



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (WT43250)

**ANALISIS KUALITAS EFFLUEN LIMBAH CAIR KUE KERING
MENGUNAKAN BIOKOAGULAN BIJI ASAM JAWA
(*Tamarindus indica*) DAN BIJI PEPAYA (*Caricca
papaya*)**

Nabilah Fadhillah Pinkan Sakihasy
NRP. 1022040029

DOSEN PEMBIMBING
AYU NINDYAPUSPA , S.T., M.T.
RIA RISMAWATI, S.SI., M.SI.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (WT43250)

**ANALISIS KUALITAS EFFLUEN LIMBAH CAIR KUE
KERING MENGGUNAKAN BIOKOAGULAN BIJI ASAM
JAWA (*Tamarindus indica*) DAN BIJI PEPAYA (*Caricca
papaya*)**

**Nabilah Fadhilah Pinkan Sakihasy
NRP. 1022040029**

**DOSEN PEMBIMBING:
AYU NINDYAPUSPA , S.T., M.T.
RIA RISMAWATI, S.SI., M.SI**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KUALITAS EFFLUEN LIMBAH CAIR KUE KERING
MENGUNAKAN BIOKOAGULAN BIJI ASAM JAWA (*Tamarindus
indica*) DAN BIJI PEPAYA (*Caricca papaya*)**

**Disusun Oleh:
Nabilah Fadhillah Pinkan Sakihasy
1022040029**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah
Jurusan Teknik Permesinan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA**

**Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 02 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026**

Menyetujui,

Dosen Penguji	NIDN/NUPTK	Tanda Tangan
1. Ayu Nindyapuspa, S.T., M.T.	(0458769670230292)	(.....)
2. Ria Rismawati, S.Si., M.Si.	(1933776677230192)	(.....)
3. Ulvi Pri Astuti, S.T., M.T.	(8360768669230313)	(.....)
4. Tarikh Azis Ramadani, S.T., M.T.	(6761771672130252)	(.....)

Dosen Pembimbing	NIDN/NUPTK	Tanda Tangan
1. Ayu Nindyapuspa, S.T., M.T.	(0458769670230292)	(.....)
2. Ria Rismawati, S.Si., M.Si.	(1933776677230192)	(.....)

**Menyetujui
Ketua Jurusan,**



**Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T.
NIP. 197708192005011001**

**Mengetahui
Koordinator Program Studi,**

**Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T.
NIP. 197804142005012002**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

 PPNS KUALITAS PENGARIFAN PENGALAMAN	<u>PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT</u>	No. : F.WD I. 021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
--	---	---

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Nabilah Fadhilah Pinkan Sakihasy

NRP. : 1022040029

Jurusan/Prodi : Teknik Permesinan Kapal/Teknik Pengolahan Limbah

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

“Analisis Kualitas Effluen Limbah Cair Kue Kering Menggunakan Biokoagulan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) dan Biji Pepaya (*Caricca papaya*)”

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 01 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



(Nabilah Fadhilah Pinkan Sakihasy)
NRP. 1022040029

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kepada Allah SWT dengan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “**Analisis Kualitas Effluen Limbah Cair Kue Kering menggunakan Biokoagulan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) dan Biji Pepaya (*Caricca papaya*)**”. Penulisan tugas akhir ini diajukan sebagai syarat kelulusan pada Program Studi Diploma IV Teknik Pengolahan Limbah di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak, baik berupa bimbingan, pengarahan, semangat, doa, dan motivasi. Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Suyitno dan Ibu Harjati. Terima kasih atas doa, pengorbanan, rasa sayang, nasihat, motivasi, dan dukungan tanpa henti sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Nenek, kakek, budhe, kakak, dan sepupu Tersayang, Mbah Mukini, Mbah Sarmin, Bu Winarsih, Mas Hilmy, Mbak Dini, Mbak Nikita, Mas Bimo, Hanin, dan Ewa yang selalu memberikan doa dan menghibur penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
3. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T., selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Ibu Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
6. Ibu Ayu Nindyapuspa, S.T., M.T., selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Pengolahan Limbah Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah membantu dan mengarahkan penulis selama mengerjakan tugas akhir, memberikan semangat, serta meluangkan waktu dalam proses bimbingan tugas akhir.

7. Ibu Ria Rismawati, S. Si., M. Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah membantu dan mengarahkan penulis selama mengerjakan tugas akhir ini.
8. Ibu Ulvi Pri Astuti, S.T., M.T dan Bapak Tarikh Aziz Ramadhan, S.T., M.T, selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan saran untuk penyempurnaan tugas akhir ini.
9. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Pengolahan Limbah yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis.
10. Teman-teman terdekat penulis, Indirra, Poppy, Alvidias, Imelda, Gayuh, Vanessa, Lani, Nadhifa, dan Denis yang telah memberi dukungan, menghibur, menemani, mendoakan dan membantu dalam proses menyelesaikan tugas akhir ini.
11. Teman-teman penghuni laboratorium cair yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian, menghibur, serta memberikan semangat.
12. Teman-teman seperjuangan Teknik Pengolahan Limbah Angkatan 2022 yang memberi semangat dan membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
13. Seluruh pihak yang turut serta membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya saran dan kritik dari berbagai pihak dalam penyempurnaannya. Semoga laporan ini dapat menambah ilmu pengetahuan dan wawasan dalam perkuliahan dan dunia industri bagi penulis khususnya serta pembaca pada umumnya.

Surabaya, 20 Juli 2026

Penulis

ANALISIS KUALITAS EFFLUEN LIMBAH CAIR KUE KERING MENGGUNAKAN BIOKOAGULAN BIJI ASAM JAWA (*Tamarindus indica*) DAN BIJI PEPAYA (*Caricca papaya*)

Nabilah Fadhilah Pinkan Sakihasy

ABSTRAK

Limbah cair UMKM kue kering mengandung bahan organik, padatan tersuspensi, serta minyak dan lemak yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak diolah dengan baik. Salah satu metode pengolahan yang dapat digunakan adalah koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan seperti tanin dan protein. Tanin diekstraksi dari biji asam jawa (*Tamarindus indica*), sementara protein diekstraksi dari biji pepaya (*Caricca papaya*). Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi biokoagulan dari kombinasi biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dan biji pepaya (*Caricca papaya*) dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solid* (TSS), serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering. Hasil karakterisasi biokoagulan dengan menggunakan FTIR mengonfirmasi gugus fungsi O-H, N-H, C-H, C=O, C-N, dan C-O dan SEM-EDX yang menunjukkan morfologi permukaan biokoagulan yang tidak beraturan, kasar, dan berpori dengan unsur utama C dan O. Hasil penelitian menunjukkan dosis terbaik sebesar 900 mg/L dengan efisiensi penyisihan tertinggi COD, BOD, dan TSS berturut-turut sebesar 35,33%, 36,76%, dan 99,48% diperoleh pada pengadukan lambat 30 rpm, sedangkan efisiensi minyak dan lemak tertinggi sebesar 77,69% diperoleh pada pengadukan lambat 40 rpm. Kombinasi biji asam jawa dan biji pepaya berpotensi digunakan sebagai koagulan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair UMKM kue kering.

Kata kunci: Biji Asam Jawa, Biji Pepaya, *Jar Test*, Koagulasi-Flokulasi, Limbah Cair UMKM Kue Kering

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF THE EFFLUENT QUALITY OF COOKIE INDUSTRY'S LIQUID WASTE USING TAMARIND SEEDS (*Tamarindus indica*) AND PAPAYA SEEDS (*Carica papaya*) BIOCOAGULANT

Nabilah Fadhilah Pinkan Sakihasy

ABSTRACT

Wastewater generated by small and medium-sized enterprises (SMEs) producing cookies contains organic matter, suspended solids, and oil and grease, which may cause environmental pollution if discharged without proper treatment. One of the applicable treatment methods is coagulation–flocculation using natural biocoagulants such as tannins and proteins. Tannins were extracted from tamarind seeds (*Tamarindus indica*), while proteins were extracted from papaya seeds (*Carica papaya*). This study aimed to characterize a biocoagulant prepared from a combination of tamarind seeds (*Tamarindus indica*) and papaya seeds (*Carica papaya*) and to evaluate its effectiveness in reducing Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD), Total Suspended Solids (TSS), and oil and grease levels in wastewater from cookie SMEs. FTIR characterization confirmed the presence of O–H, N–H, C–H, C=O, C–N, and C–O functional groups, while SEM–EDX analysis revealed an irregular, rough, and porous surface morphology with carbon (C) and oxygen (O) as the predominant elements. The results showed that the optimum biocoagulant dosage was 900 mg/L. The highest removal efficiencies for COD, BOD, and TSS were 35.33%, 36.76%, and 99.48%, respectively, at a slow mixing speed of 30 rpm. In contrast, the highest removal efficiency for oil and grease 77.69% was achieved at a slow mixing speed of 40 rpm. The combination of tamarind and papaya seeds demonstrates promising potential as an environmentally friendly biocoagulant for the treatment of wastewater from cookie SMEs.

Keywords: Tamarind Seed, Papaya Seed, Jar Test, Coagulation-Flocculation, Cookie SME Wastewater

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Limbah Cair UMKM Kue Kering.....	7
2.2 Biji Asam Jawa (<i>Tamarindus indica</i>)	8
2.3 Tanin	9
2.4 Biji Pepaya (<i>Carica papaya</i>).....	9
2.5 Protein	11
2.6 Biokoagulan	11
2.7 Koagulasi dan Flokulasi.....	12
2.8 Parameter Pencemar Air Limbah	12
2.8.1 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	13
2.8.2 <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	13
2.8.3 <i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	14
2.8.4 Minyak dan Lemak	14
2.8.5 pH (Derajat Keasaman).....	14
2.9 <i>Jar Test</i>	15
2.10 <i>Fourier Transformed Infrared</i> (FTIR)	15
2.11 <i>Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy</i> (SEM - EDX).....	16

2.12	Analisis MANOVA	16
2.13	Penelitian Terdahulu.....	17
BAB 3 METODE PENELITIAN		21
3.1	Kerangka Penelitian.....	21
3.2	Ide Penelitian	24
3.3	Perumusan Masalah.....	24
3.4	Perumusan Tujuan	24
3.5	Studi Literatur.....	24
3.6	Pengambilan Sampel	25
3.7	Pengumpulan Data.....	25
3.7.1	Data Primer.....	25
3.8	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	26
3.8.1	Lokasi Penelitian	26
3.8.2	Waktu Penelitian.....	26
3.9	Populasi dan Sampel Penelitian.....	26
3.9.1	Populasi Penelitian	26
3.9.2	Sampel Penelitian	27
3.10	Penentuan Variabel dan Parameter Penelitian.....	27
3.10.1	Variabel Bebas.....	27
3.10.2	Variabel Terikat.....	27
3.10.3	Variabel Kontrol.....	28
3.11	Tahap Penelitian	28
3.11.1	Tahap <i>Pre-Treatment</i>	28
3.11.2	Tahap Uji Karakteristik Biokoagulan.....	28
3.12	Pelaksanaan Penelitian	29
3.12.1	Persiapan Alat.....	29
3.12.2	Persiapan Bahan	29
3.13	Preparasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya.....	30
3.13.1	Pembuatan Biokoagulan Biji Asam Jawa.....	30
3.13.2	Pembuatan Biokoagulan Biji Pepaya	31
3.14	Uji FTIR	31
3.15	Uji SEM EDX.....	32
3.16	<i>Jar Test</i> Biokoagulan Kombinasi	32
3.17	Pengujian Air Limbah	32
3.18	Analisis Data dan Pembahasan.....	33

3.19	Analisis Data Statistik	33
3.20	Kesimpulan dan Saran.....	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Analisis Karakterisasi FTIR Biokoagulan	35
4.1.1	Analisis <i>Fourier Transformed Infrared</i> (FTIR) Serbuk Biji Asam Jawa.....	36
4.2	Analisis Karakterisasi SEM-EDX Biokoagulan	39
4.3	Analisis Dosis Biokoagulan terhadap Konsentrasi COD, BOD, TSS, Minyak dan Lemak	42
4.3.1	Analisis COD Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya	42
4.3.2	Analisis BOD Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya	45
4.3.3	Analisis TSS Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya	47
4.3.4	Analisis Minyak dan Lemak Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya	50
4.3.5	Analisis pH Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya	52
4.4	Penentuan Dosis Terbaik Setelah Koagulasi-Flokulasi	53
4.5	Analisis MANOVA.....	54
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN 1		67
LAMPIRAN 2		69
LAMPIRAN 3		75
LAMPIRAN 4		83
LAMPIRAN 5		87
LAMPIRAN 6		93
LAMPIRAN 7		99
LAMPIRAN 8		101
LAMPIRAN 9		103
BIOGRAFI PENULIS		111

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Limbah Cair Industri Makanan Ringan	8
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu	17
Tabel 3. 1 Karakteristik Awal Limbah Cair Kue Kering	26
Tabel 3. 2 Jumlah Sampel Penelitian	27
Tabel 3. 3 Pengujian Karakteristik Air Limbah (<i>Pre-Treatment</i>).....	28
Tabel 3. 4 Pengujian Karakteristik Biokoagulan	28
Tabel 3. 5 Metode Pengujian Parameter Air Limbah berdasarkan SNI.....	33
Tabel 4. 1 Identifikasi Gugus Fungsi Berdasarkan Spektrum FTIR.....	36
Tabel 4. 2 Hasil EDX Pada Perbesaran 2500x.....	40
Tabel 4. 6 Hasil Uji Normalitas MANOVA	55
Tabel 4. 7 Hasil Uji Homogenitas MANOVA.....	56
Tabel 4. 8 Hasil Uji MANOVA	56

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Biji Asam Jawa (<i>Tamarindus indica</i>)	8
Gambar 2. 2 Biji Pepaya (<i>Carica papaya</i>)	10
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 4. 1 Spektrum FTIR Serbuk Biji Asam Jawa, Serbuk Pepaya, dan Lumpur Terbaik.....	35
Gambar 4. 2 Hasil SEM Pada Perbesaran 2500x: (a) Serbuk biji asam jawa, (b) Serbuk biji pepaya, dan (c) Lumpur hasil pengolahan terbaik.....	40
Gambar 4. 4 Hasil Efisiensi Penyisihan Parameter COD	43
Gambar 4. 5 Hasil Efisiensi Penyisihan Parameter BOD	45
Gambar 4. 6 Hasil Efisiensi Penyisihan Parameter TSS.....	48
Gambar 4. 7 Hasil Efisiensi Penyisihan Parameter Minyak dan Lemak	50
Gambar 4. 8 Hasil Pengukuran pH Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya	52

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) yang bergerak dalam produksi kue kering merupakan bagian dari sektor pangan yang dikembangkan oleh masyarakat karena produknya memiliki beragam cita rasa, harga yang sesuai dengan daya beli masyarakat, serta mudah ditemukan di berbagai daerah. Salah satu UMKM produksi kue kering terletak di Kecamatan Driyorejo, Kabupaten Gresik. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan pasar, usaha produksi kue kering semakin meningkat, sehingga berdampak pada bertambahnya volume limbah cair yang dihasilkan. Limbah cair yang dihasilkan dari proses pencucian bahan baku, alat produksi, serta sisa adonan yang mengandung banyak bahan organik. Jika limbah ini dibuang tanpa diolah dengan baik, maka dapat menurunkan kualitas lingkungan sekitar (Syahbilla, 2023). Oleh karena itu, pengolahan limbah cair UMKM kue kering menjadi permasalahan lingkungan yang bersifat mendesak untuk segera ditangani.

Secara umum, limbah cair yang dihasilkan dari usaha produksi kue kering skala rumah tangga memiliki karakteristik parameter pencemar yang relatif tinggi, terutama nilai COD, BOD, TSS, serta kandungan minyak dan lemak. Hasil studi karakteristik limbah cair industri *cookies*, diketahui bahwa limbah cair dari produksi *cookies* memiliki BOD 3.950,54 mg/L, COD 11.741,31 mg/L, TSS 3.656,86 mg/L, dan kandungan minyak lemak mencapai 20,8 mg/L (Habibi dkk., 2024). Jika ditinjau dari Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah untuk industri biskuit dan roti (*bakery*), nilai pada parameter tersebut melebihi baku mutu. Nilai maksimal untuk BOD 85 mg/L, COD 150 mg/L, TSS 80 mg/L, dan minyak lemak 10 mg/L. Tingginya konsentrasi BOD dan

COD menunjukkan besarnya beban yang berpotensi menurunkan kadar oksigen terlarut di perairan. Selain itu, tingginya TSS dan kandungan minyak serta lemak dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan (Ro'in & Dahalan, 2024). Kondisi ini menunjukkan bahwa limbah cair dari produksi kue kering membutuhkan pengolahan yang lebih efektif sebelum dibuang ke badan air agar dapat memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan.

Limbah cair dari usaha produksi kue kering skala rumah tangga yang memiliki kadar bahan organik, minyak lemak, dan padatan tersuspensi tinggi membutuhkan metode pengolahan yang efektif. Berbagai teknologi telah digunakan untuk mengolah limbah cair, seperti koagulasi–flokulasi, sedimentasi, filtrasi, adsorpsi, dan pertukaran ion (*ion-exchange*). Dari metode tersebut, koagulasi–flokulasi merupakan teknik paling umum yang mampu memisahkan partikel kecil yang tersuspensi, sehingga menghasilkan limbah cair yang lebih jernih (Kusuma, 2021). Metode ini juga merupakan salah satu teknik yang paling umum digunakan untuk menurunkan berbagai parameter pencemar seperti BOD, COD dan TSS karena mampu mengikat partikel koloid menjadi gumpalan besar yang mudah dipisahkan (Badawi dkk., 2023). Namun, penggunaan koagulan kimia sintetis seperti aluminium sulfat dan PAC sering kali menimbulkan efek samping berupa peningkatan kadar residu aluminium dalam air dan lumpur kimia yang sulit terurai (Rawat dkk., 2025).

Sebagai upaya menanggulangi permasalahan tersebut, penelitian kini mulai mengembangkan biokoagulan alami yang berasal dari bahan nabati, karena dinilai lebih aman, efisien, dan ramah lingkungan. Salah satu alternatifnya yaitu menggunakan biji tanaman yang mengandung senyawa aktif penggumpal. Biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dan biji pepaya (*Caricca papaya*) diketahui memiliki potensi besar sebagai biokoagulan karena mengandung polisakarida, tanin, serta senyawa bioaktif lainnya yang mampu menetralkan partikel bermuatan negatif dan mempercepat terbentuknya flok dalam air limbah (Febrianti dkk., 2024).

Biji asam jawa (*Tamarindus indica*) adalah bahan alami yang bisa digunakan sebagai biokoagulan. Biji ini mengandung senyawa aktif yang bisa

menggumpalkan partikel pencemar, sehingga cocok digunakan dalam pengolahan limbah cair dari usaha produksi kue kering skala rumah tangga. Menurut Rahmatia (2020), menyatakan bahwa biji asam jawa mengandung tanin, pati, dan polisakarida cenderung bersifat amfoter. Selain itu, kandungan biji asam jawa mengandung tanin yang berperan dalam proses koagulasi melalui mekanisme penetralan muatan partikel (Putra & Sjojfan, 2021). Menurut Rafi & Mirwan (2025), biji asam jawa bisa menurunkan kadar BOD 18,75%, COD 23,4%, dan TSS 46,3% yang dimana menggunakan sampel dari air telaga. Penelitian serupa yang dilakukan oleh Yusuf dkk., (2022), menunjukkan bahwa penggunaan biji asam jawa juga mampu menurunkan COD 82%, BOD 82%, dan TSS 78% pada limbah cair industri tahu. Variasi efisiensi pada beberapa penelitian menunjukkan bahwa kinerja pada biji asam jawa dipengaruhi oleh jenis limbah serta kondisi proses yang digunakan.

Selain biji asam jawa, biji pepaya (*Carica papaya*) juga bisa digunakan sebagai biokoagulan alami yang sangat potensial dalam pengolahan limbah cair dari produksi kue kering skala rumah tangga. Kandungan aktif dalam biji pepaya seperti protein, alkaloid, tanin, minyak atsiri, serta fenolik merupakan sifat bawaan alami yang berfungsi sebagai pengikat bahan organik (Wulandari dkk., 2025). Protein dalam biji pepaya bersifat kationik. Komposisi bioaktif pada biji pepaya berperan dalam menetralkan partikel tersuspensi, minyak, dan zat organik lain yang terkandung dalam limbah cair pada usaha produksi kue kering skala rumah tangga. Beberapa penelitian terdahulu menggunakan biji pepaya sebagai biokoagulan tunggal yang mampu menurunkan parameter COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak meskipun dengan tingkat efisiensi yang berbeda-beda pada jenis limbah yang diolah. Menurut Rafi & Mirwan (2025), menunjukkan bahwa biji pepaya dapat menurunkan COD 27,4%, BOD 22,5%, dan TSS 51,22% yang dimana menggunakan sampel dari air telaga. Penelitian serupa yang dilakukan oleh Manulangga & Costa (2025), menunjukkan bahwa biji pepaya mampu menurunkan TSS 88,67% dan minyak lemak 46,41% pada limbah cair domestik. Dengan adanya kandungan bioaktif dan bukti-bukti penelitian

tersebut, dapat disimpulkan bahwa biji pepaya bisa menjadi pilihan biokoagulan, namun masih kurang efektif apabila digunakan secara tunggal, sehingga diperlukan kombinasi dengan biokoagulan lain yang memiliki karakteristik senyawa aktif berbeda untuk meningkatkan efisiensi proses pengolahan limbah cair dari produksi kue kering.

Di sisi lain, perbedaan karakteristik senyawa aktif pada biji asam jawa dan biji pepaya dapat meningkatkan efektivitas proses koagulasi-flokulasi. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh kombinasi biji asam jawa dan biji pepaya yang telah diaktivasi dengan variasi dosis koagulan dan variasi kecepatan pengadukan lambat terhadap penurunan kadar COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair yang berasal dari produksi kue kering skala rumah tangga.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik biji asam jawa dan biji pepaya sebagai biokoagulan alami?
2. Bagaimana pengaruh variasi dosis biokoagulan biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dan biji pepaya (*Carica papaya*) terhadap penurunan kadar COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering?
3. Bagaimana pengaruh variasi pengadukan lambat pada proses koagulasi-flokulasi dengan biokoagulan biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dan biji pepaya (*Carica papaya*) terhadap penurunan kadar COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik biji asam jawa dan biji pepaya sebagai biokoagulan alami.

2. Menganalisis pengaruh variasi dosis biokoagulan biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dan biji pepaya (*Carica papaya*) terhadap penurunan kadar COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.
3. Menganalisis pengaruh variasi pengadukan lambat pada proses koagulasi-flokulasi dengan biokoagulan biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dan biji pepaya (*Carica papaya*) terhadap penurunan kadar COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti

Hasil dari penelitian Tugas Akhir ini dapat menambah wawasan dan pengalaman terkait kemampuan biji asam jawa dan biji pepaya dalam menurunkan kadar BOD, COD, TSS, serta minyak dan lemak.

2. Bagi UMKM Kue Kering

Hasil penelitian ini menjadi masukan dalam pengolahan limbah cair dari produksi kue kering secara sederhana dan ramah lingkungan, serta mengoptimalkan pemanfaatan limbah biji asam jawa dan biji pepaya.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dengan menggunakan *jar test*.
2. Parameter yang dianalisis adalah COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak.
3. Limbah cair yang digunakan diperoleh dari salah satu UMKM kue kering di Kecamatan Driyorejo, Gresik.
4. Dosis biokoagulan yang digunakan adalah 700 mg/L, 800 mg/L, dan 900 mg/L.

5. Proses koagulasi-flokulasi menggunakan pengadukan lambat (*slow mixing*) yaitu 30, 40, dan 50 rpm selama 15 menit.
6. Baku mutu yang digunakan adalah baku mutu air limbah industri makanan ringan sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 tahun 2013.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair UMKM Kue Kering

Usaha produksi kue kering skala rumah tangga merupakan salah satu kegiatan di sektor pangan yang semakin berkembang di Indonesia seiring dengan meningkatnya minat masyarakat terhadap produk pangan siap konsumsi, seperti biskuit, cookies, dan berbagai jenis kue kering lainnya yang menggunakan bahan dasar tepung (Zakaria dkk., 2021). Kegiatan usaha produksi kue kering ini berkontribusi terhadap peningkatan perekonomian masyarakat, terutama bagi Usaha Mikro Kecil, Dan Menengah (UMKM). Namun, di sisi lain, proses produksi kue kering juga menghasilkan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama karena limbah cair yang dihasilkan. Jika limbah cair ini tidak dikelola dengan benar, maka bisa menyebabkan pencemaran air dan mengganggu keseimbangan ekosistem (Syahbilla, 2023).

Karakteristik limbah cair dari produksi kue kering biasanya dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan, cara pengolahan, serta aktivitas pencucian peralatan. Limbah cair umumnya mengandung bahan organik terlarut dan tersuspensi yang berasal dari sisa adonan tepung, gula, dan bahan tambahan lainnya, sehingga berpotensi memiliki kadar TSS yang tinggi karena sisa tepung yang larut dalam air. Selain itu, penggunaan margarin atau mentega dalam proses pembuatan kue kering dapat menyebabkan keberadaan minyak dan lemak (FOG) dalam limbah cair (Habibi dkk., 2024). Berdasarkan hal tersebut, terdapat baku mutu yang mengatur mengenai limbah cair bagi pemilik/badan usaha industri makanan ringan. Baku mutu mengenai air limbah industri makanan ringan dapat dilihat pada Tabel 2.1 :

Tabel 2. 1 Baku Mutu Limbah Cair Industri Makanan Ringan

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
BOD ₅	85
COD	150
TSS	80
pH	6-9
Vol. Air limbah maksimum (m ³ /ton produk)	6

Sumber: Pergub Jatim No. 72 tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Biskuit dan Roti (*Bakery*).

2.2 Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*)

Asam jawa adalah tanaman tropis yang berasal dari Afrika, tetapi bisa tumbuh dengan baik di Indonesia. Kebanyakan pohon ini digunakan sebagai pohon peneduh di tepi jalan. Batang asam jawa cukup kuat dan bisa tumbuh besar, daunnya juga lebat. Tangkai pohon asam jawa panjang sekitar 117 cm dan memiliki bentuk daun yang bersirip genap. Bunganya berwarna kuning kekuningan dengan nuansa merah dan buahnya berbentuk polong dengan warna coklat. Buah asam jawa memiliki rasa yang khas asam. Di dalam buah polong terdapat biji yang jumlahnya berkisar antara 2 hingga 5 biji. Biji tersebut berbentuk pipih dan berwarna coklat dengan sedikit kehitaman (Ginting dkk., 2024). Klasifikasi tanaman buah asam jawa dengan tampilan biji asam jawa yang terlihat pada Gambar 2.1 adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 1 Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*)

Kingdom : *Plantae*
 Divisi : *Magnoliophyta*
 Kelas : *Magnoliopsida*
 Ordo : *Fabales*

Famili : *Fabaceae*
Genus : *Tamarindus*
Spesies : *Tamarindus indica* L.

Pemanfaatan asam jawa tidak hanya terbatas pada buahnya saja, tetapi biji asam jawa juga bisa dimanfaatkan. Biji asam jawa merupakan limbah dari buah asam jawa. Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang ada, biji asam jawa memiliki kandungan senyawa bioaktif seperti tanin, alkaloid, saponin, flavonoid dan senyawa fenolik. Jumlah kandungan dalam biji buah asam jawa adalah tanin sebesar 1,19-2,74 mg/kg, alkaloid sebesar 8,47-12,02 mg/kg, saponin sebesar 22,63 g/kg, flavonoid sebesar 157,75-173,53 mg/kg, dan fenolik sebesar 90,17-95,88 mg/kg (Gilbert dkk., 2025). Karakteristik biji asam jawa (*Tamarindus indica*) yaitu memiliki kandungan tanin sebesar 20,2%, kandungan pati sebesar 33,1% yang terdapat pada daging biji asam jawa. Gugus amino di dalam biji asam jawa dapat mengikat partikel koloid yang bermuatan negatif, kemudian akan mengalami destabilisasi partikel yang besar, sehingga dapat mengendap (Muthia, 2025).

2.3 Tanin

Tanin adalah kelompok senyawa polifenol yang banyak ditemukan di biji, kulit, daun, dan buah dari berbagai tanaman. Di Indonesia, tanin sering dicari sebagai sumber bahan biokoagulan. Secara kimia, tanin memiliki struktur yang mengandung gugus fenolik. Gugus ini mampu membentuk ikatan dengan protein dan ion logam, sehingga memengaruhi stabilitas permukaan partikel koloid (Aldriansah dkk., 2025). Tanin bekerja sebagai polifenol yang mampu berikatan dengan partikel koloid yang bermuatan negatif melalui proses interaksi fenolik, sehingga membantu mengurangi muatan dan membentuk ikatan antar partikel yang mempermudah terjadinya penggumpalan dan sedimentasi (Adzwa dkk., 2020).

2.4 Biji Pepaya (*Carica papaya*)

Carica papaya (*Caricaceae*) Linn. (CP) adalah tanaman berupa pohon yang tumbuh di daerah tropis, berasal dari Amerika Selatan. Tanaman ini

tidak memiliki cabang, berupa pohon kecil dengan batang tunggal yang bisa tumbuh hingga tinggi 5 hingga 10 meter. Daunnya cukup besar, berdiameter sekitar 50 hingga 70 sentimeter, dengan 7 lobus, sangat melengkung (Hidayati dkk., 2020). Daunnya besar dengan bentuk seperti menjari (*palmate*), tersusun secara spiral di ujung batang, dan memiliki tangkai daun yang panjang (Atmaca dkk., 2024). Klasifikasi tanaman buah pepaya dengan bentuk biji pepaya yang terlihat pada Gambar 2.2 adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 2 Biji Pepaya (*Carica papaya*)

Kingdom : *Plantae*
Divisi : *Magnoliophyta*
Kelas : *Magnoliopsida*
Ordo : *Brassicales*
Famili : *Caricaceae*
Genus : *Carica*
Spesies : *Carica papaya* L.

Pemanfaatan pepaya tidak hanya terbatas pada buahnya saja, tetapi biji pepaya juga bisa dimanfaatkan. Biji pepaya merupakan limbah dari buah pepaya. Berdasarkan hasil dari beberapa penelitian dalam analisis fitokimia dari biji pepaya mengandung senyawa-senyawa aktif alkaloid, flavonoid, glikosida antrakinon, tanin, triterpenoid atau steroid, saponin yang dimana menjadikannya sebagai biokoagulan dan desinfektan alami (Kumalasari, 2024). Berdasarkan penelitian dari Muthia (2025), menyatakan bahwa biji pepaya (*Carica papaya*) mengandung protein sebesar 25,1%, abu sebesar 8,2%, serat kasar sebesar 45,6%, dan diameter partikelnya sebesar 5,17 μm . Kandungan protein ini dapat membantu proses destabilisasi partikel limbah sehingga pembentukan dan pengendapan flok dapat terjadi.

2.5 Protein

Protein yang berasal dari biji buah, seperti biji pepaya (*Carica papaya*), atau biji tumbuhan lainnya telah dikenal sebagai bahan aktif biokoagulan alami yang memiliki potensi besar dalam pengolahan air limbah. Dalam penelitian menggunakan serbuk biji pepaya, kadar protein yang tinggi terbukti berperan sebagai polielektrolit alami karena adanya gugus amina dan struktur polimerik pada protein tersebut, terjadi interaksi elektrostatis dengan partikel koloid yang bermuatan. Interaksi ini membantu menghilangkan muatan pada partikel dan memudahkan pembentukan flok (Cahyaningrum dkk., 2024).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa koagulan berbasis protein dari biji pepaya mampu mengurangi beberapa jenis polutan seperti TSS dan COD dalam air tanah atau limbah. Dalam beberapa kasus, kinerjanya bahkan lebih baik dibandingkan koagulan kimia sintetis yang umum digunakan, seperti PAC. Selain itu, karena bahan baku berasal dari sumber organik dan mudah terurai, penggunaan koagulan ini memberikan limbah yang lebih sedikit serta mengurangi risiko pencemaran logam berat. Hal ini menunjukkan bahwa koagulan dari protein nabati merupakan pilihan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan koagulan berbasis anorganik (Airun, 2020).

2.6 Biokoagulan

Koagulan adalah bahan yang ditambahkan dalam proses koagulasi dan flokulasi yang berperan dalam proses pengendapan partikel. Koagulan adalah bahan yang bisa membuat koloid tidak stabil lagi dengan cara menghilangkan muatan pada koloid, sehingga terbentuk flok dan koloid akan lebih mudah turun ke dasar. Berdasarkan jenisnya, koagulan dibagi menjadi dua, yaitu koagulan sintetis yang menggunakan bahan kimia dan koagulan alami yang berasal dari bahan-bahan alam (Musfira, 2022).

Koagulan alami atau biokoagulan memiliki berbagai keunggulan, seperti mudah terurai, aman bagi lingkungan, bahan baku mudah didapat dan harganya terjangkau. Biokoagulan tidak beracun, mudah diuraikan oleh alam, dan menghasilkan endapan yang lebih sedikit (Airun, 2020). Koagulan alami

biasanya didapatkan dari bahan hidup seperti biji-bijian, tanaman, atau cangkang hewan yang memiliki zat aktif seperti polisakarida, protein, tanin, serta kitin dan kitosan. Zat-zat tersebut berfungsi sebagai polielektrolit alami yang dapat membantu kestabilan koloid dalam air limbah (Shabrina & Hardjono, 2023).

2.7 Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi adalah proses fisika-kimia penting dalam pengolahan air buangan. Koagulasi adalah cara memproses limbah dengan memanfaatkan perbedaan muatan antara partikel koloid dalam limbah dan zat koagulan, sehingga mampu menghilangkan kestabilan ion. Dasar prinsip koagulasi adalah tarik-menarik antara ion negatif dari partikel polutan dan ion positif dari partikel koagulan, yang akhirnya membentuk bentuk mikroflok (Airun, 2020). Menurut Musfira (2022), ada beberapa faktor yang dapat memengaruhi proses koagulasi adalah suhu, pH, jenis koagulan, dosis koagulan, kecepatan pengadukan, kadar ion terlarut, tingkat kekeruhan, alkalinitas.

Selanjutnya pada tahap flokulasi, partikel hasil koagulasi bertumbuk dan bergabung membentuk flok yang lebih padat dan mudah tenggelam. Proses flokulasi terbagi menjadi dua jenis yaitu flokulasi perikinetik dan flokulasi ortokinetik (Musfira, 2022). Dalam penelitian di bidang industri kimia, metode koagulasi dan flokulasi terbukti efektif dalam mengurangi kekeruhan dan TSS di dalam limbah cair (Ekoputri dkk., 2024).

2.8 Parameter Pencemar Air Limbah

Sebuah industri pasti menghasilkan limbah. Agar proses pengolahan di industri tersebut berjalan lancar, maka perlu diperhatikan tingkat polutan dalam limbah air industri tersebut. Beberapa parameter yang digunakan untuk mengetahui kualitas limbah air tersebut adalah COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak. Berikut penjelasan masing-masing parameter tersebut:

2.8.1 *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Pengukuran COD menggunakan metode refluks tertutup secara titrimetri dengan peroksida berupa kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) dengan prosedur mengacu pada SNI 6989.02:2019. COD (*chemical oxygen demand*) adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air buangan melalui reaksi kimia. Angka COD didapatkan sebagai pengukuran tingkat pencemaran air oleh zat organik, yang secara alami bisa dioksidasi melalui proses oleh mikroba, sehingga menyebabkan kadar oksigen terlarut dalam air berkurang (Fitriyanti, 2020).

COD digunakan untuk mengukur kualitas air dengan menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan dalam mengoksidasi zat-zat organik dalam sampel air. Senyawa $K_2Cr_2O_7$ dikenal sebagai kalium dikromat yang berfungsi sebagai agen pengoksidasi yang membantu memecah zat-zat organik dalam air secara kimia menjadi CO_2 dan H_2O . Semakin banyak zat organik yang terkandung dalam sampel air, semakin besar jumlah oksigen yang diperlukan sehingga nilai COD akan semakin tinggi. Nilai COD yang tinggi menunjukkan bahwa sampel air mengandung banyak zat pencemar organik (Airun, 2020).

2.8.2 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Pengukuran nilai BOD dilakukan dengan menggunakan metode titrasi winkler dengan prosedur pengujian mengacu pada standar SNI 06-6989.72-2009. *Biological Oxygen Demand* (BOD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh organisme hidup di dalam air untuk memecah bahan buangan organik yang ada di dalam air tersebut. Proses penguraian bahan buangan organik melalui cara oksidasi oleh mikroorganisme di dalam air merupakan proses alami yang terjadi dengan mudah jika air tersebut memiliki cukup oksigen. Semakin tinggi nilai BOD berarti semakin tinggi aktivitas organisme dalam menguraikan bahan organik (Ashar, 2020).

2.8.3 *Total Suspended Solid (TSS)*

Pengukuran kadar TSS dilakukan dengan metode gravimetri yang mengacu pada SNI 6989.3:2019. TSS menggambarkan jumlah zat yang mengapung dalam limbah. TSS menunjukkan berapa banyak zat tersuspensi seperti pasir, lumpur, dan mikroorganisme yang tertahan oleh filter dengan ukuran 0,45 μm . Jika kadar TSS tinggi, maka proses fotosintesis akan terganggu karena sinar matahari sulit masuk ke dalam air sehingga memengaruhi kehidupan makhluk air (Fitriyanti, 2020).

2.8.4 Minyak dan Lemak

Pengukuran kadar minyak dan lemak mengacu pada SNI 6989.10:2011 dengan metode gravimetri. SNI ini menetapkan prosedur analisis untuk menentukan jumlah minyak nabati dan minyak mineral yang dapat diekstraksi dari sampel air atau limbah cair menggunakan pelarut organik. Parameter minyak dan lemak merupakan indikator penting dalam mengetahui kualitas limbah cair karena keberadaannya bisa mengganggu proses pengolahan dan menyebabkan penyumbatan saluran pembuangan. Nilai parameter minyak dan lemak yang tinggi dapat menghambat difusi oksigen dalam air dan mengganggu ekosistem perairan (Aniska dkk., 2022).

2.8.5 pH (Derajat Keasaman)

Pengujian pH dilakukan berdasarkan metode SNI 6989.11:2019. pH (derajat keasaman) merupakan indikator untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan suatu zat cair. Nilai pH adalah faktor penting di perairan, karena pH memiliki pengaruh terhadap hewan dan tumbuhan di perairan (Pratiwi & Setiorini, 2023). Secara umum, pH untuk kehidupan akuatik adalah 7 hingga 8,5. Apabila kondisi perairan memiliki pH terlalu rendah atau terlalu tinggi, maka akan mengganggu respirasi dan metabolisme organisme akuatik (Rumi dkk., 2022).

Apabila zat basa ditambahkan ke dalam air, maka akan bertambah jumlah ion OH^- dan berkurangnya ion H^+ . Apabila zat asam ditambahkan ke dalam air, maka bertambahnya jumlah ion H^+ dan berkurangnya ion OH^- . Untuk mengetahui tingkat keasaman suatu zat dapat dilihat dari berapa banyak jumlah ion H^+ dan OH^- yang ada di dalam air (Adira dkk., 2020).

2.9 Jar Test

Jar test adalah cara yang digunakan di laboratorium untuk mengetahui dosis terbaik dari bahan koagulan dan flokulan dalam proses koagulasi dan flokulasi saat memproses air atau limbah air. Metode ini meniru kondisi yang terjadi di clarifier dengan melakukan percobaan di dalam gelas beker menggunakan alat *jar test*. Percobaan ini dilakukan dalam tiga tahap utama, yaitu koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi (Sabillah dkk., 2025). Jar test bekerja dengan cara mengganggu partikel koloid melalui penambahan bahan koagulan yang bisa menghilangkan muatan pada partikel. Dengan demikian, partikel bisa menyatu membentuk klump yang lebih besar. Cara ini efektif tergantung pada dosis koagulan, pH, kecepatan pengadukan, dan waktu pengendapan (Rizqullah dkk., 2025).

2.10 Fourier Transformed Infrared (FTIR)

Spektroskopi *Fourier Transform Inframerah* (FTIR) adalah metode analisis senyawa didasarkan pada penyerapan cahaya inframerah oleh atom dalam senyawa, yang kemudian menyebabkan terjadinya getaran, putaran, dan gerakan vibrasi pada frekuensi gelombang tertentu (cm^{-1}). Prinsip kerja spektroskopi inframerah melibatkan interaksi antara energi dan suatu materi. Metode ini berfokus pada radiasi elektromagnetik dalam rentang frekuensi 400–4000 cm^{-1} . Spektroskopi inframerah untuk mengidentifikasi gugus fungsional dalam sampel, yang membantu dalam pengenalan senyawa, penentuan sktruktur molekul, pemeriksaan kemurnian, serta studi reaksi yang berlangsung (Muthia, 2025).

Setiap molekul yang dianalisis memiliki nilai energi tertentu. Ketika suatu senyawa terkena energi dari sinar inframerah, energi dalam molekul tersebut akan tereskitasikan ke tingkat energi yang lebih tinggi, tergantung pada jumlah energi yang diserap. Proses ini menyebabkan perubahan dalam energi vibrasi dan rotasi molekul. Keunggulan metode ini antara lain prosesnya cepat, tidak merusak sampel, persiapan sampel tidak rumit, mudah digunakan, serta menggunakan sedikit pelarut sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan metode HPLC dan teknik spektroskopi lainnya (Faturachman dkk., 2025).

2.11 *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray*

Spectroscopy (SEM - EDX)

Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM - EDX) adalah metode yang digunakan untuk pengamatan morfologi permukaan, struktur, dan pemetaan kandungan dari berbagai jenis sampel (Sahdiah & Kurniawan, 2023). Cara kerja SEM adalah dengan mengarahkan sinar elektron ke permukaan benda yang diteliti, lalu mendeteksi elektron yang dipantulkan dari permukaan tersebut untuk membentuk gambar (Septiano dkk., 2021). Ketika permukaan bahan disinari oleh elektron, bahan tersebut memantulkan kembali berkas elektron, termasuk elektron sekunder, ke berbagai arah. Di antara semua berkas elektron yang dipantulkan, terdapat berkas elektron dengan intensitas sangat tinggi. Detektor pada SEM akan mengidentifikasi pancaran elektron dengan intensitas tertinggi tersebut, yang berasal dari benda atau bahan yang sedang dianalisis. Elektron memiliki resolusi yang lebih baik dibandingkan cahaya; meskipun cahaya hanya mampu mencapai resolusi hingga 200 nm, elektron bisa mencapai resolusi sekitar 0,1 hingga 0,2 nm (Muthia, 2025).

2.12 Analisis MANOVA

Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji perbedaan sekaligus antara dua atau lebih variabel hasil yang terkait dengan satu atau lebih variabel penjelas. Fungsi

utama dari MANOVA adalah menentukan apakah ada perbedaan yang signifikan antar kelompok dalam beberapa variabel hasil yang dianalisis. MANOVA sangat berguna ketika terdapat beberapa variabel hasil yang cenderung saling berkaitan (Sayekti dkk., 2024).

MANOVA memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode ANOVA. Keunggulan utamanya adalah kemampuannya untuk menganalisis semua variabel hasil secara bersamaan. MANOVA adalah uji yang lebih kuat dan salah satu metode untuk mencegah peningkatan alpha dengan berfungsi sebagai "filter" pada ANOVA. MANOVA mampu mendeteksi serta menunjukkan perbedaan yang tidak terlihat oleh ANOVA ketika dianalisis satu per satu pada setiap variabel terikat. (Syafa'ah, 2025).

2.13 Penelitian Terdahulu

Berikut beberapa penelitian terdahulu yang membahas penggunaan biokoagulan biji asam jawa dan biokoagulan biji pepaya ditampilkan pada Tabel 2.2:

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Tahun	Hasil Penelitian
1	Rafi & Mirwan	2025	Hasil pada penggunaan biji asam jawa dengan dosis 2000 mg/L, diperoleh efisiensi penurunan BOD 18,75%, COD 23,4%, dan TSS 46,3%. Sedangkan biji pepaya dengan dosis 4000 mg/L, efisiensi penurunan BOD 22,5%, COD 27,4%, dan TSS 51,22%. Peneliti menggunakan sampel air telaga.
2	Yusuf., dkk	2022	Penelitian ini menggunakan biji asam jawa dengan dosis 4000 mg/L dan menggunakan limbah cair industri tahu. Hasil menunjukkan efisiensi penurunan BOD sebesar 82%, COD sebesar 82%, dan TSS sebesar 78%.
3	Yulinda., dkk	2024	Hasil dari penelitian yaitu biji asam jawa dinilai paling efektif memberikan penurunan COD tertinggi sebesar 17,7%

No.	Nama Peneliti	Tahun	Hasil Penelitian
			daripada biji flamboyan dan biji salak. Penelitian ini menggunakan limbah cair laundry.
4	Pembayun & Rahmayanti	2020	Peneliti ini menggunakan biji asam jawa untuk menurunkan kadar COD pada limbah cair industri batik. Dosis yang digunakan 500 mg/L. Hasil penelitian menurunkan nilai COD limbah cair batik sebesar 97,94%.
5	Nurhidayanti., dkk	2022	Penelitian ini dosis terbaik pada serbuk biji asam jawa yaitu 4000 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biokoagulan biji asam jawa mampu menurunkan kadar COD 30,75% pada limbah cair <i>laundry</i> .
6	Astuti & Islam	2024	Penelitian ini menganalisis efektivitas biji pepaya dalam menurunkan kadar COD, BOD, dan TSS pada limbah cair industri tahu. Hasil terbaik diperoleh pada dosis 7 g/500 mL dengan efisiensi penurunan BOD 10,94%, COD 10,67%, dan TSS 23,84%.
7	Manulangga & Costa	2025	Penelitian ini menggunakan ekstrak biji kelor dan biji pepaya dalam pengolahan limbah cair domestik. Dosis yang digunakan adalah 110 mg/L. Hasil menunjukkan bahwa biji pepaya menurunkan kadar TSS 88,67%, minyak dan lemak 46,41%.
8	Africanisa & Yasmine	2025	Penelitian ini menggunakan biji pepaya untuk menurunkan kadar TSS, BOD, dan COD pada limbah tahu. Dosis yang digunakan yaitu 400 mg/L. Hasil penurunan kadar TSS 65%, BOD 61,78%, dan COD 51,78%.
9	Bhernama., dkk	2023	Peneliti ini menggunakan biji pepaya untuk menurunkan kadar pencemar pada limbah

No.	Nama Peneliti	Tahun	Hasil Penelitian
			cair <i>laundry</i> . Hasil penelitian menyatakan bahwa dosis terbaik yaitu 4000 mg/L dengan penurunan kadar COD 54% dan TSS 33%.
10	Airun	2020	Penelitian ini menggunakan biji pepaya untuk mengolah limbah cair industri batik. Variasi dosis menggunakan 250, 500, 750, dan 1000 mg/250 mL. Dari ketiga variasi tersebut dosis optimumnya ialah 1000 mg/250 mL yaitu penurunan COD 49,7%.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

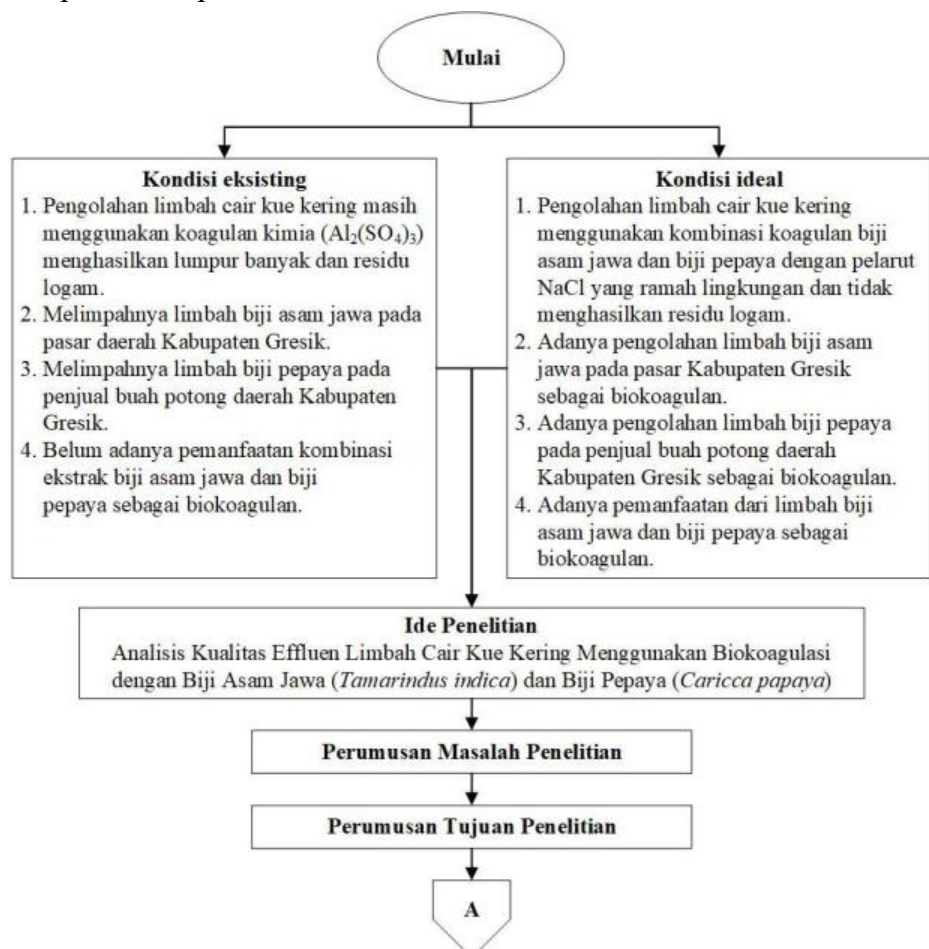
BAB 3

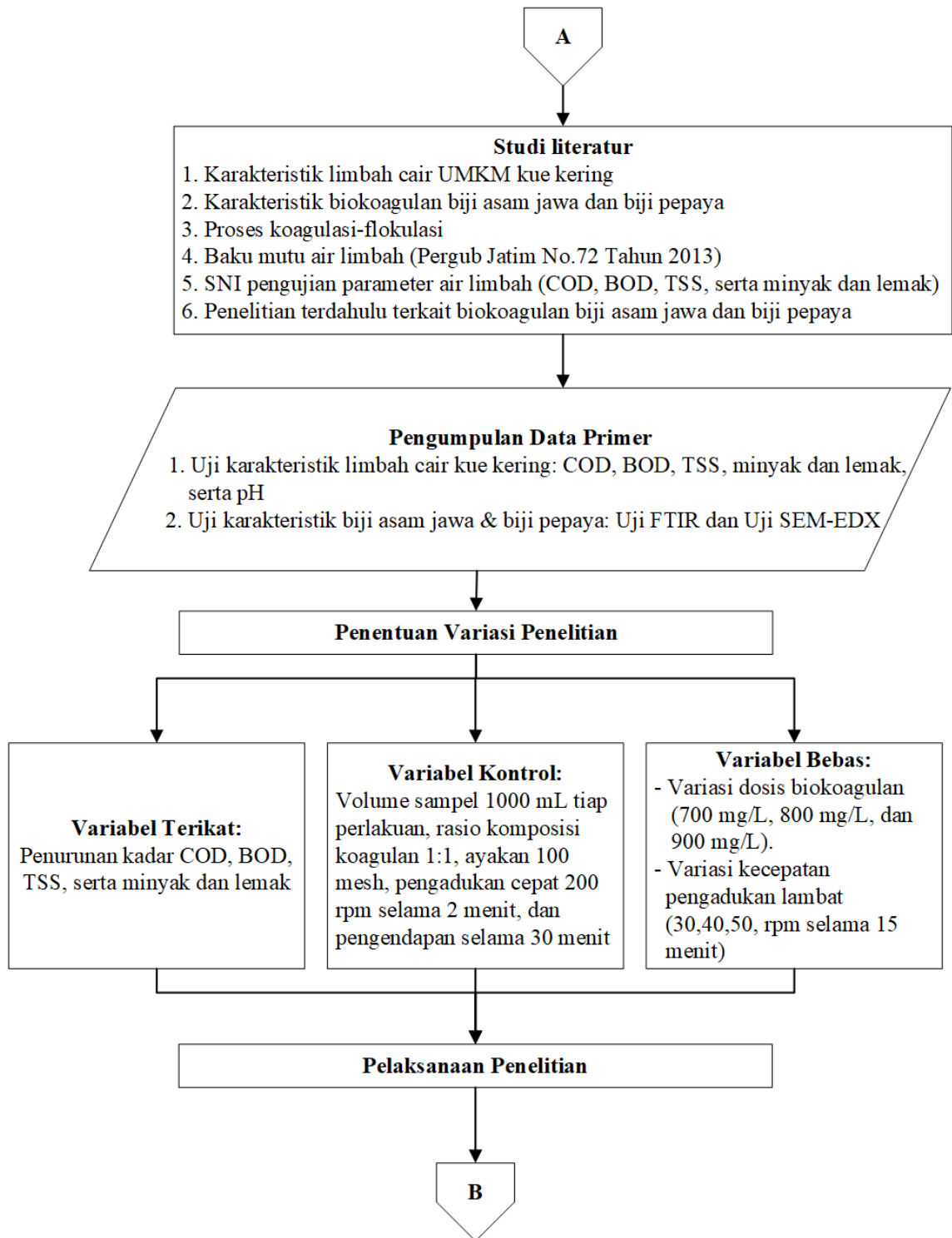
METODE PENELITIAN

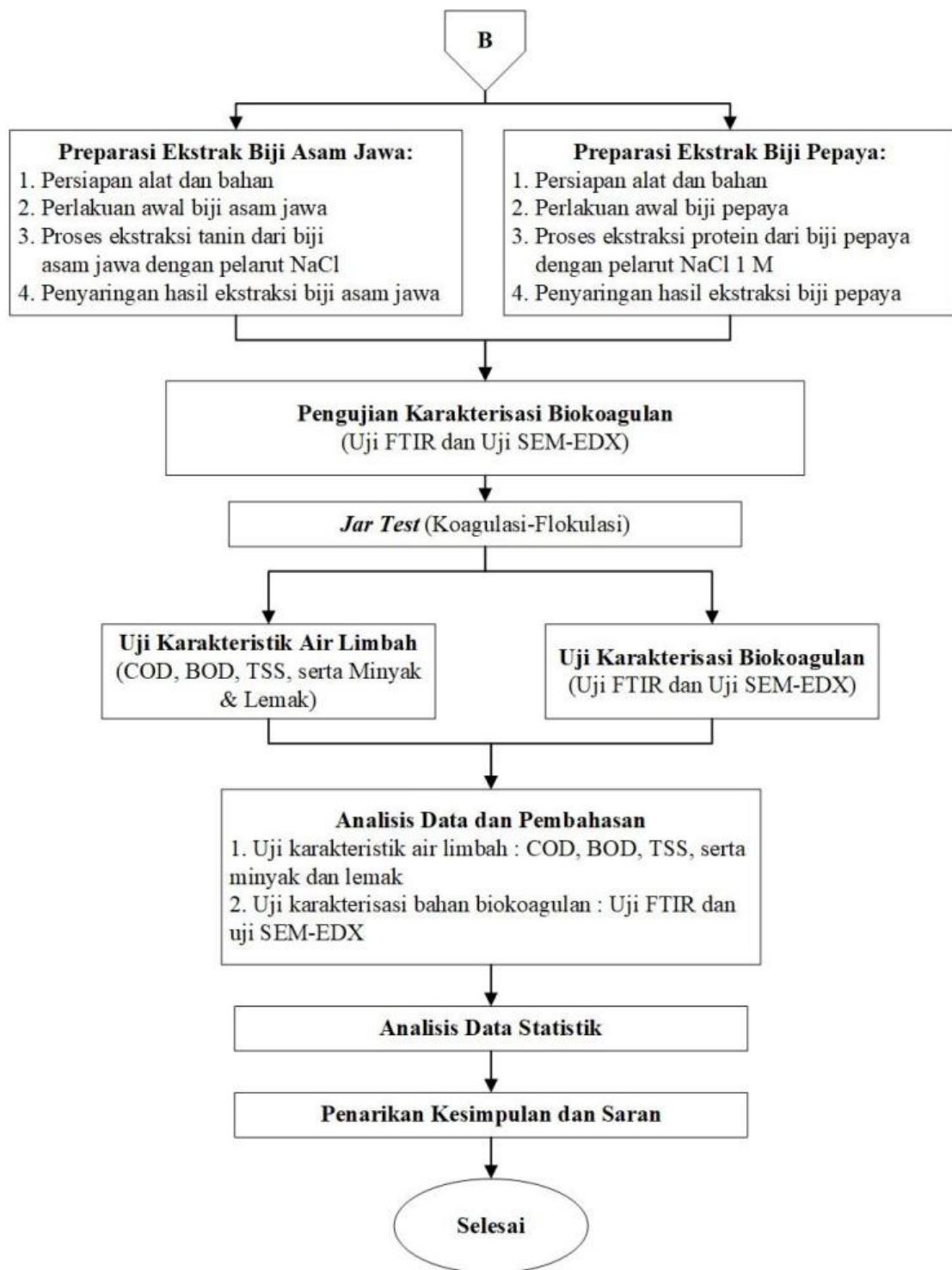
Dalam metode penelitian ini akan dijelaskan tentang kerangka penelitian, metode penelitian, tahapan penelitian, lokasi penelitian, waktu penelitian, variabel yang diamati, serta menganalisis data agar lebih terarah dan teratur.

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian adalah konsep penelitian yang digunakan untuk mempermudah dalam mengatasi masalah dan pengerjaan penelitian akan berjalan secara sistematis sesuai alur dan meminimalisir kesalahan. Kerangka penelitian mencakup hubungan antara variabel satu dan lainnya. Kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.







Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Ide Penelitian

Ide penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan pada limbah biji asam jawa dan biji pepaya. Pemanfaatan kedua limbah tersebut belum maksimal sehingga berpotensi sebagai koagulan alami. Investigasi limbah cair UMKM kue kering pada Kecamatan Driyorejo. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kombinasi dari biji asam jawa dan biji pepaya melalui variasi dosis biokoagulan dan variasi pengadukan lambat yang mampu menurunkan kadar COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak hingga memenuhi baku mutu limbah cair UMKM kue kering.

3.3 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dikembangkan berdasarkan permasalahan yang ada. Permasalahannya yaitu pengaruh variasi dosis biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya terhadap penurunan COD, BOD, TSS, minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering, dan pengaruh variasi kecepatan pengadukan lambat pada proses koagulasi-flokulasi terhadap penurunan COD, BOD, TSS, minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.

3.4 Perumusan Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi dosis koagulan biji asam jawa dan biji pepaya yang di ekstrak, dan pengaruh dari variasi pengadukan lambat pada proses koagulasi-flokulasi dalam menurunkan kadar COD, BOD, TSS, minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.

3.5 Studi Literatur

Penelitian ini mengacu pada jurnal penelitian, artikel penelitian, skripsi atau tugas akhir, peraturan pemerintah terkait baku mutu, SNI, dan referensi lainnya yang relevan dengan penelitian. Studi literatur ini bertujuan untuk memperoleh landasan teori dan informasi pendukung yang berkaitan dengan pemanfaatan biji asam jawa dan biji pepaya, karakteristik kandungan senyawa biji asam jawa dan biji pepaya, SNI mengenai metode pengujian

parameter kualitas air limbah dan pengujian biokoagulan, mekanisme pengolahan koagulasi-flokulasi serta penggunaan bahan pendukung seperti NaCl dalam meningkatkan efektivitas proses koagulasi.

3.6 Pengambilan Sampel

Teknik pengambilan sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *grab sample*. Metode ini dilakukan dengan mengambil sampel limbah cair secara langsung pada saluran sebelum masuk ke perairan untuk kemudian dianalisis di laboratorium. Untuk memastikan sampel representatif terhadap karakteristik limbah, pengambilan dilakukan pada jam operasional produksi puncak pukul 09.00-11.00.

3.7 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data primer yang menunjang dalam menyelesaikan permasalahan yang dibahas pada penelitian ini.

3.7.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung melalui kegiatan penelitian di lapangan dan di laboratorium. Data primer yang dikumpulkan dalam penelitian ini mencakup hasil pengujian parameter COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak untuk mengetahui kualitas limbah cair dari UMKM kue kering. Selain itu, data primer juga mencakup hasil uji FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi aktif dan uji SEM EDX untuk melihat detail morfologi, topografi, dan struktur mikro setelah proses koagulasi-flokulasi. Berikut hasil pengujian parameter COD, BOD, TSS, minyak dan lemak, serta pH sebelum dilakukannya penambahan koagulan alami dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Karakteristik Awal Limbah Cair Kue Kering

Parameter	Satuan	Hasil	Standar Baku Mutu Air Limbah*
<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	mg/L	545,5	150
<i>Biochemical Oxygen Demand (BOD)</i>	mg/L	294,85	85
<i>Total Suspended Solid (TSS)</i>	mg/L	3.845	80
Minyak dan Lemak	mg/L	28.330	10
pH	-	7	6-9

*Sumber: Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Industri Biskuit dan Roti (*Bakery*)

3.8 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.8.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di beberapa lokasi untuk menunjang kemudahan selama proses penelitian berlangsung. Penelitian ini dilaksanakan pada :

1. Laboratorium Limbah Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya untuk proses ekstraksi pelarut NaCl pada biji asam jawa dan biji pepaya, serta pengujian TSS dan minyak lemak.
2. Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya untuk pengujian parameter COD dan BOD.
3. Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) untuk pengujian FTIR dan SEM EDX.

3.8.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Januari hingga Juni 2026.

3.9 Populasi dan Sampel Penelitian

Penelitian ini memiliki populasi dan sampel. Populasi menyatakan ruang lingkup yang luas objek penelitian, sedangkan sampel adalah salah satu bagian dari populasi yang sifatnya representatif dari populasi.

3.9.1 Populasi Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah limbah cair dari UMKM kue kering.

3.9.2 Sampel Penelitian

Sampel penelitian ini dilakukan saat pengujian *jar test* terhadap biokoagulan kombinasi dari biji asam jawa dan biji pepaya. Berikut ini jumlah sampel yang dibutuhkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Jumlah Sampel Penelitian

Pengadukan lambat	Dosis		700 mg/L		800 mg/L		900 mg/L	
	30 rpm	B1	B1 ₁	B2	B2 ₁	B3	B3 ₁	
	40 rpm	C1	C1 ₁	C2	C2 ₁	C3	C3 ₁	
	50 rpm	D1	D1 ₁	D2	D2 ₁	D3	D3 ₁	
	Jumlah sampel = 9 sampel							
Duplo = 18 sampel								

3.10 Penentuan Variabel dan Parameter Penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga variabel yaitu variabel bebas, variabel kontrol, dan variabel terikat. Berikut penjelasan ketiga variabel tersebut.

3.10.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang bisa berdiri sendiri tanpa dipengaruhi oleh variabel lainnya. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini pada saat proses *jar test* yaitu:

- Dosis biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya yaitu 700 mg/L, 800 mg/L, dan 900 mg/L.
- Variasi pengadukan lambat yaitu 30, 40, dan 50 rpm selama 15 menit.

3.10.2 Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah penurunan kadar COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.

3.10.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dipertahankan konstan agar tidak memengaruhi hasil penelitian. Variabel tersebut meliputi rasio koagulan 1:1, ayakan 100 mesh, kecepatan pengadukan cepat (*rapid mixing*) sebesar 200 rpm selama 2 menit, waktu pengendapan selama 30 menit, dan volume sampel air limbah yang digunakan setiap perlakuan *jar test* adalah 1000 mL.

3.11 Tahap Penelitian

3.11.1 Tahap *Pre-Treatment*

Pada tahap *pre-treatment* berada pada tahap pembuatan biokoagulan dan pengujian karakteristik air limbah. Pembuatan biokoagulan meliputi proses pengeringan, penghalusan, pengayakan, dan ekstraksi dengan pelarut NaCl. Pada pengujian karakteristik air limbah dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Pengujian Karakteristik Air Limbah (*Pre-Treatment*)

Jenis Limbah	Parameter Pengujian			
	COD	BOD	TSS	Minyak & Lemak
Limbah cair UMKM Kue Kering	✓	✓	✓	✓

3.11.2 Tahap Uji Karakteristik Biokoagulan

Pada tahap ini berada pada pengujian biokoagulan. Pengujian karakteristik biokoagulan mencakup analisis menggunakan pengujian *Fourtier Transform-InfraRed* (FTIR) dan *Scanning Ekectron Microscopy–Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX). Pengujian karakteristik biokoagulan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Pengujian Karakteristik Biokoagulan

Jenis Biokoagulan	Pengujian Karakteristik	
	FTIR	SEM EDX
Setelah proses ekstraksi		
Biji Asam Jawa	A1	A2
Biji Pepaya	B1	B2
Setelah proses koagulasi-flokulasi		
Lumpur	C1	C2

Jenis Biokoagulan	Pengujian Karakteristik	
	FTIR	SEM EDX
Jumlah Sampel	6 sampel	

3.12 Pelaksanaan Penelitian

3.12.1 Persiapan Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. *Glassware* meliputi beaker glass, gelas ukur, erlenmeyer, pipet volumetrik, pipet tetes
2. pH meter
3. Saringan 100 mesh
4. Spatula
5. Neraca analitik
6. *Magnetic stirrer*
7. Corong dan kertas saring *whatman/vacuum filter*
8. Oven
9. Sentrifugal
10. Desikator
11. Blender

3.12.2 Persiapan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Sampel air limbah UMKM kue kering
2. Biji asam jawa
3. Biji pepaya
4. NaCl
5. Aquadest

3.13 Preparasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya

Biji asam jawa (*Tamarindus indica*) diperoleh dari pasar dan biji pepaya (*Carica papaya*) diperoleh dari pedagang buah potong di daerah Kabupaten Gresik.

3.13.1 Pembuatan Biokoagulan Biji Asam Jawa

Tahapan pembuatan ekstrak pada biji asam jawa adalah sebagai berikut:

1. Proses pembuatan serbuk biji asam jawa pada penelitian ini merupakan modifikasi dari Rahmatia (2020):

Biji asam jawa dikumpulkan. Kemudian, dibersihkan dari sisa daging buahnya. Biji asam jawa dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 30 menit untuk menurunkan kadar airnya. Biji yang telah kering dihaluskan dengan blender dan diayak dengan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan serbuk yang ukuran partikelnya seragam.

2. Proses pembuatan ekstrak dengan larutan NaCl pada penelitian ini merupakan modifikasi dari Rafi & Mirwan (2025) & Win dkk., (2019):

Serbuk biji asam jawa sebanyak 100 gram diekstraksi ke dalam 200 mL larutan NaCl, kemudian disaring dengan kain penyaing halus untuk memisahkan filtrat dan residu. Hasil residu dari penyaringan diekstraksi kembali sebanyak tiga kali dengan prosedur yang sama untuk memaksimalkan perolehan tanin. Seluruh hasil residu dikeringkan dengan oven. Setelah kering, dihaluskan dengan mortar dan alu hingga halus dan diayakan dengan ayakan 100 mesh. Selanjutnya hasil residu diujikan FTIR dan SEM EDX, serta untuk proses koagulasi-flokulasi.

3.13.2 Pembuatan Biokoagulan Biji Pepaya

Tahapan pembuatan ekstrak pada biji pepaya adalah sebagai berikut:

- a. Proses pembuatan serbuk biji pepaya pada penelitian ini merupakan modifikasi dari Utomo & Rahmadhia (2024):
Biji pepaya dikumpulkan dan dibersihkan dari lendirnya. Biji pepaya dikeringkan dibawah matahari dan oven pada 70°C selama 4 jam untuk menurunkan kadar airnya. Biji yang telah kering dihaluskan dengan blender dan diayak dengan ayakan 100 mesh untuk serbuk yang ukuran partikelnya seragam.
- b. Proses pembuatan ekstrak dengan larutan NaCl (Cahyaningrum dkk., 2024) & (Rafi & Mirwan, 2025):
Serbuk biji pepaya diambil 100 gram lalu diekstraksi secara maserasi menggunakan larutan NaCl 1 M sebanyak 1000 mL, kemudian aduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit agar senyawa aktif terlarut. Setelah proses pengadukan, campuran serbuk dan pelarut NaCl 1 M disaring dengan *vacuum filter* untuk mendapatkan residu. Selanjutnya hasil residu diujikan FTIR dan SEM EDX, serta untuk proses koagulasi-flokulasi.

3.14 Uji FTIR

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait gugus fungsi yang ada pada biji asam jawa dan biji pepaya, menganalisis kimia senyawa aktif pada fitrat biji asam jawa dan biji pepaya, serta menilai kemungkinan interaksi antar senyawa tanin dan protein. Uji inframerah oleh spektrofotometer pada kurva menggambarkan derajat deasetilasi yang diindikasikan pada puncak tertinggi yang kemudian dicatat dan diukur dari garis dasar yang dipilih. Perbandingan absorbansi pada panjang gelombang 1.242 cm^{-1} dengan panjang gelombang 3.356 cm^{-1} (Muthia, 2025).

3.15 Uji SEM EDX

Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati karakteristik morfologi biji asam jawa dan biji pepaya, termasuk ukuran, bentuk, dan permukaan partikel. Proses ini menghasilkan gambar yang menunjukkan bentuk dan struktur permukaan suatu benda. Pada biji asam jawa menggunakan perbesaran 1000 kali dan biji pepaya menggunakan perbesaran 500 kali (Muthia, 2025). Informasi pada uji SEM penting karena morfologi partikel mempengaruhi efektivitas ekstrak sebagai koagulan pada proses koagulasi-flokulasi.

3.16 *Jar Test* Biokoagulan Kombinasi

Pada proses *jar test* biokoagulan kombinasi menggunakan biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya. Limbah cair dari UMKM kue kering sebanyak 1000 mL dimasukkan kedalam *beaker glass* tiap sampel. Biokoagulan kombinasi dibuat dengan mencampurkan ekstrak biji asam jawa dan biji pepaya dengan perbandingan 1:1. Dosis yang digunakan yaitu 700 mg/L, 800 mg/L, dan 900 mg/L. Kemudian dilakukan pengadukan cepat 200 rpm selama 2 menit dan diikuti pengadukan lambat 30, 40, 50 rpm selama 15 menit. Pengendapan selama 30 menit. Supernatan yang terpisah dengan endapannya diambil untuk dianalisis parameter kualitas air meliputi COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak.

3.17 Pengujian Air Limbah

Pada tahap pengujian air limbah, terlebih dahulu dilakukan pengujian awal untuk parameter COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak sebelum dilakukan *jar test*. Selanjutnya pengujian *jar test* untuk parameter COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak tersebut setelah proses koagulasi dan flokulasi. Parameter yang dianalisis dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut:

Tabel 3. 5 Metode Pengujian Parameter Air Limbah berdasarkan SNI

Parameter	Metode Analisis
COD	SNI 6989.2:2019
BOD	SNI 6989.72:2009
TSS	SNI 6989.3:2019
Minyak & Lemak	SNI 6989.10:2011

3.18 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan dengan menggunakan hasil pengujian kualitas air limbah setelah melalui proses koagulasi-flokulasi dengan campuran biokoagulan berupa biji asam jawa dan biji pepaya. Parameter yang dianalisis mencakup COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk diagram batang untuk menunjukkan tren penurunan masing-masing parameter akibat variasi dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan yang lambat.

Selanjutnya, hasil pengujian dibandingkan dengan baku mutu air limbah yang berlaku, yaitu Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 untuk parameter COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat pemenuhan baku mutu air limbah setelah perlakuan dan menganalisis efektivitas campuran biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya.

3.19 Analisis Data Statistik

Hasil dari analisis data selama penelitian digunakan sebagai bahan untuk melakukan uji statistik. Tujuan dari uji statistik ini adalah untuk mengetahui pengaruh antara setiap variabel yang ada. Uji statistik yang digunakan dalam penelitian ini adalah MANOVA. Kebenaran hipotesis dapat diketahui melalui data yang telah dikumpulkan dalam penelitian. Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. H_{0a} = Tidak ada pengaruh variasi dosis biokoagulan terhadap penurunan COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.

- b. H_{1a} = Ada pengaruh variasi dosis biokoagulan terhadap penurunan COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.
- c. H_{0b} = Tidak ada pengaruh variasi kecepatan pengadukan lambat terhadap penurunan COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.
 H_{1b} = Ada pengaruh variasi kecepatan pengadukan lambat terhadap penurunan COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.
- d. H_{0c} = Tidak ada pengaruh variasi dosis biokoagulan & variasi kecepatan pengadukan lambat terhadap penurunan COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.
 H_{1c} = Ada pengaruh variasi dosis biokoagulan & variasi kecepatan pengadukan lambat terhadap penurunan COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.

3.20 Kesimpulan dan Saran

Penyusunan kesimpulan dan saran dilakukan setelah melakukan tahap penelitian dan memperoleh hasil analisis data. Kesimpulan akan menjawab rumusan masalah pada penelitian dan harus sesuai dengan analisis data. Sementara itu, saran berupa rekomendasi untuk mengevaluasi penelitian, masukan dan pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

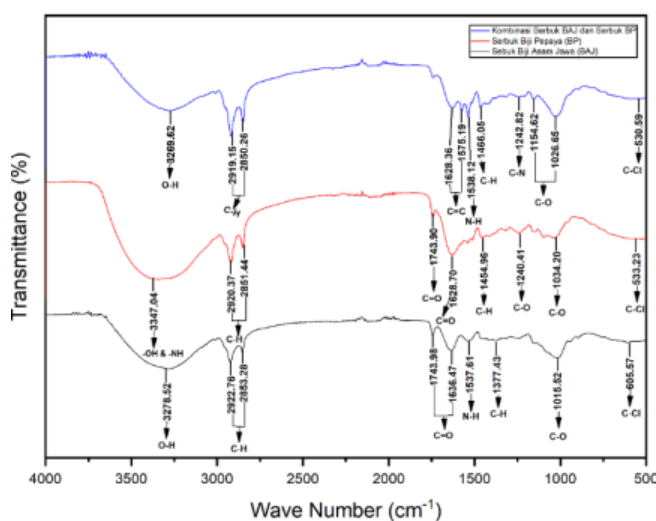
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil-hasil dari pengujian karakteristik bahan dan pengujian parameter yang dilakukan dalam pembuatan biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya. Pembahasan difokuskan pada karakterisasi bahan biokoagulan serta efektivitasnya dalam menurunkan konsentrasi parameter pencemar pada limbah cair UMKM kue kering. Karakterisasi bahan meliputi analisis kandungan senyawa aktif menggunakan spektroskopi FTIR untuk biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya untuk mengetahui gugus fungsi, SEM EDX untuk menganalisis morfologi permukaan sekaligus komposisi unsur kimia dari suatu material, dan hasil penelitian efisiensi penyisihan bahan dalam pengolahan limbah cair UMKM kue kering dengan parameter yang diamati meliputi COD, BOD, TSS, serta Minyak dan Lemak.

4.1 Analisis Karakterisasi FTIR Biokoagulan

Hasil karakterisasi FTIR pada biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya disajikan pada Gambar 4.1 Spektrum FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terkandung pada masing-masing biokoagulan berdasarkan bilangan gelombang yang terbentuk.



Gambar 4. 1 Spektrum FTIR Serbuk Biji Asam Jawa, Serbuk Pepaya, dan Lumpur Terbaik

Tabel 4. 1 Identifikasi Gugus Fungsi Berdasarkan Spektrum FTIR

No	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang			Penelitian Terdahlu	
		Serbuk Biji Asam Jawa (cm^{-1})	Serbuk Biji Pepaya (cm^{-1})	Lumpur Terbaik (cm^{-1})	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Referensi
1	O-H	3278,52	3347,04	3269,62	3275,54 - 3359,8	(Nurfirzatulloh dkk., 2023)
2	C-H (<i>stretching</i>)	2922,76 dan 2853,28	2920,37 dan 2851,44	2919,15 dan 2850,26	2850,72 - 2920	
3	C=O	1743,98 dan 1636,47	1743,90 dan 1628,70	-	1745,3 dan 1628	(Ariani dkk., 2025; Baronio dkk., 2020)
4	C=C	-	-	1628,36 dan 1575,19	1626,59 dan 1561,39	(Sahribulan & Pagarra, 2022)
5	N-H	1537,61	-	1538,12	1544,19	
6	C-H (alkana)	1377,43	1454,96	1466,05	1377,81 - 1454	
7	C-N	-	-	1243,82	1232,30	
8	C-O	1015,52	1240,41 dan 1034,20	1154,62 dan 1026,65	1244,52 - 1018,67	(Dev & Mukadam, 2025)
9	C-Cl	605,57	533,23	530,59	<600 - 840	(UCSC, 2015)

4.1.1 Analisis *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) Serbuk Biji

Asam Jawa

Serbuk biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dalam penelitian ini merupakan serbuk biji asam jawa yang telah diekstraksi menggunakan larutan NaCl sebagai pelarut untuk membantu proses ekstraksi senyawa aktif. Berdasarkan hasil analisis FTIR pada Gambar 4.6, spektrum serbuk biji asam jawa menunjukkan beberapa puncak serapan yang mengindikasikan keberadaan gugus fungsi tertentu. Puncak serapan pada bilangan gelombang $3278,52 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus hidroksil (O-H *stretching*) yang merupakan karakteristik senyawa fenolik atau tanin (Nurfirzatulloh dkk., 2023). Keberadaan gugus hidroksil menunjukkan bahwa ekstrak serbuk biji asam jawa mengandung senyawa aktif yang berperan dalam pengikatan partikel pencemar. Selain itu, pada bilangan gelombang $2922,76 \text{ cm}^{-1}$ dan $2853,28 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan gugus C-H alkana yang berasal dari senyawa organik penyusun biomassa (Sahribulan &

Pagarra, 2022). Pada bilangan gelombang $1743,98\text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan adanya vibrasi regangan gugus C=O (Ariani dkk., 2025). Selanjutnya, serapan pada $1636,47\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi ulur gugus C=O (Muthia, 2025).

Pada puncak serapan $1537,61\text{ cm}^{-1}$ menunjukan gugus N-H, sedangkan puncak pada $1377,43\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya tekukan (bending) dari gugus C-H alkana (Sahribulan & Pagarra, 2022). Selain itu, serapan pada $1015,52\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan ikatan C-O *stretching* yang umumnya berkaitan dengan senyawa alkohol, ester, maupun polisakarida (Dev & Mukadam, 2025). Puncak kecil pada $605,57\text{ cm}^{-1}$ berada di daerah *fingerprint* yang menunjukkan vibrasi tekuk ulur C-Cl (UCSC, 2015).

4.1.2 Analisis *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) Serbuk Biji Pepaya

Serbuk biji pepaya (*Caricca papaya*) dalam penelitian ini merupakan serbuk biji pepaya yang telah diekstraksi menggunakan larutan NaCl 1 M untuk membantu proses ekstraksi senyawa aktif berupa protein alami. Berdasarkan hasil analisis FTIR pada Gambar 4.6, spektrum serbuk biji pepaya menunjukkan adanya beberapa gugus fungsi yang mengindikasikan keberadaan senyawa aktif seperti protein, hidroksil, dan amina. Puncak serapan pada bilangan gelombang $3347,04\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus hidroksil (-OH) dan gugus N-H (Ariani dkk., 2025). Beberapa gugus tersebut menunjukkan adanya kandungan protein yang berperan sebagai polielektrolit alami dalam proses koagulasi-flokulasi. Selain itu, pada bilangan gelombang $2920,37\text{ cm}^{-1}$ dan $2851,44\text{ cm}^{-1}$ terdapat adanya gugus C-H *stretching* yang menunjukkan keberadaan gugus alkana pada senyawa organik (Nurfirzatulloh dkk., 2023). Adanya gugus-gugus tersebut menunjukkan bahwa serbuk biji pepaya memiliki kandungan senyawa organik kompleks yang mendukung sebagai biokoagulan alami.

Puncak serapan bilangan gelombang $1743,90\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus C=O (Adawiyah & Koly, 2024). Selanjutnya, pada

bilangan gelombang $1628,70\text{ cm}^{-1}$ memperkuat adanya gugus Amida I yang menunjukkan vibrasi regangan $\text{C}=\text{O}$ *stretching* dan berkaitan dengan kandungan protein pada ekstrak biji pepaya (Baronio dkk., 2020). Puncak serapan pada gelombang $1454,96\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan $\text{C}-\text{H}$ vibrasi tekuk (*bending*) dari gugus CH_3 (RSC, 2016). Selain itu, serapan pada bilangan gelombang $1240,41\text{ cm}^{-1}$ dan $1034,20\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur gugus $\text{C}-\text{O}$ *stretching* yang berkaitan dengan senyawa alkohol, ester, atau polisakarida (Dev & Mukadam, 2025). Puncak kecil pada gelombang $533,23\text{ cm}^{-1}$ merupakan daerah *fingerprint* yang mengindikasikan adanya vibrasi tekuk $\text{C}-\text{Cl}$ *Stretching* (UCSC, 2015).

4.1.3 Analisis *Fourier Transformed Infrared* (FTIR) Lumpur Terbaik

Koagulan dari kombinasi serbuk biji asam jawa dan biji pepaya yang sudah dilakukan *jar test*, kemudian dikarakterisasi menggunakan *Spektroskopi Inframerah Fourier Transform* (FTIR) untuk mengetahui gugus fungsional yang dapat mengadsorpsi ion fosfat. Hasil spektrum FTIR pada Gambar 4.6, menunjukkan keberadaan gugus karboksil, hidroksil, dan amina yang menandakan adanya protein dan tanin. Karakteristik tanin pada puncak vibrasi fenol ($\text{O}-\text{H}$ *stretching*) pada bilangan gelombang $3269,62\text{ cm}^{-1}$, serta puncak serapan bilangan gelombang $2919,15\text{ cm}^{-1}$ dan $2850,26\text{ cm}^{-1}$ terdapat adanya gugus $\text{C}-\text{H}$ *stretching* (Nurfirzatulloh dkk., 2023). Pada puncak serapan bilangan gelombang $1628,36\text{ cm}^{-1}$ dan $1575,19\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus $\text{C}=\text{C}$ (Sahribulan & Pagarra, 2022).

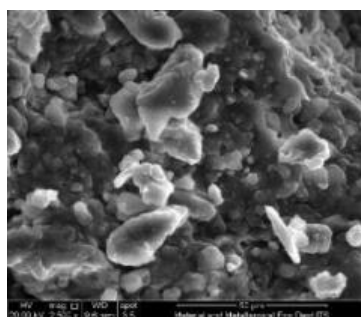
Selanjutnya, pada bilangan gelombang $1538,12\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus $\text{N}-\text{H}$, pada puncak serapan pada gelombang $1466,05\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan $\text{C}-\text{H}$, dan puncak serapan pada gelombang $1242,82\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus $\text{C}-\text{N}$ Amina (Sahribulan & Pagarra, 2022). Selain itu, serapan pada bilangan gelombang $1154,62\text{ cm}^{-1}$ dan $1026,65\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi ulur gugus $\text{C}-\text{O}$ *stretching* yang berkaitan dengan senyawa alkohol, ester,

atau polisakarida (Dev & Mukadam, 2025). Puncak kecil pada gelombang $530,59\text{ cm}^{-1}$ merupakan daerah *fingerprint* yang mengindikasikan adanya vibrasi tekuk C-Cl *Stretching* (UCSC, 2015). Keberagaman gugus fungsi tersebut menunjukkan adanya senyawa aktif pada ekstrak kombinasi serbuk biji asam jawa dan serbuk pepaya yang mendukung proses koagulasi-flokulasi.

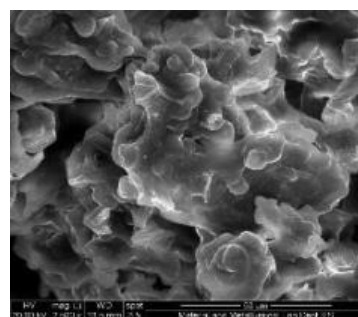
4.2 Analisis Karakterisasi SEM-EDX Biokoagulan

Karakterisasi biokoagulan dilakukan dengan metode *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) untuk mengetahui karakteristik morfologi permukaan serta komposisi unsur yang terkandung pada biokoagulan. Analisis SEM untuk mengamati struktur permukaan, bentuk partikel, dan tekstur biokoagulan, sedangkan EDX untuk mengidentifikasi jenis serta persentase unsur penyusun yang terdapat pada material biokoagulan. Karakteristik ini dilakukan untuk mengetahui potensi biokoagulan dalam proses koagulasi-flokulasi karena morfologi permukaan dan kandungan unsur mempengaruhi kemampuan adsorpsi serta pengikatan partikel pencemar dalam limbah cair UMKM kue kering.

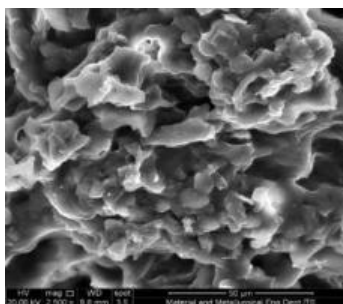
Penelitian ini melakukan karakterisasi SEM-EDX terhadap biokoagulan serbuk biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dan serbuk biji pepaya (*Caricca papaya*) yang telah diekstraksi menggunakan larutan NaCl. Berikut hasil SEM-EDX dari serbuk biji asam jawa, serbuk biji pepaya, dan lumpur terbaik disajikan dalam Gambar 4.2.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 2 Hasil SEM Pada Perbesaran 2500x: (a) Serbuk biji asam jawa, (b) Serbuk biji pepaya, dan (c) Lumpur hasil pengolahan terbaik

Tabel 4. 2 Hasil EDX Pada Perbesaran 2500x

Unsur	Serbuk Biji Asam Jawa		Serbuk Biji Pepaya		Lumpur Terbaik	
	Wt (%)	At (%)	Wt (%)	At (%)	Wt (%)	At (%)
C	47,53	58,82	49,91	58,12	43,99	54,67
N	03,82	04,05	02,61	02,61	04,56	04,86
O	29,07	27,01	43,07	37,65	37,78	35,25
Na	08,26	05,34	-	-	00,98	00,63
Mg	-	-	-	-	00,93	00,57
Si	-	-	-	-	01,79	00,95
S	00,76	00,35	00,58	00,25	-	-
K	-	-	03,82	01,37	-	-
Mo	-	-	-	-	03,38	00,53
Cl	10,56	04,43	-	-	01,57	00,66
Ca	-	-	-	-	05,04	01,88

Gambar 4.2 (a) menunjukkan bahwa serbuk biji asam jawa memiliki permukaan yang kasar, tidak beraturan, serta terdapat banyak rongga atau pori pada permukaannya. Diameter partikel sebesar $3,07 \mu\text{m}$. Morfologi tersebut menunjukkan bahwa serbuk biji asam jawa memiliki luas permukaan yang cukup besar sehingga dapat meningkatkan interaksi antara biokoagulan dengan partikel pencemar selama proses koagulasi-flokulasi. Selanjutnya pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa komposisi unsur penyusun serbuk biji asam jawa didominasi oleh karbon (C) sebesar 58,82%, oksigen (O) sebesar 27,01%, dan nitrogen (N) sebesar 4,05%. Kandungan karbon yang tinggi menunjukkan dominasi senyawa organik dari biji asam jawa, sedangkan oksigen menunjukkan keberadaan gugus hidroksil, karboksil, dan nitrogen menunjukkan peran gugus amina dalam mekanisme pengikatan. Selain itu, terdapat unsur mineral dalam jumlah kecil seperti natrium (Na) sebesar

5,34%, sulfur (S) sebesar 0,35% dan klorin (Cl) sebesar 4,43%. Kandungan Na dan Cl dari proses ekstraksi. Keberadaan gugus fungsi serta komposisi unsur tersebut menunjukkan bahwa serbuk biji asam jawa memiliki karakteristik yang mendukung penggunaannya sebagai biokoagulan alami, terutama karena kandungan tanin yang berperan dalam mengikat partikel koloid.

Gambar 4.2 (b) menyatakan bahwa struktur yang lebih berlapis dengan bentuk agregat yang tidak beraturan serta masih memiliki pori-pori pada permukaannya. Dibandingkan dengan serbuk biji asam jawa, ukuran partikel biji pepaya lebih besar dengan diameter 9,19 μm . Struktur berlapis tersebut menunjukkan bahwa material penyusun biji pepaya mampu menyediakan area interaksi yang cukup untuk mendukung proses pengikatan partikel pencemar pada saat koagulasi berlangsung. Pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa komposisi unsur penyusun serbuk biji pepaya didominasi oleh karbon (C) sebesar 58,12%, oksigen (O) sebesar 37,65%, dan nitrogen (N) sebesar 2,61%. Kandungan nitrogen berkaitan dengan keberadaan protein yang merupakan komponen aktif utama pada biji pepaya. Protein tersebut berfungsi sebagai polielektrolit alami yang dapat membantu pembentukan flok melalui mekanisme adsorpsi dan *bridging* antar partikel. Selain itu, terdeteksi pula sulfur (S) sebesar 0,58% dan kalium (K) sebesar 1,37%. Karakteristik ini menunjukkan bahwa serbuk biji pepaya memiliki potensi sebagai biokoagulan yang bekerja terutama melalui mekanisme protein sebagai agen pengikat partikel.

Gambar 4.2 (c) menyatakan bahwa morfologi lumpur hasil perlakuan terbaik setelah proses *jar test* menggunakan kombinasi serbuk biji asam jawa dan serbuk pepaya. Permukaan lumpur tampak lebih padat, berlapis, dan menggumpal dibandingkan kedua biokoagulan sebelum dilakukan proses *jar test*. Terbentuknya struktur yang lebih kompak menunjukkan bahwa partikel-partikel pencemar dalam limbah telah berikatan dengan biokoagulan sehingga membentuk flok yang lebih besar dan stabil. Diameter partikel lumpur sebesar 2,98 μm memperkuat bahwa proses koagulasi-flokulasi menghasilkan agregasi partikel yang efektif. Pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa lumpur

terbaik masih didominasi oleh karbon (C) sebesar 43,99%, oksigen (O) sebesar 37,78%, dan nitrogen (N) sebesar 4,56%. Kehadiran unsur magnesium (Mg), silikon (Si), kalsium (Ca), molibdenum (Mo), natrium (Na), dan klorin (Cl) menunjukkan bahwa selama proses koagulasi-flokulasi terjadi pengikatan berbagai komponen organik maupun anorganik yang berasal dari limbah cair ke dalam flok. Dengan demikian, perubahan morfologi serta komposisi unsur pada lumpur terbaik menjadi bukti bahwa kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya mampu mengadsorpsi serta mengendapkan partikel pencemar sehingga menghasilkan flok yang lebih stabil.

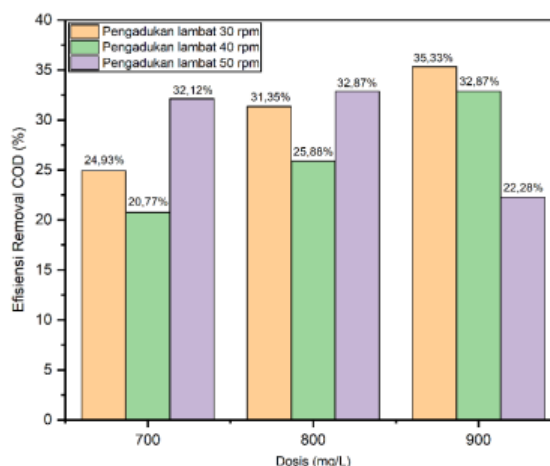
4.3 Analisis Dosis Biokoagulan terhadap Konsentrasi COD, BOD, TSS, Minyak dan Lemak

Biokoagulan alami yang berasal dari ekstrak biji asam jawa dan ekstrak biji pepaya digunakan untuk menurunkan kadar COD, BOD, TSS, serta Minyak dan Lemak. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dosis optimum yang menghasilkan efisiensi koagulasi paling efektif dalam pengolahan air limbah. Biji asam jawa dan biji pepaya yang telah dilakukan ekstraksi dengan menggunakan larutan NaCl. Pemilihan kedua bahan tersebut didasarkan pada keberadaan senyawa aktif, yaitu tanin pada biji asam jawa hijau dan protein pada biji pepaya, yang berperan dalam proses pengikatan partikel koloid serta senyawa organik yang terkandung dalam air limbah. Air limbah yang berasal digunakan dari UMKM kue kering. Pengaplikasian tanin dan protein pada kedua biokoagulan dilakukan dengan metode jar test. Variasi dosis yang digunakan dalam proses jar test yaitu 700 mg/L, 800 mg/L, dan 900 mg/L serta pengadukan lambat yaitu 30 rpm, 40 rpm, dan 50 rpm.

4.3.1 Analisis COD Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya

Analisis COD menggunakan kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat terhadap

penyisihan senyawa organik pada limbah cair UMKM kue kering. Hasil efisiensi penyisihan COD ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Hasil Efisiensi Penyisihan Parameter COD

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa peningkatan dosis biokoagulan kombinasi biji asam jawa dan biji pepaya memberikan pengaruh yang berbeda terhadap efisiensi penyisihan COD pada setiap kecepatan pengadukan lambat. Pengadukan lambat 30 rpm menghasilkan peningkatan efisiensi penyisihan COD dari 24,93% pada dosis 700 mg/L menjadi 31,35% pada dosis 800 mg/L dan mencapai 35,33% pada dosis 900 mg/L. Pengadukan lambat 40 rpm juga menghasilkan peningkatan efisiensi dari 20,77% pada dosis 700 mg/L menjadi 25,88% pada dosis 800 mg/L dan 32,87% pada dosis 900 mg/L. Sebaliknya pengadukan lambat 50 rpm menghasilkan efisiensi sebesar 32,12% pada dosis 700 mg/L, meningkat sedikit menjadi 32,87% pada dosis 800 mg/L, kemudian menurun menjadi 22,28% pada dosis 900 mg/L.

Peningkatan dosis biokoagulan 700 mg/L menjadi 900 mg/L meningkatkan jumlah gugus aktif protein, polisakarida, dan tanin yang berperan dalam proses koagulasi-flokulasi. Protein pada biji pepaya berfungsi sebagai polielektrolit alami yang mampu menetralkan muatan partikel koloid sehingga partikel menjadi tidak stabil dan mudah bergabung membentuk flok (Bayode dkk., 2023). Tanin dan polisakarida pada biji asam jawa membantu membentuk jembatan antar

partikel (*interparticle bridging*) sehingga mempercepat pembentukan flok. Pembentukan flok yang semakin banyak meningkatkan jumlah senyawa organik terperangkap dan mengendap selama proses pengolahan (Geethalaxmi dkk., 2024). Kondisi tersebut menyebabkan konsentrasi senyawa organik yang terukur sebagai COD semakin menurun. Hasil serupa pada peneliti Rafi & Mirwan (2025), menyatakan bahwa peningkatan dosis biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya meningkatkan efisiensi penyisihan COD melalui mekanisme koagulasi-flokulasi hingga mencapai dosis optimum.

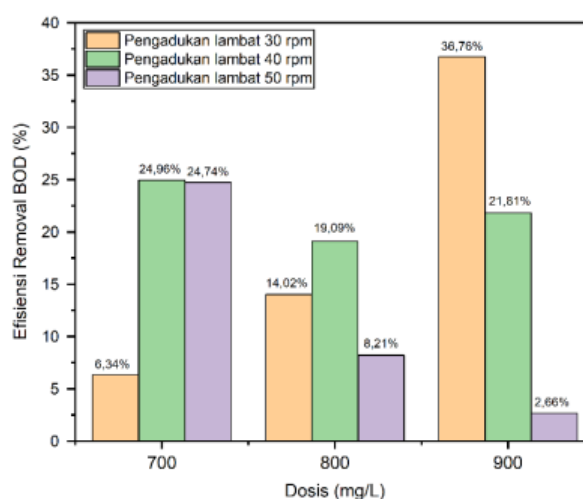
Kecepatan pengadukan lambat 30 rpm memberikan kondisi yang paling baik untuk pembentukan flok. Kecepatan tersebut memberikan waktu kontak yang cukup antara biokoagulan dan partikel pencemar sehingga flok tumbuh secara bertahap menjadi lebih besar dan stabil (Afrianisa & Yasmine, 2025). Pada kecepatan pengadukan lambat 40 rpm masih mempertahankan peningkatan efisiensi penyisihan COD seiring bertambahnya dosis biokoagulan. Energi pengadukan pada kecepatan tersebut masih mampu mendistribusikan biokoagulan secara merata sehingga frekuensi tumbukan antarpartikel meningkat. Namun, efisiensi penyisihan tetap lebih rendah dibandingkan pengadukan 30 rpm karena sebagian flok mulai mengalami gangguan akibat meningkatnya gaya geser (*shear force*).

Kecepatan pengadukan lambat 50 rpm menurunkan efisiensi penyisihan COD pada dosis 900 mg/L Energi pengadukan yang lebih besar menyebabkan flok yang telah terbentuk mengalami pecah (*floc breakage*) sehingga partikel yang sebelumnya telah menggumpal kembali terdispersi ke dalam air limbah. Selain itu, penambahan dosis biokoagulan yang tinggi pada kondisi pengadukan yang kuat diduga menyebabkan fenomena *charge reversal*, yaitu kondisi ketika partikel yang telah mengalami netralisasi muatan kembali memperoleh muatan sejenis sehingga stabilitas partikel meningkat dan proses penggumpalan menjadi kurang efektif. Akibatnya, efisiensi penyisihan COD mengalami penurunan meskipun dosis biokoagulan ditingkatkan.

Kondisi terbaik penyisihan COD diperoleh pada dosis biokoagulan 900 mg/L dengan kecepatan pengadukan lambat 30 rpm. Perlakuan tersebut menghasilkan efisiensi penyisihan COD sebesar 35,33% sehingga konsentrasi COD menurun dari 545,5 mg/L menjadi 352,8 mg/L. Meskipun demikian, hasil tersebut masih melebihi baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 untuk industri biskuit dan roti (*bakery*) yaitu 150 mg/L. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses koagulasi-flokulasi menggunakan kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya mampu mengurangi sebagian senyawa organik, tetapi belum mampu menghilangkan senyawa organik terlarut secara optimal.

4.3.2 Analisis BOD Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya

Analisis BOD menggunakan kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat terhadap BOD pada limbah cair UMKM kue kering. Hasil efisiensi penyisihan BOD ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 4 Hasil Efisiensi Penyisihan Parameter BOD

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan BOD setelah proses koagulasi-flokulasi menggunakan kombinasi

biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya pada variasi dosis dan kecepatan pengadukan lambat. Nilai BOD mengalami penurunan pada seluruh perlakuan, sehingga kombinasi kedua biokoagulan mampu mengurangi sebagian bahan organik biodegradable yang terdapat di dalam limbah cair UMKM kue kering.

Peningkatan dosis biokoagulan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap efisiensi penyisihan BOD pada setiap kecepatan pengadukan lambat. Pengadukan lambat 30 rpm menghasilkan peningkatan efisiensi penyisihan BOD dari 6,34% pada dosis 700 mg/L menjadi 14,02% pada dosis 800 mg/L, kemudian meningkat kembali hingga 36,76% pada dosis 900 mg/L. Peningkatan dosis biokoagulan memperbesar jumlah gugus aktif yang berinteraksi dengan bahan organik biodegradable sehingga proses adsorpsi dan pembentukan flok berlangsung lebih efektif. Flok yang terbentuk mengikat lebih banyak senyawa organik yang mudah terurai sehingga konsentrasi BOD mengalami penurunan.

Pengadukan lambat 40 rpm menghasilkan pola penyisihan BOD yang berbeda dibandingkan pengadukan 30 rpm. Efisiensi penyisihan menurun dari 24,96% pada dosis 700 mg/L menjadi 19,09% pada dosis 800 mg/L, kemudian meningkat menjadi 21,81% pada dosis 900 mg/L. Pola tersebut menunjukkan bahwa peningkatan dosis biokoagulan tidak selalu diikuti oleh peningkatan efisiensi penyisihan BOD. Karakteristik bahan organik biodegradable memengaruhi proses pembentukan flok sehingga sebagian senyawa organik belum seluruhnya terikat oleh biokoagulan (Vezar dkk., 2024).

Pengadukan lambat 50 rpm menghasilkan kecenderungan penurunan efisiensi penyisihan BOD seiring bertambahnya dosis biokoagulan. Efisiensi penyisihan menurun dari 24,74% pada dosis 700 mg/L menjadi 8,21% pada dosis 800 mg/L, kemudian mencapai 2,66% pada dosis 900 mg/L. Kecepatan pengadukan yang lebih tinggi meningkatkan gaya geser (*shear force*) sehingga flok yang telah terbentuk mengalami pecah (*floc breakage*). Kerusakan flok tersebut

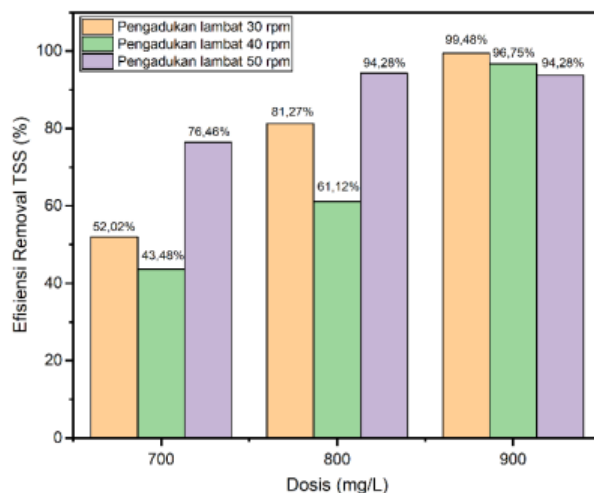
menyebabkan sebagian bahan organik yang telah teradsorpsi kembali terdispersi ke dalam limbah sehingga efisiensi penyisihan BOD menurun (Rafi & Mirwan, 2025).

Peningkatan efisiensi penyisihan BOD seiring bertambahnya dosis biokoagulan menunjukkan bahwa jumlah senyawa aktif yang berperan dalam proses koagulasi-flokulasi semakin meningkat. Kandungan protein dalam biji pepaya dan polisakarida pada biji asam jawa mampu mengadsorpsi dan menggumpalkan bahan organik biodegradable yang menjadi penyumbang utama nilai BOD. Peneliti Kumalasari & Widestri (2025), menunjukkan bahwa biji pepaya efektif menurunkan BOD karena kandungan protein bermuatan positif mampu mengikat partikel organik bermuatan negatif di dalam air.

Kondisi terbaik penyisihan BOD diperoleh pada dosis 900 mg/L dengan pengadukan lambat 30 rpm yang menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 36,76%. Perlakuan tersebut menurunkan konsentrasi BOD dari 294,85 mg/L menjadi 186,45 mg/L. Nilai BOD hasil pengolahan masih melebihi baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 untuk industri biskuit dan roti (*bakery*) yaitu 85 mg/L. Belum tercapainya baku mutu menunjukkan bahwa masih terdapat bahan organik biodegradable yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme di dalam limbah.

4.3.3 Analisis TSS Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya

Analisis TSS menggunakan kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat terhadap TSS pada limbah cair UMKM kue kering. Hasil efisiensi penyisihan TSS ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 5 Hasil Efisiensi Penyisihan Parameter TSS

Gambar 4.6 menunjukkan efisiensi penyisihan TSS setelah proses koagulasi-flokulasi menggunakan kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya pada berbagai variasi dosis dan kecepatan pengadukan lambat. Konsentrasi TSS limbah cair mengalami penurunan pada seluruh perlakuan, sehingga kombinasi kedua biokoagulan mampu mengurangi padatan tersuspensi yang terdapat di dalam limbah cair UMKM kue kering.

Peningkatan dosis biokoagulan meningkatkan efisiensi penyisihan TSS pada seluruh variasi kecepatan pengadukan lambat. Pengadukan lambat 30 rpm menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 52,02% pada dosis 700 mg/L, kemudian meningkat menjadi 81,27% pada dosis 800 mg/L dan mencapai 99,48% pada dosis 900 mg/L. Peningkatan dosis biokoagulan menambah jumlah gugus aktif yang tersedia untuk mendestabilisasi partikel tersuspensi. Partikel yang telah kehilangan kestabilannya bergabung membentuk flok berukuran lebih besar sehingga proses pengendapan berlangsung lebih efektif (Vezar dkk., 2024).

Pengadukan lambat 40 rpm juga menunjukkan peningkatan efisiensi penyisihan TSS seiring bertambahnya dosis biokoagulan. Efisiensi penyisihan meningkat dari 43,48% pada dosis 700 mg/L menjadi 61,12% pada dosis 800 mg/L, kemudian mencapai 96,75%

pada dosis 900 mg/L. Energi pengadukan pada 40 rpm membantu penyebaran biokoagulan secara merata sehingga peluang tumbukan antara partikel tersuspensi dan biokoagulan meningkat. Namun, efisiensi penyisihan tetap lebih rendah dibandingkan pengadukan 30 rpm karena sebagian flok yang terbentuk mulai mengalami gangguan akibat meningkatnya gaya geser.

Pengadukan lambat 50 rpm menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 76,46% pada dosis 700 mg/L, kemudian meningkat menjadi 94,28% pada dosis 800 mg/L dan tetap sebesar 94,28% pada dosis 900 mg/L. Peningkatan dosis biokoagulan tidak lagi meningkatkan efisiensi penyisihan pada kecepatan tersebut. Gaya geser yang lebih besar membatasi pertumbuhan flok sehingga flok yang terbentuk tidak berkembang secara optimal. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penambahan dosis biokoagulan perlu diimbangi dengan kecepatan pengadukan yang sesuai agar flok tetap stabil selama proses sedimentasi.

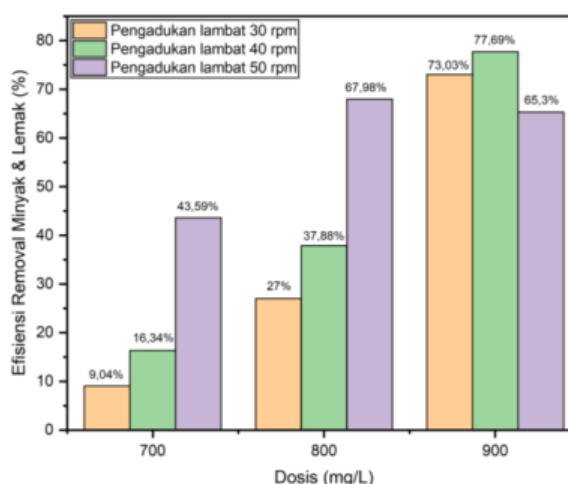
Protein yang terkandung dalam biji pepaya menetralkan muatan partikel koloid, sedangkan tanin dan polisakarida yang terkandung dalam biji asam jawa membentuk jembatan antarpartikel (interparticle bridging). Proses sedimentasi yang berlangsung lebih efektif menurunkan konsentrasi TSS secara signifikan, terutama pada dosis 900 mg/L dengan pengadukan lambat 30 rpm. Hasil ini sejalan dengan penelitian Singga dkk., (2024) yang menunjukkan bahwa biji pepaya dan biji asam jawa memiliki kemampuan tinggi dalam menghilangkan partikel penyebab kekeruhan dan padatan tersuspensi melalui mekanisme koagulasi-flokulasi.

Kondisi terbaik penyisihan TSS diperoleh pada dosis 900 mg/L dengan pengadukan lambat 30 rpm yang menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 99,48%. Perlakuan tersebut menurunkan konsentrasi TSS dari 3.845 mg/L menjadi 20 mg/L sehingga konsentrasi TSS hasil pengolahan telah memenuhi baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 untuk industri biskuit dan roti

(*bakery*) yaitu 80 mg/L. Keberhasilan memenuhi baku mutu menunjukkan bahwa proses koagulasi-flokulasi menggunakan kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya sangat efektif dalam menghilangkan padatan tersuspensi.

4.3.4 Analisis Minyak dan Lemak Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya

Analisis minyak dan lemak menggunakan kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat terhadap minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering. Hasil efisiensi penyisihan minyak dan lemak ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 6 Hasil Efisiensi Penyisihan Parameter Minyak dan Lemak

Gambar 4.7 menunjukkan efisiensi penyisihan minyak dan lemak setelah proses koagulasi-flokulasi menggunakan kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya pada berbagai variasi dosis dan kecepatan pengadukan lambat. Konsentrasi minyak dan lemak limbah cair mengalami penurunan pada seluruh perlakuan, sehingga kombinasi kedua biokoagulan mampu mengurangi kandungan minyak dan lemak yang terdapat dalam limbah cair UMKM kue kering.

Peningkatan dosis biokoagulan meningkatkan efisiensi penyisihan minyak dan lemak pada setiap variasi kecepatan pengadukan lambat. Pengadukan lambat 30 rpm menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 9,04% pada dosis 700 mg/L, kemudian meningkat menjadi 27,00% pada dosis 800 mg/L dan mencapai 73,03% pada dosis 900 mg/L. Peningkatan dosis biokoagulan memperbanyak gugus aktif yang berinteraksi dengan droplet minyak sehingga proses koagulasi-flokulasi berlangsung lebih efektif. Gugus aktif pada biokoagulan mengurangi kestabilan emulsi minyak dan mendorong terbentuknya agregat minyak yang lebih besar sehingga minyak lebih mudah dipisahkan dari fase cair (Nurhidayanti dkk., 2022).

Pengadukan lambat 40 rpm menghasilkan peningkatan efisiensi penyisihan yang lebih tinggi dibandingkan pengadukan 30 rpm. Efisiensi penyisihan meningkat dari 16,34% pada dosis 700 mg/L menjadi 37,88% pada dosis 800 mg/L dan mencapai 77,69% pada dosis 900 mg/L. Kecepatan pengadukan 40 rpm meningkatkan frekuensi tumbukan antara droplet minyak dan biokoagulan sehingga proses adsorpsi berlangsung lebih optimal. Proses tersebut mempercepat penggabungan droplet minyak (*coalescence*) menjadi flok yang berukuran lebih besar dan lebih mudah mengapung atau mengendap.

Pengadukan lambat 50 rpm menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 43,59% pada dosis 700 mg/L, kemudian meningkat menjadi 67,98% pada dosis 800 mg/L, tetapi menurun menjadi 65,30% pada dosis 900 mg/L. Kecepatan pengadukan yang lebih tinggi meningkatkan gaya geser (*shear force*) sehingga agregat minyak yang telah terbentuk menjadi kurang stabil. Kerusakan agregat tersebut menyebabkan sebagian droplet minyak kembali terdispersi ke dalam limbah sehingga efisiensi penyisihan tidak meningkat meskipun dosis biokoagulan ditambah.

Kondisi terbaik dalam penyisihan minyak dan lemak diperoleh pada dosis 900 mg/L yang menghasilkan efisiensi penyisihan sebesar 77,69%. Perlakuan tersebut menurunkan konsentrasi minyak dan lemak

dari 28.330 mg/L menjadi 6.320 mg/L. Konsentrasi minyak dan lemak hasil pengolahan masih melebihi baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No.72 Tahun 2013 untuk industri biskuit dan roti (*bakery*) yaitu 10 mg/L. Belum tercapainya baku mutu menunjukkan bahwa sebagian minyak dan lemak kemungkinan masih berada dalam bentuk emulsi stabil atau terlarut sehingga sulit dipisahkan melalui proses koagulasi-flokulasi.

4.3.5 Analisis pH Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya

Analisis pH dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan biokoagulan kombinasi biji asam jawa dan biji pepaya terhadap derajat keasaman limbah cair UMKM kue kering setelah proses koagulasi-flokulasi. Parameter pH merupakan salah satu indikator penting dalam pengolahan air limbah karena dapat mempengaruhi efektivitas proses koagulasi-flokulasi serta kualitas efluen yang dihasilkan. Pengukuran pH dilakukan pada sampel kontrol dan seluruh variasi dosis biokoagulan serta kecepatan pengadukan lambat yang digunakan dalam penelitian ini. Hasil pengukuran pH limbah cair UMKM kue kering ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 7 Hasil Pengukuran pH Biokoagulan Kombinasi Biji Asam Jawa dan Biji Pepaya

Gambar 4.8 menunjukkan perubahan nilai pH limbah cair UMKM kue kering setelah proses koagulasi-flokulasi menggunakan kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya pada berbagai variasi dosis dan

kecepatan pengadukan lambat. Nilai pH awal limbah cair sebesar 7, sehingga limbah cair memiliki kondisi yang bersifat netral. Penambahan biokoagulan kombinasi biji asam jawa dan biji pepaya tidak mengubah nilai pH limbah cair secara signifikan. Seluruh perlakuan menghasilkan nilai pH yang berada pada kisaran netral, yaitu 7-8. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan tidak menyebabkan perubahan kondisi asam maupun basa pada limbah cair.

Peningkatan dosis biokoagulan dari 700 mg/L hingga 900 mg/L tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap perubahan nilai pH. Kombinasi biokoagulan tetap mempertahankan kondisi pH limbah cair pada kisaran netral meskipun dosis biokoagulan ditingkatkan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa senyawa aktif yang terkandung dalam biji asam jawa dan biji pepaya tidak melepaskan ion dalam jumlah yang cukup besar untuk mengubah derajat keasaman limbah cair selama proses koagulasi-flokulasi. Perubahan kecepatan pengadukan lambat dari 30 rpm hingga 50 rpm juga tidak memengaruhi nilai pH limbah cair secara berarti. Kecepatan pengadukan hanya berfungsi meningkatkan kontak antara biokoagulan dan partikel pencemar tanpa mengubah keseimbangan ion hidrogen (H^+) maupun ion hidroksida (OH^-) di dalam larutan. Kondisi tersebut menyebabkan nilai pH limbah cair tetap berada pada kisaran netral setelah proses pengolahan.

Nilai pH hasil pengolahan memenuhi baku mutu air limbah industri roti dan biskuit berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, yaitu 6–9. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan biji pepaya mampu mempertahankan kondisi pH limbah cair pada kisaran yang aman untuk proses pengolahan lanjutan maupun pembuangan ke lingkungan.

4.4 Penentuan Dosis Terbaik Setelah Koagulasi-Flokulasi

Penentuan dosis terbaik biokoagulan kombinasi biji asam jawa dan biji pepaya mempertimbangkan kinerja penyisihan seluruh parameter kualitas limbah, yaitu COD, BOD, TSS, minyak dan lemak, serta kestabilan nilai pH. Pendekatan tersebut menilai kondisi operasi yang mampu menghasilkan

efisiensi penyisihan paling seimbang terhadap seluruh parameter, bukan hanya berdasarkan jumlah parameter yang memiliki nilai efisiensi tertinggi. Menurut (Mensah-Akutteh dkk., 2022), penentuan kondisi optimum pada proses koagulasi-flokulasi sebaiknya menggunakan pendekatan *overall treatment performance* karena setiap parameter memiliki mekanisme penyisihan yang berbeda sehingga seluruh hasil pengolahan perlu dipertimbangkan secara bersamaan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis biokoagulan sebesar 900 mg/L memberikan efisiensi penyisihan tertinggi pada seluruh parameter dengan variasi kecepatan pengadukan lambat yang berbeda. Pengadukan lambat 30 rpm menghasilkan efisiensi penyisihan COD sebesar 35,33%, BOD sebesar 36,76%, dan TSS sebesar 99,48%, sedangkan pengadukan lambat 40 rpm menghasilkan efisiensi penyisihan minyak dan lemak sebesar 77,69%. Selisih efisiensi penyisihan minyak dan lemak antara pengadukan 30 rpm dan 40 rpm hanya sebesar 4,66%, sedangkan pengadukan 30 rpm memberikan kinerja yang lebih baik pada tiga parameter utama pencemar, yaitu COD, BOD, dan TSS.

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, penelitian ini menetapkan dosis biokoagulan sebesar 900 mg/L dengan kecepatan pengadukan lambat 30 rpm sebagai kondisi terbaik proses koagulasi-flokulasi. Kondisi tersebut menghasilkan efisiensi penyisihan yang paling seimbang terhadap seluruh parameter kualitas limbah, mempertahankan nilai pH pada kisaran baku mutu, serta membentuk flok yang lebih stabil selama proses pengolahan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi dosis 900 mg/L dan pengadukan lambat 30 rpm merupakan kondisi operasi yang paling efektif untuk meningkatkan kualitas efluen limbah cair UMKM kue kering.

4.5 Analisis MANOVA

Analisis Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) digunakan untuk mengevaluasi pengaruh beberapa variabel bebas secara simultan terhadap lebih dari satu variabel terikat. Dalam penelitian ini, MANOVA diterapkan untuk menguji signifikansi perbedaan antara dosis biokoagulan

dan kecepatan pengadukan terhadap konsentrasi COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak. Hasil uji normalitas sebagai prasyarat analisis MANOVA disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 3 Hasil Uji Normalitas MANOVA

Variabel Penelitian	Variasi	Shapiro-Wilk (Sig.)	Keterangan	Kesimpulan
Dosis Biokoagulan				
COD	700 mg/L	0,708	Sig > 0,05	Normal
	800 mg/L	0,466	Sig > 0,05	Normal
	900 mg/L	0,450	Sig > 0,05	Normal
BOD	700 mg/L	0,244	Sig > 0,05	Normal
	800 mg/L	0,805	Sig > 0,05	Normal
	900 mg/L	0,971	Sig > 0,05	Normal
TSS	700 mg/L	0,328	Sig > 0,05	Normal
	800 mg/L	0,298	Sig > 0,05	Normal
	900 mg/L	0,157	Sig > 0,05	Normal
Minyak dan Lemak	700 mg/L	0,947	Sig > 0,05	Normal
	800 mg/L	0,724	Sig > 0,05	Normal
	900 mg/L	0,406	Sig > 0,05	Normal
Kecepatan Pengadukan				
COD	30 rpm	0,813	Sig > 0,05	Normal
	40 rpm	0,927	Sig > 0,05	Normal
	50 rpm	0,103	Sig > 0,05	Normal
BOD	30 rpm	0,535	Sig > 0,05	Normal
	40 rpm	0,765	Sig > 0,05	Normal
	50 rpm	0,509	Sig > 0,05	Normal
TSS	30 rpm	0,661	Sig > 0,05	Normal
	40 rpm	0,550	Sig > 0,05	Normal
	50 rpm	0,197	Sig > 0,05	Normal
Minyak dan Lemak	30 rpm	0,943	Sig > 0,05	Normal
	40 rpm	0,152	Sig > 0,05	Normal
	50 rpm	0,807	Sig > 0,05	Normal

Uji normalitas dalam penelitian ini dilakukan dengan metode Shapiro-Wilk. Data dinyatakan berdistribusi normal apabila nilai p-value > 0,05, sedangkan nilai p-value < 0,05 menunjukkan data tidak berdistribusi normal. Berdasarkan hasil pada Tabel 4.6, menunjukkan bahwa dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat terhadap parameter COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak telah berdistribusi normal karena hasil p-value > 0,05. Setelah melakukan uji normalitas, maka selanjutnya dilakukan uji homogenitas untuk mengetahui keseragaman data. Hasil uji homogenitas disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 4 Hasil Uji Homogenitas MANOVA

Variabel Penelitian	Probabilitas (Sig.)	Keterangan	Kesimpulan
Dosis Biokoagulan			
COD	0,281	Sig > 0,05	Homogen
BOD	0,336	Sig > 0,05	Homogen
TSS	0,057	Sig > 0,05	Homogen
Minyak dan Lemak	0,712	Sig > 0,05	Homogen
Kecepatan Pengadukan			
COD	0,754	Sig > 0,05	Homogen
BOD	0,098	Sig > 0,05	Homogen
TSS	0,722	Sig > 0,05	Homogen
Minyak dan Lemak	0,946	Sig > 0,05	Homogen

Uji homogenitas pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa data antara dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat terhadap parameter COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak memiliki nilai probabilitas (Sig.) > 0,05, sehingga dapat dikatakan homogen. Setelah uji normalitas dan homogenitas, maka dilakukan uji MANOVA untuk mengetahui pengaruh penggunaan dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat terhadap parameter uji COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak. Hasil uji MANOVA selanjutnya disajikan pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 5 Hasil Uji MANOVA

Variabel Penelitian		Probabilitas (Sig.)	Keterangan	Kesimpulan
Dosis Biokoagulan	COD	< 0,001	H _{1a} diterima	Berpengaruh
	BOD	< 0,001	H _{1a} diterima	Berpengaruh
	TSS	0,001	H _{1a} diterima	Berpengaruh
	Minyak dan Lemak	0,033	H _{1a} diterima	Berpengaruh
Kecepatan Pengadukan	COD	0,001	H _{1b} diterima	Berpengaruh
	BOD	< 0,001	H _{1b} diterima	Berpengaruh
	TSS	0,044	H _{1b} diterima	Berpengaruh
	Minyak dan Lemak	0,369	H _{1b} ditolak	Tidak Berpengaruh
Dosis Biokoagulan* Kecepatan Pengadukan	COD	< 0,001	H _{1c} diterima	Berpengaruh
	BOD	< 0,001	H _{1c} diterima	Berpengaruh
	TSS	0,236	H _{1c} ditolak	Tidak Berpengaruh
	Minyak dan Lemak	0,674	H _{1c} ditolak	Tidak Berpengaruh

Variabel Penelitian		Probabilitas (Sig.)	Keterangan	Kesimpulan
	Lemak			Berpengaruh

Pada Tabel 4.8 menunjukkan hasil analisis statistik MANOVA yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh dua variabel penelitian, dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat terhadap parameter COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak. Interpretasi hasil didasarkan pada nilai probabilitas Sig. Sebagian besar variabel menunjukkan bahwa hipotesis H_{1a} , H_{1b} , dan H_{1c} diterima karena nilai $p\text{-value} < 0,05$, yang berarti variasi dosis biokoagulan berpengaruh terhadap parameter COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak. Namun, pada parameter TSS dan minyak lemak khususnya untuk variabel dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan, hasil uji MANOVA menunjukkan bahwa H_{1b} dan H_{1c} ditolak karena nilai $p\text{-value} > 0,05$. Hal ini berarti bahwa variasi dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi TSS serta minyak dan lemak. Dengan demikian, peningkatan dosis biokoagulan dalam rentang percobaan yang digunakan belum efektif dalam menurunkan TSS serta minyak dan lemak secara nyata. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi lebih lanjut terkait variasi dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan terhadap parameter TSS serta minyak dan lemak, agar mengetahui pengaruh yang signifikan variabel independen terhadap variabel dependen secara bersamaan dalam suatu analisis.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil karakteristik FTIR menunjukkan bahwa serbuk biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dan serbuk biji pepaya (*Caricca papaya*) mengandung gugus fungsi aktif seperti hidroksil (O-H), karbonil (C=O), amina (N-H), alkana (C-H), dan alkohol/polisakarida (C-O). Hasil karakterisasi SEM-EDX menunjukkan bahwa kedua biokoagulan memiliki morfologi permukaan yang kasar, tidak beraturan, dan berpori serta didominasi oleh unsur karbon (C), oksigen (O), dan nitrogen (N). Keberadaan gugus fungsi dan unsur tersebut menunjukkan bahwa biji asam jawa dan biji pepaya berpotensi digunakan sebagai biokoagulan alami melalui mekanisme adsorpsi, netralisasi muatan, dan pembentukan flok.
2. Variasi dosis biokoagulan kombinasi biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dan biji pepaya (*Caricca papaya*) berpengaruh terhadap penurunan kadar COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering. Dosis terbaik diperoleh pada dosis 900 mg/L yang menghasilkan efisiensi penyisihan COD sebesar 35,33%, BOD sebesar 36,76%, TSS sebesar 99,48%, serta minyak dan lemak sebesar 77,69%. Hasil MANOVA menunjukkan bahwa variasi dosis biokoagulan memberikan pengaruh signifikan terhadap parameter COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak ($p\text{-value} < 0,05$).
3. Variasi kecepatan pengadukan lambat pada proses koagulasi-flokulasi berpengaruh terhadap efisiensi parameter pencemar.

Pengadukan lambat 30 rpm memberikan hasil terbaik untuk parameter COD, BOD, dan TSS, sedangkan pengadukan lambat 40 rpm memberikan hasil terbaik untuk parameter minyak dan lemak. Kondisi terbaik proses koagulasi-flokulasi diperoleh pada dosis 900 mg/L dengan pengadukan cepat 200 rpm dan pengadukan lambat 30 rpm. Dari seluruh parameter yang dianalisis, hanya parameter TSS yang telah memenuhi baku mutu air limbah industri biskuit dan roti berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013.

5.2 Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penambahan variasi dosis biokoagulan diatas 900 mg/L untuk mengetahui efektivitas dalam menurunkan kadar COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiyah, S. U. Al, & Koly, F. V. L. (2024). Penggunaan Biji Pepaya Sebagai Koagulan Alami Dalam Pengolahan Air Limbah Domestik. *Journal Of Research On Chemistry And Engineering*, 5(2), 65–70.
- Adira, R., Ashari, T. M., & Rahmi, R. (2020). Pemanfaatan Biji Trembesi (*Samanea saman*) Sebagai Biokoagulan Pada Pengolahan Limbah Cair Domestik. *AMINA*, 2(3), 126–132.
- Adzwa, N., Ibrahim, W. A., Hassan, Z., & Helmi, A. (2020). Review: Tropical Tannin For Engineering Application. *Indonesian Journal Of Chemistry*, 20(1), 248–256. <https://doi.org/10.22146/ijc.40877>
- Africanisa, R. D., & Yasmine, Y. A. (2025). Optimasi Dosis Biokoagulan Biji Pepaya (*Carica papaya L .*) Dalam Penurunan Parameter TSS , BOD , Dan COD Pada Limbah Tahu. *Environmental Engineering*, 5(1), 88–99.
- Airun, N. H. (2020). Pemanfaatan Biji Pepaya (*Carica papaya L*) Sebagai Biokoagulan Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. *Skripsi*, 1–77.
- Aldriansah, A. N., Junardokham, A. A. Y. S., Astuti, D. H., & Wahyusi, K. N. (2025). Biokoagulan Dari Daun Mangrove Sebagai Koagulan Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Fisika Unand*, 14(3), 291–297. <https://doi.org/10.25077/jfu.14.3.291-297.2025>
- Aniska, S., Hasan, N. Y., & Nurjaman, U. (2022). Penurunan Minyak Dan Lemak Pada Limbah Cair Kantin Menggunakan Modifikasi Grease Trap Media Zeolit. *Jurnal Kesehatan Siliwangi*, 2(3), 1049–1056.
- Ariani, I. K., Hayati, R. N., Hidayarizka, R., Banaget, C. K., & Nabilla, K. (2025). Aplikasi Campuran Ekstrak Kulit Nanas Dan Biji Pepaya Sebagai Biokoagulan Untuk Penurunan Fe, Mn, Dan Kekeruhan Pada Air Asam Tambang. *SPECTA Journal Of Technology*, 9(3), 291–302. <https://doi.org/10.35718/specta.v9i3.8481486>
- Ashar, Y. K. (2020). Analisis Kualitas (BOD, COD, DO) Air Sungai Pesanggarahan Desa Rawadenok Kelurahan Rangkepan Jaya Baru Kecamatan Mas Kota Depok. *Tugas Akhir*, 18–20.
- Astuti, N. Y., & Islam, I. (2024). Pengaruh Biji Pepaya Sebagai Koagulan Terhadap Limbah Cair Industri Tahu Di Kota Mataram. *Journal Of Life Science And Technology*, 2(2), 1–8.
- Atmaca, S., Yolcu, H. İ., Erdoğan, G., Gübbük, H., & Sert, H. (2024). Comparison Of The Morphological Characteristics, Yield, And Quality Traits Of Fruits Of Two Papaya Cultivars Grown Under Protected Cultivation. *Horticulturae*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/horticulturae10111192>

- Badawi, A. K., Salama, R. S., & Mostafa, M. M. M. (2023). *Natural-Based Coagulants/Flocculants As Sustainable Market-Valued Products For Industrial Wastewater Treatment: A Review Of Recent Developments*. *RSC Advances*, 13(28), 19335–19355. <https://doi.org/10.1039/d3ra01999c>
- Baronio, C. M., Li, H., Song, G., Annecke, H. T. P., Gustafsson, R., Martínez-Carranza, M., Stenmark, P., & Barth, A. (2020). *The Amide I Spectrum Of Parallel B-Sheet Proteins*. *Department Of Biochemistry And Biophysics, Stockholm University*, 1–10.
- Bayode, A. A., Anthony, E. T., Ore, O. T., Alfred, M. O., Koko, D. T., Unuabonah, E. I., Helmreich, B., & Omorogie, M. O. (2023). *A Review On The Versatility Of Carica Papaya Seed : An Agrogenic Waste For The Removal Of Organic , Inorganic And Microbial Contaminants In Water*. *Journal Ofchemical Technology And Biotechnology*, 2095–2109. <https://doi.org/10.1002/jctb.7415>
- Bhernama, B. G., Musfira, N., & Hamdan, A. M. (2023). Efektivitas Biokoagulan Biji Pepaya (*Carica papaya L.*) Terhadap Penurunan Kadar Pencemar Pada Limbah Laundry. 5(1), 16–25.
- Cahyaningrum, N. A., Kusumadewi, R. A., Winarni, & Aphirta, S. (2024). Perbandingan Biji Pepaya (*Carica papaya L.*) Sebagai Biokoagulan Dan Poly Aluminium Chloride (PAC) Sebagai Koagulan Kimiawi Pada Pengolahan Air Tanah, Kelurahan Kota Bambu Selatan, Jakarta Barat. *Jurnal Reka Lingkungan*, 12(3), 299–313. <http://dx.doi.org/10.26760/rekalingkungan.v12i3.299-313>
- Dev, M., & Mukadam, M. (2025). Functional Group Profiling Of Medicinal Plants Using FTIR Spectroscopy. *World Journal Of Biology Pharmacy And Health Sciences*, 21(1), 243–249.
- Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2024). Pengolahan Air Limbah Dengan Metode Koagulasi Flokulasi Pada Industri Kimia. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 7781–7787.
- Faturachman, G. F., Ramanda, A. A., Maharani, S., Latif, L. A., Belo, G. A. G., & Ayubi, S. G. Al. (2025). *Application Of Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) For Quantitative Analysis Of Pharmaceutical Compounds*. *Indonesian Journal Of Pharmaceutical Education*, 5(1), 27–33. <https://doi.org/10.37311/ijpe.v5i1.23309>
- Febrianti, A. N., Ratnawati, R., & Ramadhan, M. I. (2024). *Biocoagulant Utilization From Java Tamarind Seed And Sweet Orange Peel For Turbidity, COD And BOD Reduction In Domestic Wastewater*. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 8366–8372. <https://www.researchgate.net/publication/386735104>

- Fitriyanti, R. (2020). Karakteristik Limbah Domestik Di Lingkungan Mess Karyawan Pertambangan Batubara. *Jurnal Redoks*, 5(2), 72–77. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i2.4305>
- Geethalaxmi, M., Sunil, C. K., & Venkatachalapathy, N. (2024). *Tamarind Seed Polysaccharides, Proteins, And Mucilage: Extraction, Modification Of Properties, And Their Application In Food*. *Sustainable Food Technology*, 2, 1670–1685. <https://doi.org/10.1039/d4fb00224e>
- Gilbert, O. I., Adebayo, K. O., & Amedu, P. (2025). *Investigation Of Mineral Composition, Proximate Constituents, Anti-Nutritional Factor, Antimicrobial Activities And Phytochemical Screening Of Aqueous Extract Of Tamarindus Indica Seed*. *Applied Sciences, Computing, And Energy*, 3(1), 1–18. <https://cemrj.com/index.php/volumes/article/view/73>
- Ginting, A. ., Krisdavayanti, M., Sindriyani, L. ., Novitasari, R. ., Safari, V. ., Ahmadi, A. ., & Ningsih, A. . (2024). Studi Fitokimia Dan Farmakologi Asam Jawa (*Tamirindus indica L*). *Jurnal Ilmiah Bakti Farmasi*, 9(1), 15–21.
- Habibi, A., Sjaifuddin, S., & Pancawati, J. (2024). *Characteristics Of Wastewater Generated By The Snack Food (Cookies) Industry*. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 21(1), 112–131. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v21i1.112-131>
- Hidayati, T., Susilawati, Y., & Muhtadi, A. (2020). *Pharmacological Of Various Parts Carica Papaya Linn. Extract : Fruit, Leaf, Seed, Steam, Bark And Root*. *Jurnal Riset Kefarmasian Indonesia*, 2(3), 211–226.
- Kumalasari, V. (2024). Pemanfaatan Serbuk Biji Pepaya Dalam Pengolahan Air Sungai Manunggal Kota Yogyakarta. *Health Sciences And Pharmacy Journal*, 8(1), 7–13. <https://doi.org/10.32504/hspj.v8i1.914>
- Kumalasari, V., & Widestri, E. (2025). Efektivitas Biji Pepaya (*Caricca papaya L.*) Sebagai Biokoagulan Untuk Menurunkan COD, BOD, Nitrit Pada Air Sungai. *Jurnal Inovasi Riset Ilmu Kesehatan*, 5(1), 48–55.
- Kusuma, D. P. A. (2021). Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil Dengan Metode Koagulasi-Flokulasi (Studi Kasus Desa Soropadan, Kecamatan Pringsurat, Kabupaten Temanggung). *Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang*, 5(2), 99–103.
- Manulangga, O. G. L., & Costa, M. Da. (2025). Pengembangan Biji Kelor Dan Biji Pepaya (Biokoagulan IKEYA) Pada Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Analisis TOPSIS. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 10(2), 110–116. <http://jurnalsaintek.uinsa.ac.id/index.php/alard/index>
- Mensah-Akutteh, H., Buamah, R., Wiafe, S., & Nyarko, K. B. (2022). *Optimizing Coagulation – Flocculation Processes With Aluminium Coagulation Using*

Response Surface Methods. Applied Water Science, 12(188), 1–13.
<https://doi.org/10.1007/s13201-022-01708-1>

Musfira, N. (2022). Efektivitas Biokoagulan Biji Pepaya (*Carica papaya L.*) Terhadap Penurunan Kadar Pencemar Pada Limbah Laundry. *Skripsi*.

Muthia, R. (2025). Kombinasi Biji Pepaya (*Carica papaya L*) Dan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) Sebagai Biokoagulan Dalam Menurunkan Kadar Kekeruhan, Ph, Timbal Dan Kromium Pada Air Limbah Tekstil. *Skripsi*.

Nurfirzatulloh, I., Suherti, I., Insani, M., Shafira, R. A., & Abriyani, E. (2023). Identifikasi Gugus Fungsi Tanin Pada Beberapa Tumbuhan Dengan Instrumen Ftir. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(4), 201–209.

Nurhidayanti, N., Ilyas, N. I., & Lazuardini, D. P. (2022). Studi Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Serbuk Biji Asam Jawa Sebagai Biokoagulan. *Jurnal Tekno Insentif*, 16(1), 16–27. <https://doi.org/10.36787/jti.v16i1.453>

Pembayun, S. W. R., & Rahmayanti, M. (2020). Efektivitas Biji Asam Jawa Sebagai Koagulan Alami Dalam Menurunkan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red Dan Nilai Cod. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 9(2), 162–169.

Pratiwi, I., & Setiorini, I. A. (2023). Penurunan Nilai pH, COD, TDS, TSS Pada Air Sungai Menggunakan Limbah Kulit Jagung Melalui Adsorben. 8(1), 55–62.

Putra, E. A., & Sjoefjan, O. (2021). Evaluasi Kandungan Nutrisi, Tanin, Dan Densitas Biji Asam (*Tamarindus indica*) Hasil Penggorengan Sebagai Bahan Pakan Unggas. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal Of Animal Science)*, 23(2), 144–150. <https://doi.org/10.25077/jpi.23.2.144-150.2021>

Rafi, M. I., & Mirwan, M. (2025). Perbandingan Efektivitas Biji Asam Jawa Dan Biji Pepaya Sebagai Biokoagulan Untuk Menurunkan BOD, COD, Dan TSS Pada Air Telaga. *Jurnal Serambi Engineering*, X(1), 571–576.

Rahmatia, L. (2020). Efektivitas Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) Sebagai Koagulan Organik Dalam Memperbaiki Kualitas Air Pada Limbah Industri Komponen Otomotif Di Kawasan Industri Pulogadung Jakarta. *Warta Akab*, 44(1), 32–37.

Rawat, D. R., Parmar, K. M., & Thorat, S. S. (2025). *Comparative Analysis Of Plant-Based Natural Coagulants For Wastewater Treatment. Current World Environment*, 20(1), 395–409. <https://doi.org/10.12944/cwe.20.1.30>

Rizqullah, T. A., Budiono, A., & Yulianto, E. (2025). Penentuan Dosis Optimal Koagulan Dan Flokulan Dengan Mengontrol Ph Pada Unit Waste Water Treatmen Plant Pt Paiton Operation & Maintenance Indonesia. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 11(1), 201–207. <https://doi.org/10.33795/distilat.v11i1.6997>

- Ro'in, N. F., & Dahalan, F. A. (2024). Characterization Of Domestic Wastewater Based On BOD, COD And TSS Parameters. *Environmental And Toxicology Management*, 4(2), 16–23.
- RSC. (2016). *Electronic Supplementary Material (ESI). Journal The Royal Society Of Chemistry*.
- Rumi, S., Ashari, T. M., & Rahman, A. (2022). Penyisihan Polutan Pada Limbah Cair Penatu Menggunakan Adsorben Arang Aktif Berasal. *Jurnal Phi*, 3(1), 6–14.
- Sabillah, I., Adiono, M., Suaebah, E., & Rohmawati, L. (2025). Efektivitas Alumunium Sulfat Dalam Mengurangi Kekeruhan Air Pada Uji Jar Test Pt. Hanarida Tirta Birawa Sidoarjo. *Inovasi Fisika Indonesia*, 14(1), 21–26. <https://doi.org/10.26740/Ifi.V14n1.P21-26>
- Sahdiah, H., & Kurniawan, R. (2023). Optimasi Tegangan Akselerasi Pada *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM-EDX) Untuk Pengamatan Morfologi Sampel Biologi. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 6(2), 117–123.
- Sahribulan, & Pagarra, H. (2022). Identifikasi Gugus Fungsi Dari Senyawa Metabolit Sekunder Ekstrak Etanol Daun Kayu Jawa. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 5(2), 161–168.
- Sayekti, A. N. A. K., Sofro, A., & Ariyanto, D. (2024). Analisis Matematis Pengaruh Lokasi Rumah Terhadap Harga Jual, Luas Rumah Dan Jumlah Kamar Dengan Manova. *Jurnal Lebesgue : Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika Dan Statistika*, 5(1), 584–594. <https://doi.org/10.46306/lb.v5i1.494>
- Septiano, A. F., Susilo, & Setyaningsih, N. E. (2021). Analisis Citra Hasil *Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-Ray* (SEM EDX) Komposit Resin Timbal Dengan Metode *Contrast To Noise Ratio* (CNR). *Indonesian Journal Of Mathematics And Natural Sciences*, 44(2), 81–85. <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jm>
- Shabrina, R. W., & Hardjono. (2023). Pemanfaatan Koagulan Alami Dari Campuran Kitosan Dan Biji Asam Jawa Pada Pengolahan Air Limbah Penyamakan Kulit. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 613–621. <https://doi.org/10.33795/distilat.v7i2.279>
- Singga, S., Anjar Paut, V., Mauguru, E. M. (2024). Pemanfaatan Serbuk Biji Pepaya Dan Biji Asam Sebagai Koagulan Dalam Menurunkan Kekeruhan Air Sumur Gali. *Oehonis : The Journal Of Environmental Health Research*, 7(1), 48.

- Syafa'ah, E. L. (2025). *Multivariate Analysis Of Variance (MANOVA) Pada Pengaruh Perbedaan Tingkat Pendidikan Orang Tua Terhadap Nilai Akademik Siswa. Probabilitas Journal Of Statistics And Mathematics*, 1(1), 1.
- Syahbilla, O. (2023). Optimalisasi Penggunaan Serbuk Biji Kelor (*Moringa oleifera*) Sebagai Koagulan Alami Pada Limbah Cair Industri Tahu. *Skripsi*.
- UCSC. (2015). *Characteristic IR Absorption Peaks Of Functional Groups. IR Tables*.
- Utomo, R. A., & Rahmadhia, S. N. (2024). *Effect Of Variations In Drying Temperature Of Papaya Seeds (Carica papaya L.) On The Physiochemical Characteristics Of Jelly Candy. Advances In Food Science, Sustainable Agriculture And Agroindustrial Engineering*, 7(4), 338–348. <https://doi.org/10.21776/ub.afssae.2024.007.04.6>
- Veazar, S. A. N., Belinda, Z. T., Rendana, M., Agustina, T. E., Nasir, S., Hanum, L., & Andarini, D. (2024). *The Use Of Carica Papaya Seeds As Bio Coagulant For Laundry Wastewater Treatment. Journal Of Engineering And Applied Science*, 1–12. <https://doi.org/10.1186/s44147-024-00438-2>
- Win, K. H., Khaing, Y. K., & Khaing, T. (2019). Extraction Of Tannin From Tamarind Seed Coat As A Natural Mordant For Dyeing Of Wool Yarn. *International Journal For Research Trends And Innovation*, 4(7), 11–14.
- Wulandari, D., Amin, S., Anamareri, N. A., & Azizah, A. (2025). Tinjauan Kimia Medisinal Senyawa Fenol Dari Ekstrak Daun Dan Biji Pepaya (*Carica papaya*) Sebagai Anti Kanker Program Studi Farmasi , *Universitas Bakti Tunas Husada , Indonesia*. 4(2), 132–146.
- Yulinda, M., Sulastri, & Natalina. (2024). Efektivitas Biokoagulan Dari Biji Asam Jawa, Biji Flamboyan Dan Biji Salak Untuk Menurunkan Kadar Phospat Dan COD Pada Air Limbah Laundry. *Studi Humaniora Interdisipliner*, 8(2), 94–99.
- Yusuf, A. M., Ruhayat, R., & Hadisoebroto, R. (2022). Pemanfaatan Koagulan Biji Asam Jawa Guna Memperbaiki Parameter BOD, COD, Dan TSS Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Ekologi, Masyarakat Dan Sains*, 3(2), 3–9. <https://doi.org/10.55448/ems.v3i2.66>
- Zakaria, A., Sauri, S., Fadela, D. M., & Wardhani, P. S. A. (2021). Efisiensi Penurunan Kadar COD, TSS, Dan TDS Pada Air Limbah Industri Pangan Menggunakan Koagulan Poly Aluminium Chloride Dengan Metode Jar Test. *Warta Akab*, 45(2), 98–104. <https://doi.org/10.55075/wa.v45i2.60>

LAMPIRAN 1
PERHITUNGAN LARUTAN

A. Perhitungan Larutan NaCl untuk biji asam jawa

Diketahui:

- Mr NaCl = 58,5 g/mol
- Volume pelarut = 200 mL = 0,2 L

Ditanya: Berapa massa NaCl yang dibutuhkan untuk membuat larutan NaCl dalam 100 mL?

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}\text{Massa NaCl} &= \text{Volume pelarut} \times \text{Mr NaCl} \\ &= 0,2 \text{ L} \times 58,5 \text{ g/mol} \\ &= 11,7 \text{ gram}\end{aligned}$$

Karena dilakukan secara tiga kali maka membutuhkan:

$$11,7 \text{ gram} \times 3 = 35,1 \text{ gram NaCl}$$

B. Perhitungan Larutan NaCl 1 M

Diketahui:

- Mr NaCl = 58,5 g/mol
- Volume pelarut = 1000 mL = 1 L

Ditanya: Berapa massa NaCl yang dibutuhkan untuk membuat larutan NaCl 1 M dalam 1 L?

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}\text{Massa NaCl} &= M \times \text{Mr} \times V \\ &= 1 \text{ M} \times 58,5 \text{ g/mol} \times 1 \text{ L} \\ &= 58,5 \text{ gram}\end{aligned}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 2

PERHITUNGAN *TOTAL SUSPENDED SOLID* (TSS)

A. Perhitungan TSS

Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering pada penelitian ini mengacu pada SNI SNI 6989.3:2019 dengan persamaan sebagai berikut:

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

Keterangan :

W1 = Berat media penimbang yang berisi media penyaring dan residu kering (mg)

W0 = Berat media penimbang yang berisi media penyaring awal (mg)

V = Volume contoh uji (ml)

1000 = konversi ml ke L

1. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel A0 (kontrol)

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,013 \text{ g} - 0,652 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1013 \text{ mg} - 652 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 3610 \frac{mg}{L}$$

2. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel A0' (kontrol)

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,030 \text{ g} - 0,622 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1030 \text{ mg} - 622 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 4080 \text{ mg/L}$$

3. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B1

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,210 \text{ g} - 1 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1210 \text{ mg} - 1000 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 2100 \text{ mg/L}$$

4. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B1'

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,196 \text{ g} - 1,037 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1196 \text{ mg} - 1037 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 1590 \text{ mg/L}$$

5. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B2

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,991 \text{ g} - 0,985 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(991 \text{ mg} - 985 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 60 \text{ mg/L}$$

6. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B2'

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,983 \text{ g} - 0,845 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(983 \text{ mg} - 845 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 1380 \text{ mg/L}$$

7. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B3

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(0,626 \text{ g} - 0,625 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(626 \text{ mg} - 625 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 10 \text{ mg/L}$$

8. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B3'

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,006 \text{ g} - 1,003 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1006 \text{ mg} - 1003 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 30 \text{ mg/L}$$

9. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C1

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,245 \text{ g} - 1,023 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1245 \text{ mg} - 1023 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 2220 \text{ mg/L}$$

10. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C1'

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,230 \text{ g} - 1,019 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1230 \text{ mg} - 1019 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 2110 \text{ mg/L}$$

11. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C2

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,186 \text{ g} - 1,028 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1186 \text{ mg} - 1028 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 1580 \text{ mg/L}$$

12. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C2'

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,161 \text{ g} - 1,020 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1161 \text{ mg} - 1020 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 1410 \text{ mg/L}$$

13. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C3

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,028 \text{ g} - 1,025 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1028 \text{ mg} - 1025 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 30 \text{ mg/L}$$

14. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C3'

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,048 \text{ g} - 1,026 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1048 \text{ mg} - 1026 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 220 \text{ mg/L}$$

15. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D1

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,157 \text{ g} - 1,001 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1157 \text{ mg} - 1001 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 1560 \text{ mg/L}$$

16. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D1'

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,047 \text{ g} - 1,022 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1047 \text{ mg} - 1022 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 250 \text{ mg/L}$$

17. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D2

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,030 \text{ g} - 1,024 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1030 \text{ mg} - 1024 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 60 \text{ mg/L}$$

18. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D2'

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,065 \text{ g} - 1,027 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1065 \text{ mg} - 1027 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 380 \text{ mg/L}$$

19. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D3

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,024 \text{ g} - 1,001 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1024 \text{ mg} - 1001 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 230 \text{ mg/L}$$

20. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D3'

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1,047 \text{ g} - 1,022 \text{ g})}{100} \times 1000$$

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(1047 \text{ mg} - 1022 \text{ mg})}{100} \times 1000$$

$$TSS = 250 \text{ mg/L}$$

B. Perhitungan Rata – Rata Parameter TSS

$$1. \quad A0 = \frac{(3610 + 4080)}{2} = 3845 \text{ mg/L}$$

$$2. \quad B1 = \frac{(2100 + 1590)}{2} = 1845 \text{ mg/L}$$

$$3. \quad B2 = \frac{(60 + 1380)}{2} = 720 \text{ mg/L}$$

$$4. \quad B3 = \frac{(10 + 30)}{2} = 20 \text{ mg/L}$$

$$5. \quad C1 = \frac{(2220 + 2110)}{2} = 2165 \text{ mg/L}$$

$$6. \quad C2 = \frac{(1580 + 1410)}{2} = 1495 \text{ mg/L}$$

$$7. \quad C3 = \frac{(30 + 220)}{2} = 125 \text{ mg/L}$$

$$8. \quad D1 = \frac{(1560 + 250)}{2} = 905 \text{ mg/L}$$

$$9. \quad D2 = \frac{(60 + 380)}{2} = 220 \text{ mg/L}$$

$$10. \quad D3 = \frac{(230 + 250)}{2} = 240 \text{ mg/L}$$

LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN MINYAK DAN LEMAK

A. Perhitungan Minyak dan Lemak

Perhitungan minyak dan lemak air limbah UMKM kue kering pada penelitian ini mengacu pada SNI 6989.10:2011 dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

Keterangan :

W1 = Berat media penimbang yang berisi media penyaring dan residu kering (mg)

W0 = Berat media penimbang yang berisi media penyaring awal (mg)

V = Volume contoh uji (ml)

1000 = konversi ml ke L

1. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel A0 (kontrol)

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(178,823 \text{ g} - 177,125 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(178823 \text{ mg} - 177125 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 33960 \text{ mg/L}$$

2. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel A0' (kontrol)

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(178,260 \text{ g} - 177,125 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(178260 \text{ mg} - 177125 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 22700 \text{ mg/L}$$

3. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B1

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(63,102 \text{ g} - 62,085 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(63102 \text{ mg} - 62085 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 25770 \text{ mg/L}$$

4. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B1'

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(63,645 \text{ g} - 62,085 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(63645 \text{ mg} - 62085 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 31200 \text{ mg/L}$$

5. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B2

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(41,504 \text{ g} - 40,297 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(41504 \text{ mg} - 40297 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 24140 \text{ mg/L}$$

6. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B2'

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(41,158 \text{ g} - 40,297 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(41158 \text{ mg} - 40297 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 17220 \text{ mg/L}$$

7. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B3

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(40,373 \text{ g} - 40,297 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(40373 \text{ mg} - 40297 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 1520 \text{ mg/L}$$

8. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel B3'

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(40,985 \text{ g} - 40,297 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(40985 \text{ mg} - 40297 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 13760 \text{ mg/L}$$

9. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C1

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(44,873 \text{ g} - 44,085 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(44873 \text{ mg} - 44085 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 15760 \text{ mg/L}$$

10. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C1'

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(45,667 \text{ g} - 44,085 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(45667 \text{ mg} - 44085 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 31640 \text{ mg/L}$$

11. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C2

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(57,172 \text{ g} - 56,632 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(57172 \text{ mg} - 56632 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 10800 \text{ mg/L}$$

12. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C2'

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(57,852 \text{ g} - 56,632 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(57852 \text{ mg} - 56632 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 24400 \text{ mg/L}$$

13. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C3

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(44,601 \text{ g} - 44,085 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(44601 \text{ mg} - 44085 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 10320 \text{ mg/L}$$

14. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel C3'

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(44,201 \text{ g} - 44,085 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(44201 \text{ mg} - 44085 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 2320 \text{ mg/L}$$

15. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D1

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(41,315 \text{ g} - 40,297 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(41315 \text{ mg} - 40297 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 20360 \text{ mg/L}$$

16. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D1'

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(40,887 \text{ g} - 40,297 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(40887 \text{ mg} - 40297 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 11600 \text{ mg/L}$$

17. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D2

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(62,251 \text{ g} - 62,085 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(62251 \text{ mg} - 62085 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 3320 \text{ mg/L}$$

18. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D2'

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(62,826 \text{ g} - 62,085 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(62826 \text{ mg} - 62085 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 14820 \text{ mg/L}$$

19. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D3

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(44,552 \text{ g} - 44,085 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(44552 \text{ mg} - 44085 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 9340 \text{ mg/L}$$

20. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering variabel D3'

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(W1 - W0)}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(44,601 \text{ g} - 44,085 \text{ g})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak } \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(44601 \text{ mg} - 44085 \text{ mg})}{50} \times 1000$$

$$\text{Minyak \& Lemak} = 10320 \text{ mg/L}$$

B. Perhitungan Rata – Rata Parameter Minyak dan Lemak

$$11. \quad A0 = \frac{(33960 + 22700)}{2} = 28330 \text{ mg/L}$$

$$12. \quad B1 = \frac{(20340 + 31200)}{2} = 25770 \text{ mg/L}$$

$$13. \quad B2 = \frac{(24140 + 17220)}{2} = 20680 \text{ mg/L}$$

$$14. \quad B3 = \frac{(1520 + 13760)}{2} = 7640 \text{ mg/L}$$

$$15. \quad C1 = \frac{(15760 + 31640)}{2} = 23700 \text{ mg/L}$$

$$16. \quad C2 = \frac{(10800 + 24400)}{2} = 17600 \text{ mg/L}$$

$$17. \quad C3 = \frac{(10320 + 2320)}{2} = 6320 \text{ mg/L}$$

$$18. \quad D1 = \frac{(10360 + 11600)}{2} = 15980 \text{ mg/L}$$

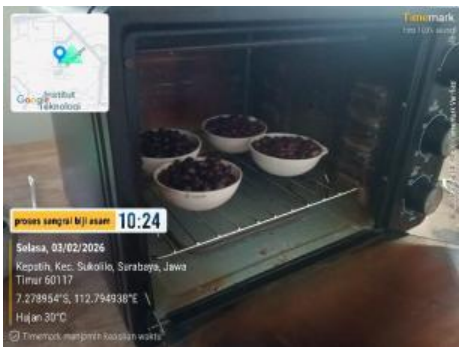
$$19. \quad D2 = \frac{(3320 + 14820)}{2} = 9070 \text{ mg/L}$$

$$20. \quad D3 = \frac{(9340 + 10320)}{2} = 9830 \text{ mg/L}$$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

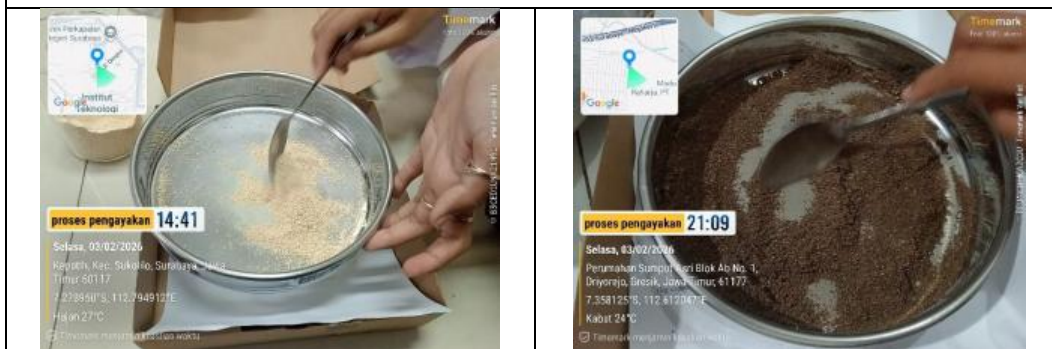
LAMPIRAN 4

DOKUMENTASI PENELITIAN

Preparasi Biokoagulan	
 pencucian biji asam jawa 16:11 Senin, 02/02/2026 Perumahan Sampul Asri Blok A1 No. 1 Doyorejo, Gresik, Jawa Timur 61177 7.358166°S, 112.611893°E Badai peta 29°C Timemark mengaktifkan lokasi Anda	 pencucian biji pepaya 06:38 Senin, 02/02/2026 Perumahan Sampul Asri Blok A1 No. 1 Doyorejo, Gresik, Jawa Timur 61177 7.358073°S, 112.611897°E Berawan 25°C Timemark mengaktifkan lokasi Anda
Pencucian biji asam jawa dan biji pepaya	
 pengeringan biji pepaya 10:02 Senin, 02/02/2026 Perumahan Sampul Asri Blok A1 No. 1 Doyorejo, Gresik, Jawa Timur 61177 7.358192°S, 112.611897°E Berawan 30°C Timemark mengaktifkan lokasi Anda	
Pengeringan biji pepaya dibawah sinar matahari	
 proses sangrai biji asam 10:24 Selasa, 03/02/2026 Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117 7.278954°S, 112.794938°E Hujan 30°C Timemark mengaktifkan lokasi Anda	 oven biji pepaya 11:06 Selasa, 03/02/2026 Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117 7.278958°S, 112.794964°E Hujan 30°C Timemark mengaktifkan lokasi Anda
Pengeringan biji asam jawa dan biji pepaya dengan oven	



Penghalusan biji asam jawa dan biji pepaya dengan blender



Pengayakan dengan menggunakan ayakan 100 mesh

Ekstraksi Biokoagulan



Pengukuran massa serbuk biji asam jawa dan biji pepaya

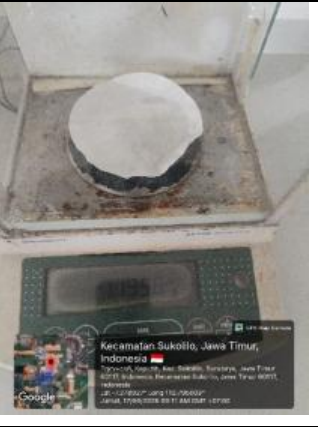
	
Pengukuran massa kebutuhan NaCl untuk proses ekstraksi	Pembuatan larutan NaCl untuk serbuk biji asam jawa dan biji pepaya
	
Pencampuran serbuk biokoagulan dan pelarut NaCl 1 M	
	
Pemisahan residu dengan larutan dan pengovenan residu biji asam jawa	

	
Penyaringan residu dengan <i>vacuum filter</i> dan pengovenan residu biji pepaya	
Tahap <i>Running</i> pada Air Limbah UMKM Kue Kering	
	
Proses pengadukan cepat 200 rpm	Proses pengadukan lambat 30,40,50 rpm
	
Pengendapan 30 menit dan endapannya diambil untuk uji FTIR dan SEM-EDX	

LAMPIRAN 5

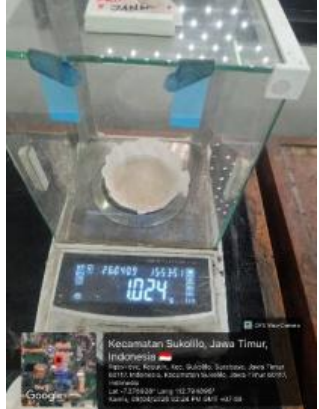
DOKUMENTASI PENGUJIAN TSS

Variabel Penelitian	W ₀	W ₁
A0		
A0'		
B1		

B1'		
B2		
B2'		
B3		

B3'		
C1		
C1'		
C2		

C2'		
C3		
C3'		
D1		

D1'		
D2		
D2'		
D3		

D3'	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Provinsi Jawa Timur, Kabupaten Sukoharjo, Kecamatan Sukolilo, Desa Turih 80111, Indonesia Latitude: 7.278244° S, Longitude: 112.758500° E Elevation: 150m, Country: ID, Postal Code: 60111	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Provinsi Jawa Timur, Kabupaten Sukoharjo, Kecamatan Sukolilo, Desa Turih 80111, Indonesia Latitude: 7.278244° S, Longitude: 112.758500° E Elevation: 150m, Country: ID, Postal Code: 60111
-----	---	--

LAMPIRAN 6

DOKUMENTASI PENGUJIAN MINYAK DAN LEMAK

Variabel Penelitian	W ₀	W ₁
A0		
B1		
B1'		
B2		

B2'		
B3		
B3'		
C1		

C1'		
C2		
C2'		
C3		

C3'		
D1		
D1'		
D2		

D2'				
D3				
D3'				

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 7
DOKUMENTASI PENGUJIAN pH

Kode Sampel	Gambar
A0	
B1	
B2	
B3	
C1	

LAMPIRAN 8

DOKUMENTASI HASIL RUNNING Uji MANOVA

1. Hasil Uji Normalitas

Tests of Normality							
	Dosis Biokoagulan (mg/L)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Kadar COD (mg/L)	700 mg/L	.236	3	.	.977	3	.708
	800 mg/L	.292	3	.	.924	3	.466
	900 mg/L	.295	3	.	.919	3	.450
Kadar BOD (mg/L)	700 mg/L	.339	3	.	.851	3	.244
	800 mg/L	.213	3	.	.990	3	.805
	900 mg/L	.177	3	.	1.000	3	.971
Kadar TSS (mg/L)	700 mg/L	.321	3	.	.881	3	.328
	800 mg/L	.328	3	.	.871	3	.298
	900 mg/L	.356	3	.	.818	3	.157
Kadar Minyak dan Lemak (mg/L)	700 mg/L	.179	3	.	.999	3	.947
	800 mg/L	.233	3	.	.979	3	.724
	900 mg/L	.305	3	.	.906	3	.406

a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality							
	Kecepatan Pengadukan (rpm)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Kadar COD (mg/L)	30 rpm	.212	3	.	.990	3	.813
	40 rpm	.184	3	.	.999	3	.927
	50 rpm	.366	3	.	.795	3	.103
Kadar BOD (mg/L)	30 rpm	.276	3	.	.942	3	.535
	40 rpm	.223	3	.	.985	3	.765
	50 rpm	.282	3	.	.935	3	.509
Kadar TSS (mg/L)	30 rpm	.248	3	.	.969	3	.661
	40 rpm	.273	3	.	.946	3	.550
	50 rpm	.348	3	.	.833	3	.197
Kadar Minyak dan Lemak (mg/L)	30 rpm	.180	3	.	.999	3	.943
	40 rpm	.357	3	.	.816	3	.152
	50 rpm	.213	3	.	.990	3	.807

a. Lilliefors Significance Correction

2. Hasil Uji Homogenitas

Test of Homogeneity of Variances				
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kadar COD (mg/L)	1.578	2	6	.281
Kadar BOD (mg/L)	1.316	2	6	.336
Kadar TSS (mg/L)	4.815	2	6	.057
Kadar Minyak dan Lemak (mg/L)	.359	2	6	.712

Test of Homogeneity of Variances				
	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Kadar COD (mg/L)	.296	2	6	.754
Kadar BOD (mg/L)	3.501	2	6	.098
Kadar TSS (mg/L)	.344	2	6	.722
Kadar Minyak dan Lemak (mg/L)	.056	2	6	.946

3. Hasil Uji MANOVA

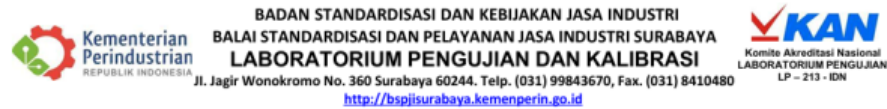
Tests of Between-Subjects Effects							
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	COD (mg/L)	13307.128 ^a	8	1663.391	35.967	.000	.970
	BOD (mg/L)	16401.128 ^b	8	2050.141	84.588	.000	.987
	TSS (mg/L)	10275844.4 ^c	8	1284480.556	5.930	.008	.841
	Minyak dan Lemak (mg/L)	845581200 ^d	8	105697650.0	1.853	.188	.622
Intercept	COD (mg/L)	2722222.222	1	2722222.222	58861.687	.000	1.000
	BOD (mg/L)	1061910.222	1	1061910.222	43814.203	.000	1.000
	TSS (mg/L)	13295605.56	1	13295605.56	61.382	.000	.872
	Minyak dan Lemak (mg/L)	4145961800	1	4145961800	72.685	.000	.890
Dosis	COD (mg/L)	2056.581	2	1028.291	22.234	.000	.832
	BOD (mg/L)	1236.298	2	618.149	25.505	.000	.850
	TSS (mg/L)	6860844.444	2	3430422.222	15.837	.001	.779
	Minyak dan Lemak (mg/L)	581830933.3	2	290915466.7	5.100	.033	.531
Pengadukan	COD (mg/L)	1488.448	2	744.224	16.092	.001	.781
	BOD (mg/L)	2810.134	2	1405.067	57.973	.000	.928
	TSS (mg/L)	1952177.778	2	976088.889	4.506	.044	.500
	Minyak dan Lemak (mg/L)	127376133.3	2	63688066.67	1.117	.369	.199
Dosis * Pengadukan	COD (mg/L)	9762.099	4	2440.525	52.771	.000	.959
	BOD (mg/L)	12354.696	4	3088.674	127.438	.000	.983
	TSS (mg/L)	1462822.222	4	365705.556	1.688	.236	.429
	Minyak dan Lemak (mg/L)	136374133.3	4	34093533.33	.598	.674	.210
Error	COD (mg/L)	416.230	9	46.248			
	BOD (mg/L)	218.130	9	24.237			
	TSS (mg/L)	1949450.000	9	216605.556			
	Minyak dan Lemak (mg/L)	513363000.0	9	57040333.33			
Total	COD (mg/L)	2735945.580	18				
	BOD (mg/L)	1078529.480	18				
	TSS (mg/L)	25520900.00	18				
	Minyak dan Lemak (mg/L)	5504906000	18				
Corrected Total	COD (mg/L)	13723.358	17				
	BOD (mg/L)	16619.258	17				
	TSS (mg/L)	12225294.44	17				
	Minyak dan Lemak (mg/L)	1358944200	17				

a. R Squared = .970 (Adjusted R Squared = .943)
b. R Squared = .987 (Adjusted R Squared = .975)
c. R Squared = .841 (Adjusted R Squared = .699)
d. R Squared = .622 (Adjusted R Squared = .286)

LAMPIRAN 9

HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM EKSTERNAL

1. Hasil Pengujian COD & BOD Air Limbah Kue Kering Kontrol (A0 dan A0')



No Analisa : 2026P01580
Tanggal pengujian : 10 – 27 April 2026
Hasil Uji :

No	No Analisa	Kode	Satuan	Hasil Uji BOD ₅		Hasil Uji COD	
				I	II	I	II
1	2026P01580	PPNS 2	mg/L	307.4	282.3	550.7	540.3
Metode Uji				SNI 6989.72:2009		SNI 6989.2:2019	

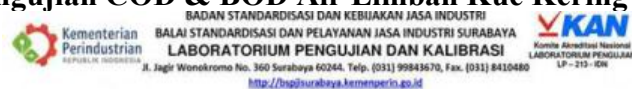
Catatan :

- Parameter uji sesuai dengan permintaan
- Tanda <= merupakan nilai limit of quantity (LOQ) dari pengujian
- Laboratorium tidak melakukan pengambilan contoh tersebut, sehingga laboratorium tidak bertanggung jawab atas pengambilan dan pengiriman contoh
- Laporan hasil uji tidak dapat digunakan untuk tujuan pemenuhan regulasi terkait lingkungan hidup

Laboratorium
Kimia dan Lingkungan

Ardhaningtyas Riza Utami, ST, MT
NIP. 197808232005022001

2. Hasil Pengujian COD & BOD Air Limbah Kue Kering Variabel



No Analisa : 2026P01581 - 2026P01589
Tanggal pengujian : 10 – 23 April 2026
Hasil Uji :

No	No Analisa	Kode	Satuan	Hasil Uji BOD ₅		Hasil Uji COD	
				I	II	I	II
1	2026P01581	B1 & B1'	mg/L	280.5	271.8	406.4	412.6
2	2026P01582	B2 & B2'	mg/L	252.6	254.4	371.4	377.6
3	2026P01583	B3 & B3'	mg/L	182.5	190.4	346.6	359
4	2026P01584	C1 & C1'	mg/L	226.3	216.2	429.1	435.3
5	2026P01585	C2 & C2'	mg/L	236.8	240.3	396.1	412.6
6	2026P01586	C3 & C3'	mg/L	226.3	234.8	367.2	365.2
7	2026P01587	D1 & D1'	mg/L	217.6	226.2	367.2	373.4
8	2026P01588	D2 & D2'	mg/L	270.2	271.1	363.1	369.3
9	2026P01589	D3 & D3'	mg/L	289.9	284.1	431.2	416.7
Metode Uji				SNI 6989.72:2009		SNI 6989.2:2019	

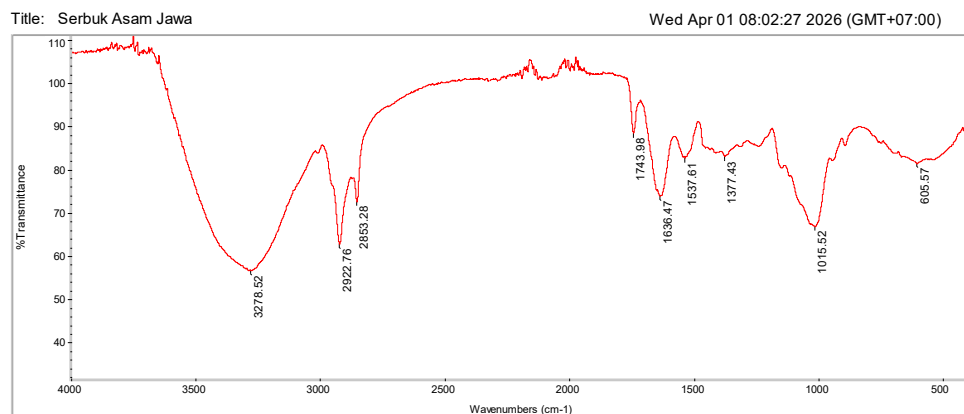
Catatan :

- Parameter uji sesuai dengan permintaan
- Tanda "-" merupakan nilai limit of quantity (LOQ) dari pengujian
- Laboratorium tidak melakukan pengambilan contoh tersebut, sehingga laboratorium tidak bertanggung jawab atas pengambilan dan pengiriman contoh
- Laporan hasil uji tidak dapat digunakan untuk tujuan pemenuhan regulasi terkait lingkungan hidup

Laboratorium
Kimia dan Lingkungan

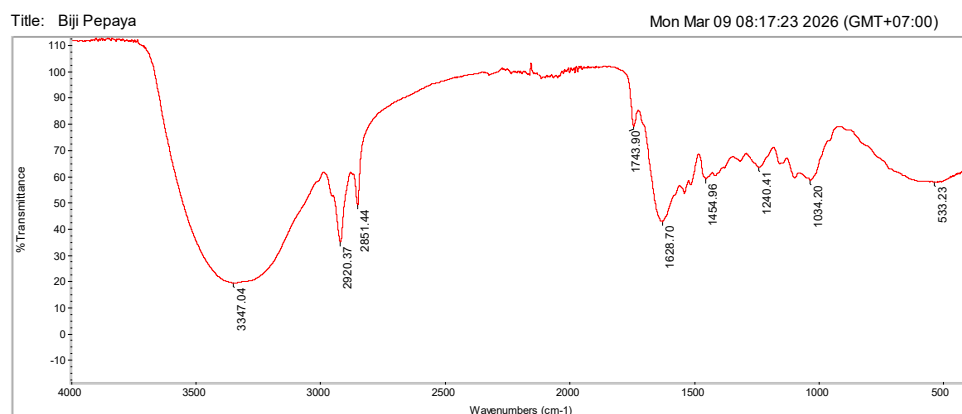
Ardhaningtyas Riza Utami, ST, MT
NIP. 197808232005022001

3. Hasil Uji FTIR Serbuk Biji Asam Jawa



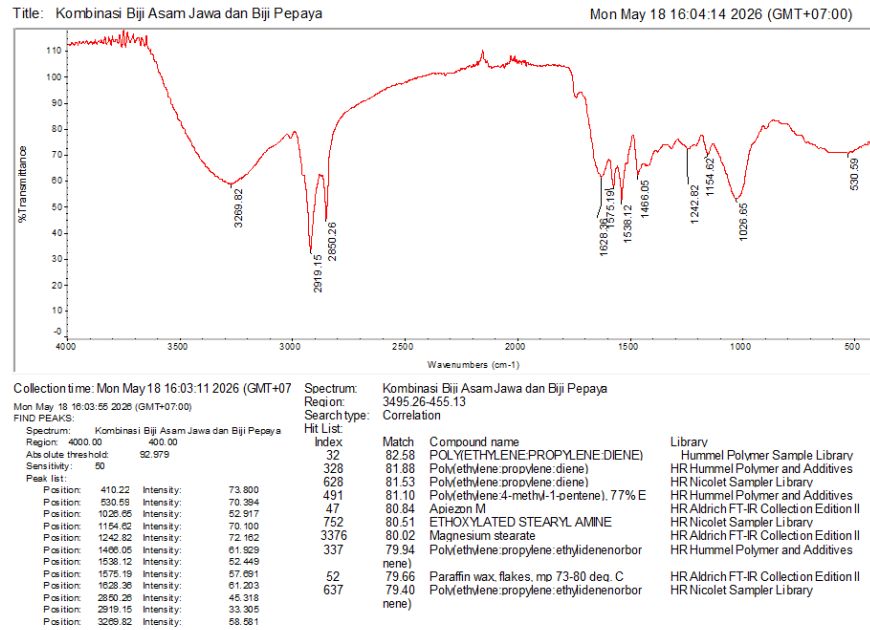
Collection time: Wed Apr 01 08:01:29 2026 (GMT+07:00)			Spectrum: Serbuk Asam Jawa		
Wed Apr 01 08:02:16 2026 (GMT+07:00)			Region: 3495.26-455.13		
FIND PEAKS:			Search type: Correlation		
			Hit List:		
Spectrum:	Serkbuk Asam Jawa		Index	Match	Compound name
Region:	4000.00	400.00	1125	72.23	Maltotriose hydrate, 95%
Absolute threshold:	89.643		17843	72.19	Poly(dimer acid-co-alkyl polyamine), sof
Sensitivity:	50				tening point 130
Peak list:				71.83	Chymopapain, papaya latex (3.4.4.11)
Position:	605.57	Intensity: 81.287	3687	71.50	(-)-Glutathione, oxidized, 90%
Position:	1015.52	Intensity: 66.659	5224	70.72	Coconut oil ethanolamide
Position:	1377.43	Intensity: 82.864	17845	70.68	Poly(dimer acid-co-alkyl polyamine), sof
Position:	1537.61	Intensity: 82.549			tening point 160
Position:	1636.47	Intensity: 73.714	1146	70.47	gamma-Cyclodextrin hydrate
Position:	1743.98	Intensity: 88.259	12019	70.26	Metrazamide, 98%, mixture of anomers
Position:	2853.28	Intensity: 72.405	1153	70.09	Maltodextrin, dextrose equivalent 13.0-1
Position:	2922.76	Intensity: 62.470		7.0	
Position:	3278.52	Intensity: 56.419	1154	69.75	Maltodextrin, dextrose equivalent 16.5-1
				9.5	
					Library
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
					HR Aldrich FT-IR Collection Edition II

4. Hasil Uji FTIR Serbuk Biji Pepaya



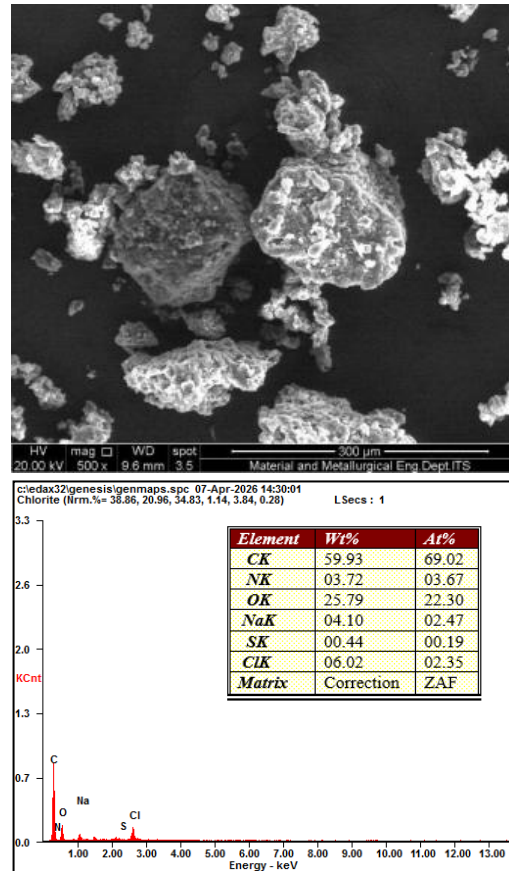
Collection time: Fri Mar 06 15:33:58 2026 (GMT+07:00)	Spectrum: Biji Pepaya	Region: 3495.26-455.13	Correlation	
Mon Mar 09 08:16:37 2026 (GMT+07:00)	Search type: Hit List:	Index	Match	
FIND PEAKS:			Compound name	
Spectrum: Biji Pepaya			Library	
Region: 4000.00	400.00	5224	73.81 (-)-Glutathione, oxidized, 90%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
Absolute threshold: 88.834		47	73.35 Apiezon M	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
Sensitivity: 50		628	73.13 Poly(ethylene:propylene:diene)	HR Nicolet Sampler Library
Peak list:		5438	72.20 Guanidine hydrochloride, 99%	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
Position: 533.23 Intensity: 57.395		637	72.03 Poly(ethylene:propylene:ethylenenorbor	HR Nicolet Sampler Library
Position: 1034.20 Intensity: 58.224			nene)	
Position: 1240.41 Intensity: 63.081		328	72.02 Poly(ethylene:propylene:diene)	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 1454.96 Intensity: 58.723		1147	71.95 Galactan, ex gum arabic	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
Position: 1628.70 Intensity: 42.443		491	71.72 Poly(ethylene:4-methyl-1-pentene), 77% E	HR Hummel Polymer and Additives
Position: 1743.90 Intensity: 78.729		17843	71.71 Poly(dimer acid-co-alkyl polyamine), sof	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
Position: 2851.44 Intensity: 48.851			tening point 130	
Position: 2920.37 Intensity: 34.798		50	71.53 Paraffin wax, white chunks, c.p. 58-62 d	HR Aldrich FT-IR Collection Edition II
Position: 3347.04 Intensity: 18.932			eg.	

5. Hasil Uji FTIR Lumpur Terbaik

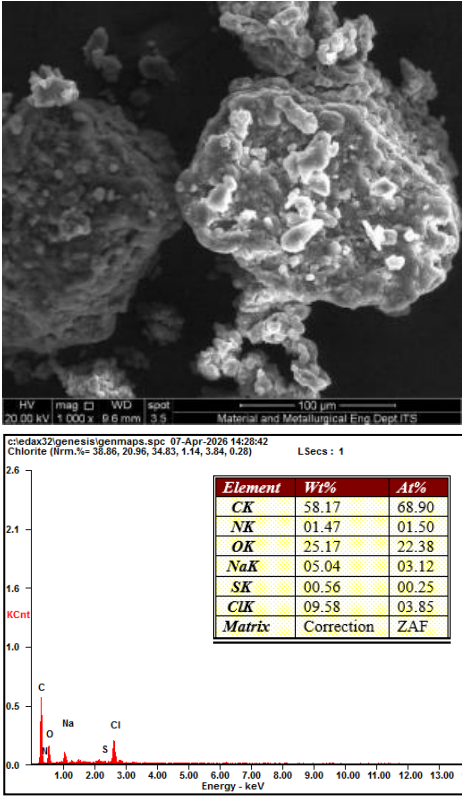


6. Hasil Uji SEM-EDX Serbuk Biji Asam Jawa

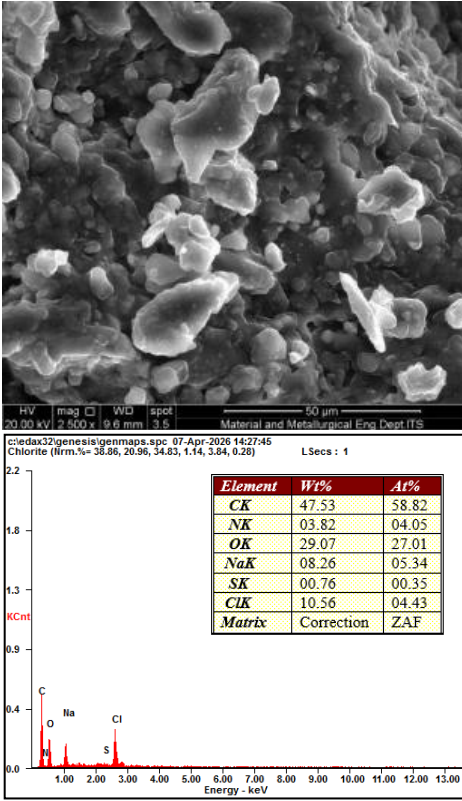
a. Perbesaran 500x



b. Perbesaran 1000x

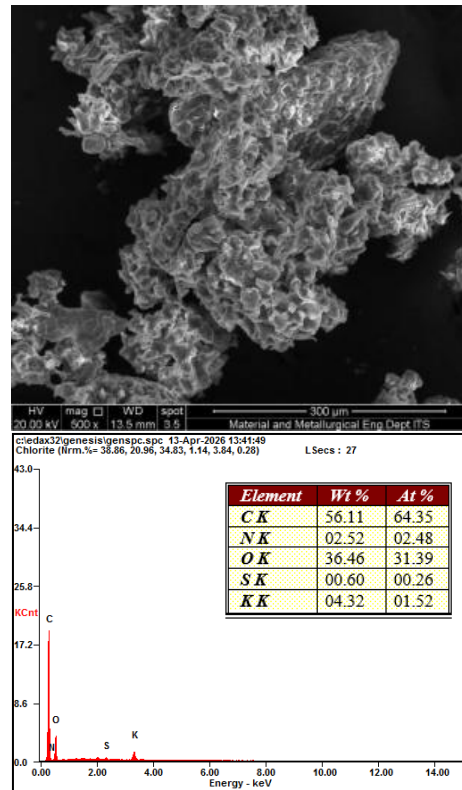


c. Perbesaran 2500x

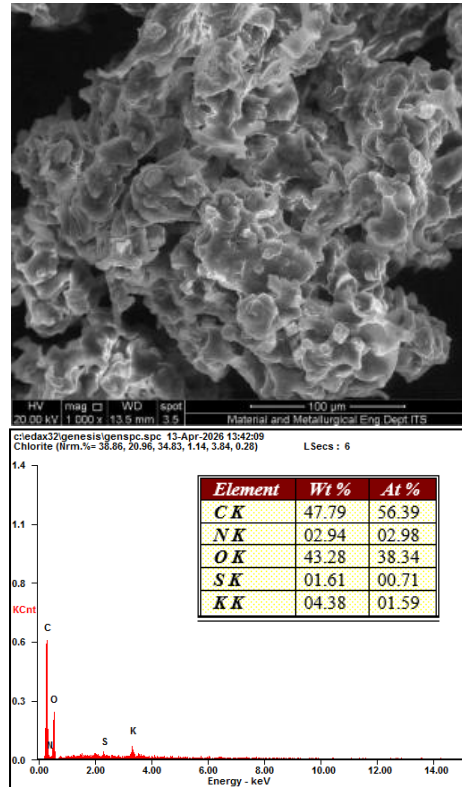


7. Hasil Uji SEM-EDX Serbuk Biji Pepaya

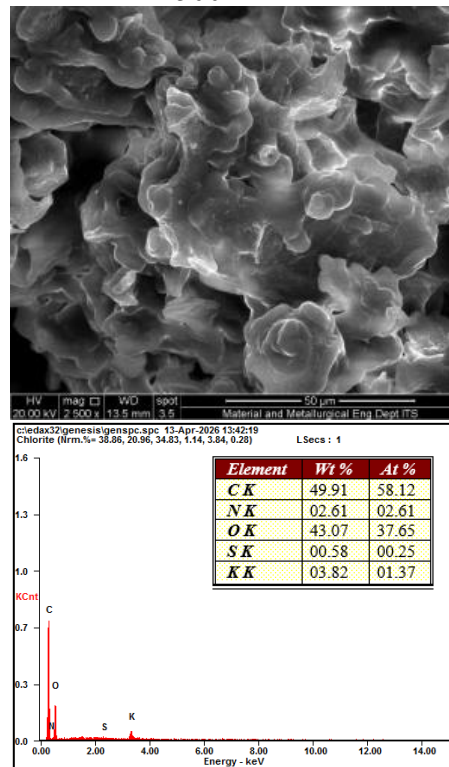
a. Perbesaran 500x



b. Perbesaran 1000x

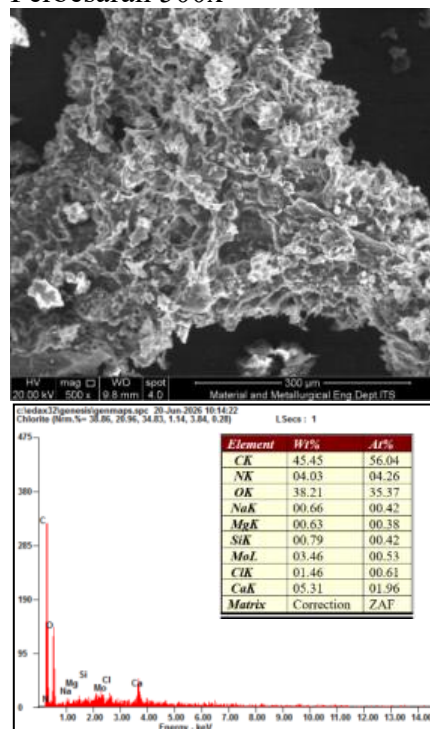


c. Perbesaran 2500x

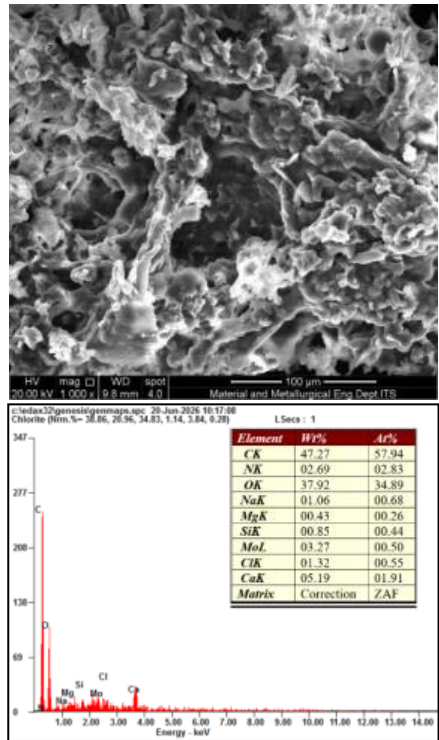


8. Hasil Uji SEM-EDX Lumpur Terbaik

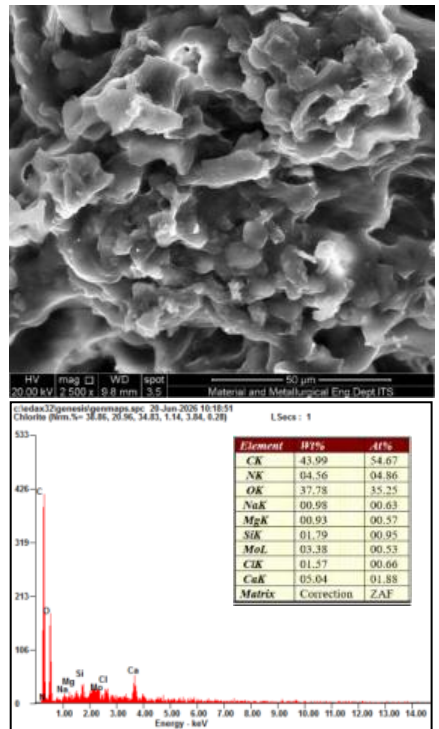
a. Perbesaran 500x



b. Perbesaran 1000x



c. Perbesaran 2500x



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Nabilah Fadhilah Pinkan Sakihasy, lahir di Surabaya pada tanggal 20 April 2004. Penulis telah menyelesaikan Pendidikan formalnya di SDN 1 Sumput, SMPN 40 Surabaya, dan SMA Kartika IV-3 Surabaya. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya pada Program Studi D4-Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan

Kapal pada tahun 2022. Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam beberapa organisasi kampus, diantaranya menjadi Staf Departemen Luar Negeri Mahasiswa LMB selama satu periode, Penulis juga memiliki pengalaman On The Job Training (OJT) di PT Tunas Bestari Adhiwangsa pada bulan Februari – Juli 2025 di konsultan lingkungan, PT Manohara Asri pada bulan Agustus – Desember 2025 sebagai tim *Safety Health and Environment* (HSE). Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi penulis via email nabilahpinkanin@gmail.com. Penulis berharap bahwa penelitian ini akan memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan untuk para pembacanya.