

**PEMANFAATAN BIJI PEPAYA (*Carica papaya L.*) SEBAGAI
BIOKOAGULAN PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
INDUSTRI BATIK**

SKRIPSI

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

Yogyakarta



Diajukan oleh :

NURUL HIDAYATI AIRUN

No Mhs : 16612135

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

2020

**PEMANFAATAN BIJI PEPAYA (*Carica papaya L.*) SEBAGAI
BIOKOAGULAN PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
INDUSTRI BATIK**

SKRIPSI

oleh :

NURUL HIDAYATI AIRUN

No. Mahasiswa : 16612135

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

Yogyakarta, 12 November 2020

Dewan Penguji

Tanda Tangan

1. Rudy Syah Putra, M.Sc., Ph.D.

.....

2. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D.

.....

3. Mai Anugrahwati, S.Si., M.Sc.

.....

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia



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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Nurul Hidayati Airun
NIM : 16612135
Program Studi : Ilmu Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan skripsi saya yang berjudul **“Pemanfaatan Biji Pepaya (*Carica papaya L.*) sebagai Biokoagulan pada Pengolahan Limbah Cair Industri Batik”** bersifat asli dan tidak berisi material yang telah diterbitkan sebelumnya kecuali referensi yang disebutkan di dalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulis lain, maka penulis tersebut secara eksplisit telah disebutkan didalam skripsi ini. Apabila kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguhnya dan penuh rasa tanggungjawab.

Yogyakarta, 12 November 2020

Yang menyatakan,



Nurul Hidayati Airun
(16612135)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah Illah semesta alam tidak ada keraguan di dalamnya, dengan Rahman dan Rahim-Nya telah memberikan sekian banyak kenikmatan, hingga atas izin-Nya skripsi dengan judul **“Pemanfaatan Biji Pepaya (*Carica papaya L.*) sebagai Biokoagulan pada Pengolahan Limbah Cair Industri Batik”** dapat terselesaikan. Shalawat dan salam kita haturkan kepada junjungan kita Rasulullah SAW sebagai manusia sempurna yang telah menghantarkan umat ini dalam kondisi jahiliyah menuju cahaya Islam, semoga kita digolongkan ke dalam umat yang mendapat syafaat darinya.

Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains (S.Si) Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dorongan dan bantuan berbagai pihak, oleh karena itu dalam kesempatan ini penyusun mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, atas kesehatan, kesempatan dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Prof. Riyanto, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia;
3. Prof. Dr. Is Fatimah, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia;
4. Dr. Dwiwarso Rubiyanto, M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia;
5. Rudy Syah Putra, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan pengarahan, serta masukan selama proses perencanaan, penelitian hingga penulisan skripsi ini;

6. Bapak, Ibu, dan adik serta seluruh keluarga yang selalu mendukung dan memotivasi penyusun baik berupa moral, materil, serta do'a, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
7. Seluruh dosen program S1 Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia atas ilmu yang telah diberikan;
8. *Vario Squad* (Afif, Fernan, Nisa, Desi, dan Tegar), Unit 90 KKN UII, serta Avta, Arlin, Ika, dan Endah yang selalu menjadi teman sekaligus keluarga dikala senang maupun sedih;

Serta semua pihak yang telah membantu selama penelitian dan penyusunan skripsi ini. Jazakumullah bi ahsanil jaza'.

Skripsi ini tentu masih jauh dari sempurna, untuk itu penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang dapat dijadikan sebagai kajian untuk penelitian selanjutnya agar penelitiann ini dapat bermanfaat bagi kemaslahatan umat.

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 12 November 2020

Penulis

(Nurul Hidayati Airun)

PEMANFAATAN BIJI PEPAYA (*Carica papaya L.*) SEBAGAI BIOKOAGULAN PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI BATIK

INTISARI

Nurul Hidayati Airun
NIM: 16612135

Telah dilakukan penelitian pengolahan limbah cair industri batik menggunakan koagulan alami dengan metode koagulasi-flokulasi. Koagulan alami yang digunakan yaitu biji pepaya (*Carica papaya L.*) dengan variasi dosis sebesar 250, 500, 750 dan 1000 mg/250 mL limbah industri batik dan variasi ukuran partikel yaitu 150, 200, dan 250 mesh. Karakterisasi efisiensi proses dilakukan berdasarkan parameter penurunan kekeruhan, *Total Dissolved Solids* (TDS), *Electrical Conductivity* (EC), *Chemical Oxygen Demand* (COD), penurunan logam total Pb dan Cr, sedangkan performa biokoagulan dievaluasi berdasarkan intensitas cahaya (Efek *Tyndall*), *Sludge Volume Index* (SVI), dan *Sludge Mass*. Hasil penelitian menunjukkan penurunan kekeruhan sebesar 92,2%, *Total Dissolved Solids* (TDS) 686 mg/L, *Electrical Conductivity* (EC) 2,11 mS/cm, penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 49,7%, penurunan logam berat Pb dan Cr secara berturut-turut sebesar 56,9 dan 61,6%, sedangkan untuk evaluasi performa biokoagulan diperoleh intensitas cahaya sebesar 538 Lux, *Sludge Volume Index* (SVI) sebesar 1,40 mL/g, dan *Sludge Mass* diperoleh sebesar 67,3%. Hasil tersebut diperoleh pada dosis dan ukuran partikel optimum yaitu 1000 mg dan 250 mesh. Selanjutnya hasil tersebut dibandingkan dengan penggunaan koagulan kimia PAC (*Poly Aluminium Chloride*) yang menghasilkan penurunan kekeruhan sebesar 90%, *Total Dissolved Solids* (TDS) sebesar 203 mg/L, *Electrical Conductivity* 1,96 mS/cm, *Sludge Volume Index* sebesar 1,44 mL/g, serta *Sludge Mass* diperoleh sebesar 67,2%. Hal ini menunjukkan bahwa biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) memiliki potensi yang besar sebagai koagulan pengganti koagulan kimia pada pengolahan limbah cair industri batik. Biokoagulan memiliki berbagai kelebihan yaitu ramah lingkungan, ekonomis, bahan baku yang mudah diperoleh, serta *biodegradable*.

Kata kunci : Air limbah, Batik, Biji pepaya (*Carica papaya L.*), Koagulasi, Poli Aluminium Klorida

APPLICATION OF PAPAYA SEEDS (*Carica papaya L.*) AS BIOCOAGULANT ON WASTEWATER TREATMENT OF BATIK INDUSTRY

ABSTRACT

Nurul Hidayati Airun
NIM: 16612135

The batik wastewater treatment has been carried out using the biocoagulant by the coagulation-flocculation method. The biocoagulant was papaya seeds (*Carica papaya L.*) with the dosage of 250, 500, 750, and 1000 mg/250 mL of batik wastewater and particle size of 150, 200, and 250 mesh. The efficiency this process was evaluated based on clean water parameter such as turbidity removal, total dissolved solids (TDS), electrical conductivity (EC), chemical oxygen demand (COD), and decreasing concentration of Pb and Cr metals. While the biocoagulant performance was evaluated based on light intensity (Tyndall effect), sludge volume index (SVI), and sludge mass (SM). The results showed that the turbidity removal, TDS, EC, COD and heavy metal concentration respectively as much as 92,2%, 686 mg/L, 2.11 mS/cm, 49,7%, 56,9% for Pb and 61,6% for Cr. While for the biocoagulant performance, the results showed that the light intensity, SVI and SM respectively as much as 538 lux, 1.40 mL/g, and 67.3%. Those results were obtained at the optimum dose and particle size of 1000 mg and 250 mesh, respectively. Furthermore, the results were compared with by using PAC (Poly Aluminum Chloride) as chemical coagulant showed that the turbidity removal, TDS, EC, SVI and SM respectively as much as 90%, 203 mg/L, 1,96 mS/cm, 1,44 mL/g, and 67,2%. These results indicate that the papaya seeds (*Carica papaya L.*) has a great potential as biocoagulant on the treatment of batik wastewater. In addition, biocoagulants have an advantages, such as environmentally friendly, economically, readily available raw materials, and biodegradable.

Keywords : Batik, Coagulation, Papaya seed (*Carica papaya L.*), Poly Aluminium Chloride, Wastewater

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
INTISARI	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengaruh Jenis Koagulan pada Pengolahan Limbah Cair	5
2.2 Aplikasi Biokoagulan pada Pengolahan Limbah Tekstil	6
2.3 Pengaruh Dosis dan Ukuran Partikel Biokoagulan	7
BAB III DASAR TEORI	9
3.1 Koagulasi-Flokulasi.....	9
3.2 Koagulan.....	10
3.3 Biji Pepaya (<i>Carica papaya L.</i>)	11
3.4 Baku Mutu Limbah Industri Tekstil dan Batik	12
3.5 Logam Berat.....	14
3.5.1 Krom (Cr).....	15
3.5.2 Timbal (Pb)	15
3.6 Parameter Analisis.....	16
3.6.1 Kekeruhan	16
3.6.2 <i>Total Dissolved Solids (TDS)</i>	16
3.6.3 <i>Electrical Conductivity (EC)</i>	17

3.6.4	<i>Sludge Volume Index (SVI) dan Sludge Mass (SM)</i>	17
3.6.5	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	18
3.7	Instrumen Analisis.....	19
3.7.1	Spektroskopi Inframerah (FTIR).....	19
3.7.2	Spektrometer Serapan Atom (SSA).....	20
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		22
4.1.	Alat dan Bahan Penelitian.....	22
4.1.1	Alat penelitian	22
4.1.2	Bahan penelitian	22
4.2.	Prosedur Kerja.....	22
4.2.1	Sampling limbah cair industri batik.....	22
4.2.2	Preparasi biokoagulan.....	23
4.2.3	Analisis proksimat dan FTIR biokoagulan	23
4.2.4	Penentuan dosis dan ukuran partikel optimum	25
4.2.5	Penentuan pH optimum	25
4.2.6	<i>Sludge Volume Index (SVI) dan Sludge Mass (%)</i>	25
4.2.7	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	26
4.2.8	Penentuan logam total Pb dan Cr (SSA).....	26
4.2.9	Pengukuran Intensitas Cahaya (Efek <i>Tyndall</i>).....	27
4.2.10	Perbandingan dengan PAC	28
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		29
5.1	Karakterisasi Limbah Batik	29
5.2	Karakterisasi Koagulan.....	30
5.2.1	Analisis proksimat dan karakterisasi biokoagulan dengan FTIR.....	30
5.2.2	Karakterisasi PAC (<i>Poly Aluminium Chloride</i>) dengan FTIR.....	31
5.3	Pengaruh Dosis dan Ukuran Partikel Biokoagulan Serbuk Biji Pepaya ...	33
5.3.1	Pengaruh terhadap nilai kekeruhan.....	33
5.3.2	Pengaruh terhadap nilai TDS dan EC.....	34
5.3.3	Pengaruh terhadap <i>Sludge Volume Index</i> dan <i>Sludge Mass</i>	36
5.3.4	Pengaruh terhadap nilai <i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	38
5.3.5	Pengaruh terhadap logam berat Pb dan Cr.....	41

5.3.6 Pengukuran cahaya (Efek <i>Tyndall</i>).....	43
5.3.7 Perbandingan dengan koagulan kimia.....	45
BAB VI PENUTUP	48
6.1 Kesimpulan	48
6.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	55



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mekanisme proses koagulasi-flokulasi.....	9
Gambar 2. Mekanisme <i>charge neutralization</i>	11
Gambar 3. Biji buah pepaya (<i>Carica papaya L.</i>)	12
Gambar 4. Skema alat spektroskopi FTIR	20
Gambar 5. Skema instrumentasi SSA.....	21
Gambar 6. Ilustrasi pengukuran Efek <i>Tyndall</i>	27
Gambar 7. Puncak IR gugus fungsional biokoagulan <i>Carica papaya L.</i>	31
Gambar 8. Puncak IR gugus fungsional PAC	32
Gambar 9. Pengaruh terhadap penurunan kekeruhan	33
Gambar 10. Pengaruh terhadap <i>Total Dissolved Solids</i>	34
Gambar 11. Pengaruh terhadap <i>Electrical Conductivity</i>	35
Gambar 12. Grafik SVI dan SM pada ukuran partikel 150 mesh	37
Gambar 13. Grafik SVI dan SM pada ukuran partikel 200 mesh	37
Gambar 14. Grafik SVI dan SM pada ukuran partikel 250 mesh	38
Gambar 15. Hasil analisis COD pada ukuran partikel 150 mesh	40
Gambar 16. Hasil analisis COD pada ukuran partikel 200 mesh	40
Gambar 17. Hasil analisis COD pada ukuran partikel 250 mesh	41
Gambar 18. Grafik hasil pengukuran intensitas cahaya.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Baku mutu limbah industri batik.....	13
Tabel 2. Karakterisasi awal limbah cair batik	29
Tabel 3. Hasil analisis proksimat biji pepaya (<i>Carica papaya L.</i>)	30
Tabel 4. Pengaruh variasi pH larutan.....	36
Tabel 5. Hasil analisis logam berat Pb dan Cr dalam limbah cair batik	42
Tabel 6. Kinerja biokoagulan serbuk biji pepaya dan PAC	45



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals* (SDGs) 2030 adalah 17 tujuan dengan 169 target dunia dengan tenggat yang telah ditentukan oleh PBB sebagai agenda dunia untuk kemaslahatan manusia dan planet bumi. 17 tujuan tersebut terdiri atas beberapa target yang diharapkan akan dicapai pada tahun 2030. Total 169 target yang semuanya mencakup bidang kesehatan, energi, sanitasi, sosial, sampai bidang lingkungan (Utama dkk, 2018). Persoalan lingkungan masih menjadi kendala dalam upaya pencapaian target-target tersebut.

Salah satu permasalahan lingkungan saat ini adalah terkait limbah industri tekstil yang berasal dari industri batik. Kurang lebih 80% air digunakan dalam proses pembatikan termasuk pewarnaan. Proses inilah yang menghasilkan limbah yang sangat berbahaya bagi lingkungan (Baryatik, 2016). Karakteristik utama dari limbah cair batik mencakup karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi *Total Dissolved Solids* (TDS) dan kekeruhan yang tinggi, sedangkan karakteristik kimia meliputi konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) serta logam berat timbal (Pb) dan krom (Cr) yang tinggi (Muljadi, 2013). Industri batik di Yogyakarta sebagian besar merupakan industri kecil, hal ini membuat sistem pengolahan limbah sulit secara terpusat sulit dilakukan, sehingga sebagian besar limbah hasil produksi batik dibuang begitu saja tanpa pengolahan terlebih dahulu (Yulianto dkk, 2009).

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menangani limbah industri batik adalah koagulasi-flokulasi, presipitasi, elektroflotasi dan adsorpsi. Metode koagulasi-flokulasi adalah metode pengolahan limbah cair yang bertujuan untuk mengurangi zat pencemar dan partikel koloid dalam suatu limbah cair. Terdapat tiga tahap pembentukan flok dalam proses koagulasi-flokulasi, mencakup tahap destabilisasi, tahap pembentukan mikrofilik, serta tahap pembentukan makrofilik (Teh, 2016).

Zat yang digunakan dalam pengolahan limbah dapat berupa koagulan kimia maupun alami. Koagulan kimia yang sering digunakan adalah aluminium sulfat, poli aluminium klorida (PAC) dan akrilamida. Penggunaan aluminium dalam pengolahan air diduga dapat memicu berbagai penyakit syaraf seperti alzheimer, parkinson dan penyakit syaraf lainnya (Kawahara dan Kato, 2011). Koagulan kimia yang berasal dari polimer organik seperti akrilamida dilaporkan mempunyai sifat neurotoksik dan dapat menyebabkan kanker (Prihatinningtyas dan Effendi, 2012). Sehingga atas dasar potensi bahaya tersebut, alternatif yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan koagulan alami/biokoagulan.

Koagulan alami atau biokoagulan adalah suatu zat berkation yang berasal dari alam. Zat ini berfungsi untuk mendestabilkan partikel-partikel koloid di dalam limbah, sehingga limbah hasil pengolahan dapat dibuang dengan aman ke lingkungan (Pratama dkk, 2016). Kandungan protein, tanin dan pektin pada suatu biokoagulan berfungsi sebagai polielektrolit alami yang bekerja setara dengan kinerja koagulan kimia dalam proses penurunan karakteristik kimia dan fisika dalam limbah. Penggunaan biokoagulan memiliki berbagai kelebihan diantaranya adalah ramah lingkungan, bahan baku yang mudah diperoleh, harga yang terjangkau, serta bersifat *biodegradable* (Pratama dkk, 2016).

Salah satu biokoagulan yang biasa digunakan adalah biji kelor (*Moringa oleifera L.*). Biji kelor (*Moringa oleifera L.*) mengandung protein yang cukup tinggi sehingga sering dimanfaatkan sebagai biokoagulan dalam pengolahan limbah (Edogbanya, 2013). Kandungan protein ini juga dapat dijumpai pada biji pepaya (*Carica papaya L.*), hal ini membuat biji pepaya (*Carica papaya L.*) memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai biokoagulan (Aprilion dkk, 2015). Selain itu, penggunaan biji pepaya (*Carica papaya L.*) dalam pengolahan limbah cair industri batik juga belum pernah dilakukan sebelumnya, sehingga pemanfaatan biji pepaya (*Carica papaya L.*) sebagai biokoagulan dalam pengolahan limbah cair industri batik merupakan suatu keterbaruan.

Dosis dan ukuran partikel sangat memengaruhi kinerja biokoagulan dalam pengolahan suatu limbah. Penggunaan dosis dan ukuran partikel optimum menyebabkan proses destabilisasi partikel akan semakin mudah terjadi, hal ini membuat flok akan semakin mudah terbentuk dan terendapkan sehingga dapat menurunkan karakteristik fisika dan kimia pada limbah (Ngadi and Aida, 2013). Karakteristik fisika dan kimia limbah cair industri batik meliputi *Total Dissolved Solids* (TDS), kekeruhan, *Chemical Oxygen Demand* (COD) serta kandungan logam berat timbal (Pb) dan krom (Cr) yang tinggi (Muljadi, 2013). Karakteristik utama limbah cair industri batik ini kemudian digunakan sebagai parameter pada evaluasi kinerja biokoagulan dalam proses remediasi limbah cair industri batik. Parameter-parameter ini diatur dalam Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 yang memuat tentang baku mutu air limbah.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dilakukan penelitian terkait evaluasi kinerja biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) dalam pengolahan limbah cair industri batik di Yogyakarta dengan metode koagulasi-flokulasi berdasarkan variasi dosis dan ukuran partikel. Dari penelitian ini diharapkan biji pepaya (*Carica papaya L.*) dapat menjadi alternatif biokoagulan baru selain biji kelor (*Moringa oleifera L.*) yang dapat menggantikan penggunaan koagulan kimia dalam pengolahan limbah cair industri batik, sehingga hasil pengolahan limbah cair industri batik dapat dengan aman dibuang ke lingkungan tanpa menimbulkan masalah baru.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh dosis dan ukuran partikel terhadap kinerja biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) pada pengolahan limbah cair industri batik?
2. Bagaimana kinerja biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) terhadap efektivitas dan efisiensi pengolahan limbah cair industri batik didasarkan pada parameter penurunan kekeruhan, *Electrical Conductivity* (EC), *Total*

Dissolved Solids (TDS), penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD), penurunan kandungan logam berat Pb dan Cr, intensitas cahaya (efek *Tyndall*), *Sludge Volume Index* (SVI) dan *Sludge Mass*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini direncanakan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh dosis dan ukuran partikel terhadap kinerja biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L*) pada pengolahan limbah cair industri batik.
2. Mengetahui kinerja biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) terhadap efektivitas dan efisiensi pengolahan limbah cair industri batik didasarkan pada parameter penurunan kekeruhan, *Electrical Conductivity* (EC), *Total Dissolved Solids* (TDS), penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD), penurunan kandungan logam berat Pb dan Cr, intensitas cahaya (efek *Tyndall*), *Sludge Volume Index* (SVI) dan *Sludge Mass*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) dapat menjadi alternatif pengganti koagulan kimia dalam pengolahan limbah cair industri batik.
2. Toksisitas dalam limbah cair industri batik dapat berkurang dengan proses koagulasi-flokulasi dan dapat memiliki karakteristik yang memenuhi baku mutu air limbah industri batik berdasarkan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengaruh Jenis Koagulan pada Pengolahan Limbah Cair

Koagulan merupakan suatu zat berkation yang dapat mengikat partikel-partikel kecil dalam suatu sampel air melalui proses koagulasi yang kemudian menghasilkan endapan (Hendrawati dkk, 2016). Rajendran (2015) mengungkapkan bahwa koagulan dapat ditemukan dalam bentuk alami (biokoagulan) dan sintetik (kimia), kedua jenis koagulan tersebut bertujuan untuk menghilangkan polutan dalam bentuk fisik (padatan dan kekeruhan) atau kimia (COD).

Beberapa contoh dari koagulan alami adalah biji asam jawa (*Tamarindus indica*), biji kelor (*Moringa oleifera L.*), biji labu kuning (*Cucurbita moschata*) dan lain-lain. Deepthi dan Sarala (2017) dalam penelitiannya terkait penurunan kandungan logam berat Cr di dalam air limbah menggunakan koagulan alami dari biji labu, diperoleh bahwa biji labu dapat menurunkan kandungan logam berat Cr dalam air limbah hingga 86,75 % pada kondisi optimum pH 7 dan waktu kontak selama 60 menit. Beberapa contoh koagulan kimia adalah aluminium sulfat, natrium aluminat, PAC (*poly aluminium chloride*), akrilamida dan lain-lain. Radityaningrum dan Caroline (2013) dalam penelitiannya terkait pengolahan limbah cair industri batik dengan metode koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan kimia yaitu *poly aluminium chloride* (PAC) diperoleh hasil bahwa terjadi penurunan konsentrasi COD dan TSS secara berturut-turut menjadi 103 mg/L dan 100 mg/L dari konsentrasi awal sebesar 359,3 mg/L dan 183,9 mg/L. Hasil ini diperoleh berdasarkan pengamatan selama 3 hari menggunakan konsentrasi koagulan sebesar 25 mg/L. Namun disamping keberhasilannya, penggunaan jenis koagulan kimia menyimpan bahaya yang cukup besar.

Prihatinningtyas dan Effendi (2012) dalam penelitiannya terkait penggunaan biokoagulan pada pengolahan limbah cair B3 mengungkapkan tentang bahaya penggunaan koagulan kimia. Koagulan kimia dapat memicu timbulnya berbagai penyakit saraf seperti alzheimer dan parkinson, selain itu kerusakan lingkungan

juga menanti akibat penggunaan koagulan kimia secara terus menerus, hal ini karena koagulan kimia menyisakan residu yang berbahaya bagi lingkungan. Oleh karena itu, solusi yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan koagulan alami/biokoagulan. Biokoagulan memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan koagulan kimia diantaranya adalah ramah lingkungan, bahan baku yang mudah diperoleh, harga yang terjangkau, serta bersifat *biodegradable* (Pratama dkk, 2016).

2.2 Aplikasi Biokoagulan pada Pengolahan Limbah Tekstil

Martina dkk (2018) dalam penelitiannya terkait pengolahan limbah tekstil dengan metode koagulasi-flokulasi mengungkapkan bahwa suatu bahan alam dapat berperan sebagai biokoagulan karena terdapat kandungan protein, pektin dan tanin di dalamnya. protein, tanin, dan pektin yang terkandung di dalam suatu bahan alam dapat berperan sebagai polielektrolit alami yang dapat membantu dalam proses pembentukan flok pada proses koagulasi-flokulasi. Protein memiliki muatan positif dan negatif sehingga dapat menyebabkan terjadinya proses tarik-menarik antar muatan, hal ini menyebabkan proses koagulasi-flokulasi dapat terjadi.

Kristianto dkk (2018) dalam penelitiannya terkait pengolahan limbah cair industri tekstil dengan menggunakan koagulan alami dari biji pepaya (*Carica papaya L.*) diperoleh bahwa serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) mengandung gugus fungsional $-OH$, $-NH$, $C=O$ yang menunjukkan potensi yang baik sebagai koagulan alami. Penggunaan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) menunjukkan terjadinya penurunan konsentrasi zat warna *Drimarene Dark Red* (DDR) pada limbah cair tekstil sebesar 84,77%. Hasil ini diperoleh pada penggunaan dosis biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) sebesar 0,57 g/L dan pada pH 1,97. Berdasarkan penelitian di atas, biji pepaya (*Carica papaya L.*) memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai biokoagulan dalam pengolahan limbah tekstil, khususnya limbah cair industri batik, hal ini juga diperkuat oleh belum ditemukannya pengolahan limbah cair industri batik yang memanfaatkan biji

pepaya (*Carica papaya L.*) sebagai biokoagulan, sehingga penelitian ini merupakan suatu keterbaruan.

Muljadi (2013) dalam penelitiannya terkait pengolahan limbah batik cetak mengungkapkan bahwa limbah cair industri batik memiliki 2 karakteristik utama, yaitu karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi *Total Dissolved Solids* (TDS) dan kekeruhan yang tinggi, sedangkan karakteristik kimia meliputi konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) serta logam berat timbal (Pb) dan krom (Cr) yang tinggi. Penurunan karakteristik fisika dan kimia dalam limbah cair industri batik ini dapat menjadi parameter keberhasilan aplikasi suatu biokoagulan pada limbah cair industri batik. Semakin besar reduksi karakteristik fisika dan kimia tersebut, maka semakin baik kinerja biokoagulan yang digunakan (Balaji dkk, 2018).

2.3 Pengaruh Dosis dan Ukuran Partikel Biokoagulan

Dalam proses koagulasi-flokulasi, dosis koagulan berperan penting dalam menentukan efektivitas dan efisiensi koagulasi-flokulasi. Dosis yang kurang optimum akan memberikan kinerja yang kurang maksimal dalam proses koagulasi-flokulasi. Dengan demikian, sangat penting untuk menentukan dosis optimum untuk meminimalkan biaya dan memaksimalkan kinerja dalam proses pengolahan limbah. Dosis koagulan yang semakin optimum memungkinkan terjadinya destabilisasi partikel koloid dalam limbah semakin besar. Namun, dosis koagulan yang berlebihan akan menyebabkan partikel yang telah teragregasi dapat berhamburan kembali sehingga akan mengganggu proses pengendapan partikel koloid (Ngadi dan Aida, 2013). Ukuran partikel juga sangat memengaruhi efektivitas dan efisiensi kerja suatu koagulan dalam proses pengolahan limbah. Ukuran partikel yang semakin kecil membuat luas permukaan pada koagulan semakin besar sehingga partikel-partikel koloid dalam sampel limbah akan semakin mudah berinteraksi dengan permukaan koagulan, hal ini dapat mempermudah proses pembentukan dan pengendapan flok sehingga dapat mengurangi toksisitas pada limbah (Balaji dkk, 2018).

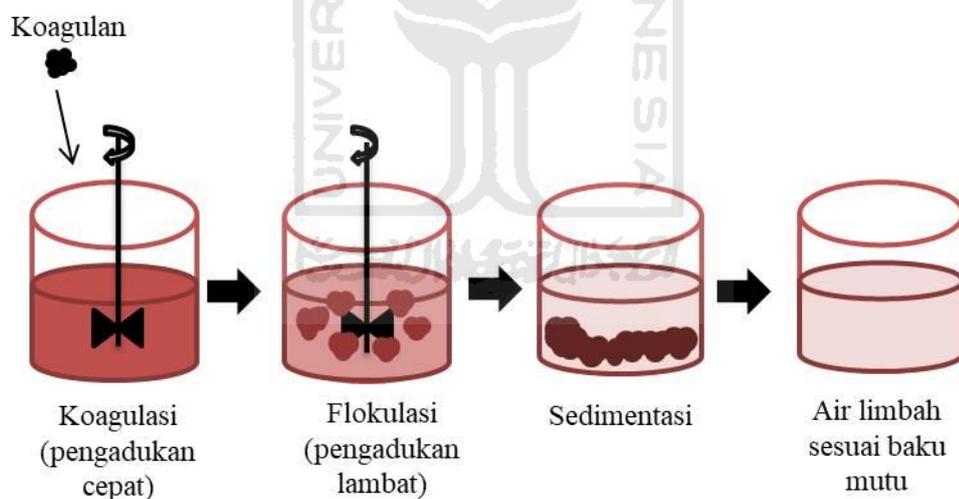
Balaji dkk (2018) dalam penelitiannya terkait pengolahan limbah cair industri kertas memanfaatkan biokoagulan *Moringa oleifera* berdasarkan variasi dosis dan ukuran partikel. Hasil yang diperoleh adalah terdapat persentase reduksi maksimum pada parameter fisika-kimia air limbah industri kertas. Persentase penurunan kekeruhan 60,9%, *Electrical Conductivity* 78,12% serta persentase penurunan TDS maksimum sebesar 63,2%, hasil ini diperoleh pada penggunaan dosis 80 mL dan ukuran partikel 425 μ biokoagulan *Moringa oleifera*. Berdasarkan hasil tersebut didapatkan bahwa dosis dan ukuran partikel optimum sangat memengaruhi kinerja biokoagulan dalam pengolahan suatu limbah industri. Semakin optimum dosis dan ukuran partikel yang digunakan, persentase reduksi parameter fisika-kimia limbah akan semakin tinggi.



BAB III DASAR TEORI

3.1 Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi merupakan suatu proses pengolahan limbah yang memanfaatkan perbedaan muatan antara koagulan dan koloid dalam limbah sehingga bekerja dengan cara meniadakan kestabilan ion. Proses koagulasi dapat memanfaatkan koagulan yang berasal dari alam. Prinsip dasar proses koagulasi adalah gaya tarik menarik antara ion-ion negatif dari partikel polutan dan ion-ion positif dari partikel koagulan sehingga membentuk mikroflok (Pinem dan Sorang, 2012). Proses tersebut kemudian dilanjutkan dengan flokulasi, dimana mikroflok yang telah terbentuk kemudian akan saling menggumpalkan sehingga membentuk flok-flok dengan ukuran lebih besar (makroflok). Proses ini dibantu dengan pengadukan lambat (Bangun dkk, 2013).



Gambar 1. Mekanisme proses koagulasi-flokulasi

Gambar 1 menunjukkan mekanisme proses koagulasi-flokulasi (Choumane dkk, 2017). Koagulasi-flokulasi air limbah dilaksanakan dengan tujuan untuk menggumpalkan partikel halus dan koloid menjadi partikel yang lebih besar dalam rangka untuk mengurangi kekeruhan. Terdapat tiga tahap pembentukan flok dalam proses koagulasi-flokulasi, mencakup tahap destabilisasi, tahap pembentukan mikroflok, serta tahap pembentukan makroflok. Tahap pertama dan

kedua berlangsung pada proses koagulasi, sedangkan tahap ketiga berlangsung pada proses flokulasi. (Teh dkk, 2016).

3.2 Koagulan

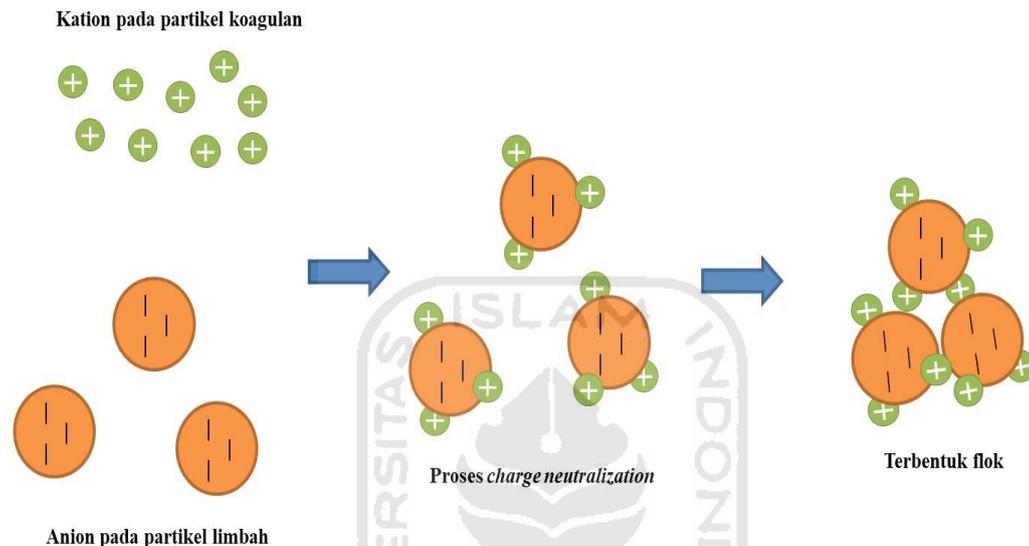
Koagulan merupakan suatu zat berkation yang dapat mengikat partikel-partikel kecil dalam suatu sampel air melalui proses koagulasi yang kemudian menghasilkan endapan (Hendrawat dkk, 2016). Koagulan yang ditambahkan ke dalam suatu sampel air akan menyebabkan partikel-partikel koloid di dalam sampel akan terdestabilkan, hal ini kemudian membuat partikel-partikel tersebut kemudian akan mengendap dan dapat dipisahkan dari suspensi air. Koagulan dikarakterisasi menurut sifat air limbah yang bertujuan meningkatkan efisiensi proses pengolahan air limbah untuk mencapai kualitas air yang sesuai dengan standar (Cissouma dkk, 2013).

Koagulan dapat ditemukan dalam bentuk sintetik/kimia maupun alami, Kedua jenis koagulan tersebut bertujuan untuk menghilangkan polutan dalam bentuk fisik (padatan dan kekeruhan) atau kimia (COD). Beberapa contoh dari koagulan kimia seperti aluminium sulfat, natrium aluminat, PAC (*poly aluminium chloride*) dan akrilamida, sedangkan beberapa contoh dari koagulan alami seperti *Cicer aretinum*, *Moringa oleifera*, dan lain-lain (Rajendran, 2015).

Koagulan alami atau biokoagulan adalah suatu zat berkation yang berasal dari alam. Zat ini berfungsi untuk mendestabilkan partikel-partikel koloid di dalam limbah, sehingga limbah hasil pengolahan dapat dibuang dengan aman ke lingkungan. Penggunaan biokoagulan memiliki berbagai kelebihan di antaranya adalah ramah lingkungan, bahan baku yang mudah diperoleh, harga yang terjangkau, proses sintesis yang sederhana, serta bersifat *biodegradable* (Pratama dkk, 2016).

Protein, tanin, dan pektin yang terkandung pada suatu bahan alam dapat berperan sebagai polielektrolit alami yang kerjanya mirip pada koagulan kimia. Polielektrolit berfungsi untuk mempermudah terbentuknya flok. Muatan positif dan negatif pada protein dapat membantu proses pengendapan partikel polutan pada limbah, hal ini karena protein dapat menginisiasi terjadinya tarik-menarik

antar muatan. Proses ini disebut sebagai mekanisme *charge neutralization*. Koagulan dengan muatan positif diadsorpsi ke permukaan partikel limbah bermuatan negatif. (Martina dkk, 2018). Gambar 2 menunjukkan mekanisme *charge neutralization* (Netralisasi muatan) pada proses koagulasi-flokulasi (Nath dkk, 2020).



Gambar 2. Mekanisme *charge neutralization*

Polielektrolit yang memiliki muatan kationik merupakan koagulan yang lebih efektif terhadap partikel kontaminan anionik. Keberadaan muatan pada polimer dan partikel yang tercemar menghasilkan tarikan elektrostatis dan partikel polutan yang lebih berat teradsorpsi dengan kuat dan dinetralkan pada permukaan partikel yang tercemar melalui netralisasi. Setelah netralisasi, partikel-partikel ini berikatan satu sama lain dan membentuk gumpalan (flok) yang dapat dihilangkan dengan mudah (Nath dkk, 2020).

3.3 Biji Pepaya (*Carica papaya L.*)

Pepaya (*Carica papaya L.*) merupakan tanaman buah herba termasuk dalam famili *caricaceae*. Tanaman ini yang berasal dari Amerika Tengah dan Hindia Barat. Tanaman Pepaya dapat tumbuh dengan sangat baik di daerah beriklim tropis (Aprilion dkk, 2015). Buah pepaya mengandung sejumlah besar biji berwarna hitam berukuran kecil yang ditunjukkan pada gambar 3 (Devaki dkk, 2016). Buah dan biji pepaya memiliki kandungan protein yang besar. Berdasarkan

penelitian dari Maisarah dkk (2014) menyatakan bahwa biji pepaya mengandung 25,1% protein, 8,2% abu dan 45,6% serat kasar. Kandungan protein pada biji pepaya ini dapat membantu proses destabilisasi partikel limbah sehingga dapat pembentukan dan pengendapan flok dapat terjadi. Flok-flok inilah yang kemudian dapat dipisahkan dari limbah (George, 2018).



Gambar 3. Biji buah pepaya (*Carica papaya L.*)

3.4 Baku Mutu Limbah Industri Batik

Limbah tekstil adalah buangan atau produk samping yang dihasilkan dari suatu proses produksi tekstil. Industri pada sektor tekstil banyak dijumpai di Indonesia baik dalam skala rumahan ataupun industri, hal ini diikuti terjadinya peningkatan risiko kerusakan lingkungan yang ditimbulkan dari pembuangan limbah tekstil, karena dalam prosesnya menggunakan bahan kimia yang cukup besar. Kehadiran limbah inilah yang jika tidak diolah dengan baik dapat berdampak negatif terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia (Rohayati, 2017). Oleh karena itu, limbah pada sektor tersebut harus memenuhi kriteria sesuai baku mutu yang telah ditetapkan sebelum dibuang ke lingkungan.

Industri batik merupakan salah satu industri yang banyak menggunakan zat warna dan bahan kimia dalam proses produksinya. Limbah cair industri batik ini menimbulkan dampak merugikan bagi lingkungan hal ini karena limbah tersebut

mengandung berbagai zat berbahaya termasuk zat warna dan logam-logam berat seperti krom (Cr) dan timbal (Pb) (Wage, 2016). Logam berat dihasilkan dari beberapa sumber dalam proses pembatikan, seperti dalam proses pewarnaan, pencelupan, penyelesaian (*finishing*), serta dalam proses perawatan (Smith, 1988).

Di Yogyakarta, sebagian besar industri batik adalah industri kecil atau *home industry*, sehingga proses pengolahan limbah dari industri batik ini cenderung sulit dilakukan. Hal ini menyebabkan limbah hasil produksi dibuang begitu saja tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu (Yulianto dkk, 2009). dan Tabel 1 menunjukkan baku mutu limbah industri batik yang termuat dalam Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 (Gubernur DIY, 2010).

Tabel 1. Baku mutu limbah industri batik

Parameter	Proses Basah		Proses Kering	
	Kadar Paling Banyak (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Banyak (kg/Ton)	Kadar Paling Banyak (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Banyak (kg/ton)
COD	250	15	250	3,75
TDS	2.000	120	2000	30
TSS	60	3,6	80	1,2
Krom Total (Cr)	1	0,06	2	0,03
pH	6,0-9,0			
Debit limbah paling banyak (m ³ /Ton produk batik)	60		15	

3.5 Logam Berat

Syah dkk (2012) melaporkan bahwa terdapat 80 unsur yang termasuk logam berat. Berdasarkan sudut pandang toksikologi logam berat ini dapat dibagi menjadi dua macam yaitu logam berat esensial dan tidak esensial. Logam berat esensial adalah jenis logam berat yang dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup namun dapat menimbulkan efek racun dalam jumlah banyak, contohnya adalah Cu, Zn, Mn, Co, Fe dan lain-lain. Sedangkan logam berat tidak esensial atau beracun adalah jenis logam berat yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya bahkan diketahui dapat bersifat sebagai racun, contohnya seperti Cr, Pb, Hg, Cd dan lain-lain. Logam berat ini dapat menimbulkan efek buruk bagi lingkungan terutama bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya. Logam berat ini dapat menimbulkan reaksi alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen bagi manusia. Daya racun yang dimiliki oleh logam berat tersebut akan bekerja sebagai penghalang kinerja enzim sehingga proses metabolisme dapat terputus. Berikut adalah sifat kimia dan fisika logam berat :

- a. Sifat kimia : elektropositif dan secara umum oksidanya dapat membentuk basa dan senyawa ionik.
- b. Sifat fisik : padat, mengkilap, dapat ditempa, titik leleh tinggi, penghantar listrik dan panas, serta dapat membentuk paduan logam.

Logam berat yang terkandung pada suatu limbah sangat sulit untuk didegradasi. Akibatnya, logam berat tersebut akan terakumulasi di lingkungan dan dapat membentuk senyawa kompleks dengan bahan organik dan anorganik dalam ekosistem perairan. Logam berat tersebut memiliki potensi merusak sistem fisiologi dan biologi manusia jika melewati batas toleransi yang dapat menimbulkan berbagai penyakit dan gangguan. Logam berat masuk ke jaringan tubuh makhluk hidup melalui beberapa jalan, yaitu saluran pernapasan, pencernaan dan penetrasi melalui kulit (Anthony dan Godfrey, 2014).

3.5.1 Krom (Cr)

Kromium adalah suatu unsur yang termasuk dalam logam transisi golongan VI B yang bersifat tahan karat dan berwarna abu-abu. Kromium mempunyai nomor atom 24 dan massa jenis $7,19 \text{ g/cm}^3$. Kromium di alam terdapat dalam 3 jenis valensi, yaitu kromium (0), kromium (III) dan kromium (VI) (ATSDR, 2008). Logam kromium (Cr) adalah logam berat yang bersifat toksik. Dalam tubuh, logam kromium dijumpai dalam bentuk ion Cr^{3+} dan Cr^{6+} . Karakteristik logam kromium pada kedua bentuk tersebut sangat berbeda. Kromium trivalen bersifat stabil dan berasal dikromium trioksida. Kromium heksavalen merupakan agen pengoksidasi yang kuat. Bentuk heksavalen bersifat lebih beracun daripada bentuk trivalen. Cr(VI) bersifat labil, beracun dan karsinogenik untuk makhluk hidup (Sugihartono, 2016).

Akumulasi kromium dalam tubuh manusia dalam jumlah besar sangat mengganggu kesehatan dan dapat mengakibatkan kerusakan dalam sistem organ tubuh. Efek toksisitas kromium (Cr) dapat merusak serta mengiritasi hidung, paru-paru, lambung dan usus. Mengonsumsi makanan yang mengandung kromium dalam jumlah yang sangat besar dapat menyebabkan gangguan pada kulit, pencernaan, serta dapat menimbulkan kerusakan hati bahkan kematian (Palar, 1994). Efek lain yang ditimbulkan yaitu berdampak karsinogen (penyebab kanker) dan teratogen (menghambat pertumbuhan janin dan mutagen (Schiavon dkk, 2008). Kromium digunakan dalam industri sebagai bahan dalam pembuatan alat penggosok, pemurnian *acetylene*, pembuatan alizarin, pembuatan *alloy* dan baterai, dan lain-lain (IARC, 1990).

3.5.2 Timbal (Pb)

Timbal merupakan salah satu unsur logam golongan IV A. Timbal (Pb) mempunyai nomor atom 82 serta massa jenis $11,34 \text{ g/cm}^3$. Timbal bersifat lunak, berwarna biru serta mempunyai titik leleh $326,4^{\circ}\text{C}$ (Ferdiaz, 1995). Logam Pb akan menguap dan membentuk timbal oksida (PbO) pada suhu $500\text{-}600^{\circ}\text{C}$ (Palar, 1994).

Senyawa Pb yang masuk ke dalam tubuh melalui makanan akan mengendap pada jaringan tubuh dan sisanya akan terbuang bersama bahan sisa metabolisme. Timbal adalah sebuah unsur yang biasa ditemukan di dalam batu-batuan, tanah, tumbuhan dan hewan. Timbal 95% bersifat anorganik dan umumnya dalam bentuk garam anorganik yang kurang larut dalam air. Bentuk organik dari timbal dapat ditemukan dalam bentuk senyawa *tetra ethyl lead* (TEL) dan *tetra metyl lead* (TML). Senyawa-senyawa ini dapat dengan mudah larut dalam pelarut organik misalnya pada lipid. Timbal merupakan sebuah unsur logam sehingga sulit untuk didegradasi dihancurkan (Tyas, 1998). Dalam kehidupan sehari-hari, timbal dimanfaatkan untuk produksi alloy serta sebagai campuran dalam pembuatan keramik yang disebut *glaze* (Ferdiaz, 1995).

3.6 Parameter Analisis

3.6.1 Kekeruhan

Kekeruhan adalah suatu ukuran parameter analisis yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur keadaan air baku dengan skala *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU). Kekeruhan ini disebabkan oleh keberadaan partikel koloid di dalam air. Kekeruhan pada air disebabkan oleh kandungan padatan yang tersuspensi di dalamnya (zat organik maupun anorganik). Zat anorganik dapat berupa lumpur dan logam terlarut, sedangkan zat organik dapat berasal dari buangan limbah domestik maupun industri yang dapat dijadikan makanan bakteri dan perkembangbiakan bakteri. Dosis koagulan juga berpengaruh terhadap kekeruhan suatu limbah. Dosis yang melebihi titik optimum akan menyebabkan kenaikan nilai kekeruhan karena akan mengakibatkan terjadinya penyerapan kation yang berlebih oleh partikel koloid dalam air sehingga partikel koloid akan bermuatan positif dan terjadi gaya tolak-menolak antar partikel, hal ini akan menyebabkan terjadinya deflokulasi flok dan mengakibatkan kekeruhan limbah meningkat (Hendrawati dkk, 2016).

3.6.2 Total Dissolved Solids (TDS)

Total Dissolved Solids (TDS) adalah jumlah padatan terlarut atau koloid yang dapat berupa senyawa kimia serta bahan-bahan lain yang terdapat dalam

suatu sampel air. Alat yang digunakan untuk mengukur TDS adalah TDS meter, hasil pengukuran TDS meter menunjukkan jumlah TDS dalam satuan *part per million* (ppm) atau sama dengan miligram per liter (mg/L). Sampel yang akan diukur harus dihomogenkan dahulu agar hasil yang diperoleh lebih akurat. Paparan limbah dengan TDS tinggi terus-menerus terhadap manusia dapat menyebabkan timbulnya berbagai masalah, diantaranya adalah kanker, dan berbagai penyakit kardiovaskular (Widayanti dkk, 2012).

3.6.3 *Electrical Conductivity* (EC)

Electrical Conductivity (EC) atau konduktivitas listrik adalah ukuran kemampuan suatu zat cair untuk menghantarkan aliran listrik yang didasarkan oleh seberapa banyak garam atau mineral terlarut yang terionisasi di dalamnya. Oleh karena itu, semakin banyak garam-garam atau mineral terlarut dalam suatu zat cair maka keberadaan ion-ion bebas akan semakin banyak. Ion-ion tersebut akan menghantarkan aliran listrik dengan cara bergerak ke arah elektroda-elektroda yang dicelupkan pada larutan tersebut (Sihombing, 2000). Ion yang bermuatan negatif bergerak mengarah elektroda bermuatan positif. Senyawa yang termasuk ke dalam asam, basa, dan garam merupakan penghantar listrik yang baik, karena kandungan ion-ion di dalamnya yang cukup melimpah, sedangkan senyawa organik seperti sukrosa dan benzena tidak dapat larut dalam air, hal ini membuat proses ionisasi tidak dapat terjadi sehingga senyawa organik tersebut bukan penghantar listrik yang baik (Macereth, 1989).

3.6.4 *Sludge Volume Index* (SVI) dan *Sludge Mass* (SM)

Sludge Volume Index (SVI) adalah parameter pengukuran yang sangat berguna dalam proses pengolahan air limbah. Secara sederhana, *Sludge Volume Index* (SVI) adalah metode pengukuran *sludge* dimana seluruh suspensi setelah koagulasi-flokulasi dibiarkan mengendap dalam tabung imhoff 1 L, kemudian dilakukan penentuan volume *sludge* yang mengendap (mL/L) serta campuran padatan tersuspensi (mg/L) untuk digunakan dalam penentuan nilai SVI (Mudenur, 2016). Sedangkan *Sludge Mass* (SM) adalah selisih massa *sludge* basah dengan massa *sludge* kering per miligram *sludge* basah (Dick, 1978). Nilai

SVI maupun SM yang diperoleh menggambarkan kemampuan partikel untuk mengendap dan memadat, hal ini terkait dengan seberapa banyak endapan yang dihasilkan. Semakin rendah nilai SVI menunjukkan pembentukan *sludge* semakin baik dan cepat, hal ini membuat flok yang terendapkan akan semakin banyak, sehingga nilai SM akan semakin tinggi (Mudenur, 2016).

3.6.5 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah parameter analisis kualitas air yang menunjukkan seberapa banyak oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang terkandung dalam 2 liter sampel air. Oksidator yang biasa digunakan adalah $K_2Cr_2O_7$ (Rahmawati dkk, 2013). Senyawa $K_2Cr_2O_7$ adalah agen penyedia oksigen untuk membantu degradasi senyawa organik secara kimiawi di dalam suatu sampel air menjadi CO_2 dan H_2O (Pinem dan Sorang, 2012).

Keberadaan bahan organik pada suatu badan air dapat berasal dari alam maupun dari aktivitas rumah tangga dan industri. Semakin banyak bahan organik di dalam sampel air, maka oksigen yang dibutuhkan untuk degradasi senyawa organik tersebut akan semakin banyak sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi *Chemical Oxygen Demand* (COD) maka semakin tinggi pula pencemaran organik pada sampel air tersebut. Nilai COD pada perairan yang tercemar dapat lebih dari 200 mg/L, bahkan pada limbah industri dapat mencapai 60.000 mg/L (Sumantri dan Cordova, 2011).

Secara rinci metode pengukuran COD diuraikan dalam SNI 6989-2-2009 atau referensi mengenai analisis air lainnya. Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD) dilakukan dengan menambahkan oksidator dalam jumlah tertentu ke dalam sampel air (volume telah diketahui), diikuti dengan penambahan asam pekat dan katalis perak sulfat, selanjutnya dipanaskan. Terakhir, kelebihan kalium bikromat yang terpakai kemudian dihitung sehingga nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dapat ditentukan (Radityaningrum dan Caroline, 2013).

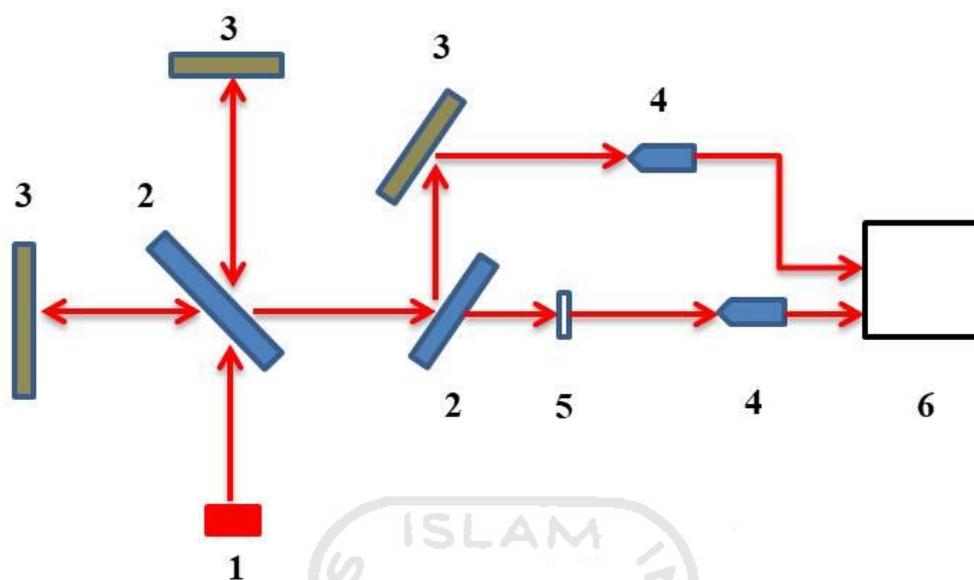
3.7 Instrumen Analisis

3.7.1 Spektroskopi Inframerah (FTIR)

Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) merupakan metode analisis suatu senyawa yang didasarkan oleh penyerapan sinar IR oleh atom dalam suatu senyawa sehingga menghasilkan vibrasi, rotasi, dan rotasi pada satuan bilangan gelombang (cm^{-1}) tertentu. Hasil analisis spektroskopi FTIR berupa spektra hasil interpolasi antara intensitas energi dan bilangan gelombang (cm^{-1}). Spektra tersebut berasal dari peristiwa transmisi cahaya IR yang dilewatkan pada sampel, selanjutnya detektor akan mengukur intensitas cahaya yang dihasilkan dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai bagian dari satuan panjang gelombang (Anam dkk, 2007).

Prinsip kerja spektroskopi inframerah adalah interaksi energi dengan suatu materi. Spektroskopi inframerah berfokus pada radiasi elektromagnetik pada rentang frekuensi $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$, dimana cm^{-1} yang dikenal sebagai *wavenumber* ($1/\text{wavelength}$) yang merupakan ukuran unit frekuensi (Sjahfirdi dkk, 2015). Spektroskopi inframerah berfungsi untuk mengidentifikasi gugus fungsional pada suatu sampel guna membantu mengidentifikasi suatu senyawa, menentukan struktur molekul, mengetahui kemurnian dan mempelajari reaksi yang sedang berjalan (Anthony dan Godfrey, 2014).

Setiap molekul yang dianalisis memiliki nilai energi tertentu. Bila suatu senyawa dikenai energi dari sinar IR maka energi yang terdapat di dalam molekul tersebut akan mengalami eksitasi menuju tingkatan energi yang lebih tinggi, hal ini tergantung seberapa besar energi yang diserap sehingga akan memicu terjadinya perubahan energi vibrasi dan rotasi pada molekul tersebut. Peristiwa ini terjadi dengan syarat terjadinya perubahan momen dipol sebagai akibat dari vibrasi. Energi yang dihasilkan oleh sinar IR harus sesuai dengan energi yang dibutuhkan oleh atom untuk bervibrasi. Senyawa seperti O_2 dan N_2 tidak memiliki perubahan dipol dalam vibrasinya sehingga tidak dapat mengadsorpsi sinar inframerah (Sjahfirdi dkk, 2015). Gambar 4 menunjukkan skema alat spektroskopi FTIR secara sederhana (Anam dkk, 2007).



Gambar 4. Skema alat spektroskopi FTIR (1) sumber inframerah (2) pembagi berkas (*beam splitter*) (3) kaca pemantul (4) sensor inframerah (5) sampel (6) *display*

3.7.2 Spektrometer Serapan Atom (SSA)

Spektrometri Serapan Atom (SSA) adalah suatu metode analisis logam total berdasarkan interaksi antara energi radiasi dengan atom unsur yang dianalisis. Atom dalam suatu unsur akan menyerap energi yang diberikan oleh lampu katoda berongga (Hallow Cathode Lamp), penyerapan energi ini membuat terjadinya eksitasi atom-atom dari tingkat energi dasar menuju tingkat energi yang lebih tinggi. Namun, keadaan ini bersifat tidak stabil, sehingga atom-atom tersebut akan kembali ke tingkat energi dasar dengan melepaskan radiasi dari sebagian atau seluruh tenaga eksitasinya. Frekuensi radiasi yang dilepaskan ini karakteristik untuk setiap unsur dan intensitasnya sebanding dengan jumlah atom yang tereksitasi dan kemudian mengalami deeksitasi (Basset, 1994).

Larutan sampel yang akan dianalisis diaspirasikan ke suatu nyala (*flame*) sehingga unsur yang terkandung di dalamnya akan diubah menjadi uap atom netral, hal ini membuat nyala mengandung atom dari unsur-unsur yang dianalisis. Panjang gelombang yang dihasilkan dari sumber radiasi adalah sama dengan panjang gelombang yang diabsorpsi oleh atom dalam nyala. Kaidah absorpsi ini

mengikuti hukum Lamber-Beer yang menyatakan bahwa absorbansi berbanding lurus dengan panjang nyala yang dilalui sinar dan konsentrasi uap atom netral dalam nyala (Endah dan Surantaatmadja, 2019) Hubungan tersebut ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$A = a.b.c \quad (1)$$

Keterangan :

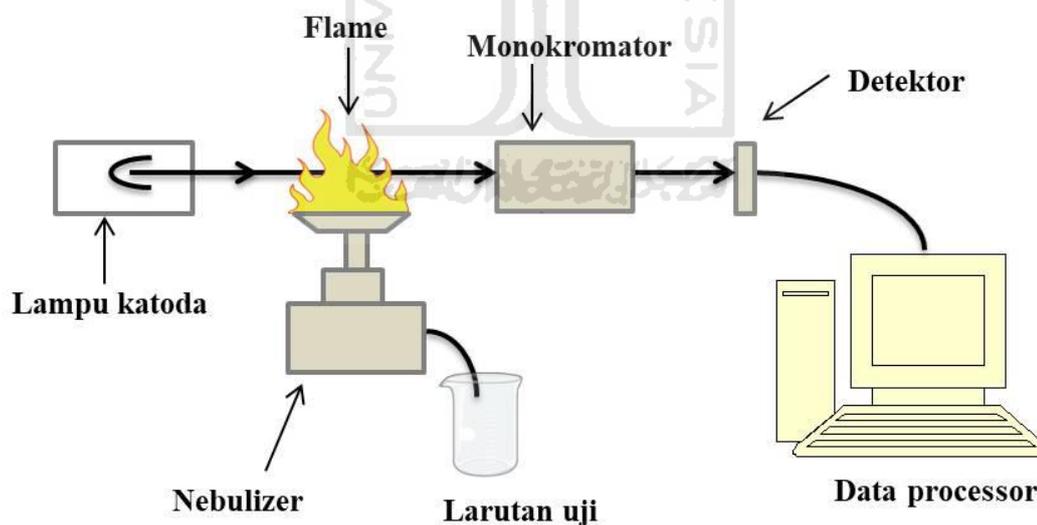
A= absorbansi

a = koefisien serapan

b = panjang jejak sinar dalam medium berisi atom penyerap

c = konsentrasi

Kurva kalibrasi kemudian dibuat dari menghubungkan antara absorbansi terhadap konsentrasi unsur dalam larutan standar. Kemudian, absorbansi sampel diinterpolasikan pada kurva standar sehingga akan diperoleh konsentrasi dalam larutan uji (Williams, 1972). Berikut adalah skema instrumentasi Spektrometri Serapan Atom (SSA) (Welz, 2015).



Gambar 5. Skema instrumentasi SSA

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Alat dan Bahan Penelitian

4.1.1 Alat penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi peralatan gelas (Pyrex dan Herma), pH meter (ATC KL-009A, Cina), desikator, neraca analitik (KERN & SOHN GmbH EMB 200-3, Jerman), oven (Mettler, Jerman), lumpang dan alu, sendok sungsung, ayakan 150; 200; dan 250 mesh (Test Sieve, Indonesia), Spektrometer Serapan Atom (Perkin Elmer PinAAcle 900T, USA), Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (Nicolet Avatar 360 IR, USA), pengukur *Total Dissolved Solids* dan *Electrical Conductivity* (Hanna Instruments 9813-5, Romania), turbidimeter (Thermo Scientific Eutech TN-100, Singapura), pengaduk magnetik (Faithful SH-2B, Cina), blender (Miyako, Indonesia), senter (Krisbow, Indonesia), Luxmeter (LT Lutron LX-103, Taiwan) dan kompor listrik (Maspion S-300, Indonesia).

4.1.2 Bahan penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi HNO₃ (65%, Merck, Jerman), HCl (37%, Mallinckrodt, Britania Raya), NaOH (99,99%, Merck, Jerman), akuades, sampel limbah cair industri batik, biji pepaya (*Carica papaya L.*), kertas saring whatman 42 (GE Healthcare Life Sciences, USA), tisu, serta larutan buffer pH 4, 7 dan 10 (Merck, Jerman).

4.2. Prosedur Kerja

4.2.1 Sampling limbah cair industri batik

Sampel limbah cair batik diperoleh dari Industri Batik Sekar Idaman yang berlokasi di Plalangan, RT.03/RW.41, Plalangan, Pandowoharjo, Kec. Sleman, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 7°40'56.1"S 110°22'04.1"E. Limbah cair tersebut kemudian diencerkan sebanyak 5 kali menggunakan akuades, selanjutnya dianalisis berdasarkan parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD), derajat keasaman (pH), konsentrasi logam total Pb dan Cr, *Sludge Volume*

Index (SVI), *Total Dissolved Solids* (TDS), *sludge mass*, *Electrical Conductivity* (EC), serta penurunan kekeruhan guna mengetahui kondisi awal limbah sebelum dilakukan koagulasi-flokulasi.

4.2.2 Preparasi biokoagulan

Biji pepaya (*Carica papaya L.*) diperoleh dari pedagang buah di area kota Yogyakarta dan Sleman. Setelah biji Pepaya (*Carica papaya L.*) dikumpulkan, kemudian dibersihkan, diikuti dengan pengeringan oven pada suhu 65°C selama 10 jam. Biji yang telah kering kemudian dihancurkan dan diayak dengan ukuran 150; 200; dan 250 mesh. Serbuk biji yang telah kering ini kemudian disimpan dalam desikator dan digunakan sebagai biokoagulan.

4.2.3 Analisis proksimat dan FTIR biokoagulan

4.2.3.1 Analisis Proksimat

Analisis proksimat dilakukan berdasarkan SNI 01-2891-1992. Analisis proksimat yang dilakukan pada sampel biji pepaya (*Carica papaya L.*) meliputi kadar abu, kadar air, dan kadar protein. Pengujian kadar abu dilakukan dengan menimbang 2-3 gram sampel biji pepaya (*Carica papaya L.*), kemudian arangkan di atas nyala pembakar, lalu diabukan dalam *furnace* pada suhu maksimum 550°C sampai pengabuan sempurna, terakhir abu yang diperoleh ditimbang.

$$\text{Kadar abu} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

W = bobot sampel sebelum diabukan (gram)

W1 = bobot sampel + cawan sesudah diabukan (gram)

W2 = bobot cawan kosong (gram)

Pengujian kadar air dilakukan dengan menimbang 1-2 gram sampel biji pepaya (*Carica papaya L.*), selanjutnya dikeringkan pada oven suhu 105°C selama 3 jam, terakhir didinginkan dalam desikator dan ditimbang.

$$\text{Kadar air} = \frac{W_1}{W} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

W = bobot sampel sebelum dikeringkan (gram)

W1 = bobot yang hilang setelah dikeringkan (gram)

Pengujian kadar protein dilakukan berdasarkan metode Kjeldahl. Sebanyak 0,5 gram sampel serbuk biji (*Carica papaya L.*) dimasukkan ke labu uji, kemudian ditambahkan reagen destruksi yang terdiri atas 20 mL H₂SO₄ pekat, 5 mL H₂O₂ serta sejumlah katalis. Kemudian dilakukan pemanasan selama 30 menit pada suhu 300⁰C serta dilanjutkan selama 60 menit pada suhu 420⁰C. Selanjutnya didinginkan hingga suhu 50-60⁰C. Setelah itu dilakukan proses distilasi-titrasi. Sampel yang telah didinginkan tadi, ditempatkan pada rangkaian alat. Kemudian dilakukan proses distilasi-titrasi. Sampel hasil destruksi ditambahkan 50 mL akuades dan NaOH 70 mL sedikit demi sedikit. Distilat ditampung pada erlenmeyer yang telah berisi 30 mL H₃BO₃. Kemudian, distilat yang telah diperoleh dititrasi dengan HCl 0,1 N. Terakhir ditentukan kadar protein dengan menggunakan faktor konversi 5,18.

$$\text{Kadar protein} = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times Fk \times 14,008}{W} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

V1 = Volume titran untuk titrasi sampel (mL)

V2 = Volume titran untuk titrasi blanko (mL)

N = Normalitas titran

Fk = Faktor konversi (5,18)

14,008 = Berat atom Nitrogen

W = Berat sampel (mg)

4.2.3.2 Analisis FTIR

Pengujian biji pepaya (*Carica papaya L.*) menggunakan FTIR dilakukan dengan membuka aplikasi *spectrum*, kemudian *range* bilangan gelombang diatur (4000-400 cm⁻¹). Kompartemen sampel dibersihkan, kemudian diklik *background* pada aplikasi. Selanjutnya, sampel diletakkan di atas permukaan kristal *diamond*, setelah itu diklik *scan* hingga muncul spektra IR. Sampel ditekan sampai nilai *force gauge* maksimal 60 newton, lalu klik *scan* kembali. Analisis selesai apabila proses *scanning* mencapai 100%. Spektra IR yang telah diperoleh kemudian dapat diolah dan dicetak.

4.2.4 Penentuan dosis dan ukuran partikel optimum

Proses remediasi limbah cair batik dilakukan dengan metode koagulasi-flokulasi. Sebanyak masing-masing 250 mL air limbah batik dimasukkan ke 4 gelas beker, kemudian ditambahkan serbuk biji pepaya dengan variasi dosis yaitu 250, 500, 750 dan 1000 mg berdasarkan variasi ukuran partikel 150, 200 dan 250 mesh. Selanjutnya dilakukan koagulasi-flokulasi dengan pengadukan cepat 100 rpm selama 5 menit, dilanjutkan kecepatan yang lebih rendah yaitu 40 rpm selama 24 menit, kemudian hasil koagulasi-flokulasi didiamkan selama 60 menit dalam tabung imhoff, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring whatman 42. Filtrat yang diperoleh kemudian diuji berdasarkan parameter penurunan kekeruhan, *Total Dissolved Solids* (TDS) dan *Electrical Conductivity* (EC) dari masing-masing variasi dosis dan ukuran partikel.

$$\text{Penurunan Kekeruhan} = \frac{\text{Kekeruhan awal} - \text{kekeruhan akhir}}{\text{kekeruhan awal}} \times 100\% \quad (5)$$

4.2.5 Penentuan pH optimum

Setelah diperoleh dosis dan ukuran partikel optimum. Kemudian dilakukan penentuan pH optimum. Sebanyak 250 mL air limbah batik yang telah diencerkan 5 kali dimasukkan ke gelas beker, dengan variasi pH 4, 7, dan 9. Variasi pH dilakukan dengan diberikan penambahan asam kuat (HCl 1 M) dan basa kuat (NaOH 1 M). Setelah variasi dibuat, kemudian dilakukan proses koagulasi-flokulasi dengan pengadukan cepat 100 rpm selama 5 menit, dilanjutkan kecepatan yang lebih rendah yaitu 40 rpm selama 24 menit menggunakan dosis dan ukuran partikel koagulan optimum yang telah diperoleh. Setelah itu, didiamkan selama 60 menit. Lalu disaring dengan menggunakan kertas saring whatman 42, dan dilanjutkan dengan pengujian kekeruhan, *Total Dissolved Solids* (TDS) dan *Electrical Conductivity* (EC) pada masing-masing variasi derajat keasaman.

4.2.6 *Sludge Volume Index* (SVI) dan *Sludge Mass* (%)

Penentuan *Sludge Volume Index* dilakukan dengan mengukur volume *sludge* yang terbentuk pada tabung imhoff 1 L, kemudian dibagi dengan miligram

endapan kering per volume limbah yang digunakan (Mudenur, 2016). Sedangkan *Sludge Mass* dilakukan dengan menghitung selisih antara massa *sludge* basah dan *sludge* kering dibagi massa *sludge* basah yang diperoleh (Dick, 1978). Perhitungan *Sludge Volume Index* (SVI) dan *Sludge Mass* dilakukan pada setiap variasi dosis dan ukuran partikel.

$$\text{Sludge Volume Index (SVI)} = \frac{\text{Volume endapan } \left(\frac{\text{mL}}{\text{L}}\right)}{\text{Jumlah total padatan tersuspensi } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \times 1000 \quad (6)$$

$$\text{Sludge Mass} = \frac{\text{SM}_0 - \text{SM}_t}{\text{SM}_0} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan :

Volume endapan = volume *sludge* yang terendapkan di dalam tabung Imhoff 1 L

Jumlah total padatan tersuspensi = miligram endapan kering per volume limbah

SM_0 = *sludge* basah (mg)

SM_t = *sludge* kering (mg)

4.2.7 Chemical Oxygen Demand (COD)

Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD) dilakukan berdasarkan SNI 6989.2-2009. Limbah yang telah diolah dimasukkan ke tabung uji, ditambahkan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dan H_2SO_4 . Kemudian dikocok hingga homogen, selanjutnya tabung diletakkan pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150°C dan dilakukan refluks selama 2 jam. Kemudian, sampel yang telah direfluks didinginkan pada suhu ruang, lalu dilanjutkan dengan membiarkan suspensi mengendap, hingga bagian yang akan dianalisis benar-benar jernih. Sampel tersebut kemudian dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis menggunakan panjang gelombang 600 nm. Terakhir, kadar COD dihitung berdasarkan kurva kalibrasi.

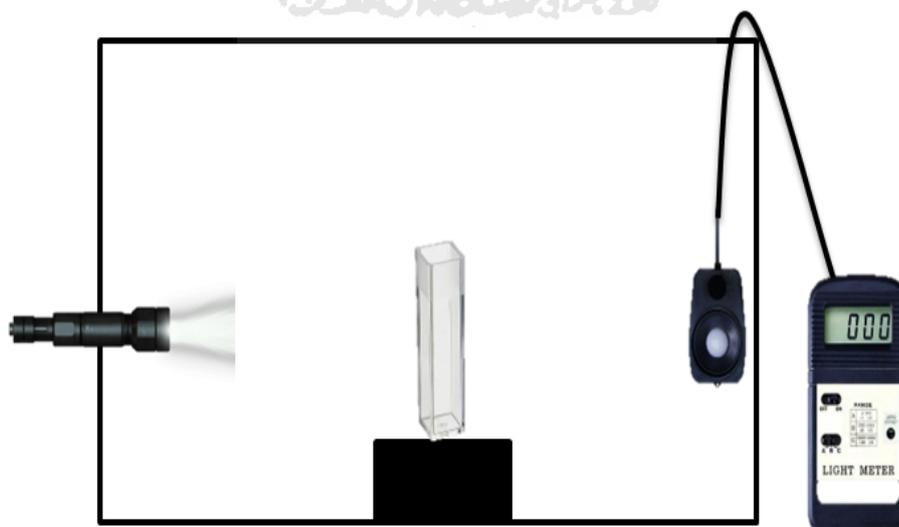
4.2.8 Penentuan logam total Pb dan Cr (SSA)

Analisis logam total Pb dan Cr dilakukan berdasarkan SNI 6989.8:2009 dan SNI 6989.17:2009. Sampel uji terlebih dahulu didestruksi menggunakan HNO_3 5-10 mL. Setelah sampel didestruksi, dilanjutkan dengan pembuatan kurva kalibrasi menggunakan larutan blanko (akuades) dan larutan standar Pb. Panjang gelombang yang digunakan untuk larutan standar Pb adalah 217 nm. Setelah itu,

dibuat kurva kalibrasi. Jika koefisien regresi linier $< 0,995$, maka proses kalibrasi harus diulang kembali. Proses kemudian dilanjutkan dengan analisis kadar Pb pada sampel uji. Aspirasikan sampel uji ke SSA lalu diukur serapannya pada panjang gelombang 217 nm. Catat hasil pengukuran. Analisis logam total Cr dilakukan dengan cara yang sama, namun dengan menggunakan larutan standar Cr dan panjang gelombang 357,9 nm.

4.2.9 Pengukuran intensitas cahaya (Efek Tyndall)

Pengukuran intensitas cahaya dilakukan pada sebuah media yang terbuat dari kotak kardus dengan dimensi 35 cm x 23,5 cm x 18,5 cm. Jarak sampel dengan sensor *lux* meter sebesar 16,5 cm, sedangkan jarak antara sampel dengan senter sebesar 14 cm. Mula-mula dilakukan pengukuran intensitas cahaya dari akuades dengan cara memasukkan akuades sebanyak 3,5 mL masing-masing ke dalam 3 kuvet, kemudian masing-masing kuvet yang telah diisi akuades diukur intensitas cahayanya menggunakan *lux meter* dengan cara menempatkan kuvet pada titik yang telah ditetapkan, kemudian senter diarahkan ke kuvet hingga cahaya mengenai sensor, nyalakan *lux meter* lalu lakukan pembacaan hasil yang tertera pada layar *lux meter*. Setelah itu, dilanjutkan pengukuran Efek Tyndall pada masing-masing limbah hasil koagulasi-flokulasi yang telah diperoleh.



Gambar 6. Ilustrasi pengukuran Efek Tyndall

4.2.10 Perbandingan dengan PAC

Sebanyak 250 mL air limbah batik dimasukkan ke gelas beker, kemudian ditambahkan dengan koagulan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) sebanyak 1000 mg. Selanjutnya dilakukan koagulasi-flokulasi dengan pengadukan cepat 100 rpm selama 5 menit, dilanjutkan kecepatan yang lebih rendah yaitu 40 rpm selama 24 menit, kemudian hasil koagulasi-flokulasi didiamkan selama 60 menit dalam tabung *imhoff*, selanjutnya disaring menggunakan kertas saring whatman 42. Filtrat yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan limbah hasil pengolahan dengan biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) pada kondisi optimum, berdasarkan parameter penurunan kekeruhan, *Total Dissolved Solids* (TDS), *Electrical Conductivity* (EC), *Sludge Volume Index* (SVI), dan *Sludge Mass*.



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakterisasi Limbah Batik

Sampel limbah cair batik diperoleh dari Industri Batik Sekar Idaman, yang bertempat di Plalangan, RT.03/RW.41, Plalangan, Pandowoharjo, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta (Titik GPS, 7°40'56.1"S 110°22'04.1"E). Limbah batik tersebut kemudian dianalisis guna mengetahui karakteristiknya. Limbah batik yang diperoleh tersebut diencerkan sebanyak 5 kali pengenceran, hal ini dilakukan agar batas analisisnya dapat terjangkau, mengingat limbah batik murni yang tidak diencerkan memiliki tingkat kepekatan yang tinggi, sehingga menyulitkan dalam proses analisisnya.

Tabel 2. Karakterisasi awal limbah cair batik

Parameter	Hasil	Satuan
Kekeruhan	151	NTU
<i>Total Dissolved Solids</i> (TDS)	900	mg/L
<i>Electrical Conductivity</i> (EC)	3,72	mS/cm
Derajat Keasaman	8,30	-
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	839	mg/L
Konsentrasi Logam total Pb	0,937	mg/L
Konsentrasi Logam total Cr	0,185	mg/L

Karakteristik utama dari limbah cair batik mencakup karakteristik fisika dan kimia. Karakteristik fisika meliputi *Total Dissolved Solids* (TDS) dan kekeruhan yang tinggi, sedangkan karakteristik kimia meliputi Derajat Keasaman, konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) serta logam berat Timbal (Pb) dan Krom (Cr) yang tinggi (Muljadi, 2013). Limbah cair batik dengan karakteristik tersebut dapat menimbulkan dampak buruk bagi manusia dan lingkungan, sehingga diharapkan setelah diolah menggunakan biokoagulan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) dengan metode koagulasi-flokulasi, karakteristik tersebut dapat berkurang dan kemudian dapat dengan aman dibuang ke lingkungan.

5.2 Karakterisasi Koagulan

5.2.1 Analisis proksimat dan karakterisasi biokoagulan dengan FTIR

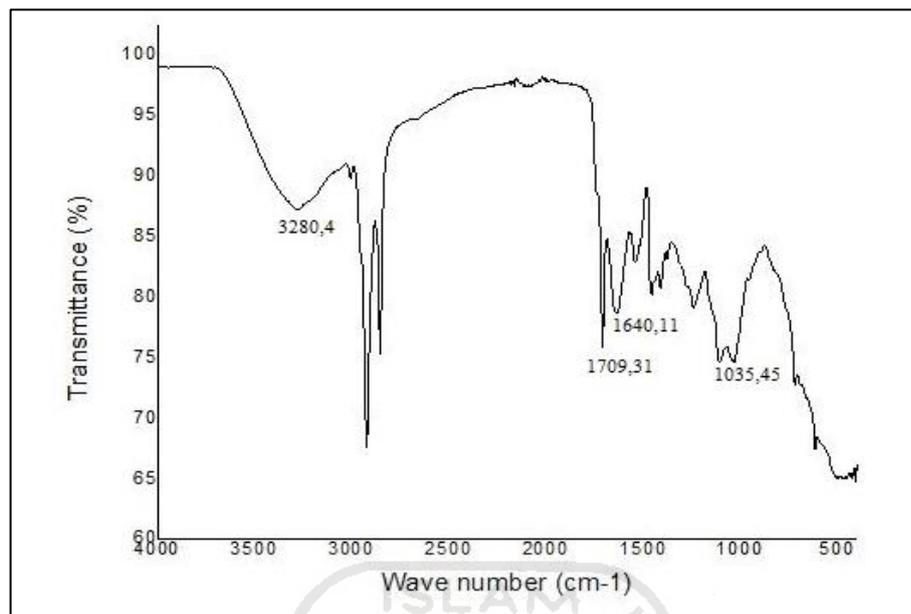
Pada penelitian ini, serbuk koagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) yang diperoleh dilakukan analisis proksimat. Analisis proksimat bertujuan untuk mengetahui kandungan nutrisi dalam suatu sampel, meliputi kadar abu, kadar air, protein, dan lain-lain. Tabel 3 menunjukkan hasil analisis proksimat pada serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*).

Tabel 3. Hasil analisis proksimat biji pepaya (*Carica papaya L.*)

Parameter	Hasil (%)
Kadar Air	7,29
Kadar Abu	7,55
Kadar Protein	19,7

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diperoleh kadar air sebesar 7,29%, kadar abu sebesar 7,55% serta kadar protein sebesar 19,7%. Persentase kadar air menunjukkan seberapa besar air yang terkandung dalam suatu sampel. Kadar air menentukan daya awet dari suatu sampel, selain itu penentuan kadar air juga membantu dalam menentukan perlakuan pada suatu sampel, sedangkan persentase kadar abu menunjukkan persentase total komponen anorganik atau mineral yang terdapat dalam suatu sampel, pengukuran kadar air dan kadar abu dapat dilakukan dengan metode gravimetri (Winata dkk, 2015). Persentase kadar protein menggambarkan persentase total nitrogen di dalam sampel dikali faktor konversi protein, faktor konversi untuk sampel biji pepaya adalah 5,18. Pengujian kadar protein dilakukan dengan metode Kjeldahl (Maehre, 2018).

Gambar 7 menunjukkan puncak spektra IR dari gugus fungsional pada biokoagulan *Carica papaya L.* Pengujian dengan FTIR berfungsi untuk mengidentifikasi gugus fungsional dalam biokoagulan, utamanya untuk mengidentifikasi gugus -OH, -COOH, dan NH yang menunjukkan potensi kandungan protein dan kemungkinan kandungan karbohidrat yang dapat berperilaku sebagai polielektrolit.



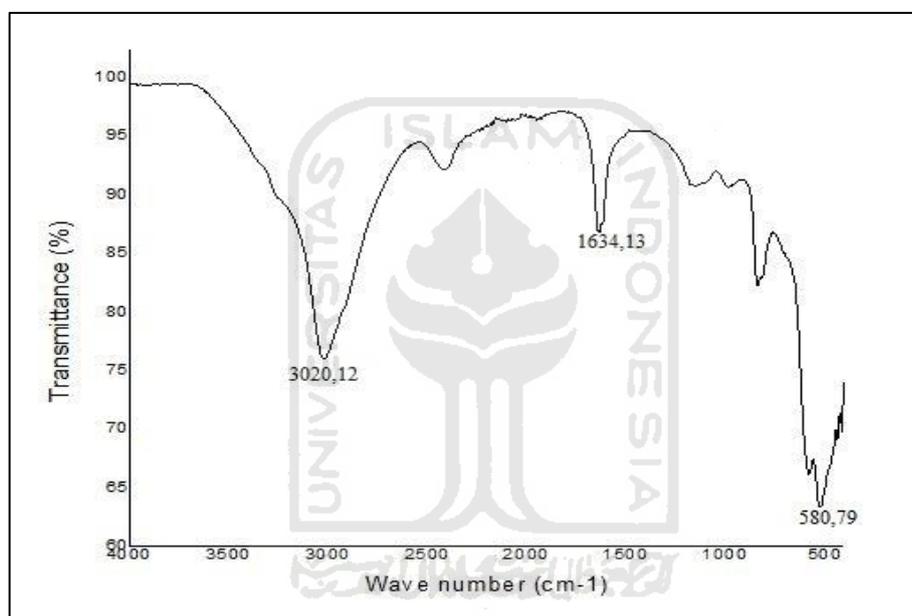
Gambar 7. Puncak IR gugus fungsional biokoagulan *Carica papaya L.*

Hasil elusidasi spektra IR serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) menunjukkan bahwa terjadi vibrasi pada pita serapan bilangan gelombang 3280,41 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan ikatan O-H, kemudian pada bilangan gelombang 1709,31 cm^{-1} hasil dari ikatan C=O, serta secara berturut-turut 1640,11 cm^{-1} dan 1035,45 cm^{-1} yang menunjukkan ikatan N-H dan C-O. Ikatan -OH dan -CO menegaskan keberadaan gugus hidroksil dan asam karboksil, sedangkan -NH menegaskan keberadaan gugus amina yang menunjukkan potensi kandungan protein, data ini diperkuat dengan hasil analisis proksimat yang menunjukkan kadar protein pada biji pepaya (*Carica papaya L.*) sebesar 19,7%, kedua data ini membuktikan bahwa biji pepaya (*Carica papaya L.*) berpotensi untuk digunakan sebagai koagulan.

5.2.2 Karakterisasi PAC (*Poly Aluminium Chloride*) dengan FTIR

PAC atau *Poly Aluminium Chloride* $[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$ adalah suatu garam khusus yang biasa digunakan dalam proses pembuatan aluminium klorida. PAC bekerja dengan cara menguraikan larutan keruh atau sampel limbah kemudian membantu menggumpalkan partikel di dalam sampel air tersebut, sehingga memungkinkan partikel-partikel tersebut memisah dari medium larutannya (Anton, 2013).

Tujuan karakterisasi FTIR pada koagulan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) adalah untuk mengidentifikasi gugus fungsional dalam PAC (*Poly Aluminium Chloride*), terkhusus terkait keberadaan gugus alumina. Gugus alumina yang terkandung pada PAC (*Poly Aluminium Chloride*) bekerja efektif dalam mengikat koloid, ikatan ini diperkuat dengan rantai polimer dari gugus polielektrolit sehingga gumpalan flok yang dihasilkan menjadi lebih padat (Ramadhan dkk, 2013). Gambar 8 menunjukkan puncak spektra IR dari gugus fungsional pada koagulan kimia PAC (*Poly Aluminium Chloride*).



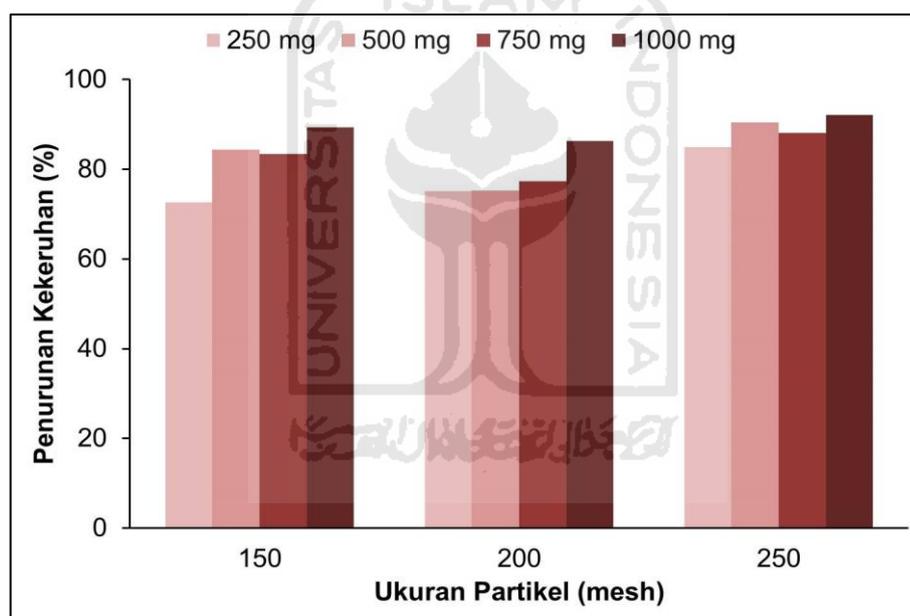
Gambar 8. Puncak IR gugus fungsional PAC

Hasil elusidasi spektra IR PAC (*Poly Aluminium Chloride*) menunjukkan bahwa terjadi vibrasi pada pita serapan bilangan gelombang $3020,12 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan terdapat ikatan O-H pada struktur PAC (*Poly Aluminium Chloride*), kemudian pada bilangan gelombang $1634,13 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan terdapat vibrasi ikatan H-OH, terakhir pada bilangan gelombang $580,79 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan terdapat vibrasi antara ikatan Al-OH. Ikatan Al-OH ini menegaskan kandungan gugus alumina pada PAC (*Poly Aluminium Chloride*) (Zhou, 2014).

5.3 Pengaruh Dosis dan Ukuran Partikel Biokoagulan Serbuk Biji Pepaya (*Carica papaya L.*)

5.3.1 Pengaruh terhadap nilai kekeruhan

Penentuan dosis dan ukuran partikel optimum pada koagulan sangat penting dilakukan guna memberikan hasil pengolahan limbah yang lebih maksimal. Dosis dan ukuran partikel koagulan yang berada di bawah optimum dapat memberikan hasil pengolahan limbah yang kurang maksimal, hal ini dapat berpengaruh pada efektivitas dan efisiensi metode koagulasi-flokulasi. Sedangkan dosis dan ukuran partikel koagulan yang berlebihan akan menyebabkan partikel yang telah teragregasi berhamburan kembali, sehingga akan mengganggu proses pengendapan partikel (Ngadi dan Aida, 2013).



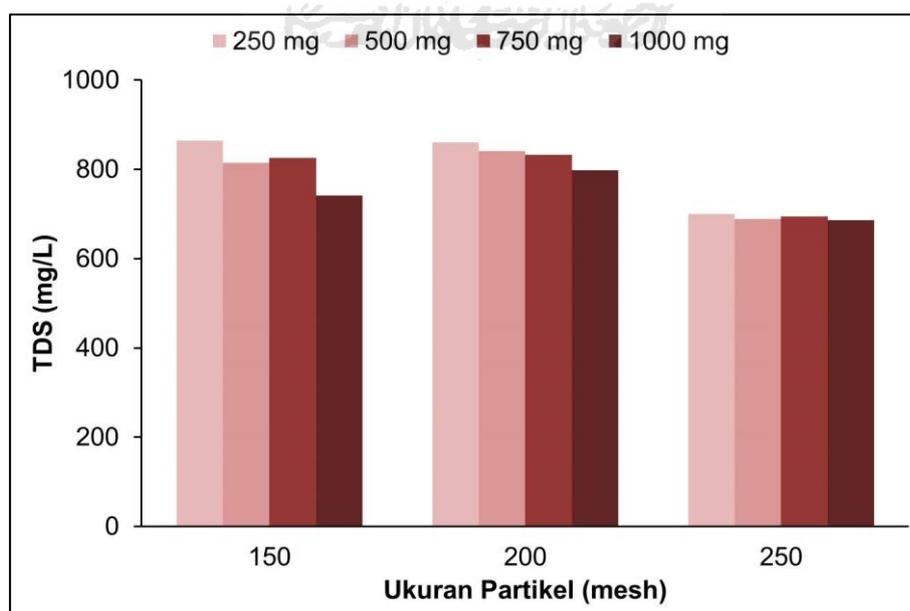
Gambar 9. Pengaruh terhadap penurunan kekeruhan

Gambar 9 menunjukkan pengaruh ukuran dan dosis partikel biokoagulan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) terhadap penurunan kekeruhan dari air limbah industri batik. Pada biokoagulan *Carica papaya L.* dengan ukuran partikel 150 mesh diperoleh persentase penurunan kekeruhan sebesar 89,3%, hasil ini diperoleh pada dosis koagulan 1000 mg. Biokoagulan *Carica papaya L.* dengan ukuran partikel 200 mesh diperoleh 86,2% penurunan kekeruhan pada 1000 mg dosis koagulan, dan untuk koagulan *Carica papaya L.* 250 mesh diperoleh 92,2%

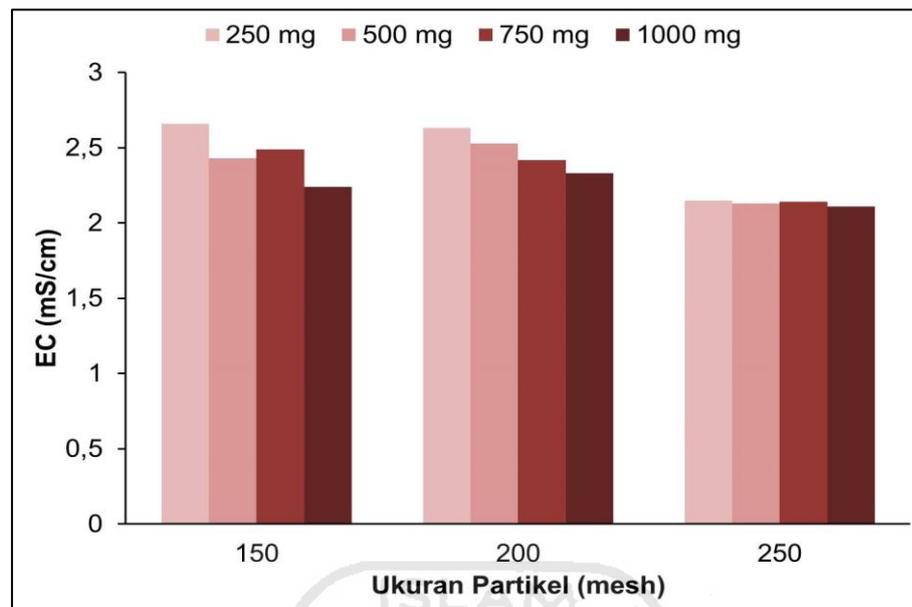
penurunan kekeruhan dengan dosis 1000 mg. Berdasarkan hasil ini, disimpulkan bahwa ukuran partikel dan dosis biokoagulan dengan persentase penurunan kekeruhan terbaik adalah 250 mesh dan 1000 mg. Penggunaan dosis dan ukuran partikel optimum menyebabkan proses destabilisasi partikel akan semakin mudah terjadi, hal ini membuat flok akan semakin mudah terbentuk, sehingga terjadi penurunan kekeruhan pada limbah (Ngadi dan Aida, 2013).

5.3.2 Pengaruh terhadap nilai TDS dan EC

Total Dissolved Solids (TDS) adalah jumlah padatan terlarut yang dapat berupa senyawa kimia serta bahan-bahan lain yang terdapat dalam suatu sampel air (Widayanti dkk, 2012). Sedangkan *Electrical Conductivity* (EC) merupakan ukuran kemampuan suatu zat cair untuk menghantarkan aliran listrik yang didasarkan oleh seberapa banyak garam atau mineral terlarut yang terionisasi di dalamnya. Oleh karena itu, semakin banyak garam-garam atau mineral terlarut dalam suatu zat cair maka keberadaan ion-ion bebas akan semakin banyak (Sihombing, 2000). Nilai EC berbanding lurus dengan kadar abu. Kadar abu menunjukkan seberapa banyak komponen anorganik maupun mineral yang terdapat pada suatu sampel, sehingga semakin tinggi kadar abu menunjukkan bahwa EC yang dihasilkan pun akan semakin tinggi (Setya dkk, 2013).



Gambar 10. Pengaruh terhadap *Total Dissolved Solids*



Gambar 11. Pengaruh terhadap *Electrical Conductivity*

Hasil analisis diperoleh bahwa dosis dan ukuran partikel optimum yaitu 1000 mg dan 250 mesh, dengan nilai TDS dan EC secara berturut-turut sebesar 686 mg/L dan 2,11 mS/cm. Dosis dan ukuran partikel optimum akan menyebabkan proses pengikatan koagulan terhadap partikel koloid dalam sampel limbah akan semakin maksimal. Penambahan dosis koagulan yang berlebih akan mengakibatkan partikel koloid tidak dapat terikat secara maksimal pada permukaan koagulan, sehingga proses pembentukan flok menjadi terkendala, hal ini dapat memberi pengaruh pada nilai TDS dan EC (Hidayah dkk, 2018).

pH larutan adalah parameter penting dalam efisiensi proses koagulasi-flokulasi. Penentuan pengaruh pH larutan dilakukan dengan variasi pH 4, 7, dan 9 (Ferdian dan Arinaldi, 2013). Pengujian dilakukan untuk mengetahui pH optimum terhadap efisiensi koagulasi-flokulasi menggunakan dosis 1000 mg dan ukuran partikel 250 mesh. Berdasarkan Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Batik, rentang pH yang aman untuk limbah agar dapat dibuang ke lingkungan adalah 6,0-9,0. Tabel 4 menunjukkan pengaruh variasi pH larutan pada hasil koagulasi-flokulasi limbah industri batik berdasarkan dosis 1000 mg dan ukuran partikel optimum 250 mesh.

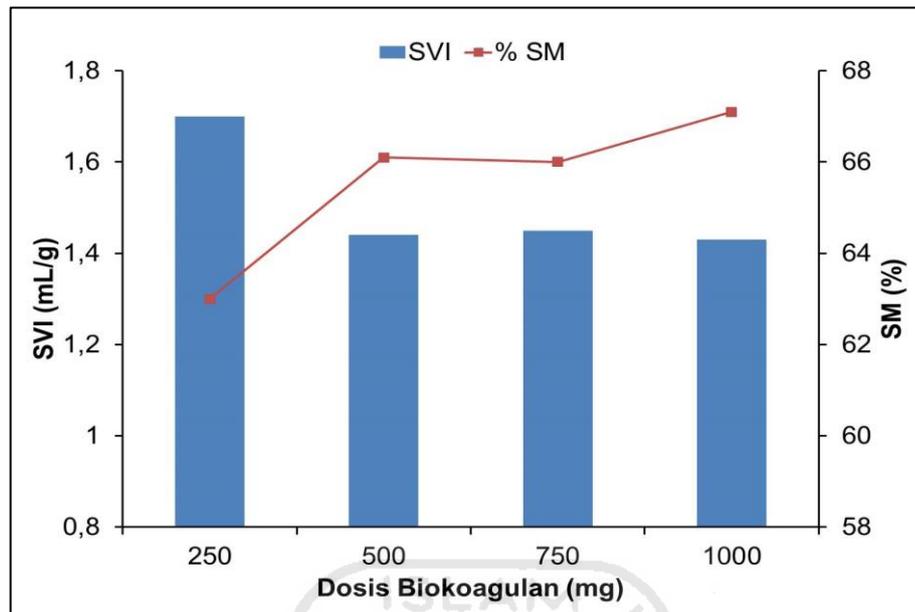
Tabel 4. Pengaruh variasi pH larutan

Kondisi	pH		TDS (mg/L)	EC (mS/cm)	Kekeruhan (NTU)
	Awal	Akhir			
Basa	9	7,2	690	2,06	56,2
Netral	7,1	6,8	668	1,94	27,3
Asam	4	6	647	1,91	17,2

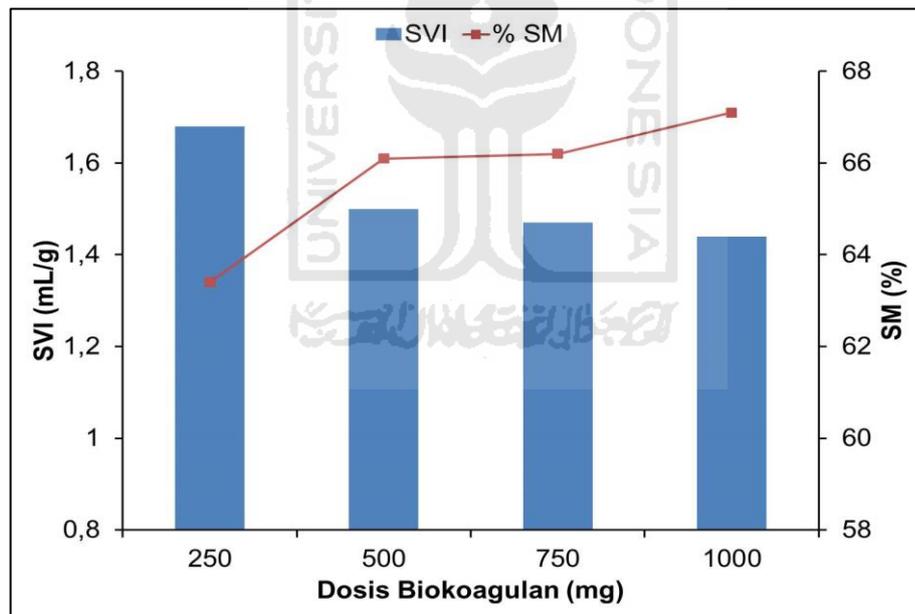
Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi perubahan pH akhir pada masing-masing kondisi pH awal, untuk kondisi basa, netral, dan asam secara berturut-turut diperoleh pH akhir sebesar 7,2; 6,8; dan 6. Berdasarkan ketiga kondisi tersebut, kondisi asam menghasilkan penurunan *Total Dissolved Solids* (TDS), *Electrical Conductivity* (EC), serta kekeruhan terbesar. Kondisi asam pada sampel membuat proses destabilisasi antar partikel koagulan dan partikel limbah berjalan optimum, sehingga mekanisme *charge neutralization* dapat berlangsung maksimal dan menghasilkan flok yang kemudian dapat dipisahkan dari limbah.

5.3.3 Pengaruh terhadap *Sludge Volume Index* (SVI) dan *Sludge Mass* (%)

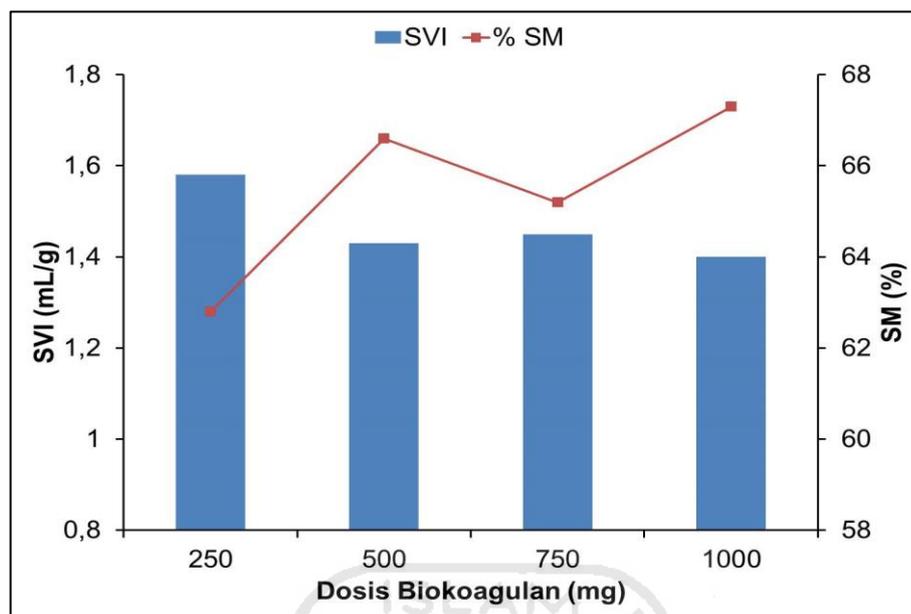
Sludge Volume Index (SVI) adalah metode pengukuran *sludge* dimana seluruh suspensi setelah koagulasi-flokulasi dibiarkan mengendap dalam tabung imhoff 1 L, kemudian dilakukan penentuan volume *sludge* yang mengendap (mL/L) serta campuran padatan tersuspensi (mg/L) untuk digunakan dalam penentuan nilai SVI (Mudenur, 2016). *Sludge Mass* adalah selisih massa *sludge* basah dengan massa *sludge* kering per miligram *sludge* basah (Dick, 1978). Nilai SVI maupun SM menggambarkan kemampuan partikel untuk mengendap, hal ini terkait dengan seberapa banyak endapan yang dihasilkan. Semakin rendah nilai SVI menunjukkan pembentukan *sludge* semakin baik dan cepat, hal ini membuat flok yang terendapkan akan semakin banyak, sehingga nilai SM akan semakin tinggi (Mudenur, 2016).



Gambar 12. Grafik SVI dan SM pada ukuran partikel 150 mesh



Gambar 13. Grafik SVI dan SM pada ukuran partikel 200 mesh



Gambar 14. Grafik SVI dan SM pada ukuran partikel 250 mesh

Gambar 12, 13 dan 14 menunjukkan bahwa pada ukuran partikel 150 mesh diperoleh nilai SVI dan SM terbaik secara berturut-turut sebesar 1,43 mL/g dan 67,2%, yaitu pada dosis 1000 mg. Selanjutnya, pada ukuran partikel 200 mesh diperoleh nilai SVI dan SM terbaik secara berturut-turut sebesar 1,44 mL/g dan 67,1%, yaitu pada dosis 1000 mg. Terakhir, pada ukuran partikel 250 mesh diperoleh nilai SVI dan SM terbaik secara berturut-turut sebesar 1,40 mL/g dan 67,3%, yaitu pada dosis 1000 mg. Hasil ini menunjukkan penggunaan dosis dan ukuran partikel yang optimum akan memengaruhi nilai SVI yang dihasilkan, semakin optimum dosis dan ukuran partikel koagulan, maka flok akan semakin mudah terbentuk, flok-flok inilah yang kemudian akan mengendap dan memengaruhi nilai SVI dan SM (Patel dan Vashi, 2012). Berdasarkan keseluruhan hasil yang diperoleh, nilai *Sludge Volume Index* (SVI) dan *Sludge Mass* terbaik terdapat pada dosis 1000 mg dan ukuran partikel 250 mesh, yaitu secara berturut-turut sebesar 1,4 mL/g dan 67,3%.

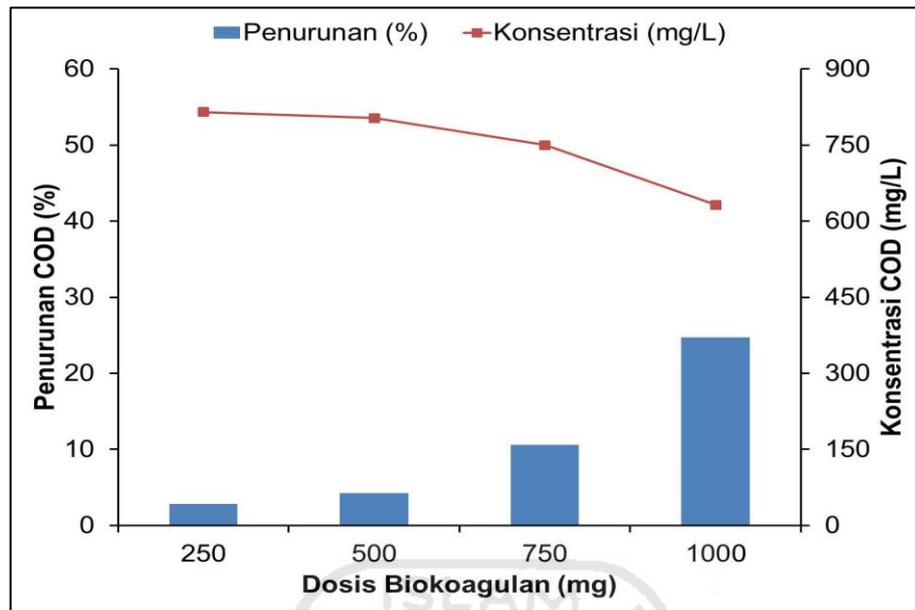
5.3.4 Pengaruh terhadap nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun sukar didegradasi secara biologis

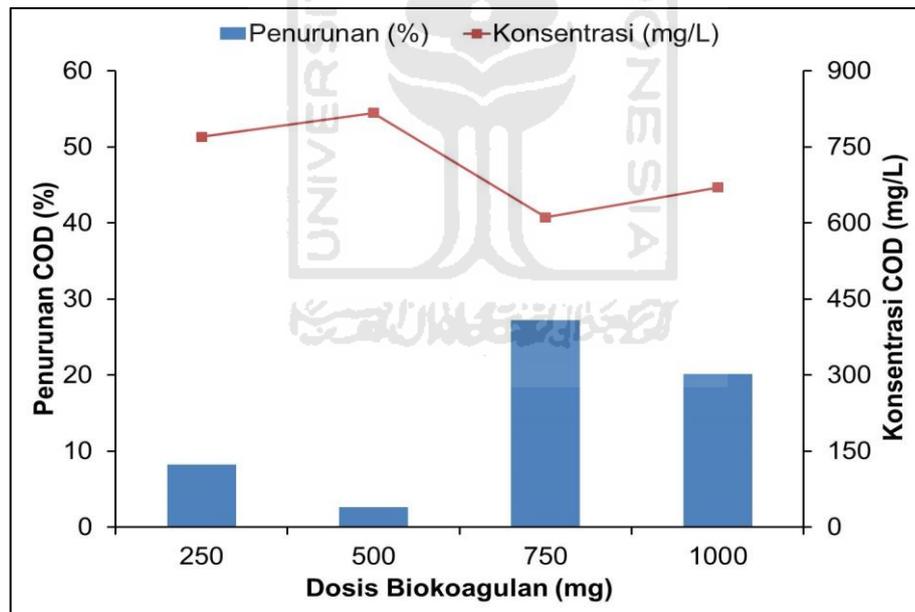
menjadi CO₂ dan H₂O. Metode pengukuran COD diuraikan dalam SNI 6989-2-2009. Semakin tinggi kadar COD menunjukkan semakin tinggi pula tingkat pencemaran pada suatu limbah (Pinem dan Sorang, 2012). Senyawa organik yang terkandung pada limbah batik bersumber dari proses pewarnaan. Mekanisme koagulasi senyawa organik di dalam sampel limbah terjadi berdasarkan peristiwa ikatan hidrogen dan dipol-dipol. Peristiwa ini menimbulkan interaksi antara gugus amina aktif (NH₄⁺) pada koagulan dan unsur-unsur penyusun senyawa organik. Mekanisme koagulasi ini disebut juga sebagai mekanisme *particle bridging*. Senyawa organik dan koagulan yang telah terikat kemudian akan menginisiasi terbentuknya flok yang lebih besar, dengan cara membentuk *loop* dan *tail*. Bagian *loop* dan *tail* inilah yang kemudian berfungsi sebagai *bridge* atau jembatan untuk pengikatan senyawa organik lain (Amran dkk, 2018).

Berdasarkan baku mutu yang termuat dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, kadar maksimum COD untuk limbah tekstil adalah sebesar 150 mg/L, sedangkan untuk limbah tekstil dari industri batik adalah sebesar 250 mg/L, baku mutu ini termuat dalam Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016.

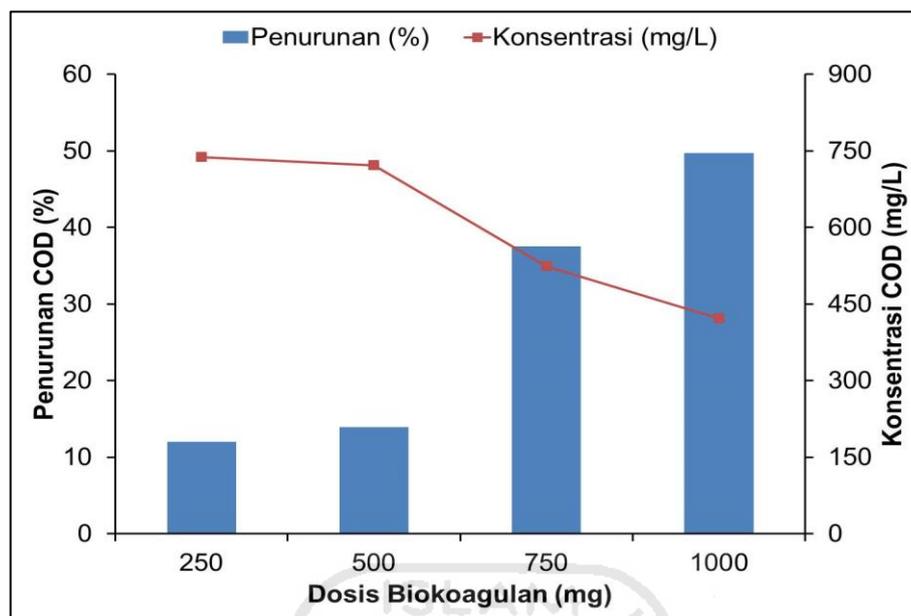
Gambar 15, 16 dan 17 menunjukkan hasil analisis COD pada sampel limbah batik berdasarkan pengaruh variasi dosis dan ukuran partikel. Hasil analisis COD pada limbah cair batik mula-mula (sebelum ditambahkan koagulan) diperoleh sebesar 839 mg/L, selanjutnya setelah dilakukan pengolahan dengan menambahkan biokoagulan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*), diperoleh hasil bahwa dosis dan ukuran partikel yang menghasilkan penurunan nilai COD tertinggi adalah pada dosis 1000 mg dan ukuran partikel 250 mesh, dengan konsentrasi akhir COD sebesar 422 mg/L dan nilai penurunan COD 49,7%.



Gambar 15. Hasil analisis COD pada ukuran partikel 150 mesh



Gambar 16. Hasil analisis COD pada ukuran partikel 200 mesh



Gambar 17. Hasil analisis COD pada ukuran partikel 250 mesh

Hasil di atas membuktikan bahwa dosis dan ukuran partikel optimum sangat berpengaruh dalam menurunkan total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun sukar didegradasi secara biologis menjadi CO_2 dan H_2O (Rusydi dkk, 2016). Berdasarkan hasil ini disimpulkan bahwa nilai COD pada limbah hasil pemrosesan belum sesuai dengan baku mutu limbah industri batik yang aman dibuang ke lingkungan karena masih melebihi ambang batas yang termuat dalam Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016 yaitu sebesar 250 mg/L.

5.3.5 Pengaruh terhadap logam berat Pb dan Cr

Logam berat merupakan bahan pencemar berbahaya yang dapat terakumulasi di lingkungan membentuk senyawa kompleks dengan bahan organik dan anorganik dalam ekosistem perairan. Logam berat berpotensi merusak sistem fisiologi dan biologi manusia jika melewati batas toleransi. Logam berat masuk ke jaringan tubuh makhluk hidup melalui beberapa jalan, yaitu saluran pernapasan, pencernaan dan penetrasi melalui kulit (Anthony dan Godfrey, 2014). Pada penelitian ini kandungan logam berat yang dianalisis adalah logam Timbal (Pb) dan Krom (Cr). Kedua logam tersebut merupakan logam berat yang termasuk

dalam karakteristik kimia limbah cair industri batik (Muljadi, 2013). Logam berat pada limbah cair industri batik umumnya berasal dari proses pewarnaan. Kandungan logam berat pada zat warna tekstil khususnya batik berfungsi sebagai penguat warna sehingga warna yang dihasilkan pada kain lebih jelas dan tidak mudah luntur. Konsentrasi awal logam berat Pb dan Cr pada limbah cair batik yang telah diencerkan 5 kali secara berturut-turut sebesar 0,937 dan 0,185 mg/L.

Tabel 5. Hasil analisis logam berat Pb dan Cr dalam limbah cair batik

Ukuran partikel	Dosis koagulan (mg/250 mL)	C sisa logam (mg/L)	
		Pb	Cr
150 mesh	250	0,489 (47,7%)	0,135 (27,2%)
	500	0,505 (46,1%)	0,131 (29,1%)
	750	0,690 (26,3%)	0,117 (36,9%)
	1000	0,644 (31,2%)	0,109 (40,8%)
200 mesh	250	0,644 (31,2%)	0,124 (33,0%)
	500	0,644 (31,2%)	0,138 (25,2%)
	750	0,659 (29,6%)	0,145 (21,4%)
	1000	0,643 (31,3%)	0,149 (19,4%)
250 mesh	250	0,876 (6,50%)	0,181 (1,94%)
	500	0,690 (26,3%)	0,163 (11,6%)
	750	0,339 (63,8%)	0,113 (39,0%)
	1000	0,403 (56,9%)	0,071 (61,6%)

(%) = % penurunan

Tabel 5 menunjukkan hasil analisis logam berat Cr dan Pb pada limbah batik yang telah dikoagulasi-flokulasi dengan penambahan biokoagulan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) berdasarkan variasi dosis dan ukuran partikel.

Penurunan konsentrasi logam berat Pb terjadi secara optimum pada dosis 750 mg dan ukuran partikel 250 mesh yaitu sebesar 63,8%, dengan nilai logam berat Pb yang turun menjadi 0,339 mg/L. Sedangkan penurunan konsentrasi logam berat Cr terjadi secara optimum pada dosis 1000 mg dan ukuran partikel 250 mesh yaitu sebesar 61,6%, dengan nilai logam berat Cr yang turun menjadi 0,071 mg/L. Hasil yang diperoleh memenuhi baku mutu air limbah industri batik yang aman dibuang ke lingkungan yaitu sebesar 1,0 mg/L yang termuat dalam Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta No. 7 Tahun 2016.

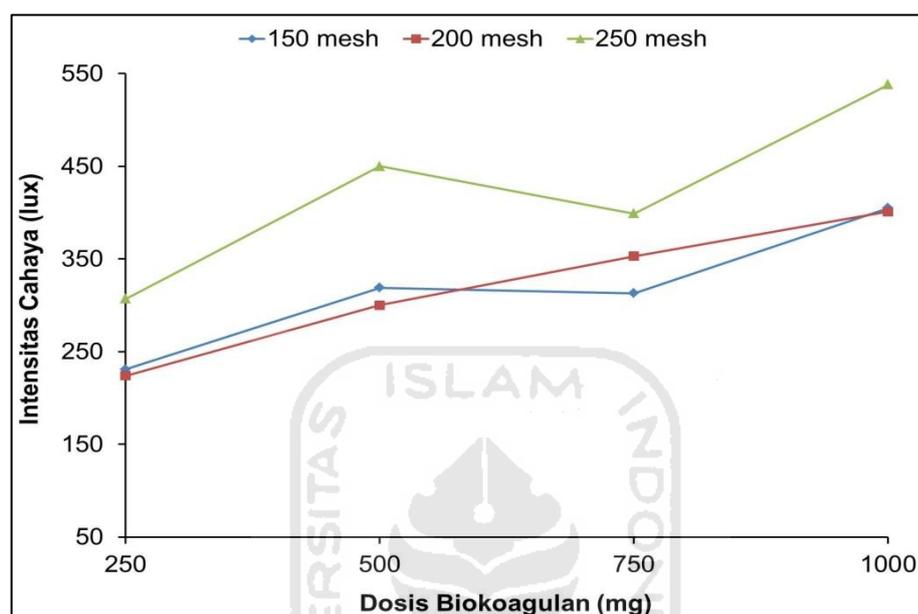
Penambahan biokoagulan akan membentuk flok dan menarik logam-logam tersebut ke dalam flok. Pengolahan limbah cair biasanya digunakan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), termasuk logam berat. Penurunan kadar logam ini juga terjadi dikarenakan protein kationik dari serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) yang berikatan dengan muatan negatif dari senyawa yang mengikat ion-ion logam tersebut sehingga ion logam dapat terendapkan (Ali dkk, 2019).

5.3.6 Pengukuran cahaya (Efek Tyndall)

Pengukuran cahaya dilakukan dengan mengukur besar intensitas cahaya yang melewati sampel dengan menggunakan *lux meter*. Efek *Tyndall* dievaluasi berdasarkan hamburan cahaya oleh partikel koloid. Berkas cahaya yang melewati larutan kemudian diukur intensitas cahaya yang tersisa untuk menunjukkan seberapa banyak partikel koloid yang tersisa dalam larutan meskipun larutan tersebut sejernih baku mutu air tawar (Komaladini, 2020). Tinggi-rendahnya intensitas cahaya yang dihasilkan menunjukkan seberapa pekat dan banyaknya partikel dalam sampel. Jika partikel koloid dalam larutan cukup tinggi maka nilai intensitas cahaya yang terbaca pada *lux meter* akan rendah. Begitu pun sebaliknya. (Staven, 2015).

Gambar 18 menunjukkan Grafik hasil pengukuran intensitas cahaya berdasarkan variasi dosis dan ukuran partikel biokoagulan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*). Intensitas cahaya untuk sampel batik mula-mula sebesar 78,3 lux. Nilai intensitas cahaya untuk variasi ukuran partikel 150 mesh dengan variasi

dosis 250, 500, 750 dan 1000 mg secara berturut-turut diperoleh sebesar 231, 319, 313 dan 405 lux, untuk variasi 200 mesh diperoleh intensitas cahaya sebesar 224, 300, 353 dan 401, terakhir untuk variasi ukuran partikel 250 mesh diperoleh intensitas cahaya secara berturut-turut sebesar 307, 450, 399 dan 538.



Gambar 18. Grafik hasil pengukuran intensitas cahaya

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penggunaan dosis dan ukuran partikel koagulan yang optimum menghasilkan intensitas cahaya yang semakin tinggi. Hal ini terjadi karena dosis dan ukuran partikel optimum membuat proses interaksi partikel koloid dan koagulan akan semakin mudah, sehingga pembentukan flok dapat terjadi dengan baik dan dapat menghasilkan limbah yang lebih jernih. Keberadaan partikel koloid dalam limbah yang jernih cenderung rendah, sehingga proses penghamburan cahaya (Efek *Tyndall*) oleh partikel koloid di dalamnya akan semakin kecil, hal ini membuat cahaya dari laser akan dengan mudah diteruskan ke sensor, sehingga menghasilkan intensitas cahaya yang besar. (Staven, 2015). Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, diperoleh bahwa dosis koagulan 1000 mg dan ukuran partikel 250 mesh menghasilkan intensitas cahaya tertinggi, yaitu sebesar 538 lux.

5.3.7 Perbandingan dengan koagulan kimia

Secara umum, terdapat 2 jenis koagulan, yaitu koagulan kimia dan koagulan alami. Salah satu koagulan kimia yang sering digunakan adalah PAC (*Poly Aluminium Chloride*). PAC adalah suatu garam khusus yang biasa digunakan dalam proses pembuatan aluminium klorida. PAC bekerja dengan cara menguraikan larutan keruh atau sampel limbah kemudian membantu menggumpalkan partikel di dalam sampel air tersebut, sehingga memungkinkan partikel-partikel tersebut memisah dari medium larutannya (Anton, 2013).

Pada penelitian ini, kinerja biokoagulan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L*) dibandingkan dengan koagulan kimia PAC (*Poly Aluminium Chloride*) menggunakan dosis 1000 mg, untuk ukuran partikel 250 mesh. Perbandingan kinerja koagulan dilakukan berdasarkan parameter *Total Dissolved Solids* (TDS), penurunan kekeruhan, *Electrical Conductivity* (EC), *Sludge Volume Index* (SVI) dan *Sludge Mass*. Tabel 6 menunjukkan perbandingan antara hasil koagulasi-flokulasi limbah batik dengan biokoagulan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L*) dan PAC (*Poly Aluminium Chloride*).

Tabel 6. Kinerja biokoagulan serbuk biji pepaya dan PAC

Parameter	Serbuk Biji Pepaya	PAC	Satuan
Kekeruhan	11,8	15,1	NTU
TDS	686	203	mg/L
EC	2,11	1,96	mS/cm
SVI	1,40	1,44	mL/g
<i>Sludge Mass</i>	67,3	67,2	%

Koagulan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) menghasilkan kekeruhan sebesar 11,8 NTU dengan penurunan kekeruhan 92,2%, sedangkan untuk koagulan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) menghasilkan kekeruhan sebesar 15,1 NTU dengan penurunan kekeruhan sebesar 90%. Kemudian, dilanjutkan dengan pengukuran *Total Dissolved Solids*, pada serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) diperoleh sebesar 686 mg/L, sedangkan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) diperoleh nilai TDS sebesar 203 mg/L. Terakhir dilakukan pengukuran *Electrical*

Conductivity (EC), untuk serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) dan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) diperoleh nilai EC secara berturut-turut sebesar 2,11 dan 1,96 mS/cm.

Berdasarkan hasil di atas didapatkan bahwa kinerja biokoagulan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) dalam menurunkan kekeruhan lebih baik dibanding PAC (*Poly Aluminium Chloride*) dengan penurunan kekeruhan sebesar 92,1%. Penurunan kekeruhan terjadi karena gugus amina aktif (NH_4^+) yang terdapat pada serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) mengikat partikel-partikel yang bermuatan negatif sehingga partikel-partikel tersebut terdestabilisasikan membentuk flok yang dapat terendapkan (Hendrawati, 2016). Sebaliknya, untuk nilai TDS dan EC, sampel limbah yang ditambahkan koagulan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan penambahan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*).

Gugus alumina yang terkandung dalam PAC (*Poly Aluminium Chloride*) memberikan pengaruh yang besar terhadap proses pengikatan partikel sehingga flok yang dihasilkan lebih padat dan menurunkan nilai TDS (Ramadhani dkk, 2013). Irwan dan Afdal (2016) menyatakan bahwa nilai TDS berbanding lurus dengan nilai EC, hal ini karena nilai EC dari suatu larutan bergantung pada konsentrasi dan mobilitas ion-ion yang terkandung di dalam larutan, semakin tinggi nilai TDS, maka nilai EC pun akan semakin tinggi.

Berdasarkan parameter *Sludge Volume Index* (SVI) serta *Sludge Mass*, biokoagulan serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) menghasilkan nilai *Sludge Volume Index* (SVI) yang lebih rendah dibandingkan koagulan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) dengan masing-masing nilai SVI sebesar 1,40 dan 1,44 mL/g pada variasi dosis yang sama, yaitu 1000 mg/250 mL sampel limbah batik. Semakin rendah nilai SVI menunjukkan pembentukan *sludge* semakin baik dan cepat, hal ini membuat flok yang terendapkan semakin banyak, sehingga nilai *Sludge Mass* yang dihasilkan akan semakin tinggi (Mudenur, 2016).

Berdasarkan keseluruhan hasil dapat disimpulkan bahwa biji pepaya (*Carica papaya L.*) memiliki potensi yang besar sebagai biokoagulan untuk digunakan dalam pengolahan limbah cair industri batik. Biokoagulan biji pepaya

(*Carica papaya L.*) dapat digunakan sebagai alternatif pengganti koagulan kimia yang biasa digunakan dalam pengolahan air limbah. Hal ini karena kinerja biji pepaya (*Carica papaya L.*) sebagai biokoagulan yang hampir setara dengan kinerja koagulan kimia dalam menurunkan berbagai karakteristik fisika maupun kimia dari limbah cair batik (Kristianto dkk, 2018). Biokoagulan memiliki berbagai kelebihan diantaranya adalah mudah terdegradasi, aman terhadap lingkungan, ekonomis, serta bahan baku yang mudah dijumpai (Pratama dkk, 2016). Dosis dan ukuran partikel serbuk biji pepaya (*Carica papaya L.*) dengan kerja paling optimum berdasarkan penurunan karakteristik fisika dan kimia limbah cair batik pada penelitian ini adalah pada dosis 1000 mg dan ukuran partikel 250 mesh.



BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian yang telah dilakukan, yaitu :

1. Dosis dan ukuran partikel sangat memengaruhi kinerja koagulan terhadap pengolahan limbah cair industri batik. Penggunaan dosis dan ukuran partikel optimum menyebabkan proses koagulasi-flokulasi berjalan maksimal, sehingga hal ini dapat menurunkan karakteristik fisika dan kimia pada limbah cair industri batik. Pada penelitian ini, dosis dan ukuran partikel optimum biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) secara berturut-turut sebesar 1000 mg dan 250 mesh.
2. Biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) memiliki kinerja yang efektif dan efisien pada pengolahan limbah cair industri batik. Berdasarkan hasil analisis pada limbah cair industri batik yang telah ditambahkan biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) dengan dosis dan ukuran partikel optimum, diperoleh nilai penurunan kekeruhan sebesar 92,2%, *Total Dissolved Solids* (TDS) 686 mg/L, *Electrical Conductivity* (EC) 2,11 mS/cm, penurunan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 49,7%, serta penurunan kandungan logam berat Pb dan Cr secara berturut-turut sebesar 56,9 dan 61,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa kualitas limbah setelah ditambahkan biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) telah memenuhi baku mutu air limbah industri batik yang termuat dalam Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016.

Kinerja biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) terhadap pengolahan limbah cair industri batik juga diukur berdasarkan parameter intensitas cahaya (Efek *Tyndall*), *Sludge Volume Index* (SVI) dan *Sludge Mass*. Hasil yang diperoleh secara berturut-turut sebesar 538 Lux, 1,40 mL/g dan 67,3%. Hal ini menunjukkan bahwa biokoagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) efektif dan efisien dalam membantu proses destabilisasi partikel koloid pada

limbah cair industri batik, sehingga menghasilkan kualitas limbah hasil pengolahan yang aman dibuang ke lingkungan.

6.2 Saran

Perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut terhadap *sludge* yang dihasilkan dari pengolahan limbah cair industri batik menggunakan biji pepaya (*Carica papaya L.*), sehingga kedepannya hasil pengolahan limbah cair industri batik tersebut dapat lebih aman dibuang ke lingkungan dan tidak menghasilkan *secondary waste*.



DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M., Mustafa, A. and Saleem, M., 2019. Comparative Study between Indigenous Natural Coagulants and Alum for Microalgae Harvesting. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(7), pp.6453–6463.
- Amran, A.H., Zaidi, N.S., Muda, K. and Loan, L.W., 2018. Effectiveness of Natural Coagulant in Coagulation Process: A review. *International Journal of Engineering and Technology(UAE)*, 7(3), pp.34–37.
- Anam, C., Sirojudin and Firdausi, K.S., 2007. Analisis Gugus Fungsi pada Sampel Uji, Bensin dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *Berkala Fisika*, 10(2), pp.79–85.
- Anthony, F. and Godfrey, K., 2014. Simultaneous adsorption of Ni (II) and Mn (II) ions from aqueous solution onto a Nigerian kaolinite clay. *Integrative Medicine Research*, 3(2), pp.129–141.
- Anton Budiman, Candra Wahyudi, Wenny Irawati, H.H., 2013. Kinerja Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) dalam Penjernihan Air Sungai Kalimas Surabaya Menjadi Air Bersih. *Widya Teknik*, 7(1), pp.25–34.
- Aprilion, R., Antaresti and A, A.A., 2015. Penurunan Kekeruhan Air oleh Biji Pepaya, Biji Semangka dan Kacang Hijau. *Jurnal Ilmiah Widya Teknik*, 14, pp.32–36.
- Badan Standardisasi Nasional, 2009. Air dan Air Limbah - Bagian 2 : Cara uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluks Tertutup secara Spektrofotometer. *SNI 6989.2:2009*, pp.1–16.
- Balaji, V., Anand Kumar Varma, S. and Ashwin, R., 2018. Industrial effluent treatment by Moringa Oleifera as natural coagulant of different particle size. *Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences*, 20(2), pp.550–556.
- Bangun, A.R., Aminah, S., Hutahaean, R.A. and Ritonga, M.Y., 2013. Pengaruh Kadar Air, Dosis Dan Lama Pengendapan Koagulan Serbuk Biji Kelor Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(1), pp.7–13.
- Baryatik, P., 2016. *Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi Sebagai Adsorben Logam Kromium (Cr) Pada Limbah Cair Batik, Jember*.
- Choumane, F.Z., Benguella, B., Maachou, B. and Saadi, N., 2017. Valorisation of a bioflocculant and hydroxyapatites as coagulation-flocculation adjuvants in wastewater treatment of the steppe in the wilaya of Saida (Algeria). *Ecological Engineering*, 107, pp.152–159.
- Cissouma, A.I. et al., 2013. Physico Chemical Properties and Antioxidant Activity of Roselle Seed Extracts. *Journal of Food Science and Technology*, 5(11), pp.1483–1489.
- Deepthi, P. and Sarala, 2017. Cucurbita pepo as a Coagulant Aid for Copper Removal. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 6(09), pp.33–37.
- Devaki, C.S., Samreen, F. and Prakash, J., 2016. A Review on Composition, Processed Products and Medicinal Uses of Papaya (*Carica papaya L.*).

- International Journal of Food, Nutrition and Dietetics*, 3(January).
- Dick, R.I., 1978. Underflow rate and control of an activated sludge process. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 50(11), pp.2604–2606.
- Edogbanya, 2013. A Review on The Use of Plants' Seeds As Biocoagulants in The Purification of Water. *Continental J. Biological Sciences*, 15(3–2), pp.26–32.
- Ferdian and Arinaldi, 2013. Pengolahan Air Lumut Dengan Kombinasi Proses Koagulasi Dan Ultrafiltrasi. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(2), pp.8–13.
- Gubernur DIY, 2010. *Peraturan Gubernur Daerah Istimewa Yogyakarta nomor 7 tahun 2010*, Pemerintah Daerah Provinsi DIY, Yogyakarta.
- Hendrawati, Sumarni, S. and Nurhasni, 2016. Penggunaan Kitosan sebagai Koagulan Alami dalam Perbaikan Kualitas Air Danau. *Jurnal Kimia Valensi*, 1(1), pp.1–11.
- Hidayah, A.Z., Putri, E., Jumrah, S. and Putra, R.S., 2018. PROSIDING SNIPS 2018 Kombinasi Elektroflotasi dan Koagulan Kacang Arab Pada Pengolahan Limbah Air Lindi. *PROSIDING SNIPS 2018*. 2018 pp. 212–217.
- Irwan, F. and Afdal, A., 2016. Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik Dengan Total Dissolved Solid (TDS) Dan Temperatur Pada Beberapa Jenis Air. *Jurnal Fisika Unand*, 5(1), pp.85–93.
- J, A.C. and George, D., 2018. Use of Papaya Seed as a Natural Coagulant for Water Purification. *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)*, 6(3), pp.41–46.
- Kawahara, M. and Kato-Negishi, M., 2011. Link between aluminum and the pathogenesis of Alzheimer's disease: The integration of the aluminum and amyloid cascade hypotheses. *International Journal of Alzheimer's Disease*, 2011.
- KemenLH, 2014. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 5 tahun 2014*, Kementrian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Komaladini, S., 2020. Teaching Tyndall Effects in Colloidal System to Deaf and Hard Hearing Students. *Journal of Engineering Science and Technologi*, (Februari), pp.58–67.
- Kristianto, H., Kurniawan, M.A. and Soetedjo, J.N.M., 2018. Utilization of Papaya Seeds as Natural Coagulant for Synthetic Textile Coloring Agent Wastewater Treatment. *International Journal on Advanced Science Engineering information Technology*, 8(5), pp.2071–2077.
- Mæhre, H.K., 2018. Protein Determination—Method Matters. *Foods*, 7(1).
- Maisarah, Asmah and Fauziah, 2014. Proximate Analysis, Antioxidant and Antiproliferative Activities of Different Parts of Carica Papaya. *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4(2).
- Martina, A., Santoso, D. and Novianti, J., 2018. Aplikasi Koagulan Biji Asam Jawa dalam Penurunan Konsentrasi Zat Warna Drimaren Red pada Limbah Tekstil Sintetik pada Berbagai Variasi Operasi. *Jurnal Rekaya Proses*, 12(2), pp.98–103.
- Mudenur, C. et al., 2016. Green approach to Dye Wastewater Treatment using

- Biocoagulants. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 04, pp.2495–2506.
- Muljadi, M., 2013. Pengolahan Limbah Batik Cetak dengan Menggunakan Metode Filtrasi-Elektrolisis untuk Menentukan Efisiensi Penurunan Parameter Cod, Bod, dan Logam Berat (Cr) Setelah Perlakuan Fisika-Kimia. *Ekulibium*, 12(1), pp.27–36.
- N Endah, S.R. and Surantaatmadja, S.I., 2019. The Determination of Heavy Metals Level: Lead in Cosmetic Soap Preparation by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). *Journal of Physics: Conference Series*, 1179(1).
- Nath, A., Mishra, A. and Pande, P.P., 2020a. A review natural polymeric coagulants in wastewater treatment. *Materials Today: Proceedings*.
- Ngadi, N. and Aida, N., 2013. Treatment of Textile Wastewater using Biodegradable Flocculants of Chitosan and Extracted Pandan Leaves. *Jurnal Teknologi*, 1, pp.1–7.
- Patel, H. and Vashi, R.T., 2012. Removal of Congo Red dye from its aqueous solution using natural coagulants. *Journal of Saudi Chemical Society*, 16(2), pp.131–136.
- Pinem, J.A. and Sorang, J.A., 2012. Penyisihan BOD5, COD dan TSS Limbah Cair Tahu dengan Kombinasi Koagulasi-Flokulasi dan Ultrafiltrasi. *Jurnal Ilmiah Sains Terapan*, 3, pp.5–8.
- Pratama, A., Wardhana, I.W. and Sutrisno, E., 2016. Penggunaan Cangkang Udang sebagai Biokoagulan untuk Menurunkan Kadar Tss, Kekeruhan dan Fosfat pada Air Limbah Usaha Laundry. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(2).
- Prihatinningtyas, E. and Effendi, A.J., 2012. Aplikasi Tepung Jagung sebagai Koagulan Alami untuk Mengolah Limbah Cair Tahu. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 18(April), pp.97–105.
- Radityaningrum, A.D. and Caroline, J., 2013. Penurunan BOD5, COD Dan TSS pada Limbah Cair Industri Batik dengan Koagulan PAC pada Proses Koagulasi Flokulasi. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan V*. 2013 pp. 1–6.
- Rahmawati, Chadijah, S. and Ilyas, A., 2013. Analisa Penurunan Kadar Cod dan BOD Limbah Cair Laboratorium Biokimia UIN Makassar Menggunakan Fly Ash (Abu Terbang) Batubara. *Al-Kimia*, 1, pp.64–75.
- Rajendran, R. et al., 2015. Biological treatment of drinking water by chitosan based nanocomposites. *African Journal of Biotechnology*, 14(11), pp.930–936.
- Ramadhani, S., Sutanhaji, A.T. and Widiatmono, R., 2013. Perbandingan Efektivitas Tepung Biji Kelor (*Moringa oleifera* Lamk), Poly Aluminium Chloride (PAC), dan Tawas sebagai Koagulan untuk Air Jernih. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 1(3), pp.186–193.
- Rohayati, Z., 2017. Pengolahan Limbah Industri Tekstil Berbasis Green Technology Menggunakan Metode Gabungan Elektrodegradasi dan Elektrodokolorisasi dalam Satu Sel Elektrolisis. *Chimica et Natura Acta*, 5(2), pp.95–100.
- Rusydi, A.F., Suherman, D. and Sumawijaya, N., 2016. Pengolahan Air Limbah Tekstil Melalui Proses Koagulasi-Flokulasi dengan Menggunakan

- Lempung sebagai Penyumbang Partikel Tersuspensi. *Arena Tekstil*, 31.
- Setya Sri Antary, P., Ratnayani, K. and Mayun Laksmiwati, A., 2013. Nilai Daya Hantar Listrik, Kadar Abu, Natrium, Dan Kalium Pada Madu Bermerk di Pasaran Dibandingkan dengan Madu Alami (Lokal). *Jurnal Kimia*, 7(2), pp.172–180.
- Sjahfirdi, L., Aldi, N., Maheshwari, H. and Astuti, P., 2015. Aplikasi Fourier Transform Infrared (Ftir) dan Pengamatan Pembengkakan Genital pada Spesies Primata, Lutung Jawa (*Trachypithecus Auratus*) untuk Mendeteksi Masa Subur. *Jurnal Kedokteran Hewan*, 9(2), pp.156–160.
- SNI-BSN, 2009a. Air dan Air Limbah - Bagian 8: Cara Uji timbal (Pb) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) - Nyala. *Badan Standardisasi Nasional*, pp.1–9.
- SNI-BSN, 2009b. Air dan air limbah – Bagian 17: Cara uji krom total (Cr-T) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala. *Badan Standardisasi Nasional*, (Cd).
- Staven, V. et al., 2015. Utilization of The Tyndall Effect for Enhanced Visual Detection of Particles in Compatibility Testing of Intravenous Fluids: Validity and Reliability. *PDA journal of pharmaceutical science and technology*, 69(2), pp.270–283.
- Sugihartono, 2016. Pemisahan krom pada limbah cair industri penyamakan kulit menggunakan gelatin dan flokulan anorganik. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 32(1), p.21.
- Sumantri, A. and Cordova, M.R., 2011. Dampak Limbah Domestik Perumahan Skala Kecil Terhadap Kualitas Air Ekosistem Penerimaannya dan Dampaknya Terhadap Kesehatan Masyarakat. *JPSL*, 1(1), pp.127–134.
- Syah, R., Ohkawa, Y. and Tanaka, S., 2013. Application of EAPR system on the removal of lead from sandy soil and uptake by Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Separation and Purification Technology*, 102, pp.34–42. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2012.09.025>.
- Teh, C.Y., 2016. Recent Advancement of Coagulation-Flocculation and Its Application in Wastewater Treatment. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 55(16).
- Utama, Y.J., Ambariyanto, A. and Zainuri, M., 2018. Sustainable development goals as the basis of university management towards global competitiveness Sustainable development goals as the basis of university. *Journal of Physics*, 1.
- Wage Komarawidjaja, 2016. Sebaran Limbah Cair Industri Tekstil dan Dampaknya Di Beberapa Desa Kecamatan Rancaekek Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 17(2), pp.118–125.
- Welz, B., 2015. Fluorine Determination in Milk, Tea and Water by High-Resolution , High- Section III Analysis. In: *Fluorine: Chemistry, Analysis, Function and Effects*. pp. 73–95.
- Widayanti, G., Widodo, D.S. and Haris, A., 2012. Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi Elektrokolorisasi Perairan Tercemar Limbah Cair Industri Batik. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 15(2), pp.62–69.
- Winata, A., Yualiati, K. and Hanggita, S., 2015. Analisis Korelasi Harga dan

- Mutu Kimiawi Kerupuk di Pasar Tradisional Cinde Palembang. *Jurnal Teknologi Hasil Perikanan*, 4(2), pp.179-183–183.
- Yulianto, A., Hakim, L., Purwaningsih, I. and Pravitasari, V.A., 2009. Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Pada Skala Elektrokoagulasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5(1), pp.6–11.
- Zhou, F.S. et al., 2014. Preparation and characteristics of polyaluminium chloride by utilizing fluorine-containing waste acidic mother liquid from clay-brine synthetic cryolite process. *Journal of Chemistry*, 2014.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengaruh Ukuran Partikel dan Dosis Biokoagulan Serbuk Biji Pepaya (*Carica papaya L.*)

1. Penurunan Kekeruhan

$$\text{Penurunan Kekeruhan} = \frac{\text{Kekeruhan awal} - \text{kekeruhan akhir}}{\text{kekeruhan awal}} \times 100\%$$

Nilai kekeruhan limbah awal (5x pengenceran) = 151 NTU

a. 150 mesh

Dosis (mg)	Kekeruhan (NTU)			Rata-rata (NTU)	Penurunan (%)
	1	2	3		
250	41,3	41,2	41,5	41,3 ± 0,15	72,6 ± 15
500	23,5	23,6	23,5	23,5 ± 0,05	84,4 ± 6
750	24,9	25,5	24,8	25,1 ± 0,40	83,4 ± 40
1000	16,2	16,2	16,0	16,1 ± 0,12	89,3 ± 12

b. 200 mesh

Dosis (mg)	Kekeruhan (NTU)			Rata-rata (NTU)	Penurunan (%)
	1	2	3		
250	37,5	37,6	37,6	37,6 ± 0,05	75,1 ± 5
500	37,5	37,7	37,2	37,5 ± 0,25	75,2 ± 25
750	33,2	32,6	36,7	34,2 ± 0,05	77,4 ± 5
1000	20,8	21,0	20,5	20,8 ± 0,25	86,2 ± 25

c. 250 mesh

Dosis (mg)	Kekeruhan (NTU)			Rata-rata (NTU)	Penurunan (%)
	1	2	3		
250	22,9	22,8	22,8	22,8 ± 0,05	84,9 ± 5
500	14,4	14,4	14,5	14,7 ± 0,05	90,4 ± 5
750	18,0	17,9	17,9	17,9 ± 0,05	88,1 ± 5
1000	11,8	11,8	11,9	11,8 ± 0,05	92,2 ± 5

2. *Electrical Conductivity* (EC)

Nilai *Electrical Conductivity* (EC) awal (5x pengenceran) = 3,72 mS/cm

a. 150 mesh

Dosis (mg)	EC (mS/cm)			Rata-rata (mS/cm)
	1	2	3	
250	2,68	2,66	2,65	2,66 ± 0,01
500	2,42	2,44	2,44	2,43 ± 0,01
750	2,48	2,49	2,5	2,49 ± 0,01
1000	2,25	2,24	2,23	2,24 ± 0,01

b. 200 mesh

Dosis (mg)	EC (mS/cm)			Rata-rata (mS/cm)
	1	2	3	
250	2,64	2,62	2,64	2,63 ± 0,01
500	2,53	2,54	2,53	2,53 ± 0,05
750	2,45	2,41	2,41	2,42 ± 0,02
1000	2,36	2,32	2,32	2,33 ± 0,02

c. 250 mesh

Dosis (mg)	EC (mS/cm)			Rata-rata (mS/cm)
	1	2	3	
250	2,16	2,15	2,14	2,15 ± 0,01
500	2,13	2,14	2,14	2,13 ± 0,01
750	2,14	2,14	2,15	2,14 ± 0,01
1000	2,09	2,15	2,10	2,11 ± 0,01

3. Total Dissolved Solids (TDS)

Total Dissolved Solids (TDS) awal (5x pengenceran) = 900 mg/L

a. 150 mesh

Dosis (mg)	TDS (mg/L)			Rata-rata (mg/L)
	1	2	3	
250	864	864	865	864 ± 0,57
500	814	813	814	814 ± 0,57
750	827	826	822	825 ± 2,64
1000	741	742	742	742 ± 0,57

b. 200 mesh

Dosis (mg)	TDS (mg/L)			Rata-rata (mg/L)
	1	2	3	
250	871	855	856	861 ± 8,96
500	847	836	841	841 ± 3,21
750	832	833	834	833 ± 1,00
1000	794	800	801	798 ± 3,78

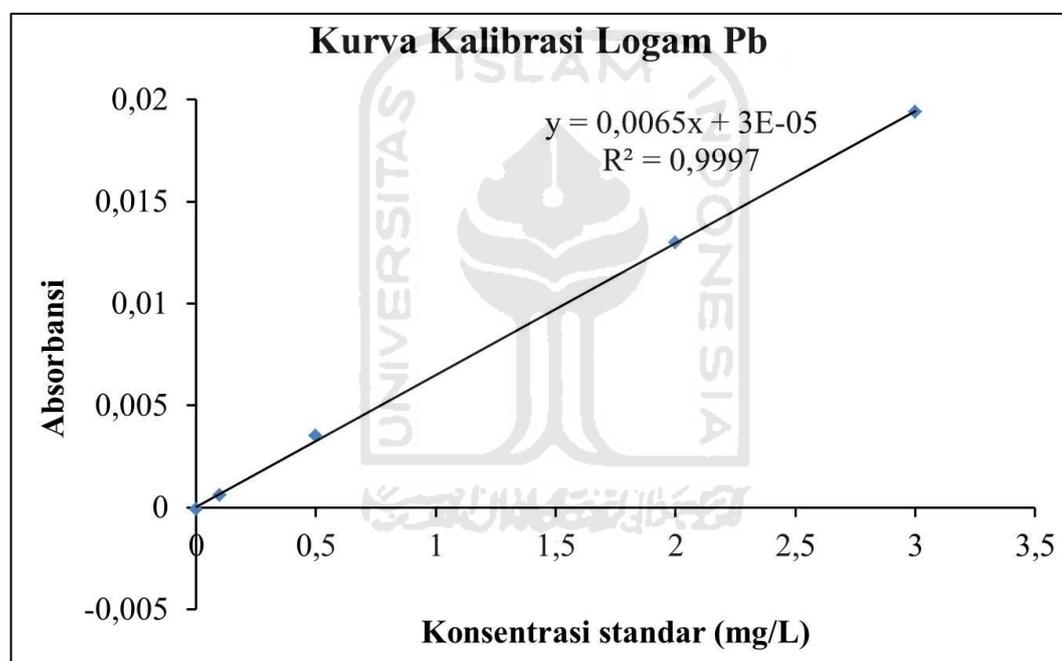
c. 250 mesh

Dosis (mg)	TDS (mg/L)			Rata-rata (mg/L)
	1	2	3	
250	700	699	702	700 ± 1,52
500	689	689	688	689 ± 0,57
750	693	698	694	695 ± 2,64
1000	686	685	686	686 ± 0,57

4. Analisis Logam Berat Pb dan Cr

a. Logam Pb

Konsentrasi standar (mg/L)	Absorbansi (A)
0	-0,0001
0,1	0,0006
0,5	0,0035
2	0,0130
3	0,0194



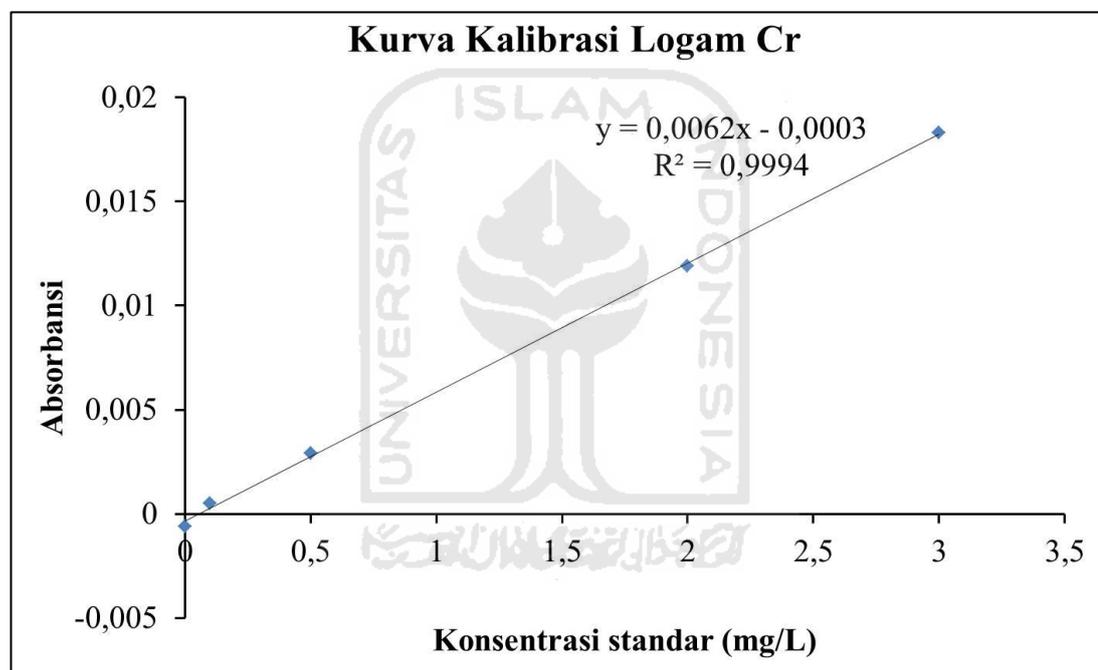
$$\text{Penurunan konsentrasi} = \frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

Konsentrasi awal Pb = 0,937 mg/L

Ukuran Partikel (mesh)	Dosis (mg)	Absorbansi	Hasil Analisis (mg/L)	Penurunan (%)
150	250	0,0032	0,489	47,7
	500	0,0033	0,505	46,1
	750	0,0045	0,690	26,3
	1000	0,0042	0,644	31,2
200	250	0,0042	0,644	31,2
	500	0,0042	0,644	31,1
	750	0,0043	0,659	29,6
	1000	0,0042	0,643	31,3
250	250	0,0057	0,876	6,50
	500	0,0045	0,690	26,3
	750	0,0018	0,339	63,8
	1000	0,0022	0,403	56,9

b. Logam Cr

Konsentrasi standar (mg/L)	Absorbansi (A)
0	-0,0006
0,1	0,0005
0,5	0,0029
2	0,0119
3	0,0183



$$\text{Penurunan konsentrasi} = \frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

Konsentrasi awal Cr = 0,185 mg/L

Ukuran Partikel (mesh)	Dosis (mg)	Absorbansi	Hasil Analisis (mg/L)	Penurunan (%)
150	250	0,0028	0,135	27,2
	500	0,0027	0,131	29,1
	750	0,0023	0,117	36,9
	1000	0,0021	0,109	40,8
200	250	0,0025	0,124	33,0
	500	0,0029	0,138	25,2
	750	0,0031	0,145	21,4
	1000	0,0032	0,149	19,4
250	250	0,0041	0,181	1,94
	500	0,0036	0,163	11,6
	750	0,0016	0,113	39,0
	1000	0,0004	0,071	61,6

5. Chemical Oxygen Demand (COD)

$$\text{Penurunan konsentrasi} = \frac{\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

Konsentrasi COD limbah awal (5x pengenceran) = 839 mg/L

Ukuran Partikel (mesh)	Dosis (mg)	Konsentrasi (mg/L)	Penurunan (%)
150	250	815	2,86
	500	803	4,29
	750	750	10,6
	1000	632	24,7
200	250	770	8,22
	500	817	2,62
	750	611	27,2
	1000	670	20,1
250	250	738	12,0
	500	722	13,9
	750	524	37,5
	1000	422	49,7

6. Pengukuran Cahaya (Efek Tyndall)

a. 150 mesh

Dosis (mg)	Intensitas Cahaya (lux)			Rata-rata (lux)
	1	2	3	
250	230	231	231	$231 \pm 0,57$
500	320	313	323	$319 \pm 5,13$
750	315	313	312	$313 \pm 1,52$
1000	415	408	392	$405 \pm 11,7$

b. 200 mesh

Dosis (mg)	Intensitas Cahaya (lux)			Rata-rata (lux)
	1	2	3	
250	227	226	220	$224 \pm 3,78$
500	301	300	300	$300 \pm 0,57$
750	363	353	344	$353 \pm 9,50$
1000	397	404	403	$401 \pm 3,78$

c. 250 mesh

Dosis (mg)	Intensitas Cahaya (lux)			Rata-rata (lux)
	1	2	3	
250	306	294	320	$307 \pm 13,0$
500	467	442	440	$450 \pm 15,0$
750	388	391	417	$399 \pm 15,9$
1000	523	539	552	$538 \pm 14,5$

7. Sludge Volume Index (SVI) dan Sludge Mass

$$\text{Sludge Volume Index (SVI)} = \frac{\text{Volume endapan } \left(\frac{\text{mL}}{\text{L}}\right)}{\text{Jumlah total padatan tersuspensi } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \times 1000$$

$$\text{Sludge Mass} = \frac{\text{SM}_0 - \text{SM}_t}{\text{SM}_0} \times 100\%$$

Keterangan:

- Volume endapan = volume *sludge* yang terendapkan di dalam tabung Imhoff 1 L.
- Jumlah total padatan tersuspensi = miligram endapan kering per volume limbah.
- SM_0 = *sludge* basah (mg), massa *sludge* yang diperoleh dari proses penyaringan limbah yang telah diolah.
- SM_t = *sludge* kering (mg), massa *sludge* yang diperoleh dari *sludge* basah yang telah dikeringkan selama 24 jam tanpa oven atau selama 3 jam pada suhu 100°C menggunakan oven.

Ukuran Partikel (mesh)	Dosis (mg)	Volume Imhoff (mL)	Sludge Basah (mg)	Sludge Kering (mg)	SVI (mL/g)	SM (%)
150	250	2	1502	393	1,27	73,8
	500	5	3619	897	1,39	75,2
	750	6	4282	1051	1,42	75,5
	1000	8,5	5151	1357	1,56	75,7
200	250	2	1624	410	1,22	74,8
	500	5	3615	905	1,38	75,0
	750	6,5	4490	1097	1,48	75,6
	1000	8	5474	1330	1,50	75,7
250	250	2,5	1851	460	1,35	75,1
	500	6	4395	1021	1,47	76,8
	750	7,5	5435	1250	1,50	77,0
	1000	9	6574	1406	1,60	78,6

Lampiran 2. Hasil Analisis Pengaruh PAC (*Poly Aluminium Chloride*) pada Limbah Cair Industri Batik

a. Penurunan Kekeruhan

$$\text{Penurunan kekeruhan} = \frac{151 \text{ NTU} - 15,1 \text{ NTU}}{151 \text{ NTU}} \times 100\% = 90\%$$

b. *Electrical Conductivity* (EC) dan *Total Dissolved Solids* (TDS)

Parameter	Hasil Analisis			Rata-rata	Satuan
	1	2	3		
EC	1,85	1,91	2,11	1,96 ± 0,13	mS/cm
TDS	202	203	203	203 ± 0,57	mg/L

c. *Sludge Volume Index* (SVI) dan *Sludge Mass*

$$\text{Sludge Volume Index (SVI)} = \frac{\text{Volume endapan } \left(\frac{\text{mL}}{\text{L}}\right)}{\text{Jumlah total padatan tersuspensi } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \times 1000$$

$$\text{Sludge Mass} = \frac{SM_o - SM_t}{SM_o} \times 100\%$$

Ukuran Partikel (mesh)	Dosis (mg)	Volume Imhoff (mL)	Sludge Basah (mg)	Sludge Kering (mg)	SVI (mL/g)	SM (%)
250	1000	1	528	173	1,44	67,2