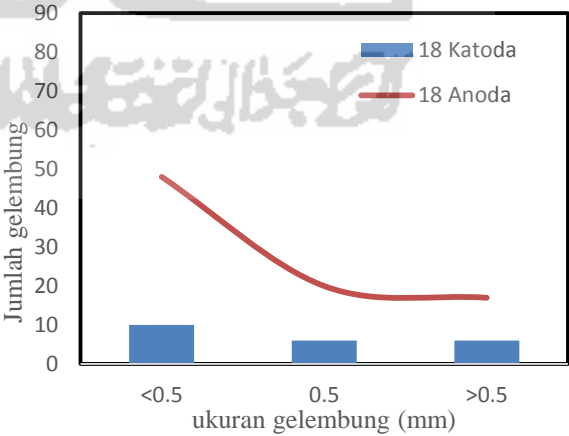
5.2. Proses Elektroflotai

5.2.1 Tegangan Optimum dan Distribusi Ukuran Gelembung

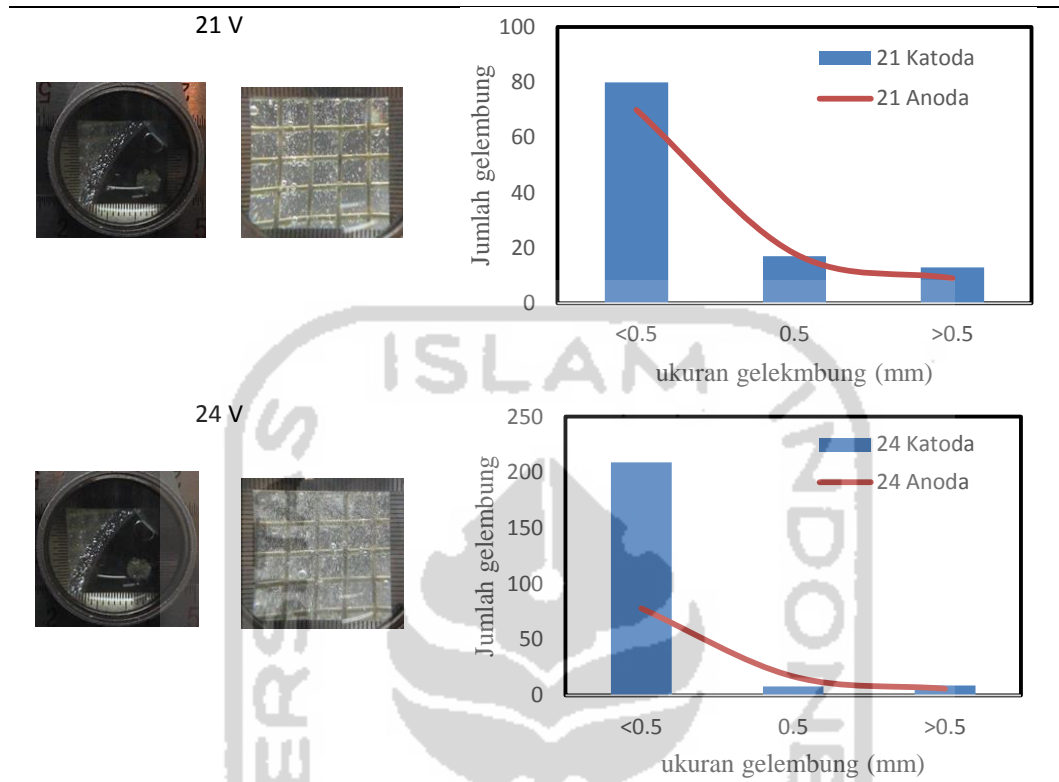
Proses elektroflotasi melibatkan interaksi antara gelembung gas oksigen dan hidrogen dengan limbah dalam pengapungan partikel ion dan zat padat tersuspensi. Gelembung gas yang dihasilkan dipengaruhi oleh tegangan DC, kerapatan arus, jenis elektroda dan kondisi pH larutan. Penentuan tegangan optimum dilakukan untuk menghasilkan tegangan DC optimal pada proses pengolahan limbah laboratorium dengan metode elektroflotasi. Pengamatan dilakukan melalui citra pembentukan gelembung pada permukaan elektroda yang dihitung secara manual. Pembentukan gelembung gas pada anoda dan katoda dikelompokkan pada ukuran $<0,5$; $0,5$; $>0,5$ mm.

Tegangan optimum didapatkan oleh 21 V yang ditunjukkan pada Tabel 4 mendapatkan hasil pengamatan pembentukan gelembung gas pada permukaan elektroda. Diameter ukuran gelembung gas ditentukan secara manual dengan mengukur menggunakan penggaris (ketelitian 0,5 mm), kemudian dikelompokkan

Tabel 4. Hasil pengukuran distribusi gelembung secara manual

Citra		Distribusi ukuran gelembung												
Anoda	Katoda													
12 V														
		 <table border="1"> <caption>Data for 12 V Bubble Distribution</caption> <thead> <tr> <th>ukuran gelembung (mm)</th> <th>12 Katoda (Jumlah gelembung)</th> <th>12 Anoda (Jumlah gelembung)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><0.5</td> <td>12</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>18</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>>0.5</td> <td>10</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>	ukuran gelembung (mm)	12 Katoda (Jumlah gelembung)	12 Anoda (Jumlah gelembung)	<0.5	12	32	0.5	18	10	>0.5	10	8
ukuran gelembung (mm)	12 Katoda (Jumlah gelembung)	12 Anoda (Jumlah gelembung)												
<0.5	12	32												
0.5	18	10												
>0.5	10	8												
15 V														
		 <table border="1"> <caption>Data for 15 V Bubble Distribution</caption> <thead> <tr> <th>ukuran gelembung (mm)</th> <th>15 Katoda (Jumlah gelembung)</th> <th>15 Anoda (Jumlah gelembung)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><0.5</td> <td>45</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>>0.5</td> <td>10</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>	ukuran gelembung (mm)	15 Katoda (Jumlah gelembung)	15 Anoda (Jumlah gelembung)	<0.5	45	40	0.5	15	15	>0.5	10	20
ukuran gelembung (mm)	15 Katoda (Jumlah gelembung)	15 Anoda (Jumlah gelembung)												
<0.5	45	40												
0.5	15	15												
>0.5	10	20												
18 V														
		 <table border="1"> <caption>Data for 18 V Bubble Distribution</caption> <thead> <tr> <th>ukuran gelembung (mm)</th> <th>18 Katoda (Jumlah gelembung)</th> <th>18 Anoda (Jumlah gelembung)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><0.5</td> <td>10</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>0.5</td> <td>6</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>>0.5</td> <td>6</td> <td>17</td> </tr> </tbody> </table>	ukuran gelembung (mm)	18 Katoda (Jumlah gelembung)	18 Anoda (Jumlah gelembung)	<0.5	10	48	0.5	6	18	>0.5	6	17
ukuran gelembung (mm)	18 Katoda (Jumlah gelembung)	18 Anoda (Jumlah gelembung)												
<0.5	10	48												
0.5	6	18												
>0.5	6	17												

Lanjutan Tabel 2



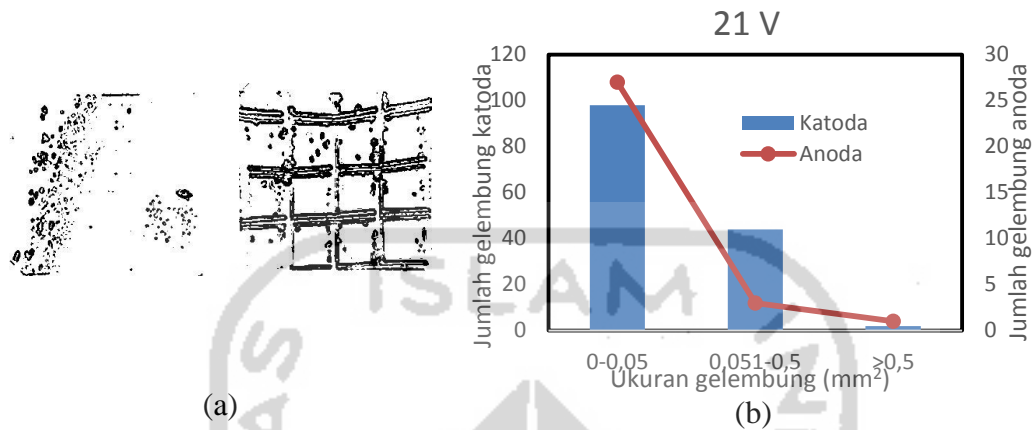
berdasarkan 3 kategori yaitu <0,5; 0,5 dan >0,5 mm. Hasil distribusi tegangan 21 V didapatkan ukuran tertinggi pada kategori <0,5 mm serta rendahnya selisih jumlah pembentukan gelembung gas pada anoda dan katoda. Jumlah selisih rendah juga terdapat pada distribusi pembentukan gelembung gas menggunakan tegangan 15 V dengan ukuran tertinggi pada kategori <0,5 mm. Jumlah distribusi yang didapatkan lebih sedikit dibandingkan dengan tegangan 21 V. Distribusi terhadap produksi gelembung tegangan 12 V dihasilkan jumlah gelembung kurang dari 50 dengan ukuran tertinggi pada anoda dan katoda secara berturut-turut pada ukuran 0,5 dan <0,5. Tegangan rendah yang diberikan pada proses elektroflotasi, tidak dapat menghasilkan pembentukan ukuran gelembung secara optimal pada anoda dan katoda (Liuyi et al.2014).

Distribusi yang dihasilkan oleh tegangan 18 V didapatkan ukuran tertinggi pada anoda dengan kategori $<0,5$ mm, akan tetapi jumlah distribusi gelembung pada katoda rendah menyebabkan selisih pembentukan gelembung antara katoda dan anoda cukup tinggi. Tegangan 24 V didapatkan distribusi ukuran gelembung tertinggi terdapat pada katoda dengan kategori $<0,5$ mm. Perbedaan hasil dengan pembentukan gelembung pada anoda menyebabkan selisih pembentukan gelembung antara katoda dan anoda tinggi. Penentuan tegangan optimal merupakan hal penting dalam proses elektrofotasi. Tegangan yang sesuai dapat menjamin proses tubrukan serta perekatan gelembung dengan partikel yang akan meningkatkan efektivitas proses elektrofotasi (Alam. 2015).

Tegangan optimum 21 V yang didapatkan ditentukan validasinya melalui proses verifikasi dengan menggunakan pengolahan citra yang dihasilkan menggunakan *free-software ImageJ*. Citra yang telah diproses dilakukan analisis ukuran partikel untuk menentukan luas area pada bercak yang dihasilkan. Luas area yang dihasilkan ditentukan ukuran diameter partikel gelembung menggunakan persamaan 1, sehingga hasil ukuran diameter yang dikelompokkan terhadap kategori 1 (0-0,1 mm), 2 (0,1-0,5 mm), 3 ($>0,500$ mm) melalui frekuensi jumlah gelembung yang dihasilkan dalam proses validasi menentukan tegangan optimum.

Hasil verifikasi menentukan tingkat validasi pada penentuan distribusi ukuran gelembung secara manual. Hasil analisis citra pada tegangan 21 V dihasilkan jumlah distribusi gelembung pada kelompok 1, 2, dan 3 secara berturut-turut yaitu 98, 44 dan 2 pada katoda serta 27, 3, dan 1 pada anoda. Distribusi produksi gas didapatkan jumlah maksimal pada kelas 2 (0,051-0,5 mm) yang merupakan ukuran

gelembung optimum yang digunakan pada proses elektroflotasi, ditunjukkan pada Gambar 12 (Sarkar et al. 2010).



Gambar 13. Hasil analisis citra (a) dan pengukuran distribusi gelembung (b) menggunakan ImageJ

5.2.2 Pengaruh waktu pada proses elektroflotasi

Tabel 5 menunjukkan hasil dari proses elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan dengan variasi waktu sebesar 30, 60 dan 90 menit. Hasil tersebut menunjukkan karakter fisiko-kimia limbah laboratorium yang terdiri dari EC, TDS dan turbiditas. Pemanfaatan potensial listrik pada elektroflotasi menyebabkan terjadinya konsumsi energi yang dibutuhkan pada proses pengolahan limbah.

Tabel 5. Hasil pengaruh waktu proses elektroflotasi

Kondisi	EC (mS/cm)	TDS(mg/L)	Turbiditas (NTU)	x Arus (A)	Konsumsi energi (Wh/m ³)
Limbah awal	0,63	444	43,5		
30 m	0,52	419	9,68	0,006783	142,89
60 m	0,52	393	9,51	0,006239	262,04
90 m	0,71	508	21,6	0,008966	564,86

Waktu optimum didapatkan pada waktu 60 menit dengan nilai EC, TDS, Turbiditas dan konsumsi energi secara berturut-turut yaitu 0,52 mS/cm, 393 mg/L,

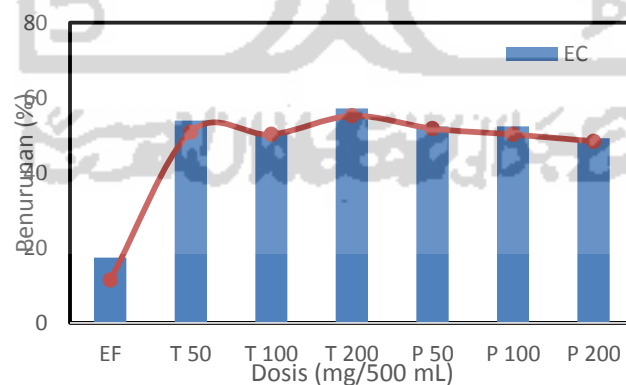
9,51 NTU dan 262,038 Wh/m³. Pada waktu 30 menit penurunan nilai sifat fisika-kimia tidak optimal dari kondisi sebelum pengolahan limbah laboratorium. Hal tersebut disebabkan kinetika pada proses elektroflotasi belum optimal dalam mengapungkan flok – flok yang terbentuk. Perbedaan pada waktu 90 menit, didapatkan nilai sifat fisika-kimia yang melebihi nilai pada kondisi sebelum pengolahan. Proses waktu yang terlalu lama menyebabkan penurunan sifat agregasi pada flok – flok yang terbentuk. Penggunaan elektroda karbon juga dapat mempengaruhi peningkatan peluruhan pada proses elektrolisis (Sarkar et al. 2011).

5.3 Proses Elektroflotasi-Biokoagulasi

Pembentukan gelembung gas hidrogen dan oksigen pada elektroda melalui reaksi reduksi dan oksidasi molekul air yang dimanfaatkan pada proses pengapungan partikel padat tersuspensi maupun partikel ion pada limbah pada metode elektroflotasi. Proses remediasi limbah laboratorium kimia dilakukan dengan metode elektroflotasi serta proses peningkatan kinerja elektroflotasi melalui penambahan biokoagulan. Penambahan agen koagulan yang mengandung senyawa bersifat polielektrolit yang dapat mempengaruhi kesetabilan koloid dalam pembentukan partikel besar berupa flok, kemudian diapungkan kepada permukaan oleh gas hidrogen dan oksigen. Partikel besar yang terbentuk dalam sistem limbah dapat menempel pada gelembung gas sehingga dapat meningkatkan kinerja elektroflotasi dalam mengolah limbah laboratorium (Kyaz dan Matis. 2016).

5.3.2 Pengaruh dosis tunggal pada penurunan TDS, EC, dan Turbiditas

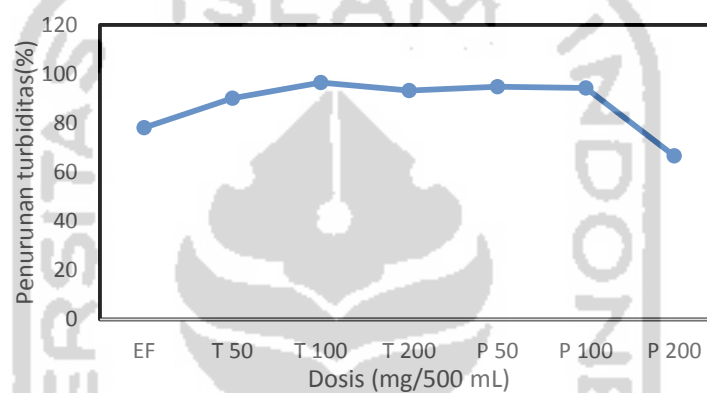
Gambar 14 menunjukkan persen penurunan konsentrasi TDS dan nilai konduktivitas pada proses elektroflotasi dengan penambahan biokoagulan biji alpukat dan kulit buah naga dosis tunggal meliputi 50, 100, dan 200 mg/500 mL. Hasil optimal pada biokoagulan biji alpukat didapatkan pada dosis 200 mg/500 mL dengan konsentrasi TDS dan nilai konduktivitas secara berturut-turut yaitu 199 mg/L (55,18%) dan 0,27 mS/cm (57,14%). Berbeda dengan biokoagulan kulit buah naga, didapatkan pada dosis 50 mg/500 mL dengan konsentrasi TDS dan nilai konduktivitas secara berturut-turut 214 mg/L (51,80%) dan 0,3 mS/cm (52,38%). Diperolehnya hasil optimal menunjukkan dosis optimum yang dapat digunakan pada pengolahan limbah cair. Hasil penurunan konsentrasi TDS dan konduktivitas pada proses elektroflotasi tanpa biokoagulan didapatkan secara berturut-turut yaitu 393 mg/L (11,49%) dan 0,52 mS/cm (17,46%). Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan biokoagulan dosis tunggal dapat meningkatkan kinerja elektroflotasi.



Gambar 14. Hasil pengaruh dosis tunggal terhadap (%)penurunan TDS dan EC

Gambar 15 menunjukkan hasil persen penurunan turbiditas setelah proses peningkatan kinerja elektroflotasi menggunakan sistem dosis tunggal dan kombinasi. Hasil optimal pada biji alpukat didapatkan oleh dosis 100 mg/ 500 mL

dengan nilai turbiditas 1,49 NTU (96,57%). Sedangkan pada kulit buah naga didapatkan dosis 50 mg/ 500 mL dengan nilai turbiditas sebesar 2,26 NTU (94,8046%). Perbandingan hasil dengan proses elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan didapatkan nilai turbiditas 9,51 NTU (78,14%), oleh karena itu penambahan biokoagulan sistem dosis tunggal dapat meningkatkan kinerja elektroflotasi terhadap penurunan nilai turbiditas.



Gambar 15. Pengaruh dosis biokoagulan terhadap (%) penurunan turbiditas

5.3.3 Pengaruh dosis tunggal pada penurunan logam berat

Penurunan konsentrasi logam berat berupa logam timbal (Pb) dan logam kromium (Cr) pada hasil pengolahan limbah laboratorium dengan peningkatan kinerja elektroflotasi. Hasil proses peningkatan melalui penambahan biokoagulan sistem tunggal dan kombinasi didapatkan pada Tabel 6. Jenis biokoagulan dosis tunggal menghasilkan penurunan konsentrasi logam timbal optimal didapatkan oleh biji alpukat dan kulit buah naga pada dosis 50 mg/500 mL dengan konsentrasi 0,645 mg/L (6,657%) dan 0,448 mg/L (35,1664%).

Tabel 6. Hasil penurunan konsentrasi logam berat dengan proses peningkatan kinerja elektroflotasi

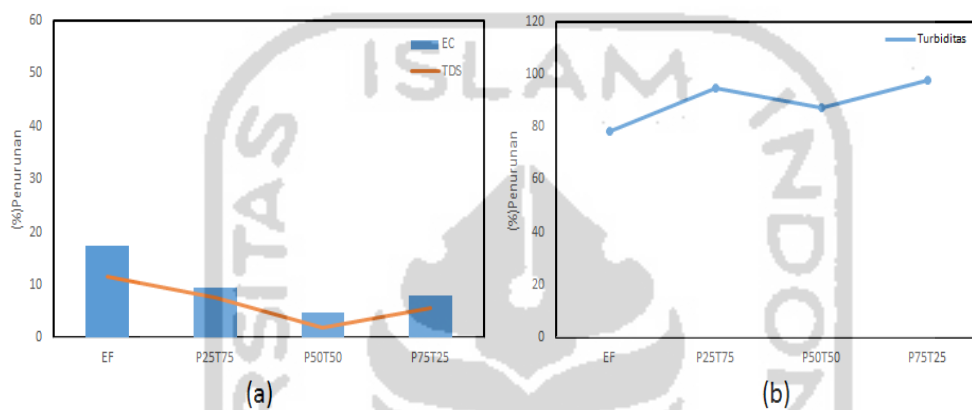
Dosis (mg/500 mL)	Konsentrasi (mg/L)	
	Logam Pb	Logam Cr
Limbah awal	0,691	0,436
Elektroflotasi	0,615 (11,00%)	0,086 (80,27%)
BA 50	0,645 (6,66%)	0,311 (28,67%)
BA 100	0,66 (4,49%)	Nilai
BA 200	0,691 (0%)	0,27 (38,07%)
KN 50	0,448 (35,17%)	0,156 (64,22%)
KN 100	0,508 (26,48%)	0,333 (23,62%)
KN 200	0,509 (26,34%)	0,433 (0,69%)
BA (biji alpukat) KN (kulit buah naga)	dosis mg/500 mL	
Angka (%):persen penurunan.		
Nilai : diluar batas deteksi		

Penurunan konsentrasi logam kromium terdapat hasil berbeda dengan penurunan logam timbal, disebabkan kestabilan logam kromium yang mudah mengalami oksidasi. Hasil penurunan logam kromium ditunjukkan pada Tabel 4, dimana hasil optimal pada biokoagulan dosis tunggal didapatkan dengan dosis 200 mg/500 L pada biji alpukat dan 50 mg/500 mL pada kulit buah naga dengan konsentrasi logam kromium sebesar 0,27 mg/L (38,07%) dan 0,156 mg/L (64,22%).

5.3.4 Pengaruh sistem kombinasi biokoagulan terhadap penurunan TDS, EC dan turbiditas

Hasil dari proses peningkatan kinerja elektroflotasi menggunakan sistem kombinasi terdapat pada Gambar 15 (a). Penggunaan kombinasi biokoagulan jenis pektin dan tanin melalui perbandingan berat pektin:tanin yang terdiri dari 25:75; 50:50; dan 75:25 terhadap 100 mg/ 500 mL. Perbandingan optimal didapatkan oleh

kombinasi P25:T75 dimana didapatkan konsentrasi TDS dan konduktivitas sebesar 410 mg/L (7,66%) dan 0,57 mS/cm (9,52%). Hasil dari peningkatan kinerja elektroflotasi dengan sistem kombinasi belum optimal terhadap penurunan konsentrasi TDS dan konduktivitas jika dibandingkan dengan persen penurunan proses elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan.



*T : Tanin (biji alpukat) P : pektin (kulit buah naga) P_xT_y (perbandingan pektin:tanin dalam 100 mg/500 mL

Gambar 16. Hasil pengaruh sistem kombinasi biokoagulan terhadap penurunan TDS dan EC (a) dan turbiditas (b)

Sistem kombinasi pada Gambar 15 (b) digunakan pada proses peningkatan kinerja elektroflotasi dengan penambahan kombinasi biokoagulan didapatkan hasil optimal pada perbandingan jenis biokoagulan pektin:tanin yaitu 75:25 dengan nilai turbiditas 1,07 NTU (97,54%). Berbeda dengan parameter penurunan TDS dan konduktivitas, sistem kombinasi biokoagulan dapat meningkatkan kinerja elektroflotasi terhadap penurunan konduktivitas. Hal tersebut menjelaskan bahwa proses destabilisasi sistem koloid dapat mengalami proses agregasi sehingga terjadi pembentukan flok.

5.3.5 Pengaruh sistem kombinasi biokoagulan terhadap penurunan logam berat

Tabel 7 menunjukkan hasil sistem kombinasi terhadap penurunan konsentrasi logam timbal didapatkan pada rasio KN:BA yaitu 25:75 dengan konsentrasi logam timbal sebesar 0,569 mg/L (17,66%). Hasil pada proses elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan didapatkan konsentrasi logam sebesar 0,615 mg/L (11,00%). Oleh karena itu, menunjukkan bahwa penggunaan sistem tunggal jenis pektin (buah kulit naga) dan sistem kombinasi dapat meningkatkan kinerja elektroflotasi, sedangkan pada biokoagulan jenis tanin tidak dapat meningkatkan kinerja elektroflotasi secara optimal.

Tabel 7. Hasil penurunan konsentrasi logam berat dengan proses peningkatan kinerja elektroflotasi

Dosis (mg/500 mL)	Konsentrasi (mg/L)	
	Logam Pb	Logam Cr
Limbah Awal	0,691	0,436
Elektroflotasi	0,615 (11,00%)	0,086 (80,27%)
KN25BA75	0,569 (17,66%)	0,444 (-1,83%)
KN50BA50	0,584 (15,48%)	0,599 (-37,38%)
KN75BA25	0,63 (8,28%)	0,381 (12,61%)

BA (biji alpukat) KN (kulit buah naga) KN_xBA_y (perbandingan pektin:tanin dalam 100 mg/500 mL
%persen penurunan.

Perbandingan optimal pada sistem kombinasi didapatkan kan pada perbandingan KN:BA yaitu 25:75 dengan nilai konsentrasi 0,381 mg/L (12,61%). Hasil yang didapatkan proses elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan, didapatkan konsentrasi logam kromium sebesar 0,086 mg/L (80,27%). Melalui perbandingan tersebut menunjukkan penggunaan biokoagulan sistem dosis tunggal dan sistem kombinasi belum optimal dalam meningkatkan kinerja elektroflotasi.

BAB VI

KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Melalui hasil penelitian yang diperoleh, kesimpulan yang bisa didapatkan yaitu:

1. Biji alpukat dan kulit buah naga memiliki kemampuan sebagai biokoagulan melalui karakterisasi gugus fungsi hidroksi (OH) dan karboksil (COOH) melalui karakterisasi FT-IR serta %berat endapan yang didapatkan sebesar 83,57% dan 93,95% dalam proses destabilisasi koloid dan pembentukan flok.
2. Penggunaan biokoagulan berbasis tanin dan pektin pada sistem dosis biokoagulan tunggal dapat meningkatkan kinerja elektroflotasi melalui persen penurunan nilai TDS dan konduktivitas optimal dengan dosis biokoagulan tanin dan pektin 200 mg/500 mL, 50 mg/L dengan nilai 199 mg/L (55,18%) dan 0,27 mS/cm (57,14%) serta 214 mg/L (51,80%) dan 0,3 ms/cm (52,38%). Penurunan turbiditas optimal pada dosis 100 mg/500 mL dan 50 mg/500 mL dengan nilai 1,49 NTU (96,57%) dan 2,26 NTU (94,80%). Konsentrasi logam berat timbal optimal pada biji alpukat dan kulit naga pada dosis 50 mg/ 500 mL dengan konsentrasi logam yaitu 0,645 mg/L (6,66%), 0,448 mg/L (35,17%). Penurunan terhadap logam kromium dengan dosis 200 mg/ 500 mL, 50 mg/500 mL dengan konsentrasi logam sebesar 0,27 mg/L (38,07%), 0,156 mg/L (64,22%).

3. Penggunaan sistem kombinasi biokoagulan paling optimal dengan nilai penurunan TDS dan EC pada perbandingan pektin:tanin 25:75 dengan konsentrasi TDS dan nilai EC sebesar 410 mg/L (7,66%) dan 0,37 mS/cm (9,52%). Hasil optimal pada penurunan turbiditas diperoleh perbandingan 75:25 dengan nilai turbiditas 1,07 NTU (97,54%). Perolehan konsentrasi logam berat didapatkan pada perbandingan 25:75 dengan konsentrasi timbal 0,645 mg/L (6,66%) dan perbandingan 75:25 dengan konsentrasi kromium 0,381 mg/L (12,61%).

6.2. Saran

Eksplorasi pemanfaatan biokoagulan baru dengan kadar tanin dan pektin yang tinggi serta perlakuan ekstraksi terhadap biokoagulan. Proses elektroflotasi *steady system* menyebabkan perpindahan flok tidak optimal, sehingga dapat dilakukan proses kontinyu dengan sistem limbah yang bergerak.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, R. 2015. *Fundamentals of Electroflotation and Electrophoresis and Application in Soil Sand Tailing Management*. Disertasi. Departement of Civil and Environmental Engineering. University of Western Ontario.
- Alam, R., dan Shang, J.Q., 2016. Electrochemical Model of Electro-flotation. *Journal of Water Process Engineering*. 12: 78-88.
- Anthony, R. J., dan Sims, R. C. 2013. Optimization of Cationic Amino Starch Synthesis Using Biogenic Amines. *Carbohydrates Polymers*. 98(2): 1409-1415.
- Antonyova A., dan Antony, P. 2017. Electro-flotation as The Method of The Water Treatment in Recycling Process of Contaminated Water as an Integral Part of The Reverse Logistic System. *Preprints Creative Commons CC*: doi:10.20944/preprints201712.0147.v1.
- Aoudj, S., Khelifa, A., dan Drouche, N. 2017. Removal of Fluoride, SDS, Ammonia and Turbidity from Semiconductor Wastewater by Combined Electrocoagulation-electroflotaion. *Chemosphere*. 180: 379-387.
- Barbosa, A. D., Silva, L. F. D., Paula, H. M. D., Romualdo, L. L., Sadoyama, G., dan Andrade, L. S., 2018. Combined Use of Coagulation (*M. oleifera*) and Electrochemical Technique in Treatment of Industrial Paint Wastewater for Reuse and/or Disposal. *Water Research*. 145: 153-161.
- Cahyo, P.N., Hadi, M.P., dan Adji, T.N. 2016. Pengaruh Potensi Sumberdaya Air Terhadap Pola Penggunaan Kebutuhan Domestik di Kecamatan Eromoko Kabupaten Wonogiri. *Majalah Geografi Indonesia*. 30(02): 196-206.
- Chang, Q. 2011. *Flocculation in Water Treatment 2nd*. Chemical Industry Press. Beijing.
- Choy, S. Y., Murthy, K., Prasad, N., Wu, T. Y., Ramanan, R. N. 2014. Utilization of Plant-Based Natural Coagulants as Future Alternative Towards Sustainable Water Clarificaition. *Journal Environment Science*. 26(11): 2178-2189.
- Choy, S. Y., Prasad, K. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., dan Ramanan, R. N., 2016. Performance of Conventional Starches as Natural Coagulants for Turbidity Removal. *Ecological Engineering*. 94:352-364.
- Day, R. A., dan Underwood, A. L. 2001. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Erlangga. Jakarta.
- David, C. L. E., Crispin, C. Z. A., Luis, P. M., dan Oscar, R. A. E. 2018. The Coagulant Activity of The Seeds of *Psidium guajava L.* and The Epiderm of *Persea americana Mill.* in Samples of Water from The Bogota River (Choconta-Villapinzon). *Indian Journal of Science and Technology*. 11(21): 1-7.

- Ejiofor, N. C., Ezeagu, I. E., Ayoola, M. B., dan Umera, E. A., 2018, Determination of the Chemical Composition of Avocado (*Persea Americana*) Seed, *Advances in food technology and nutritional sciences*, **2**, S51-S55.
- Environment, Health and Safety Committee-Royal Society of Chemistry. 2014. *Waste Management in Chemical Laboratories Version-3*. Royal Society of Chemistry. London.
- Fenyvesi, E., Barack, K., Gruiz, K., Varga, E., Kenyeres, I., Zaray, G., dan Szente, L. 2020. Removal of Hazardous Micropollutant from Treated Wastewater Using Cyclodextrin Bead Polymer – A Pilot Demonstration Case. *Jornal Hazardous Materials*. 383: 121181.
- Halimah, A. D. N., Istiqomah, I., dan Rohmah S. S. 2014. Pengolahan Biji Alpukat untuk Pembuatan Dodol Pati Sebagai Alternatif Pengobatan Ginjal. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*. 4(1): 32-37.
- Hameed, T. T., Idris, A., Hussain, S. A., dan Abdullah, N. 2016. A Tannin-based Agent for Coagulation and Flocculation of Municipal Wastewater: Chemical Composition, Performance Assessment Compared to Polyaluminum Chloride, and Application in a Pilot Plant. *Journal of Environmental Management*. 184:494-503.
- Hameed, Y. T., Idris, A., Hussain, S. A., Abdullah, N., Man, H. C., dan Suja, F. 2018. A Tannin-based Agent for Coagulation and Flocculation of Municipal Wastewater as a Pretreatment for Biofilm Process. *Journal of Cleaner Production*. 182: 198-205.
- Hendrawati, Desly S., dan Nurhasni, 2013, Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indicus L.*) dan Biji Kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus L.*) Sebagai Koagulan Alami Dalam Perbaikan Kualitas Air Tanah. *Valensi*. 3: 22-33.
- Hubbard, A. T. 2002. *Encyclopedia of Surface and Colloid Science – Volume I ed.* I. CRC Press. London.
- Ismail, S.N.S., Mahiddin, N.A.K., dan Preveena, S.M., 2018, The Used of Dragon Fruit Peels as Eco-Friendly Wastewater Coagulants, *Asian J Agri & Biol*, 66-71.
- Jeffrey, G. H., Basset, J., Mendham, J., dan Denney, R. C. 1989. *Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis 5th Edition*. Longman Scientific & Technical. New York.
- Khelifa, A., Moulay, S., dan Naceur, A.W. 2005. Treatment of Metal Finishing Effluent by Electroflotation Technique. *Desalination*. 181: 27-33.
- Khelifa, A., Moulay, S., dan Petris-wery, M. D. 2013. A One-step Electrochlorination/Electroflotation Process for The Treatment of Heavy Metals Wastewater in Presence of EDTA. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 70:110-116.

- Kim, S.H., Kim, J., Park, H., dan Park, N. 2010. Effect of Bubble Size and Diffusing Area on Destratification Efficiency in Bubble Plumes of Two-Layer Stratification. *J. Hydraul. Eng.* 136: 106-115.
- Kong, Z., Li, L., Xue, Y., Yang, M., dan Li Y. 2019. Challenges and Prospects for the Anaerobic Treatment of Chemical-Industrial Organic Wastewater: A Rievew. *Jornal of Cleaner Production.* 231:913-927.
- Kotti M., Ksentini, I., dan Monsour, B.L. 2013. Bubble Hydrodynamic Influence on Oxygen Transfer Rate at Presence of Cationic and Anionic Surfactants in Electroflotation Process. *Journal of Hydrodynamics.* 25: 747-754.
- Kumar, P. S., Vaibhav, K. N., Rekhi, S., dan Thyagarajan, A., 2016, Removal of turbidity from washing machine discharge using *Strychnos potatorum* seeds: Parameter optimization and mechanism prediction, *Res. Eff. Tech*, **2**, S171–S176.
- Kumar, V., Othman N., dan Asharuddin, S. 2016. Application of Natural Coagulant to Treat Wastewater - A Rievew. *MATEC Web of Conference ISCEE.* 103: DOI 10.1051/matecconf.201710306016.
- Khopkar, S. M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik.* UI-Press, Jakarta.
- Kyaz, G.Z., dan Matis, K.A. 2016. Electroflotation Process: A Review. *Journal of Molecular Liquids.* 220: 657-664.
- Liuyi, R., Yimin, Z., Wenqing, Q., Shenxu, B., Peipei, W., dan Congren, Y., 2014, Investigation of Condition-induced Bubble Size and Distribution in Electroflotation Using a High-speed Camera, *International Journal of Mining Science and Technology*, **24**, 7-12.
- Makuei, F., Tadesse, B., Albijanic, B., dan Browner, R. 2018. Electroflotation of Ultrafine Chalcopyrite Particles with Sodium Oleate Collector. *Minerals Engineering.* 120: 44-46.
- Malangngi, L.P., Sangi, M.S., and Paendong, J.J.E. 2012. Penentuan Kandungan Tanin dan Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Biji Buah Alpukat (*Persea americana Mill.*). *Jurnal MIPA UNSRAT.* 1: 5-10.
- Malyadi, A. F. 2017. Karakteristik dan Sistem Pengolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Laboratorium Universitas Hasanudin Kota Makasar. *Skripsi.* Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Hasanuddin. Makasar.
- Manahan, S. E., 2001, *Fundamentals of Environmental Chemistry Second Edition*, CRC Press Lewis Pub, Boca Raton.
- Mirshafiee, A., Rezaee, A., Mamoori, R. S. 2018. A Clean Production Process for Edible Oil Removal from Wastewater Using an Electroflotation with Horizontal Arrangement of Mesh Electrode. *Journal of Cleaner Production.* 198: 71-79.

- Mirza, A., King, A., Troakes, C., dan Exley, C., 2017, Aluminium in Brain Tissue in Familial Alzheimer's Disease, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, **40**, 30-36.
- Mohtashami, R., dan Shang, J. Q. 2019. Treatment of Automotive Paint Wastewater in Continous-flow Electroflotation Reactor. *Journal of Cleaner Production*, **218**: 335-346.
- Monsour, L.B., Ksentini, I., Elleuch, B. 2006. Treatment of Wastewater of Paper Industry by Coatulation-electroflotation. *Desalination*. **208**: 34-41.
- Mota, I. D. O. D., Castro, J. A. D., Casqueira, R. D. G., dan Junior, A. G. D. O. 2015. 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.
- Mudenur, C., Sorokhaibam, L. G., Bhandari, V., Raja, S., dan Ranade, V.V. 2016. Green approach to dye wastewater treatment using biocoagulants. *ACS Sustainable Chemical. Engineering*. **4**: 2495-2507.
- Muhammad, S., dan Warjito, W. 2014. Elektroflotasi untuk Pemisahan Zat Warna Batik. *Research Report*. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Nagarajan, J., Krishnamurthy, N. P., Ramanan, R. N., Raghinandan, M. E., Galanakis, C. M., dan Ooi, C. W. 2019. A Facile Water-induced Complexation of Lycopene and Pectin from Pink Guava Byproduct: Extraction, Characterization and Kinetic Studies. *Food Chemistry*. **296**:47-55.
- Nasr, F., Doma, H. S., Abdul-Halim, H. S. dan El-Shafai, S. 2007. Chemical Industry Wastewater Treatment. *Environmentallist*. **27**:275-286.
- Nawel, A., Farid, D., Belkacem, M., Jean-piere, L., dan Khodir, M. 2015. Improvement of Electrocoagulation-electroflotation Treatment of Effluent by Addition of *Opuntia ficus indica* Pad Juice. *Separation and Purification Technology*. **144**: 168-176.
- Pourzamani, H., Darvishmotevalli, M., Akhyari, S. H., Hadi, S., Momeni, F., Bakhtiyari, S. G., dan Fadaei, S. 2016. Method for Quantitative and Qualitative Evaluation of Hazardous Waste in Laboratories of Isfahan University of Medical Sciences, Iran. *MethodsX*. **6**: 377-382.
- Raimon. 2011. Pengolahan Air Limbah Laboratorium Terpadu dengan Sistem Kontinyu. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*. **22**(2): 18-27.
- Rifa'i, J. 2007. Pemeriksaan Kualitas Air Bersih dengan Koagulan Alum dan PAC di IPA Jurug PDAM Kota Surakarta. *Skripsi*. Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta (UNS), Surakarta.
- Rumapea, N., 2009, Penggunaan kitosan dan polyaluminium chloride (pac) untuk menurunkan kadar logam besi (fe) dan seng (zn) dalam air gambut. *Tesis Magister*. Universitas Sumatera Utara (USU). Medan.
- Sarkar, M. S. K. A., Evans, C. M., dan Donne, S. W., 2010, Bubble Size Measurement in Electroflotation, *Minerals Engineering*, **23**, 1058-1065.

- Sarkar, M. S. K. A., Donne, S. W., dan Evans, C. M., 2011, Utilization of Hydrogen in Electroflotation of Silica, *Advanced Powder Technology*, **22**, 482-492.
- Sastrohamidjojo, H. 2007. *Spektroskopi*. Liberty. Yogyakarta
- Sastrohamidjojo, H. 1992. *Spektroskopi Inframerah*. Liberty. Yogyakarta.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Muzakir, A. 2012. *Karakterisasi Material: Prinsip Dasar dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. UPI-Press. Bandung
- Selvaraj, R., Santhanam, M., Selvamani, V., Sundaramoorthy, S., dan Sundaram, M. 2018. A Membran Electroflotation Process for Recovery of Recyclable Chromium(III) from Tannery Spent Liquor Effluent. *Journal of Hazardous Materials*. 346: 133-139.
- Shen L., Wang, W., Li, T., Cui, Y., Yu, G., Wang, X., Wei, D., Xiao, J., dan Deng, S. 2019. Powdered Activated Coke for COD Removal in The Advanced Treatment of Mixed Chemical Wastewater and Regeneration by Fenton Oxidation. *Chemical Engineering Journal*. 371: 631-638.
- Slavin, M., 1979, *Atomic Absorption Spectroscopy Second Edition*, John Wiley & Sons, New York.
- Stoenica, M., Buzatu, P., Ferdes, M., Ofiteru, I. D., Graham, D., dan Lacric, V. 2011. Comparison of Laboratory Wastewater Treatment System with Settlers: Affect of Cycloheximide and Recirculation Ratio. *REV CHIM*. 62(6): 633-638.
- Subamia, D. P., Wahyuni, I. G. A. N, dan Widiasih, N. N. 2017. Identifikasi, Karakterisasi dan Solusi Alternatif Pengelolaan Limbah Laboratorium Kimia. *Seminar Nasional Riset Inovatif*. ISBN: 978-602-6248-11-0.
- Sulman, L., dan Irawan, J. 2016. Pengelolaan Limbah Kimia do Laboratorium Kimia PMIPA FKIP UNRAM. *Jurnal Pijar MIPA*. 9(2):135-141.
- Tekile, A., Kim, I., dan Lee, J., 2017. Application of Ozone Micro- and Nanobubble Technologies in Water and Wastewater Treatment: A Rivew. *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*. 31(6): 481-490
- Verlicchi, P., Al-Aukidy, M., dan Zambello, E. 2012. Occurrence of Pharmaceutical Compounds in Urban Wastewater: Removal, Mass Load, and Environmental Risk After a Secondary Treatment: A Review. *Science Total Environment*. 492: 123 – 155.
- Vu, T.P., Vogel, A., Kern, F., Platz, S., Menzel, U., dan Gadow, R. 2014. Characteristic of an Electrocoagulation-electroflotation Process in Separation Powdered Activated Carbon from Urban Wastewater Effluent. *Separation and Purification Technology*. 134: 196-203.
- Wei, H., Gao, B., Ren, J., Li, A., dan Yang, H. 2018. Coagulation/Flocculation in Dewatering of Sludge: A Review. *Water Research*. 143: 608-631.
- Wenten, I. G., 2016, *Teknologi Membran: Prospek dan Tantangan di Indonesia*, Penerbit ITB, Bandung.

Zhou, F. S., Hu, B., Cui, B. L., Liu, F. B., Liu, F., Wang, W. H., Liu, Y., Lu, R. R., Hu, Y. M., Zhang, Y. H., and Wu, J. G. 2014. Preparation and characterization of polyaluminium chloride by utilizing fluorine-containing waste acidic mother liquid from clay brine synthetic cryolite process. *Journal of Chemistry*. 2014. 1-7.



LAMPIRAN

Lampran 1. Dokumentasi Hasil Penelitian

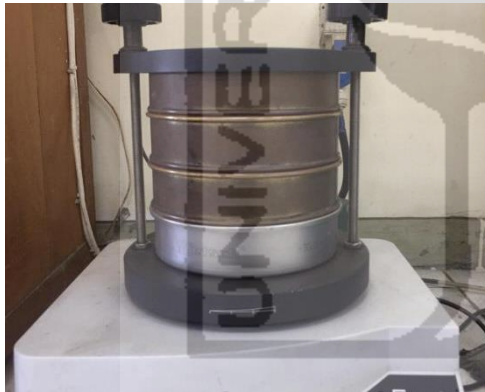
1.1 Preparasi Biokoagulan



Pengeringan Biokoagulan menggunakan cahaya matahari dan oven



Penggilingan Biokoagulan



Pengayakan Biokoagulan



Serbuk biokoagulan

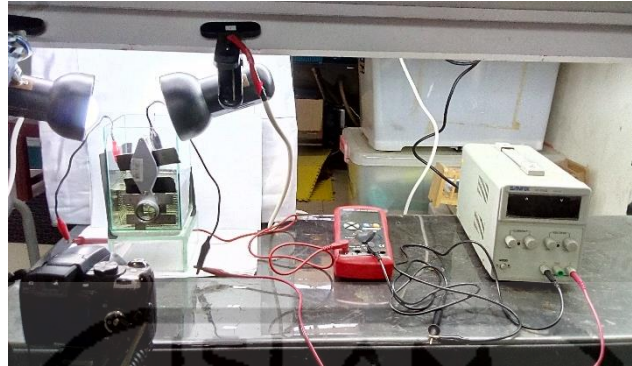


Hasil pengolahan limbah laboratorium kimia proses biokoagulasi

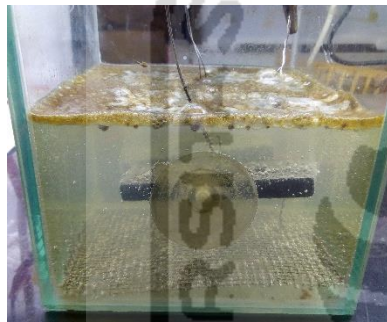


Hasil penentuan berat endapan(%)

1.2 Proses Elektroflotasi dan Peningkatan Kinerja Elektroflotasi



Skema pengambilan citra pembentukan gas untuk optimasi tegangan



Proses elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan



Proses elektroflotasi dengan penambahan biokoagulan



Hasil pengolahan limbah laboratorium kimia melalui proses elektroflotasi-biokoagulasi menggunakan biji alpukat



Hasil pengolahan limbah laboratorium kimia melalui proses elektroflotasi-biokoagulasi menggunakan kulit buah naga



Hasil pengolahan limbah laboratorium kimia melalui proses elektroflotasi-biokoagulasi menggunakan kombinasi biokoagulan

Lampiran 2. Perhitungan Berat Endapan(%) Kinerja Biokoagulan

2.1 Data pengamatan berat kertas saring dan endapan

Koagulan	K.S Kosong (g)	K.S Basah (g)	Endapan Basah (g)	K.S Kering (g)	Endapan Kering (g)	Berat Endapan (%)
PAC	0,701	4,119	3,418	1,124	0,423	87,62
Biji Alpukat	0,803	3,073	2,271	1,175	0,373	83,57
Kulit Buah Naga	0,802	3,183	2,38	0,947	0,144	93,95

K.S: kertas saring

2.1 Analisis Data

$$\text{Berat endapan}(\%) \text{PAC} = \frac{((4,119-0,701)g-(1,124-0,701))g}{(4,119-0,701)g} \times 100\% = 87,62\%$$

$$\text{Berat endapan}(\%) \text{PAC} = \frac{((3,073-0,803)g-(1,175-0,803))g}{(3,073-0,803)g} \times 100\% = 83,57\%$$

$$\text{Berat endapan}(\%) \text{PAC} = \frac{((3,183-0,802)g-(0,947-0,802))g}{(3,183-0,802)g} \times 100\% = 93,95\%$$

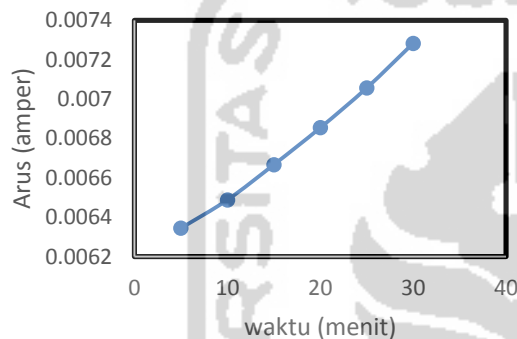
Lampiran 3. Pengukuran Arus Proses Elektroflotasi dan Perhitungan Konsumsi

Energi

3.1 Arus proses elektroflotasi pada waktu 30, 60 dan 90 menit

a. waktu 30 menit

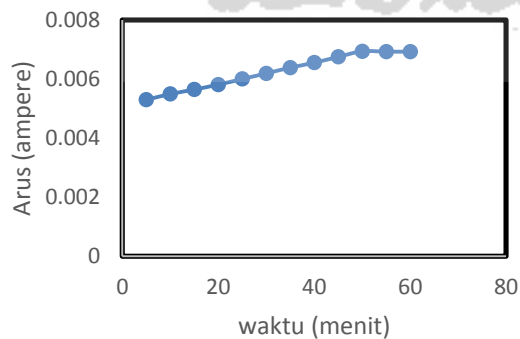
Menit Ke-	Arus (ampere)	Menit Ke-	Arus (ampere)	Menit Ke-	Arus (ampere)
5	0,006345	15	0,006667	25	0,007057
10	0,006488	20	0,006855	30	0,007284



Rata – rata arus = 0,0068 A

b. Waktu 60 menit

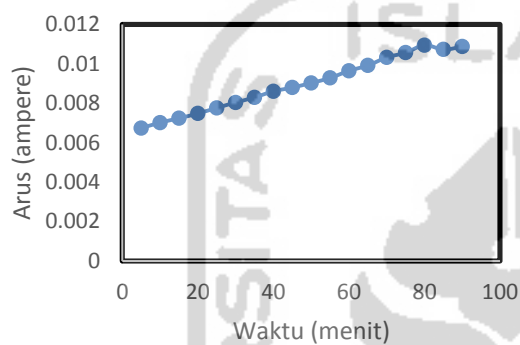
Menit Ke-	Arus (ampere)	Menit Ke-	Arus (ampere)	Menit Ke-	Arus (ampere)
5	0,005294	25	0,005998	45	0,006747
10	0,005489	30	0,006187	50	0,006935
15	0,00564	35	0,006383	55	0,006923
20	0,005808	40	0,006549	60	0,006921



Rata-rata arus= 0,0062

c. Waktu 90 menit

Menit Ke-	Arus (ampere)	Menit Ke-	Arus (ampere)	Menit Ke-	Arus (ampere)
5	0,006741	35	0,008303	65	0,009923
10	0,007022	40	0,008613	70	0,010333
15	0,007244	45	0,008801	75	0,010572
20	0,007484	50	0,009037	80	0,010955
25	0,007771	55	0,009289	85	0,010731
30	0,008045	60	0,009652	90	0,010878



Rata-rata arus= 0,009

3.2 Analisis data

$$\text{konsumsi energi 30 m} = \frac{(21 \text{ V} \times 0,006783 \text{ A} \times 0,5 \text{ h})}{0,0005 \text{ m}^3} = 142,44 \text{ Wm}^{-3}$$

$$\text{konsumsi energi 60 m} = \frac{(21 \text{ V} \times 0,006239 \text{ A} \times 1 \text{ h})}{0,0005 \text{ m}^3} = 262,04 \text{ Wm}^{-3}$$

$$\text{konsumsi energi 90 m} = \frac{(21 \text{ V} \times 0,008966 \text{ A} \times 1,5 \text{ h})}{0,0005 \text{ m}^3} = 564,858 \text{ Wm}^{-3}$$

Lampiran 4. Perhitungan Penurunan TDS(%)

4.1 Elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan

$$\text{Penurunan TDS(\%)} = \frac{(444 - 393)\text{mg/L}}{444 \text{ mg/L}} \times 100\% = 11,49\%$$

4.2 Elektroflotasi-Biokoagulasi tunggal

$$\text{Penurunan TDS BA50(\%)} = \frac{(444 - 218)\text{mg/L}}{444 \text{ mg/L}} \times 100\% = 50,9\%$$

$$\text{Penurunan TDS BA100(\%)} = \frac{(444 - 221)\text{mg/L}}{444 \text{ mg/L}} \times 100\% = 50,22\%$$

$$\text{Penurunan TDS BA200(\%)} = \frac{(444 - 199)\text{mg/L}}{444 \text{ mg/L}} \times 100\% = 55,18\%$$

$$\text{Penurunan TDS KN50(\%)} = \frac{(444 - 214)\text{mg/L}}{444 \text{ mg/L}} \times 100\% = 51,8\%$$

$$\text{Penurunan TDS KN100(\%)} = \frac{(444 - 221)\text{mg/L}}{444 \text{ mg/L}} \times 100\% = 50,22\%$$

$$\text{Penurunan TDS KN200(\%)} = \frac{(444 - 229)\text{mg/L}}{444 \text{ mg/L}} \times 100\% = 48,42\%$$

4.3 Penggunaan kombinasi biokoagulan

$$\text{Penurunan TDS P25T75(\%)} = \frac{(444 - 410)\text{mg/L}}{444 \text{ mg/L}} \times 100\% = 7,66\%$$

$$\text{Penurunan TDS P50T50(\%)} = \frac{(444 - 435)\text{mg/L}}{444 \text{ mg/L}} \times 100\% = 2,03\%$$

$$\text{Penurunan TDS P75T25(\%)} = \frac{(444 - 419)\text{mg/L}}{444 \text{ mg/L}} \times 100\% = 5,63\%$$

Lampiran 5. Perhitungan Penurunan EC(%)

5.1 Elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan

$$\text{Penurunan EC(\%)} = \frac{(0,63 - 0,52)\text{mS/cm}}{0,63 \text{ mS/cm}} \times 100\% = 17,46\%$$

5.2 Elektroflotasi-Biokoagulasi tunggal

$$\text{Penurunan EC BA50(\%)} = \frac{(0,63 - 0,29)\text{mS/cm}}{0,63 \text{ mS/cm}} \times 100\% = 53,97\%$$

$$\text{Penurunan EC BA100(\%)} = \frac{(0,63 - 0,31)\text{mS/cm}}{0,63 \text{ mS/cm}} \times 100\% = 50,79\%$$

$$\text{Penurunan EC BA200(\%)} = \frac{(0,63 - 0,27)\text{mS/cm}}{0,63 \text{ mS/cm}} \times 100\% = 57,14\%$$

$$\text{Penurunan EC KN50(\%)} = \frac{(0,63 - 0,3)\text{mS/cm}}{0,63 \text{ mS/cm}} \times 100\% = 52,38\%$$

$$\text{Penurunan EC KN100(\%)} = \frac{(0,63 - 0,3)\text{mS/cm}}{0,63 \text{ mS/cm}} \times 100\% = 52,38\%$$

$$\text{Penurunan EC KN200(\%)} = \frac{(0,63 - 0,32)\text{mS/cm}}{0,63 \text{ mS/cm}} \times 100\% = 49,21\%$$

5.3 Penggunaan kombinasi biokoagulan

$$\text{Penurunan EC P25T75(\%)} = \frac{(0,63 - 0,57)\text{mS/cm}}{0,63 \text{ mS/cm}} \times 100\% = 9,52\%$$

$$\text{Penurunan EC P50T50(\%)} = \frac{(0,63 - 0,6)\text{mS/cm}}{0,63 \text{ mS/cm}} \times 100\% = 4,76\%$$

$$\text{Penurunan EC P75T25(\%)} = \frac{(0,63 - 0,58)\text{mS/cm}}{0,63 \text{ mS/cm}} \times 100\% = 7,93\%$$

Lampiran 6. Perhitungan Penurunan Turbiditas(%)

6.1 Elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan

$$\text{Penurunan Turbiditas(\%)} = \frac{(43,5 - 9,51)\text{NTU}}{43,5 \text{ NTU}} \times 100\% = 78,14\%$$

6.2 Elektroflotasi-Biokoagulasi tunggal

$$\text{Penurunan Turbiditas BA50(\%)} = \frac{(43,5 - 4,27)\text{NTU}}{43,5 \text{ NTU}} \times 100\% = 90,18\%$$

$$\text{Penurunan Turbiditas BA100(\%)} = \frac{(43,5 - 1,49)\text{NTU}}{43,5 \text{ NTU}} \times 100\% = 96,57\%$$

$$\text{Penurunan Turbiditas BA200(\%)} = \frac{(43,5 - 2,93)\text{NTU}}{43,5 \text{ NTU}} \times 100\% = 93,26\%$$

$$\text{Penurunan Turbiditas KN50(\%)} = \frac{(43,5 - 2,26)\text{NTU}}{43,5 \text{ NTU}} \times 100\% = 94,8\%$$

$$\text{Penurunan Turbiditas KN100(\%)} = \frac{(43,5 - 2,46)\text{NTU}}{43,5 \text{ NTU}} \times 100\% = 94,34\%$$

$$\text{Penurunan TurbiditasKN200(\%)} = \frac{(43,53 - 14,49)\text{NTU}}{43,5 \text{ NTU}} \times 100\% = 66,7\%$$

6.3 Penggunaan kombinasi biokoagulan

$$\text{Penurunan TurbiditasP25T75(\%)} = \frac{(43,5 - 2,25)\text{NTU}}{43,5 \text{ NTU}} \times 100\% = 94,83\%$$

$$\text{Penurunan TurbiditasP50T50(\%)} = \frac{(43,5 - 5,52)\text{NTU}}{43,5 \text{ NTU}} \times 100\% = 87,31\%$$

$$\text{Penurunan TurbiditasP75T25(\%)} = \frac{(43,5 - 1,07)\text{NTU}}{43,5 \text{ NTU}} \times 100\% = 97,54\%$$

Lampiran 7. Perhitungan Penurunan Logam Pb(%)

7.1 Elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan

$$\text{Penurunan Pb(\%)} = \frac{(0,691 - 0,615)\text{mg/L}}{0,691 \text{ mg/L}} \times 100\% = 11\%$$

7.2 Elektroflotasi-Biokoagulasi tunggal

$$\text{Penurunan Pb BA50(\%)} = \frac{(0,691 - 0,645)\text{mg/L}}{0,691 \text{ mg/L}} \times 100\% = 6,66\%$$

$$\text{Penurunan Pb BA100(\%)} = \frac{(0,691 - 0,66)\text{mg/L}}{0,691 \text{ mg/L}} \times 100\% = 4,5\%$$

$$\text{Penurunan Pb BA200(\%)} = \frac{(0,691 - 0,691)\text{mg/L}}{0,691 \text{ mg/L}} \times 100\% = 0$$

$$\text{Penurunan Pb KN50(\%)} = \frac{(0,691 - 0,448)\text{mg/L}}{0,691 \text{ mg/L}} \times 100\% = 35,17\%$$

$$\text{Penurunan Pb KN100(\%)} = \frac{(0,691 - 0,508)\text{mg/L}}{0,691 \text{ mg/L}} \times 100\% = 26,48\%$$

$$\text{Penurunan Pb KN200(\%)} = \frac{(0,691 - 0,509)\text{mg/L}}{0,691 \text{ mg/L}} \times 100\% = 26,34\%$$

7.3 Penggunaan kombinasi biokoagulan

$$\text{Penurunan Pb P25T75(\%)} = \frac{(0,691 - 0,569)\text{mg/L}}{0,691 \text{ mg/L}} \times 100\% = 17,67\%$$

$$\text{Penurunan Pb P50T50(\%)} = \frac{(0,691 - 0,584)\text{mg/L}}{0,691 \text{ mg/L}} \times 100\% = 15,48\%$$

$$\text{Penurunan Pb P75T25(\%)} = \frac{(0,691 - 0,63)\text{mg/L}}{0,691 \text{ mg/L}} \times 100\% = 8,83\%$$

Lampiran 8. Perhitungan Penurunan Logam Cr(%)

8.1 Elektroflotasi tanpa penambahan biokoagulan

$$\text{Penurunan Cr(\%)} = \frac{(0,436 - 0,086)\text{mg/L}}{0,436 \text{ mg/L}} \times 100\% = 80,27\%$$

8.2 Elektroflotasi-Biokoagulasi tunggal

$$\text{Penurunan Cr BA50(\%)} = \frac{(0,436 - 0,311)\text{mg/L}}{0,436 \text{ mg/L}} \times 100\% = 28,67\%$$

$$\text{Penurunan Cr BA100(\%)} = \frac{(0,436 - \text{nill})\text{mg/L}}{0,436 \text{ mg/L}} \times 100\% = \text{nill}$$

$$\text{Penurunan Cr BA200(\%)} = \frac{(0,436 - 0,27)\text{mg/L}}{0,436 \text{ mg/L}} \times 100\% = 38,07\%$$

$$\text{Penurunan Cr KN50(\%)} = \frac{(0,436 - 0,156)\text{mg/L}}{0,436 \text{ mg/L}} \times 100\% = 64,22\%$$

$$\text{Penurunan Cr KN100(\%)} = \frac{(0,436 - 0,333)\text{mg/L}}{0,436 \text{ mg/L}} \times 100\% = 23,62\%$$

$$\text{Penurunan Cr KN200(\%)} = \frac{(0,436 - 0,433)\text{mg/L}}{0,436 \text{ mg/L}} \times 100\% = 0,7\%$$

8.3 Penggunaan kombinasi biokoagulan

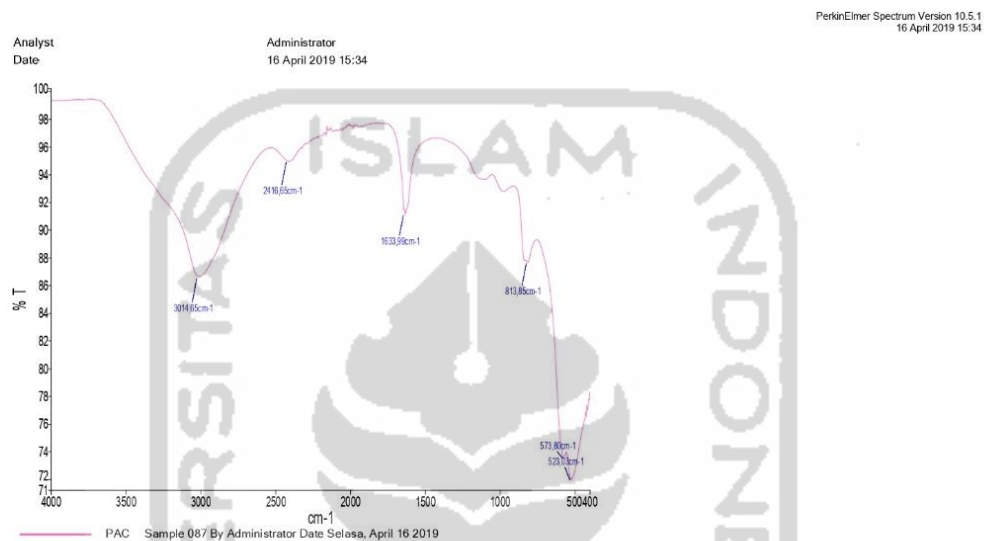
$$\text{Penurunan Cr P25T75(\%)} = \frac{(0,436 - 0,444)\text{mg/L}}{0,436 \text{ mg/L}} \times 100\% = -1,83\%$$

$$\text{Penurunan Cr P50T50(\%)} = \frac{(0,436 - 0,599)\text{mg/L}}{0,436 \text{ mg/L}} \times 100\% = -37,38\%$$

$$\text{Penurunan Cr P75T25(\%)} = \frac{(0,436 - 0,381)\text{mg/L}}{0,436 \text{ mg/L}} \times 100\% = 12,61\%$$

Lampiran 9. Spektra IR koagulan sintetik dan biokoagulan berbasis tanin dan pektin

9.1 Spektra IR *Poly Aluminium Chloride*



Source Spectra Results	
Spectrum Name	PAC

Page 1

PerkinElmer Spectrum Version 10.5.1
16 April 2019 15:34

List of Peak Area/Height	
X (cm ⁻¹) (cm ⁻¹) (cm ⁻¹) (cm ⁻¹) (cm ⁻¹) (cm ⁻¹) (cm ⁻¹) (cm ⁻¹) (cm ⁻¹) (cm ⁻¹)	Y (%T) (%T) (%T) (%T) (%T) (%T) (%T) (%T) (%T) (%T)
3014.65	86.64
2416.65	94.99
1633.99	91.14
813.85	87.68
573.8	73.5
523.03	71.91

Lampiran 10. Hasil Analisis Logam Berat

10.1 Analisis logam timbal menggunakan SAA



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 : 3064/C/AAS
Asal Sampel : Irfan Arirahman
Tanggal diterima : 20 September 2019
Tanggal dianalisis : 24 September 2019
Parameter : Pb

No	Sample ID	Seq No.	EI	Standar	Mean Sig (Absorbance)	Limit Detection from standard	Mean Samp	Std Dev	Samp Units
1	Calib Blank	2	Pb	0	-0.0004			0.00020	mg/L
2	std 1	3	Pb	0,5	0.0023	0.0002		0.00020	mg/L
3	std 2	4	Pb	1	0.0056	0.0002		0.00010	mg/L
4	std 3	5	Pb	2	0.0121	0.0002		0.00020	mg/L

5	std 4	6	Pb	3	0.0187	0.0002		0.00010	mg/L
6	std 5	7	Pb	5	0.0323	0.0002		0.00020	mg/L
7									
8									
9									
10	3064-1	24	Pb		0.0021		0.4476	0.00010	mg/L
11	3064-2	25	Pb		0.0025		0.5084	0.00010	mg/L
12	3064-3	26	Pb		0.0025		0.5084	0.00030	mg/L
13	3064-4	27	Pb		0.0034		0.6452	0.00010	mg/L
14	3064-5	28	Pb		0.0035		0.6604	0.00010	mg/L
15	3064-6	29	Pb		0.0037		0.6908	0.00010	mg/L
16	3064-7	30	Pb		0.0033		0.6300	0.00020	mg/L
17	3064-8	31	Pb		0.0030		0.5844	0.00030	mg/L
18	3064-9	32	Pb		0.0029		0.5692	0.00010	mg/L
19	3064-10	33	Pb		0.0032		0.6148	0.00010	mg/L
20	3064-11	34	Pb		0.0037		0.6908	0.00010	mg/L

Jogyakarta, 24 September 2019

M. Teknis	KaLab Instrumentasi	Analisis
Thorikul H.	Khamdan C.	Yusuf H.

10.1 Analisis logam kromium menggunakan SAA



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 : 3064/C/AAS
Asal Sampel : Irfan Arirahman
Tanggal diterima : 20 September 2019
Tanggal dianalisis : 24 September 2019
Parameter : Cr

No	Sample ID	Seq No.	El	Standar	Mean Sig (Absorbance)	Limit Detection from standard	Mean Samp	Std Dev	Samp Units
1	Calib Blank	2	Cr	0	-0.0004				
2	std 1	3	Cr	0.5	0.0142	0.0002		0.00020	mg/L
3	std 2	4	Cr	1	0.0276	0.0002		0.00010	mg/L
4	std 3	5	Cr	2	0.0544	0.0002		0.00010	mg/L
5	std 4	6	Cr	3	0.0821	0.0002		0.00030	mg/L

4	std 5	5	Cr	2	0.0544	0.0002		0.00010	mg/L
5	std 4	6	Cr	3	0.0821	0.0002		0.00030	mg/L
6	std 5	7	Cr	5	0.1354	0.0002		0.00010	mg/L
7									
8									
9									
10	3064-12	9	Cr		0.0045		0.1558	0.00040	mg/L
11	3064-13	10	Cr		0.0093		0.3329	0.00010	mg/L
12	3064-14	11	Cr		0.0120		0.4325	0.00020	mg/L
13	3064-15	12	Cr		0.0087		0.3108	0.00020	mg/L
14	3064-16	13	Cr		0.0440		1.6134	0.00050	mg/L
15	3064-17	14	Cr		0.0076		0.2702	0.00010	mg/L
16	3064-18	15	Cr		0.0123		0.4436	0.00010	mg/L
17	3064-19	16	Cr		0.0165		0.5986	0.00010	mg/L
18	3064-20	17	Cr		0.0106		0.3809	0.00010	mg/L
19	3064-21	18	Cr		0.0026		0.0856	0.00030	mg/L
20	3064-22	19	Cr		0.0121		0.4362	0.00020	mg/L

Yogyakarta, 24 September 2019

M. Teknis	KaLab Instrumentasi	Analisis
Thorikul H.	Khamdan C.	Yusuf H.