



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (WT43250)

**ANALISIS KUALITAS EFLUEN LIMBAH CAIR KUE KERING
MENGUNAKAN BIOKOAGULASI DENGAN BIJI ASAM JAWA
(*Tamarindus indica*) DAN BIJI ALPUKAT (*Persea
americana Mill*)**

Andiannur Poppy Arsymillah

NRP. 1022040010

DOSEN PEMBIMBING

AYU NINDYAPUSPA, S.T., M.T.

PUSPITA KHUMAIROH, S.T., M.Eng.

PROGRAM STUDI D4 TEKNIK PENGOLAHAN LIMBAH

JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

SURABAYA

2026

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR (WT43250)

ANALISIS KUALITAS EFLUEN LIMBAH CAIR KUE KERING MENGGUNAKAN BIOKOAGULASI DENGAN BIJI ASAM JAWA (*Tamarindus indica*) DAN BIJI ALPUKAT (*Persea americana Mill*)

Andiannur Poppy Arsymillah

NRP. 1022040010

DOSEN PEMBIMBING:

AYU NINDYAPUSPA, S.T., M.T.

PUSPITA KHUMAIROH, S.T., M.Eng.

**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 EFLUEN LIMBAH CAIR KUE
KERING MENGGUNAKAN BIOKOAGULASI DENGAN BIJI
ASAM JAWA (*Tamarindus indica*) DAN BIJI ALPUKAT (*Persea
americana Mill*)

Disusun Oleh:
Andiannur Poppy Arsymillah
1022040010

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 : 20 Juli 2026
Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji

NIDN/NUPTK

Tanda Tangan

- | | | |
|------------------------------------|--------------------|---------|
| 1. Ayu Nindyapuspa, S.T., M.T. | (0458769670230292) | (.....) |
| 2. Puspita Khumairoh, S.T., M.Eng. | (0660772673230292) | (.....) |
| 3. Novi Eka Mayangsari, S.T., M.T. | (8449768669230313) | (.....) |
| 4. Sekarsari Wibowo, S.T., M.T. | (635177767823008) | (.....) |

Dosen Pembimbing

NIDN/NUPTK

Tanda Tangan

- | | | |
|------------------------------------|--------------------|---------|
| 1. Ayu Nindyapuspa, S.T., M.T. | (0458769670230292) | (.....) |
| 2. Puspita Khumairoh, S.T., M.Eng. | (0660772673230292) | (.....) |

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)



PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

No. : F.WD I. 021
Date : 3 Nopember 2015
Rev. : 01
Page : 1 dari 1

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Andiannur Poppy Arsymillah

NRP. : 1022040010

Jurusan/Prodi : Teknik Permesinan Kapal/D4 Teknik Pengolahan Limbah

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

**"ANALISIS KUALITAS EFLUEN LIMBAH CAIR KUE KERING
MENGUNAKAN BIOKOGULASI DENGAN BIJI ASAM JAWA
(Tamarindus indica) DAN BIJI ALPUKAT (Persea americana Mill)"**

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, 29 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



(Andiannur Poppy Arsymillah)
NRP.1022040010

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur, penulis panjatkan atas kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kelimpahan rahmat, hidayah, serta kenikmatan yang tidak terhingga nilainya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Analisis Kualitas Efluen Limbah Cair Kue Kering Menggunakan Biokoagulasi dengan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) dan Biji Alpukat (*Persea americana* Mill)”. Penulisan tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada Program Studi Diploma IV Teknik Pengolahan Limbah di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Penulis juga menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini tidak akan berhasil tanpa bantuan dari berbagai pihak, baik berupa bimbingan, pengarahan dan motivasi sehingga telah memberikan semangat dalam proses penyusunan laporan ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang dalam kepada:

1. Mama, Papa, Kakak Eel, Tole sebagai keluarga penulis. Terima kasih atas segala doa, kasih sayang, perhatian, dukungan, serta semangat yang tidak pernah putus diberikan kepada penulis. Terima kasih telah menjadi tempat pulang, sumber kekuatan, dan pengingat bagi penulis untuk terus berjuang dalam setiap proses kehidupan, termasuk selama penyusunan skripsi ini. Kehadiran dan dukungan keluarga menjadi salah satu alasan penulis mampu bertahan menghadapi berbagai tantangan hingga akhirnya dapat menyelesaikan pendidikan ini. Semoga segala kebaikan, pengorbanan, dan doa yang telah diberikan dibalas dengan kesehatan, kebahagiaan, keberkahan, dan limpahan rahmat dari Allah SWT.
2. Saya sendiri sebagai penulis. Terimakasih atas kerja keras selama 4 tahun kuliah ini, terimakasih atas perjuangan, kesabaran, dan ketekunan selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih karena telah mampu bertahan menghadapi berbagai tantangan, rasa lelah, keraguan, serta berbagai hambatan yang muncul selama perjalanan ini. Terima kasih karena tidak memilih untuk menyerah, tetapi terus berusaha belajar, memperbaiki diri, dan menyelesaikan setiap proses hingga akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan.

3. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T. selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Dr. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.Sc.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal.
5. Ibu Dr. Mirna Apriani, S.T., M.T selaku Koordinator Program Studi Teknik Pengolahan Limbah.
6. Ibu Ayu Nindyapuspa, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah membantu dan mengarahkan penulis selama mengerjakan tugas akhir ini, serta meluangkan waktu selama proses bimbingan tugas akhir.
7. Ibu Puspita Khumairoh, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membantu dan mengarahkan penulis selama mengerjakan tugas akhir ini, serta meluangkan waktu selama proses bimbingan tugas akhir.
8. Ibu Novi Eka Mayangsari, S.T., M.T. dan Ibu Sekarsari Wibowo, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak saran dan masukan dalam penyempurnaan tugas akhir ini.
9. Ibu Ayu Nindyapuspa, S.T., M.T selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Pengolahan Limbah.
10. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Pengolahan Limbah yang telah mendoakan kami serta memberikan ilmu yang bermanfaat selama perkuliahan.
11. Mama, Papa, Kakak Eel, Tole sebagai keluarga penulis. Terima kasih atas segala doa, kasih sayang, perhatian, dukungan, serta semangat yang tidak pernah putus diberikan kepada penulis. Terima kasih telah menjadi tempat pulang, sumber kekuatan, dan pengingat bagi penulis untuk terus berjuang dalam setiap proses kehidupan, termasuk selama penyusunan skripsi ini. Kehadiran dan dukungan keluarga menjadi salah satu alasan penulis mampu bertahan menghadapi berbagai tantangan hingga akhirnya dapat menyelesaikan pendidikan ini. Semoga segala kebaikan, pengorbanan, dan doa yang telah diberikan dibalas dengan kesehatan, kebahagiaan, keberkahan, dan limpahan rahmat dari Allah SWT.
12. Teman-teman "*Hot, Rich, and Thropy wife*" yaitu Adistia puji, Selvy Aulia, dan Lailita Rahma. Terima kasih telah menjadi sahabat yang selalu hadir dalam setiap suka dan duka penulis. Terima kasih karena tidak pernah lelah

mendengarkan keluh kesah, memberikan semangat di saat penulis merasa lelah dan hampir menyerah, serta selalu merayakan setiap pencapaian kecil maupun besar. Kehadiran kalian menjadi rumah kedua bagi penulis, tempat pulang yang selalu menghadirkan rasa nyaman dan aman. Terima kasih telah menemani perjalanan penulis sejak bangku SMP hingga sekarang. Semoga persahabatan yang telah kita bangun selama bertahun-tahun ini akan terus terjaga, dan semoga suatu hari nanti kita benar-benar menjadi "*Hot, Rich, and Trophy Wife*" sesuai dengan doa dan candaan yang selalu kita ucapkan bersama.

13. Teman-teman "SM" yaitu Nabilah Pinkan, Imelda Maharani, Alvidias Dwi, dan Indirra Yasmine yang telah menjadi partner selama masa perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaan, bantuan, kerja sama, dan dukungan yang telah diberikan selama menjalani proses perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Terima kasih telah menjadi teman berdiskusi, berbagi ilmu, saling menyemangati ketika menghadapi kesulitan, serta menciptakan banyak kenangan yang akan selalu penulis ingat. Kehadiran kalian telah membuat perjalanan kuliah terasa lebih ringan, penuh tawa, dan berwarna. Semoga persahabatan ini tetap terjalin dengan baik, dan semoga kita semua diberikan kemudahan untuk meraih cita-cita serta kesuksesan di masa depan.
14. Teman-teman Teknik Pengolahan Limbah angkatan 2022 "IGNESCENT". Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, serta segala pengalaman yang telah kita lalui bersama selama masa perkuliahan. Terima kasih telah menjadi teman belajar, berdiskusi, berbagi cerita, saling membantu dalam berbagai keadaan, serta menciptakan kenangan yang akan selalu penulis kenang. Perjalanan selama menempuh pendidikan terasa lebih bermakna karena kehadiran kalian. Semoga tali silaturahmi tetap terjaga, semoga kita semua diberikan kemudahan dalam meraih cita-cita, sukses di jalan masing-masing, dan dipertemukan kembali dengan cerita-cerita terbaik di masa depan.
15. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu memberikan referensi, memberi pengarahan, saran, nasihat, dan dukungan motivasi pada Tugas Akhir ini

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan di masa mendatang. Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya, serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya pada bidang yang menjadi fokus penelitian

Surabaya, 29 Juli 2026

Penulis

ANALISIS KUALITAS EFLUEN LIMBAH CAIR KUE KERING MENGGUNAKAN BIOKOAGULASI DENGAN BIJI ASAM JAWA (*Tamarindus indica*) DAN BIJI ALPUKAT (*Persea americana Mill*)

Andiannur Poppy Arsymillah.

ABSTRAK

Limbah cair kue kering umumnya memiliki kandungan BOD, COD, TSS, serta minyak lemak yang tinggi dan belum memenuhi baku mutu lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengolahan limbah yang sederhana, ekonomis, dan ramah lingkungan melalui pemanfaatan biokoagulan alami. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi komposisi dan dosis biokoagulan biji asam jawa (*tamarindus indica*) dan biji alpukat (*Persea americana Mill*) terhadap penurunan parameter COD, TSS, serta minyak lemak pada limbah cair UMKM kue kering. Metode penelitian dilakukan secara *batch* dengan skala laboratorium menggunakan uji *jar test* dengan variasi dosis 700, 800, 900 mg/L. Serta variasi kecepatan pengadukan lambat yaitu 30, 40, dan 50 rpm selama 15 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi *removal* tertinggi pada dosis 900 mg/L dengan kecepatan lambat 50 rpm. Perlakuan ini diperoleh efisiensi *removal* TSS sebesar 81,55%, minyak dan lemak sebesar 76,59%, serta COD sebesar 78,88%. Hasil uji MANOVA menunjukkan bahwa variasi dosis biokoagulan berpengaruh signifikan terhadap penurunan COD, TSS, dan minyak dan lemak ($p < 0,05$), sedangkan variasi kecepatan pengadukan lambat berpengaruh signifikan terhadap penurunan COD dan minyak dan lemak, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan TSS ($p > 0,05$).

Kata Kunci: Biji Alpukat, Biji Asam Jawa, *Jar test*, Koagulasi-Flokulasi, Limbah Cair UMKM Kue Kering.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF THE QUALITY OF LIQUID WASTE EFFLUENT FROM DRY COOKIES USING BIOCOAGULATION WITH TAMARIND SEEDS (*Tamarindus indica*) AND AVOCADO SEEDS (*Persea americana* Mill)

Andiannur Poppy Arsymillah

ABSTRACT

Cookie industry wastewater generally contains high concentrations of biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), total suspended solids (TSS), and oil and grease, which often exceed environmental quality standards. Therefore, an alternative wastewater treatment method that is simple, cost-effective, and environmentally friendly is needed using natural biocoagulants. This study aimed to analyze the effects of different composition ratios and dosages of biocoagulants derived from tamarind (*Tamarindus indica*) and avocado (*Persea americana* Mill.) seeds on the reduction of COD, TSS, and oil and grease in wastewater generated by a small-scale cookie industry (SME). The experiment was conducted on a laboratory scale using a batch process and a jar test with biocoagulant dosages of 700, 800, and 900 mg/L. In addition, slow mixing speeds of 30, 40, and 50 rpm were applied for 15 minutes. The results showed that the highest removal efficiencies were achieved at a biocoagulant dosage of 900 mg/L and a slow mixing speed of 50 rpm. Under these conditions, the removal efficiencies of TSS, oil and grease, and COD reached 81.55%, 76.59%, and 78.88%, respectively. The MANOVA results indicated that variations in biocoagulant dosage had a significant effect on the reduction of COD, TSS, and oil and grease ($p < 0.05$). Meanwhile, variations in slow mixing speed had a significant effect on the reduction of COD and oil and grease but did not significantly affect TSS removal ($p > 0.05$).

Keywords : Avocado Seed, Coagulation–Flocculation, Cookie SME Wastewater, Jar Test, Tamarind Seed.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.4.1 Bagi Pelaku Usaha	4
1.4.2 Bagi Peneliti	4
1.4.3 Bagi Perguruan Tinggi	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Karakteristik Limbah Cair UMKM kue kering.....	7
2.2 Biji Asam Jawa.....	7
2.3 Biji Alpukat	8
2.4 Koagulan Alami dengan Biji Asam Jawa.....	10
2.5 Koagulan Alami dengan Biji Alpukat	11
2.6 Koagulasi – Flokulasi.....	11
2.6.1 <i>Jar test</i>	13
2.7 Baku Mutu Air Limbah	14
2.7.1 pH.....	15

2.7.2	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	15
2.7.3	<i>Total Suspended Solid (TSS)</i>	16
2.7.4	Minyak Lemak.....	16
2.8	Penelitian terdahulu	17
BAB III METODE PENELITIAN.....		21
3.1	Alur Penelitian.....	21
3.2	Ide Penelitian	24
3.3	Perumusan Masalah.....	24
3.4	Perumusan Tujuan	24
3.5	Studi Literatur.....	25
3.6	Pengambilan Sampel	25
3.7	Data Primer.....	25
3.8	Lokasi dan Waktu Penelitian	26
3.8.1	Lokasi Penelitian	26
3.8.2	Waktu Penelitian.....	26
3.9	Variabel Penelitian.....	26
3.9.1	Variabel terikat.....	26
3.9.2	Variabel Bebas	26
3.9.3	Variabel Kontrol	26
3.10	Populasi dan Sampel Penelitian.....	27
3.10.1	Populasi Penelitian	27
3.10.2	Sampel Penelitian	27
3.11	Pelaksanaan Penelitian	27
3.11.1	Tahap <i>Pre-Treatment</i>	27
3.11.2	Tahap Uji Karakteristik Biokoagulan	28
3.12	Persiapan Penelitian.....	28

3.12.1	Persiapan Alat.....	28
3.12.2	Persiapan Bahan.....	29
3.13	Preparasi Biji Asam Jawa dan Biji Alpukat	29
3.13.1	Pembuatan Biokoagulan Biji Asam Jawa	29
3.13.2	Pembuatan Biokoagulan Biji Alpukat.....	30
3.14	Uji FTIR.....	30
3.15	Uji SEM EDX	31
3.16	Koagulasi Flokulasi.....	31
3.17	Pengujian Air Limbah	32
3.18	Analisis Data dan Pembahasan	32
3.19	Analisis Data Statistik.....	33
3.20	Kesimpulan dan Saran.....	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		35
4.1	Karakteristisasi Biokoagulan	35
4.1.1	Analisis <i>Fourier Transformed Infrared</i> (FTIR) Serbuk Biji Asam Jawa	35
4.1.2	Analisis <i>Fourier Transformed Infrared</i> (FTIR) Serbuk Biji Alpukat	37
4.1.3	Analisis SEM EDX Serbuk Biji Asam Jawa.....	39
4.1.4	Analisis SEM EDX Serbuk Biji Alpukat	40
4.2	Karakteristik Awal Limbah Cair UMKM Kue Kering.....	42
4.3	Analisis pH Limbah Cair UMKM kue kering.....	43
4.4	Analisis Variasi Dosis dan Pengadukan lambat	44
4.4.1	Analisis Variasi Dosis dan Pengadukan Lambat terhadap Parameter COD	44
4.4.2	Analisis Variasi Dosis dan Pengadukan Lambat terhadap Parameter TSS.....	47

4.4.3	Analisis Variasi Dosis dan Pengadukan Lambat terhadap Parameter Minyak Lemak	49
4.5	Analisis Dosis Optimum Biokoagulan	52
4.6	Analisis Statistik <i>MANOVA</i>	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN 1 Perhitungan Dosis Koagulan		65
LAMPIRAN 2 Perhitungan Larutan.....		67
LAMPIRAN 3 PERHITUNGAN TOTAL SUSPENDED SOLID.....		69
LAMPIRAN 4 PERHITUNGAN MINYAK LEMAK		75
LAMPIRAN 5 DOKUMENTASI.....		81
LAMPIRAN 6 DOKUMENTASI PENGUJIAN TOTAL SUSPENDED SOLID.....		85
LAMPIRAN 7 DOKUMENTASI PENGUJIAN MINYAK LEMAK.....		91
LAMPIRAN 8 DOKUMENTASI HASIL RUNNING UJI MANOVA		97
LAMPIRAN 9 HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM EKSTERNAL ..		100

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Biskuit dan Roti.....	14
Tabel 2. 2 Tabel Penelitian Terdahulu	17
Tabel 3. 1 Jumlah Sampel Penelitian.....	27
Tabel 3. 2 Pengujian Karakteristik Air Limbah (Pre-Treatment)	28
Tabel 3. 3 Pengujian Karakteristik Biokoagulan	28
Tabel 3. 4 Metode pengujian parameter air limbah berdasarkan SNI	32
Tabel 4. 1 Hasil FTIR Serbuk Biji Asam Jawa.....	36
Tabel 4. 2. Hasil FTIR Biji Alpukat (yang benar)	39
Tabel 4. 3 Karakteristik Limbah Cair Kue Kering	42
Tabel 4. 4 Hasil Uji Normalitas Manova.....	53
Tabel 4. 5 Hasil Uji Homogenitas MANOVA	54
Tabel 4. 6 Hasil Uji MANOVA	54

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Biji Asam Jawa	8
Gambar 2. 2 Biji Alpukat.....	9
Gambar 2. 3 Mekanisme koagulasi-flokulasi	13
Gambar 3. 1 Gambar Alur Penelitian	24
Gambar 4. 1 Spektrum Fourier Transformed Infrared (FTIR) Serbuk biji asam jawa	35
Gambar 4. 2. Spektrum Fourier Transformed Infrared (FTIR) Serbuk biji alpukat.....	37
Gambar 4. 3 (a) Gambar ukuran diameter partikel biji asam jawa; (b) Gambar Hasil EDX Serbuk Biji Asam Jawa di Perbesaran 2500x	39
Gambar 4. 4 (a) Gambar ukuran diameter partikel biji alpukat; (b) Gambar Hasil EDX Serbuk Biji Asam Jawa di Perbesaran 2500x	41
Gambar 4. 5 pH limbah cair	43
Gambar 4. 6 Grafik Efisiensi Removal COD	44
Gambar 4. 7 Grafik Efisiensi Removal TSS.....	47
Gambar 4. 8 Grafik Efisiensi Removal Minyak Lemak.....	50

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) merupakan tulang punggung perekonomian nasional yaitu menjadi salah satu andalan dalam peningkatan pertumbuhan ekonomi dan penanggulangan masalah pengangguran dan kemiskinan (Andareswari dkk., 2019). Menurut data kementerian Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM), terdapat sekitar 30,18 juta unit UMKM yang tercatat di Indonesia sampai 31 Desember 2024. Tetapi banyak pelaku UMKM tidak menerapkan pengelolaan limbah yang baik, karena kesadaran dan pengertian para pelaku UMKM tentang pentingnya manajemen limbah masih sangat minim. Banyak yang melihat pengelolaan limbah sebagai beban tambahan yang menghalangi perkembangan usaha mereka. Sebenarnya, pengelolaan limbah yang efektif tidak hanya krusial untuk kelestarian lingkungan, tetapi juga berpotensi memberikan keuntungan ekonomi yang berkelanjutan bagi para pelaku UMKM (Puji & Hariyanti, 2024).

Menurut Habibi dkk (2024) limbah cair pembuatan kue kering mempunyai konsentrasi parameter pencemar yang meliputi pH 4, suhu 29,16°C, minyak & lemak 24,57 mg/l, TSS 3.656,86 mg/l, BOD 3.950,54 mg/l, dan COD 1.1741,31 mg/l. Konsentrasi parameter tersebut masih belum memenuhi baku mutu Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013. Limbah cair yang berasal dari industri, perusahaan, pemukiman, dan lain-lain sebelum dibuang ke lingkungan harus melalui tahap pengolahan limbah terlebih dahulu. Oleh karena itu, diperlukan pengolahan limbah cair yang efektif (Andareswari dkk., 2019). Menurut Nagarajan (2022), Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi parameter , COD, TSS, dan Minyak Lemak adalah *grease trap*, *Dissolved Air Flotation* (DAF), Pengolahan biologis aerobik, klorinasi, koagulasi-flokulasi, adsorpsi. Salah satunya yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu koagulasi-flokulasi.

Koagulan yang umum digunakan adalah aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Namun penggunaan koagulan kimia tersebut sebagai koagulan dapat menimbulkan lumpur yang sangat beracun, sehingga penggunaan bahan koagulan alami sangat diperlukan. Penggunaan koagulan alami memberikan dampak positif bagi lingkungan dikarenakan tidak tercampur dengan bahan kimia (Alazaiza dkk., 2022). Menurut Kristianto (2017), beberapa bahan koagulan alami yang bisa digunakan antara lain tumbuhan yang mengandung pati (beras, jagung, singkong), Kacang-kacangan (kedelai, kacang tanah, kacang hijau), dan limbah buah (biji asam jawa, biji alpukat, biji pepaya)

Limbah biji-bijian yang memiliki potensi dengan ketersediaannya yang cukup melimpah yaitu biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dan biji alpukat (*persea americana Mill*). Biji asam jawa memiliki kandungan protein, tanin, dan antioksidan yang bisa digunakan sebagai koagulan alami pada pengolahan limbah cair (Ayu, 2022). Biji asam jawa memiliki kandungan protein yang tinggi yaitu sekitar $13,6 \pm 1,1\%$, dan memiliki kandungan tanin sebesar $6,5 \pm 0,3\%$ (El-gindy dkk., 2015). Protein yang terkandung dalam biji asam jawa diharapkan dapat berperan sebagai polielektrolit alami, seperti koagulan sintetik. Beberapa penelitian menggunakan larutan NaCl untuk mengekstrak protein dari koagulan yang membantu meningkatkan aktivitas koagulasi melalui kekuatan ioniknya. Keberadaan NaCl juga membantu dalam agregasi partikel yang memungkinkan terjadinya lapisan ganda untuk ekstraksi protein (Budi dkk., 2025). berdasarkan penelitian Putri dkk, (2025) biokoagulan biji asam jawa dengan pelarut NaCl dapat menurunkan TSS dan kekeruhan paling optimal sebesar 66,7% dan 49,2% pada dosis 50 mL dengan konsentrasi pelarut NaCl sebesar 2M.

Selain biji asam jawa, biji alpukat (*Persea americana Mill*) juga bisa digunakan sebagai biokoagulan alami dalam pengolahan limbah dari produksi kue kering skala rumah tangga. Biji alpukat memiliki kandungan zat kimia yang bisa membantu proses pengolahan air dalam koagulasi dan flokulasi seperti senyawa protein dan tanin (Jusra, 2024). Menurut Safitri dkk (2024) kandungan tanin dalam biji alpukat adalah $2,41 \pm 0,9\%$. Tanin merupakan senyawa *phenolic* yang berfungsi sebagai penghambat pertumbuhan bakteri. Selain itu fungsi tanin

juga membentuk larutan koloidal dan bertindak sebagai agen pengikat logam dan partikel tersuspensi (Putri dkk., 2025). Beberapa penelitian menggunakan pelarut etanol 96% untuk mengekstraksi tanin yang ada dalam biji alpukat. Berdasarkan penelitian terdahulu, biji alpukat sebagai koagulan alami mampu menurunkan parameter COD sebesar 89,28%, TSS sebesar 44,67% dan kekeruhan sebesar 94,19% dengan dosis 6 mL dengan pelarut etanol 70% (Robiah dkk., 2026).

Beberapa penelitian juga telah mengeksplorasi gabungan biji asam jawa dan biji alpukat sebagai koagulan alami untuk pengolahan limbah cair. Kombinasi kedua bahan ini memperkuat efektivitas koagulasi-flokulasi karena pada biji asam jawa dan biji alpukat menyediakan protein dan tanin sebagai polielektrolit alami dan membantu pengikatan partikel tersuspensi. Dalam penelitian Assha dkk.,(2025), disebutkan bahwa kombinasi biji asam jawa dan biji alpukat mampu secara signifikan menurunkan konsentrasi COD dan TSS limbah cair dengan efektifitas penurunan tertinggi masing-masing mencapai sekitar 69% dan 88%, menunjukkan bahwa rasio pencampuran yang tepat dapat memaksimalkan kinerja koagulasi alami ini. Dengan hasil tersebut, penggunaan gabungan kedua biji ini menunjukkan potensi besar sebagai alternatif koagulan alami yang ramah lingkungan dan efisien untuk pengolahan limbah industri, terutama bagi skala UMKM yang ingin mengurangi beban limbah tanpa berdampak negatif terhadap lingkungan. Koagulasi-flokulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis koagulan yang digunakan, dosis koagulan yang tepat, dan waktu flokulasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja koagulasi-flokulasi menggunakan campuran biji asam jawa dan biji alpukat sebagai koagulan alami.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana karakteristik biji asam jawa dan biji alpukat sebagai biokoagulan alami?
2. Bagaimana pengaruh variasi dosis koagulan biji asam jawa dan biji alpukat dalam menurunkan parameter COD, TSS, dan

minyak lemak pada proses koagulasi-flokulasi limbah cair UMKM kue kering?

3. Bagaimana pengaruh pengadukan lambat pada proses koagulasi-flokulasi dengan biokoagulan biji asam jawa dan biji alpukat dalam menurunkan parameter COD, TSS, dan minyak lemak pada proses koagulasi-flokulasi limbah cair UMKM kue kering?

1.3 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis karakteristik biji asam jawa dan biji alpukat sebagai biokoagulan alami.
2. Menganalisis pengaruh variasi dosis koagulan biji asam jawa dan biji alpukat dalam menurunkan parameter COD, TSS, dan minyak lemak pada proses koagulasi-flokulasi limbah cair UMKM kue kering.
3. Menganalisis pengaruh pengadukan lambat pada proses koagulasi-flokulasi dengan biokoagulan biji asam jawa dan biji alpukat dalam menurunkan parameter COD, TSS, dan minyak lemak pada proses koagulasi-flokulasi limbah cair UMKM kue kering.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian ini antara lain:

1.4.1 Bagi Pelaku Usaha

Hasil penelitian ini diharapkan menjadi salah satu solusi untuk mengatasi limbah UMKM kue kering dengan menerapkan teknologi pengolahan limbah yang sederhana, terjangkau dan mampu mengurangi parameter pencemar air limbah.

1.4.2 Bagi Peneliti

Hasil dari penelitian Tugas Akhir ini bermanfaat bagi mahasiswa untuk menambah informasi dan wawasan tentang pengolahan air limbah dengan metode koagulasi-flokulasi.

1.4.3 Bagi Perguruan Tinggi

Memberikan data dan kajian sebagai bahan referensi mahasiswa untuk mendukung penelitian lanjutan dengan bidang yang sama

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Penelitian dilakukan dengan sistem *batch* dalam skala laboratorium dengan menggunakan *jar test*.
2. Air Limbah yang dianalisis merupakan air limbah cair UMKM kue kering di Kecamatan Driyorejo, Gresik.
3. Biji asam jawa dan biji alpukat digunakan sebagai koagulan alami.
4. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini adalah pH, COD, TSS, dan minyak lemak.
5. Baku mutu yang digunakan adalah baku mutu air limbah UMKM kue kering sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 tahun 2013.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Cair UMKM kue kering

Limbah cair industri pangan merupakan salah satu jenis limbah yang umumnya memiliki kandungan bahan organik, padatan tersuspensi, serta minyak dan lemak dalam konsentrasi tinggi. Karakteristik tersebut dipengaruhi oleh jenis bahan baku yang digunakan serta proses produksi, seperti pencucian bahan baku, pencampuran adonan, pencetakan, hingga pencucian peralatan. Sisa bahan baku berupa tepung, gula, telur, mentega, margarin, dan minyak goreng yang terbawa bersama air proses menyebabkan meningkatnya konsentrasi bahan organik dan padatan di dalam limbah cair (Alya & Zamrudy, 2023). Karakteristik limbah cair UMKM kue kering umumnya mengandung bahan organik yang tinggi dan padatan yang tinggi. Beberapa parameter pencemar yang tinggi COD 5825,5 mg/l, TSS 3656,9 mg/l, dan minyak lemak 849,4 mg/l. Menurut Habibi dkk (2024), Ketika air limbah tersebut dibuang ke lingkungan tanpa diolah, dapat menyebabkan penurunan kualitas. Oleh karena itu air limbah dengan polutan tinggi memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan.

2.2 Biji Asam Jawa

Tumbuhan asam jawa (*Tamarindus indica* L) termasuk dalam famili *Dikotiledon Fabaceae (leguminsae)*. Tanaman ini tumbuh di lebih dari 50 negara di dunia. Daerah produksi utama berada di negara-negara Asia seperti India, Bangladesh, Sri Lanka, Thailand, dan Indonesia, serta di benua Afrika dan Amerika. Pohon asam jawa dapat menjadi spesies pohon serbaguna, hampir setiap bagiannya memiliki kegunaan. Buahnya mengandung sekitar 55% daging buah, 34% biji, dan 11% cangkang, serta sera dalam polong (El-gindy et al., 2015). Biji asam jawa dapat ditanam secara komersial sebagai perkebunan. Biji asam jawa merupakan limbah pertanian tetapi memiliki potensi untuk dimanfaatkan. Selain itu, sejumlah besar limbah biji asam jawa dibuang dari industri asam jawa (Mahajani, 2020). 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

Sumber : (Ayu, 2022)

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Magnoliophyta*

Kelas : *Magnoliopsida*

Ordo : *Fabales*

Famili : *Fabaceae*

Genus : *Tamarindus*

Spesies : *Tamarindus indica* L

Biji asam jawa merupakan bahan baku yang digunakan dalam pembuatan bubuk inti asam jawa (TKP), polisakarida, perekat, dan tanin. Biji asam jawa juga digunakan untuk keperluan lain dan saat ini semakin penting sebagai sumber protein alternatif, kaya akan beberapa asam amino esensial. Biji asam jawa merupakan sumber protein dan minyak yang baik. Selain itu, biji asam jawa juga memiliki kandungan felonik dan flavonoid yang tinggi yaitu 180,1 mg GAE gDW⁻¹ dan 164,4 mg CE gDW⁻¹ (El-gindy dkk., 2015).

2.3 Biji Alpukat

Buah alpukat (*Persea americana*) termasuk dalam famili *Lauraceae*, yaitu pohon dan semak tropis dan Mediterania. Alpukat berasal dari Meksiko dan Amerika Tengah dan selatan; selama ribuan tahun hingga saat ini (Bahru dkk., 2019). Buah alpukat dianggap sebagai buah paling sehat di dunia karena nilai

gizinya. Daging buahnya merupakan sumber protein, serat, asam lemak tak jenuh tunggal, antioksidan, vitamin, dan mineral yang baik seperti asam folat, asam pantotenat, tembaga, kalium, natrium, vitamin K, dan vitamin B6. Biji alpukat merupakan sumber karbohidrat, lemak, protein, serat makanan (Siol & Sadowska, 2023). Klasifikasi tumbuhan buah alpukat dengan tampilan biji alpukat yang ditampilkan pada Gambar 2.2 yaitu sebagai berikut :



Gambar 2. 2 Biji Alpukat

Sumber : (Jusra, 2024)

Kingdom : *Plantae*

Divisi : *Spermatophyta*

Kelas : *Dicotyledoneae*

Ordo : *Ranunculales*

Famili : *Lauraceae*

Genus : *Persea*

Spesies : *Persea americana mill*

Biji alpukat merupakan salah satu bagian buah yang tidak dapat dimakan dan kurang dimanfaatkan, yangh biasanya dibuang sebagai sisa. Biji alpukat merupakan limbah yang tidak terpakai selama pengolahan daging buah. Limbah biji dapat menimbulkan masalah ekologis yang serius. Namun, pada saat yang sama, biji alpukat juga menarik minat industri sebagai sumber senyawa bioaktif. Komposisi kimianya terdiri dari fitosterol, asam lemak, triterpen, dan dua

glukosida baru dari asam absitat. Aktivitas biologis biji alpukat seperti antioksidan, antihipertensi, fungisida, larvasida, hipolipidemik, dan giardisida (Bahru dkk., 2019)

2.4 Koagulan Alami dengan Biji Asam Jawa

Biji asam jawa merupakan biokoagulan yang mengandung protein di dalamnya, yang berperan sebagai polielektrolit alami dengan fungsi serupa koagulan buatan. Gugus amino yang terdapat dalam biji asam jawa memiliki kemampuan untuk mengikat partikel koloid bermuatan negatif yang kemudian mengalami destabilisasi, menyebabkan terbentuknya partikel berukuran lebih besar, dan pada akhirnya akan mengendap (Wangi & Rahmayanti, 2020).

Zat aktif lain yang terkandung dalam biji asam jawa yaitu tanin dan saponin yang berguna untuk membunuh bakteri dan membentuk larutan koloidal. Polisakarida dan tanin yang terkandung dalam biji asam jawa lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan koagulan kimia (Novita dkk., 2021). Proses koagulasi dengan biji asam jawa biasanya dimulai dengan preparasi biji melalui pengeringan dan penggilingan menjadi serbuk halus, kemudian dilakukan *jar test* dengan variasi dosis untuk mendapatkan efisiensi terbaik (Novita dkk., 2021)

Mekanisme koagulasi–flokulasi menggunakan ekstrak biji asam jawa (*Tamarindus indica*) terjadi melalui peran protein yang bertindak sebagai polielektrolit alami. Gugus aktif amida (N–H) bermuatan positif dan gugus hidroksil (O–H) bermuatan negatif pada ekstrak biji asam jawa berfungsi menetralkan muatan partikel koloid bermuatan negatif dalam air limbah, sehingga menurunkan stabilitas koloid. Setelah netralisasi muatan, partikel-partikel terdestabilisasi mengalami adsorpsi dan pembentukan jembatan antarpartikel (*inter-particle bridging*) yang menghasilkan flok berukuran lebih besar dan lebih berat. Flok yang terbentuk kemudian mudah mengendap pada tahap sedimentasi. Proses ini berlangsung secara simultan antara netralisasi muatan dan adsorpsi, serta dipengaruhi oleh kondisi pengadukan cepat dan lambat yang mendukung pembentukan flok yang stabil dan tidak mudah pecah (Dewi dkk., 2021)

2.5 Koagulan Alami dengan Biji Alpukat

Biji alpukat kaya akan berbagai komponen fungsional dan bioaktif, yaitu polisakarida, protein, lipid, mineral dan vitamin. Biji alpukat mengandung banyak senyawa bioaktif yaitu fenolik, flavonoid, dan tanin terkondensasi. tanin merupakan senyawa polifenol yang memiliki sifat polielektrolit, sehingga mampu menarik partikel koloid bermuatan negatif dalam air limbah dan membentuk flok yang lebih besar dan mudah mengendap. tanin yang memiliki tingkat kelarutan yang tinggi sehingga dapat dipecah dalam air (Jusra, 2024).

Proses koagulasi-flokulasi oleh biji alpukat berlangsung melalui netralisasi muatan dan pembentukan jembatan antar partikel. Gugus fungsional bermuatan positif seperti amina dan amida dalam biji alpukat, yang teridentifikasi melalui FTIR, serta ion logam besi dan aluminium berdasarkan analisis EDX dan XRF, berperan dalam menetralkan partikel bermuatan negatif sehingga mengurangi gaya tolak elektrostatik dan memicu agregasi partikel. Selain itu, molekul polimer biji alpukat seperti selulosa dan lignin berkontribusi melalui mekanisme adsorpsi dan particle bridging, membentuk mikroflok yang berkembang menjadi makroflok selama proses pengadukan. Kombinasi mekanisme tersebut memungkinkan biji alpukat secara efektif mendestabilisasi dan menghilangkan pencemar partikulat seperti zat warna, tanah liat, dan padatan tersuspensi (Zourif dkk., 2024).

2.6 Koagulasi – Flokulasi

Koagulasi adalah proses penambahan bahan koagulan ke dalam air limbah untuk mendestabilisasikan antar partikel koloid, sehingga partikel-partikel tersebut bergabung menjadi flok-flok kecil. Flokulasi merupakan proses lanjutan koagulasi dimana partikel yang terdestabilisasi akan membentuk partikel yang lebih besar (Jusra, 2024).

Menurut Rahimah dkk (2016), koagulasi-flokulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, diantaranya:

a. Suhu

Saat suhu air rendah, maka pH yang optimum serta pembubuhan dosis pada proses koagulasi berubah, sehingga mempengaruhi efisiensi pada proses koagulasi.

b. Derajat Keasaman (pH)

pH yang tidak optimum akan menyebabkan proses koagulasi akan berjalan tidak baik. Untuk tiap jenis koagulan mempunyai pH optimum yang berbeda beda satu sama lainnya.

c. Jenis Koagulan

Pemilihan jenis koagulan didasarkan pada segi ekonomis dan efektivitas dalam koagulan. Koagulan dalam bentuk larutan biasanya lebih efektif daripada bentuk serbuk atau butiran.

d. Tingkat kekeruhan

Saat tingkat kekeruhan rendah, proses destabilisasi akan sukar terjadi, sebaliknya saat tingkat kekeruhan tinggi maka proses destabilisasi akan berlangsung lebih cepat dengan syarat dosis koagulan yang cukup.

e. Dosis Koagulan

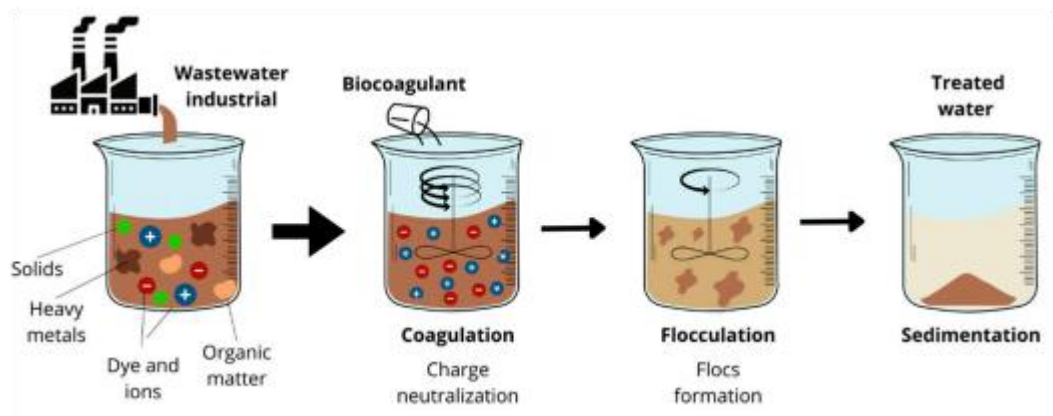
Dosis koagulan yang cukup akan membuat proses pembentukan inti flok berjalan dengan baik, dikarenakan inti flok sangat bergantung pada dosis koagulan.

f. Kecepatan Pengadukan

Kecepatan pengadukan sangat berpengaruh dikarenakan tujuan dari pengadukan adalah untuk mencampurkan koagulan ke dalam air limbah. Saat proses pengadukan, hal yang harus diperhatikan adalah pengadukan yang merata sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel atau ion-ion yang berada dalam air. Apabila pengadukan terlalu lambat mengakibatkan flok akan terbentuk lebih lama dan sebaliknya jika pengadukan terlalu cepat maka flok yang seharusnya terbentuk akan pecah.

Mekanisme koagulasi diawali ketika gugus aktif pada biokoagulan, seperti gugus hidroksil ($-OH$), karbonil ($C=O$), dan amida ($-CONH-$),

berinteraksi dengan partikel koloid yang umumnya bermuatan negatif di dalam air limbah. Partikel koloid bermuatan sejenis saling tolak-menolak sehingga tetap stabil dan terdispersi. Interaksi antara gugus aktif biokoagulan dengan permukaan partikel menyebabkan destabilisasi koloid melalui penurunan gaya tolak elektrostatis sehingga partikel menjadi tidak stabil (Kristianto dkk., 2022). Setelah gaya tolak berkurang, partikel dapat saling mendekat dan mengalami agregasi. Selanjutnya, molekul protein dan polisakarida yang memiliki rantai polimer pada biokoagulan teradsorpsi pada permukaan beberapa partikel secara bersamaan sehingga membentuk jembatan antarpartikel (Jennifer dkk., 2020). Mekanisme ini menghasilkan mikroflok yang kemudian berkembang menjadi makroflok selama proses pengadukan lambat. Pengadukan cepat berfungsi mendispersikan biokoagulan secara merata dan meningkatkan frekuensi tumbukan awal, sedangkan pengadukan lambat memungkinkan flok tumbuh menjadi lebih besar dan stabil tanpa mudah pecah. Flok yang terbentuk memiliki ukuran dan massa yang lebih besar sehingga mudah mengendap pada tahap sedimentasi (Jennifer dkk., 2020).



Gambar 2. 3 Mekanisme koagulasi-flokulasi

Sumber : (Machado & Farias, 2025)

2.6.1 Jar test

Metode *jar test* adalah prosedur laboratorium penting dalam pengolahan air limbah yang digunakan untuk menentukan dosis koagulan

dan kondisi operasi yang paling efektif dalam proses koagulasi-flokulasi. Uji ini biasanya dilakukan sebelum implementasi sistem pengolahan air skala besar. Uji ini melibatkan beberapa sampel dengan volume yang sama dimasukkan dalam gelas beaker. Setiap wadah diaduk dengan variasi dosis, kecepatan, dan sebagainya yang diinginkan oleh peneliti, lalu pembentukan flok diamati. Wadah akan dibiarkan mengendap selama periode tertentu. Setelah periode pengendapan, air di setiap sampel akan dianalisis untuk mengetahui kadar parameter pencemarnya (Tahraoui dkk., 2024). *jar test* dapat dimanfaatkan sebagai rangkaian pengolahan air, penentu tingkat pengadukan, waktu pengadukan, waktu sedimentasi, jenis dan bahan koagulan yang akan digunakan (Reza, 2021).

2.7 Baku Mutu Air Limbah

Baku mutu air limbah kue kering diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. Peraturan ini menetapkan batas maksimum unsur pencemar yang boleh dibuang ke badan air, dengan tujuan mencegah pencemaran dan menjaga kualitas air sesuai peruntukannya. Pada UMKM kue kering, baku mutu yang digunakan adalah baku mutu industri biskuit dan bakery yang memiliki Beberapa parameter utama yang diatur dapat dilihat dalam Tabel 2.1 Berikut:

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Biskuit dan Roti

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)
BOD ₅	85
COD	150
TSS	80
Minyak dan Lemak	10
pH	6-9

2.7.1 pH

pH merupakan indikator keasaman atau kebasaan suatu larutan, jika pH terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat merusak kehidupan mikro-organisme dalam air (Darmawan dkk., 2023). Proses koagulasi-flokulasi akan berjalan dengan baik jika berada pada pH yang optimum untuk menentukan dosis koagulan, karena sifat kimia koagulan akan sangat bergantung pada pH. Adanya batasan nilai pH terjadi karena pengaruh jenis koagulan dalam menentukan konsentrasi koagulan yang akan digunakan (Jusra, 2024). pH normal memiliki nilai 7, bila nilai $\text{pH} < 7$ menunjukkan bahwa larutan tersebut bersifat asam dan sebaliknya jika nilai $\text{pH} > 7$ maka larutan tersebut bersifat basa. Semakin kecil nilai pH maka larutan tersebut semakin asam, sedangkan semakin besar nilai pH maka larutan tersebut semakin basa. (Muhajir dkk., 2024).

2.7.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD merupakan salah satu parameter kunci untuk mengetahui tentang keefektifan dari proses koagulasi flokulasi, karena COD menunjukkan kebutuhan oksigen untuk menguraikan bahan organik dan anorganik dalam air. Semakin tinggi nilai COD, maka semakin tinggi pula kandungan pencemarnya (Ruby & Eddy, 2025). Selain itu, Tingkat COD yang tinggi menandakan banyaknya jumlah bahan organik yang teroksidasi pada sampel, yang akan mengurangi tingkat oksigen terlarut (DO). Saat DO mengalami penurunan, maka dapat menyebabkan kondisi anaerob, yang dapat merusak kehidupan air. Tes COD sering digunakan sebagai alternatif untuk BOD karena waktu analisa yang lebih singkat (Sri, 2019).

Prinsip pengujian COD berdasarkan SNI 6989.2:2009 yakni zat organik dioksidasi oleh kalium dikromat dalam refluks tertutup selama 2 jam dengan suhu 150°C menghasilkan Cr^{3+} . Jumlah oksidan yang dibutuhkan dinyatakan dalam ekuivalen oksigen (O_2 mg/l) diukur secara Spektrofotometri Sinar Tampak dan terbaca sebagai absorban Untuk nilai COD 100 mg/L sampai dengan 900 mg/L, kenaikan Cr^{3+} ditentukan pada panjang

gelombang 600 nm. Untuk nilai COD ≤ 90 mg/L penurunan konsentrasi $Cr_2O_7^{2-}$ ditentukan pada panjang gelombang 420 nm. Pada contoh uji dengan nilai COD yang lebih tinggi, dilakukan pengenceran terlebih dahulu.

2.7.3 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) adalah bahan-bahan tersuspensi dan tidak larut dalam air. Padatan tersuspensi terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil daripada sediment. Misalnya bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikro, tanah liat dan dll (Gusti dkk., 2022).

Pengukuran TSS biasanya dilakukan dengan metode gravimetri, yaitu menyaring sampel air dengan menggunakan kertas saring berukuran pori 0,45 μm . Kemudian residu yang tertahan dikeringkan hingga mencapai berat konstan pada suhu 103-105°C. Kenaikan berat kertas saring setelah proses pengeringan mewakili konsentrasi TSS dalam air limbah. Nilai TSS sering digunakan indikator efektivitas proses pengolahan limbah, karena penurunan TSS menunjukkan bahwa partikel-partikel padat telah berhasil dihilangkan (Hermansyah dkk., 2024).

Kadar TSS yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kualitas air, seperti menurunnya penetrasi cahaya dan ketersediaan oksigen terlarut, yang berdampak negatif terhadap kehidupan makhluk hidup dalam air. Oleh karena itu, pengolahan limbah harus dirancang untuk menurunkan TSS secara efisien agar memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh regulasi lingkungan, beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa proses sedimentasi dan koagulasi efektif dalam menurunkan kadar TSS pada limbah cair, baik limbah domestik maupun industri (D. Arum, 2019).

2.7.4 Minyak Lemak

Minyak lemak adalah senyawa lipid yang berasal dari bahan nabati maupun hewani yang tidak larut dalam air. Komponen minyak lemak terdiri atas trigliserida (ester asam lemak dan gliserol) yang memiliki densitas lebih rendah daripada air yang mengapung pada permukaan air limbah. Minyak lemak dapat berbentuk cair, semi padat, atau padat tergantung pada suhu dan

komposisinya, serta terdiri dari campuran asam lemak jenuh dan tidak jenuh (Ahmed dkk., 2025).

Minyak lemak dihasilkan dari kegiatan domestik dari industri makanan seperti pencucian alat masak, sisa makanan, pengolahan daging, dan rumah makan/restoran. Dalam sistem pengelolaan air limbah, minyak lemak yang masuk melalui saluran pembuangan cenderung untuk menumpuk dan mengendap di bagian atas yang mengakibatkan akumulasi yang bisa mengurangi kemampuan aliran atau bahkan menyumbat saluran air limbah secara total, minyak lemak dalam jumlah besar juga memperberat beban polutan, karena minyak lemak menyulitkan proses pengolahan biologis dan fisik jika tidak dihilangkan terlebih dahulu (Ahmed dkk., 2025)

2.8 Penelitian terdahulu

Tabel 2. 2 Tabel Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Tahun	Hasil Penelitian
1.	Setyo Budi Kurniawan, Azzahra Aulia Haya, Thin Soedarti, Eko Prasetyo Kuncoro, Łukasz Śługocki, Kacper Nowakowski, Peer Mohamed Abdul, Muhammad Fauzul Imron	2025	Biokoagulan biji asam jawa sebagai koagulan dapat <i>meremoval</i> BOD, COD pada kondisi optimum yaitu menggunakan ekstraksi NaCl 0,5 M dengan konsentrasi 6 g/L, dan dosis 4%) diperoleh <i>removal</i> yang tinggi terhadap <i>turbidity</i> dan TSS masing-masing sekitar 90% dan 87%, serta penurunan amonia sekitar 68%. sementara itu, efisiensi penurunan BOD ₅ , COD, dan total nitrogen relatif lebih rendah yaitu 19,3%, 38,9%, dan 28,5%.
2	Siva Hiyaul	(2025)	Kombinasi biokoagulan biji asam jawa dan

No	Nama Peneliti	Tahun	Hasil Penelitian
	Assha, Wilma Nurrul Adzilla, Nadia Amanah		biji alpukat untuk menurunkan parameter pencemar limbah tahu dengan parameter utama COD dan TSS dengan metode <i>jar test</i> . Limbah awal memiliki COD 351,22 mg/L, TSS 386,67 mg/L. pada dosis total 4 g/L, diperoleh penurunan COD tertinggi sebesar 69% pada rasio 70:30 dan penurunan TSS tertinggi sebesar 88% pada rasio 50:50.
3.	Jusra Risnawati	2024	Ekstrak biji alpukat (<i>Persea americana Mill</i>) sebagai biokoagulan pada pengolahan air limbah tahu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ekstrak biji alpukat mampu menurunkan COD hingga 41% dan TSS hingga lebih dari 40% pada dosis optimum, serta memperbaiki kondisi pH limbah mendekati netral
4.	Annisa Syamsudin	2024	Biokoagulan biji asam jawa yang diekstraksi menggunakan larutan NaCl untuk menurunkan TSS dan kekeruhan air limbah laundry melalui metode koagulasi-flokulasi menggunakan <i>jar test</i> . variasi dosis yang digunakan adalah 10 – 50 mL, dengan variasi konsentrasi pelarut NaCl sebesar 0,5-2M. hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penurunan TSS tertinggi sebesar 66,7% dan kekeruhan sebesar 49,2% diperoleh pada dosis 50 mL dengan konsentrasi NaCl 2 M.
5.	Fauzia Nurmala Ayu Pramesti	2023	Koagulan yang digunakan merupakan koagulan alami, yaitu biji alpukat, biji salak, dan kulit jeruk. Variasi dosis koagulan yang

No	Nama Peneliti	Tahun	Hasil Penelitian
			diuji pada masing-masing bahan adalah 1,3; 3; dan 4,5 g/L limbah untuk menurunkan kekeruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biokoagulan biji alpukat mampu menurunkan kekeruhan sebesar 33,71% dengan dosis 1,5 gr.
6.	Rofiul Hidayah, Hefni Effendi, Sigid Hariyadi	2022	Biji asam jawa sebagai koagulan alami untuk menurunkan parameter pencemar limbah cair tambang emas berupa TSS, COD, dan merkuri (Hg). Variasi dosis koagulan yang digunakan adalah 0,3; 0,4; dan 0,5 g/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan TSS tertinggi sebesar 96,95% diperoleh pada dosis 0,4 g/L, sedangkan penurunan COD tertinggi sebesar 76,74% dan penurunan merkuri tertinggi 93,03% diperoleh pada dosis 0,3 g/L.
7.	Agustin Dewi, Eri Eva Rustanti, Hermiyanti Pratiwi, Nerawati Diana A.T, Narwati	2021	Ekstrak biji asam jawa (<i>Tamrindus indica</i>) yang diekstraksi menggunakan NaCl sebagai biokoagulan. Variasi dosis biokoagulan yang digunakan berkisar antara 10 – 60 mg/L, dan dosis optimum diperoleh pada 40 mg/L dengan efisiensi penurunan kekeruhan mencapai sekitar 90%. hasil ini menunjukkan bahwa ekstrak biji asam jawa berbasis NaCl efektif sebagai koagulan alami alternatif pengganti koagulan kimia.

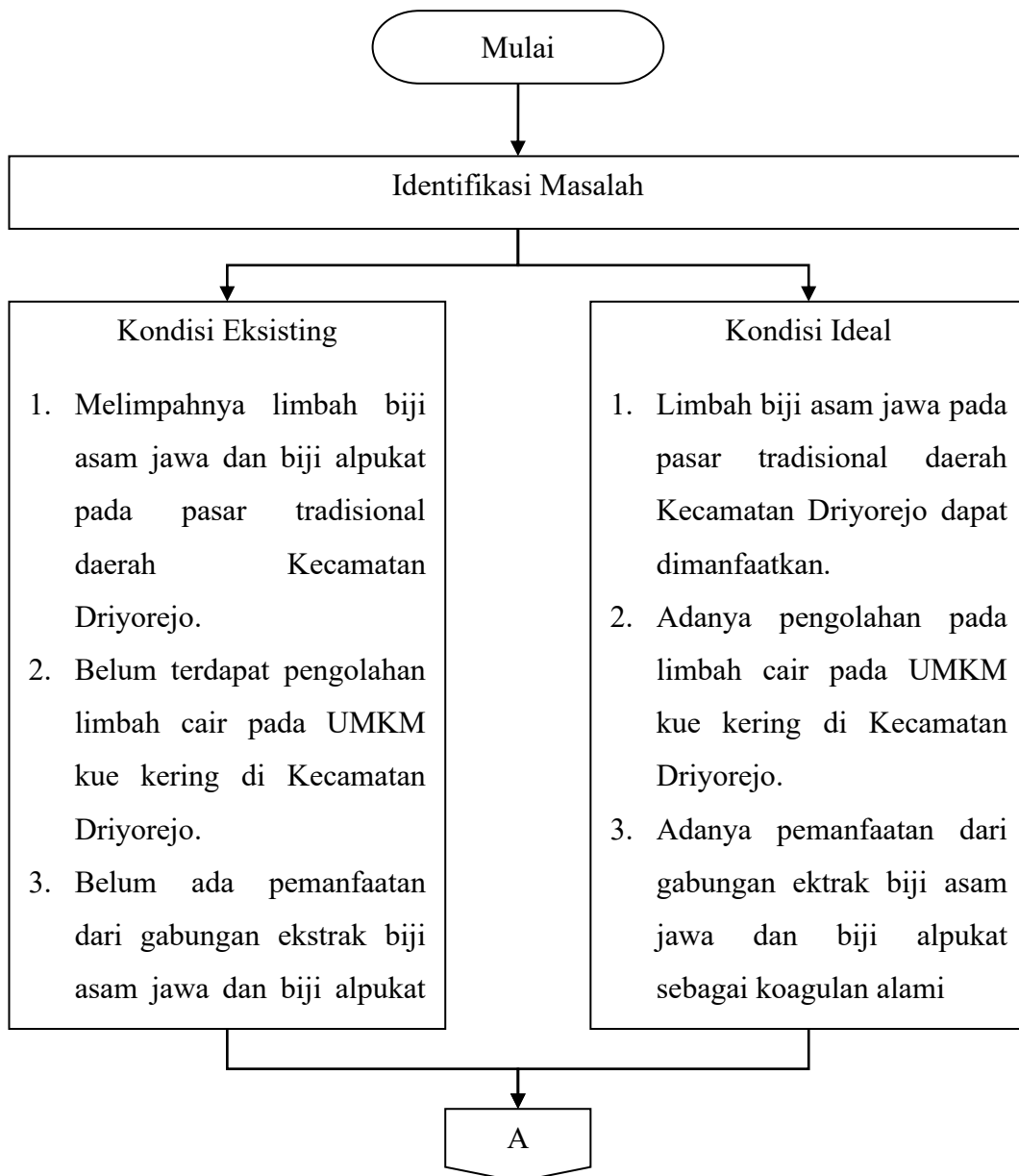
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

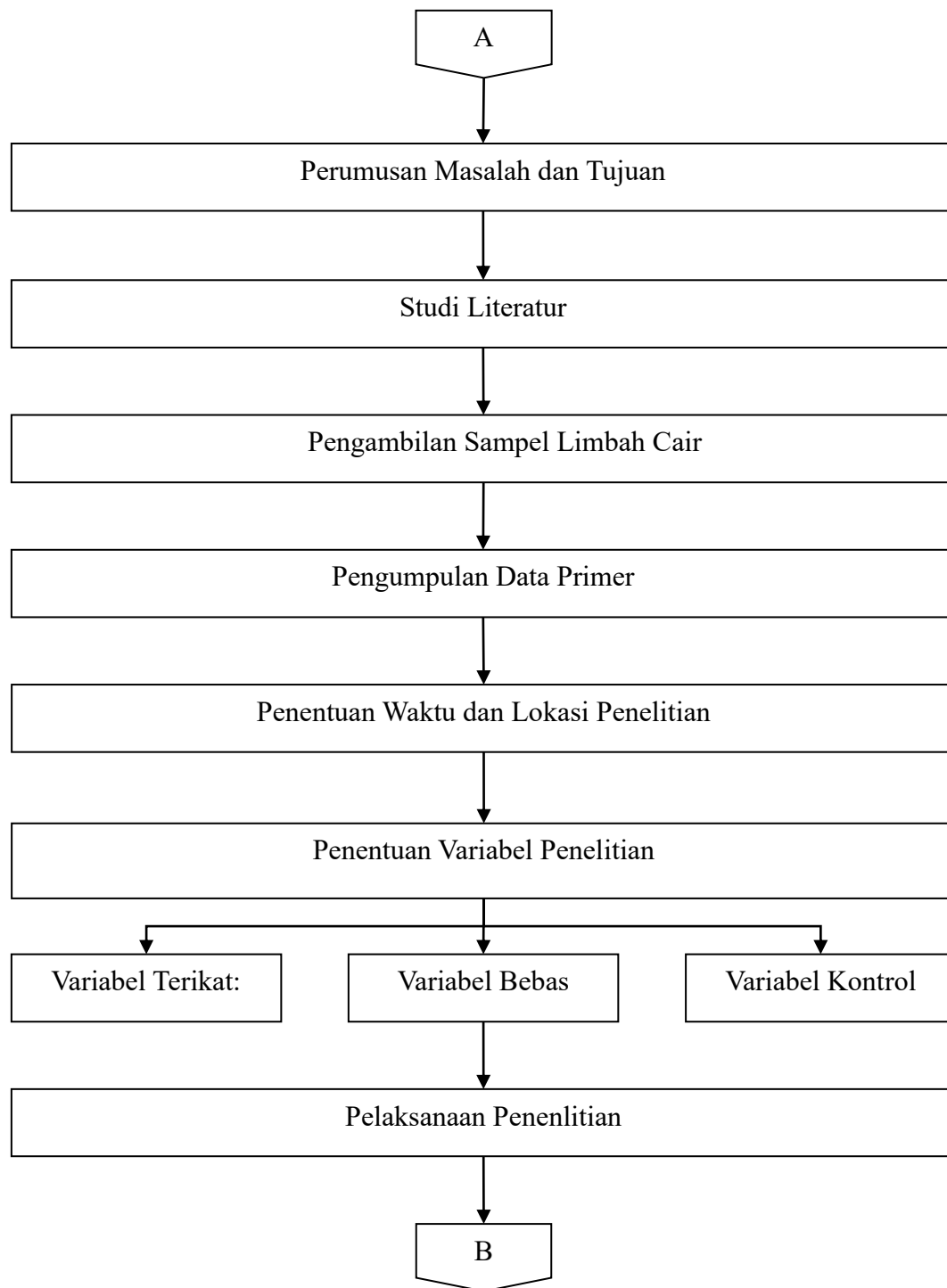
BAB III

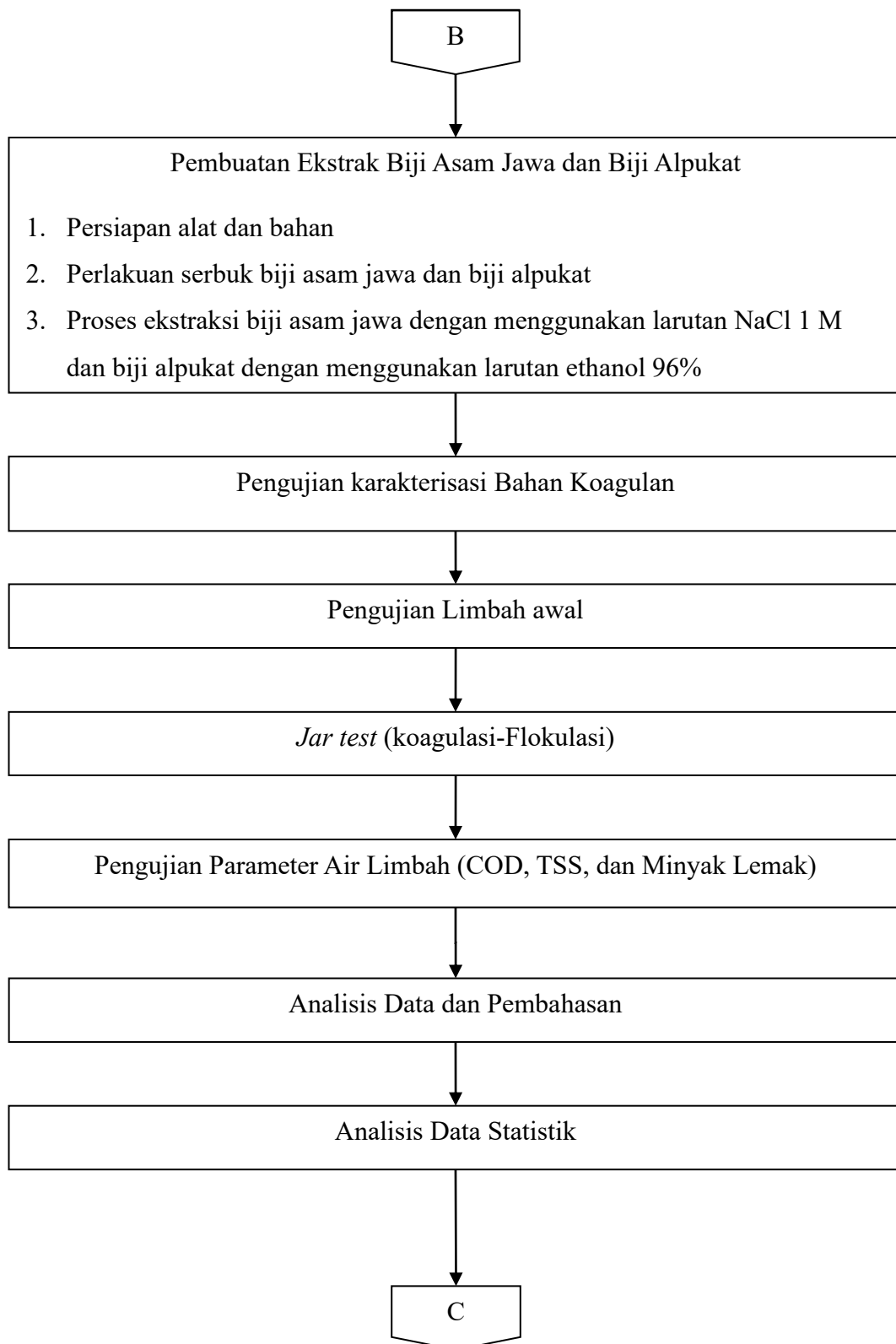
METODE PENELITIAN

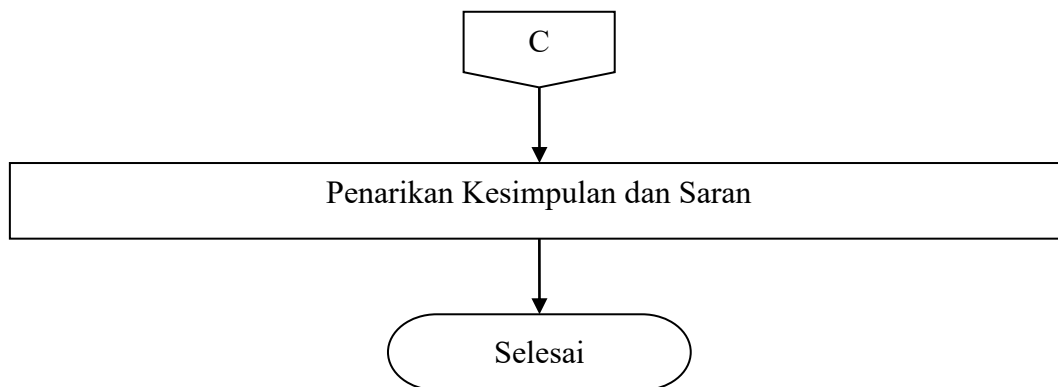
3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian adalah konsep pada penelitian yang saling berhubungan. Tahap ini menggambarkan variabel yang berhubungan secara detail dan matematis. Berikut adalah kerangka penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1









Gambar 3. 1 Gambar Alur Penelitian

3.2 Ide Penelitian

Pesatnya pertumbuhan industri makanan ringan meningkatkan volume limbah cair dengan kandungan pencemar tinggi seperti COD, TSS, dan minyak lemak, sehingga diperlukan metode pengolahan yang efektif dan ramah lingkungan. Koagulasi-flokulasi dipilih karena mampu menurunkan pencemar, namun penggunaan koagulan sintesis menimbulkan residu beracun. Oleh karena itu, biokoagulan dari biji asam jawa dan biji alpukat yang mengandung protein dan tanin dipilih sebagai alternatif koagulan alami. Penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi kinerja campuran kedua biji tersebut melalui variasi komposisi bahan koagulan dan dosis guna memperoleh kondisi optimum penurunan pencemar hingga memenuhi baku mutu limbah industri cair makanan ringan.

3.3 Perumusan Masalah

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

pengadukan lambat pada proses koagulasi-flokulasi dalam menurunkan kadar COD, TSS, minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.

3.5 Studi Literatur

Penelitian ini menggunakan studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh informasi yang relevan serta sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian. Keseluruhan kegiatan penelitian dilakukan dengan mengacu pada jurnal ilmiah, peraturan pemerintah, SNI, skripsi, dan penelitian terdahulu. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi karakteristik limbah cair UMKM kue kering, karakteristik biji asam jawa dan biji alpukat, Proses koagulasi-flokulasi, koagulan alami biji asam jawa dan biji alpukat, baku mutu air limbah Pergub Jatim No.72 tahun 2013, uji SEM EDX, uji Manova, dan penelitian terdahulu terkait biokoagulan biji asam jawa dan biji alpukat

3.6 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan pada satu titik dengan menggunakan cara *grab sample*. Pengambilan sampel dilakukan pada saluran sebelum masuk ke perairan penerima air limbah. Sampel yang telah diambil selanjutnya akan dianalisis di Laboratorium. Untuk memastikan sampel representatif terhadap karakteristik limbah, pengambilan dilakukan pada jam operasional produksi puncak pukul 09.00-11.00.

3.7 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, TSS, serta minyak dan lemak untuk mengetahui kualitas limbah cair dari UMKM kue kering sebelum dan setelah analisis *jar test*. 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.

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 ekstraksi NaCl biji asam jawa dan biji alpukat
2. Laboratorium Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya untuk uji parameter COD, TSS, minyak lemak.
3. Laboratorium Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) untuk Pengujian FTIR dan uji SEM EDX.

3.8.2 Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Januari hingga Juni 2026.

3.9 Variabel Penelitian

Pada Penelitian ini variabel yang digunakan adalah sebagai berikut:

3.9.1 Variabel terikat

Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu efisiensi penyisihan COD, TSS, dan minyak lemak dari pengolahan koagulasi-flokulasi. Nilai efisiensi ditunjukkan dari hasil penurunan konsentrasi BOD, COD, TSS, dan minyak lemak.

3.9.2 Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variasi komposisi bahan koagulan yaitu , variasi dosis koagulan yaitu 700, 800, 900 mg/L serta variasi pengadukan lambat yaitu 30, 40, dan 50 rpm selama 15 menit

3.9.3 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.

3.10 Populasi dan Sampel Penelitian

3.10.1 Populasi Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah limbah cair dari produksi kue kering skala rumah tangga

3.10.2 Sampel Penelitian

Sampel penelitian ini dilakukan saat melakukan pengujian *jar test* terhadap biokoagulan kombinasi dari biji asam jawa dan biji alpukat. Berikut ini jumlah sampel yang dibutuhkan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Jumlah Sampel Penelitian

Sampel AJ : AL	Dosis		700 mg/L		800 mg/L		900 mg/L	
200/30	R1	R1'	R2	R2'	R3	R3'		
200/40	R4	R4'	R5	R5'	R6	R6'		
200/50	R7	R7'	R8	R8'	R9	R9'		
Jumlah sampel = 9 sampel								
Duplo = 18 sampel								

3.11 Pelaksanaan 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 1 M. Pada pengujian karakteristik air limbah dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Pengujian Karakteristik Air Limbah (*Pre-Treatment*)

Jenis Limbah	Parameter Pengujian		
	COD	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 Eelectron Microscopy (SEM). Pengujian karakteristik biokoagulan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Pengujian Karakteristik Biokoagulan

Jenis Biokoagulan	Pengujian Karakteristik	
	FTIR	SEM
Setelah proses ekstraksi		
Biji Asam Jawa	A1	A2
Biji Alpukat	B1	B2
Jumlah Sampel	4 Sampel	

3.12 Persiapan Penelitian

3.12.1 Persiapan Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Oven
2. pH meter
3. Desikator
4. Timbangan analitik
5. Blender
6. Magnetik *stirrer*

7. Ayakan 100 mesh
8. *Glassware* (gelas ukur, pipet volumetrik, pipet tetes, *beaker glass*)
9. Sendok/spatula
10. Corong dan kertas saring

3.12.2 Persiapan Bahan

1. Sampel air limbah UMKM kue kering
2. Biji asam jawa matang sempurna
3. Biji alpukat
4. Larutan etanol 96%
5. Larutan NaCl 1 M
6. Aquades

3.13 Preparasi Biji Asam Jawa dan Biji Alpukat

3.13.1 Pembuatan Biokoagulan Biji Asam Jawa

Tahapan pembuatan ekstrak pada biji asam jawa adalah sebagai berikut:

1. Biji asam jawa dikumpulkan dan dibersihkan dari sisa daging buahnya
2. Dikeringkan menggunakan oven untuk menurunkan kadar air pada suhu 105°C selama 30 menit
3. Dihaluskan menggunakan blender dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam.
4. Serbuk biji asam jawa diambil 100 gram lalu diekstraksi secara maserasi menggunakan larutan NaCl 1 M sebanyak 1000 mL
5. Maserasi diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam dengan suhu 65°C
6. Disaring dengan menggunakan *vacuum filter* untuk mendapatkan residu.
7. Hasil residu diuji karakteristiknya menggunakan FTIR dan SEM, serta hasil filtrat untuk proses koagulasi-flokulasi.

3.13.2 Pembuatan Biokoagulan Biji Alpukat

1. Biji alpukat dipisahkan dari daging buah, kemudian dicuci menggunakan air mengalir hingga bersih untuk menghilangkan sisa daging buah.
2. Biji alpukat dipotong menjadi ukuran lebih kecil untuk mempercepat proses pengeringan
3. Biji alpukat dioven pada suhu 105°C selama 30 menit untuk menghilangkan kadar airnya
4. Dihaluskan menggunakan blender dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh untuk mendapatkan ukuran partikel yang seragam.
5. Serbuk biji asam jawa diambil sebanyak 100 gram dan dimasukkan pada wadah tertutup, kemudian ditambahkan 1000 mL pelarut etanol 96%
6. Proses maserasi dilakukan selama 3 x 24 jam pada suhu ruang, dan sesekali diaduk secara berkala untuk meningkatkan kontak antara pelarut dan bahan.
7. Disaring dengan menggunakan *vacuum filter* untuk mendapatkan residu.
8. Hasil residu diuji karakteristiknya menggunakan FTIR dan SEM, serta hasil filtrat untuk proses koagulasi-flokulasi

3.14 Uji FTIR

Pengujian FTIR dilaksanakan untuk mengidentifikasi informasi mengenai gugus fungsi yang terdapat pada biji asam jawa dan biji alpukat. Analisis FTIR bekerja dengan mendeteksi serapan radiasi inframerah oleh ikatan kimia pada sampel sehingga menghasilkan spektrum yang menunjukkan karakteristik gugus fungsi berdasarkan bilangan gelombang tertentu. Spektrum yang diperoleh dianalisis dengan mengidentifikasi posisi puncak serapan (peak) dan membandingkannya dengan literatur untuk mengetahui keberadaan gugus fungsi yang berperan dalam mekanisme koagulasi, seperti gugus hidroksil ($-OH$), karbonil ($C=O$), amina ($-NH$), serta gugus aromatik yang berkaitan dengan senyawa tanin, protein, dan polisakarida (Widyastuti, 2023).

3.15 Uji SEM EDX

SEM adalah alat yang digunakan untuk memvisualisasikan permukaan sampel pada skala mikroskopis dengan resolusi tinggi. Prinsip kerja SEM melibatkan penggunaan pancaran sinar elektron berenergi tinggi untuk memvisualisasikan permukaan suatu objek atau material. Ketika permukaan bahan disinari oleh elektron, permukaan tersebut memantulkan kembali berkas elektron, termasuk elektron sekunder, ke berbagai arah. Di antara semua berkas elektron yang dipantulkan, terdapat berkas dengan intensitas tertinggi. Detektor pada SEM akan mengidentifikasi pancaran elektron dengan intensitas tertinggi yang berasal dari objek atau material yang dianalisis. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi dibandingkan dengan cahaya; sementara cahaya hanya dapat mencapai resolusi hingga 200 nm, resolusi elektron dapat mencapai 0,1 hingga 0,2 nm (Muthia, 2025)

SEM umumnya dipadukan dengan Energy Dispersive X-ray (EDX) sehingga mampu memberikan informasi tidak hanya mengenai morfologi permukaan, tetapi juga komposisi unsur penyusun suatu material. EDX merupakan teknik analisis yang bekerja berdasarkan deteksi sinar-X karakteristik yang dipancarkan oleh atom-atom sampel ketika ditembak menggunakan berkas elektron berenergi tinggi. Setiap unsur menghasilkan energi sinar-X yang berbeda sehingga spektrum yang diperoleh dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis unsur serta menentukan komposisi unsur secara kualitatif maupun semikuantitatif pada permukaan sampel. Dengan kombinasi SEM-EDX, analisis dapat dilakukan secara simultan untuk mengetahui hubungan antara morfologi permukaan dengan distribusi unsur penyusun material, sehingga teknik ini banyak digunakan dalam karakterisasi material, biomaterial, dan koagulan alami (Kustomo, 2020)

3.16 Koagulasi Flokulasi

Pada proses *jar test* menggunakan koagulan ekstrak biji asam jawa dan biji alpukat menggunakan limbah cair usaha kue kering sebanyak 500 mL tiap sampel. Biokoagulan kombinasi dibuat dengan mencampurkan ekstrak serbuk biji asam jawa dan biji alpukat 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, TSS, serta minyak dan lemak.

3.17 Pengujian Air Limbah

Pada tahap pengujian air limbah dilakukan pengujian awal terlebih dahulu untuk parameter COD, TSS, dan minyak lemak sebelum dilakukan *jar test*. Selanjutnya dilakukan pengujian untuk parameter pH saat dilakukan *jar test* dan pengujian untuk parameter COD, TSS, dan minyak lemak setelah dilakukan proses koagulasi flokulasi. Adapun parameter yang dianalisis seperti tabel 3.4 berikut:

Tabel 3. 4 Metode pengujian parameter air limbah berdasarkan SNI

Parameter	Metode Analisis
COD	SNI 6989.2:2019
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 alpukat. Parameter yang dianalisis meliputi COD, TSS, dan minyak lemak. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk diagram batang untuk menunjukkan tren penurunan masing-masing parameter akibat variasi dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat.

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

Setelah itu pembahasan mengenai hasil pengujian kualitas bahan koagulan sebelum dan sesudah koagulasi-flokulasi yang meliputi Uji FTIR dan Uji SEM. Pengujian ini berguna untuk menganalisis karakteristik kimia, komposisi, serta morfologi koagulan yang mempengaruhi kinerja bahan koagulan dalam mengidentifikasi partikel koloid dan membentuk flok

3.19 Analisis Data Statistik

Hasil analisis data yang diperoleh selama penelitian selanjutnya diolah menggunakan uji statistika untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Analisis statistika pada penelitian ini dilakukan menggunakan Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) dengan bantuan perangkat lunak IBM SPSS Statistics. Uji MANOVA digunakan karena penelitian memiliki lebih dari satu variabel dependen, yaitu efisiensi penyisihan COD, TSS, dan minyak lemak, yang dianalisis secara simultan terhadap variabel independen berupa dosis koagulan dan kecepatan pengadukan lambat (Mishra dkk., 2021).

Sebelum dilakukan uji MANOVA, terlebih dahulu dilakukan uji asumsi yang meliputi uji normalitas dan uji homogenitas varians-kovarians. Apabila data memenuhi asumsi tersebut, maka analisis MANOVA dapat dilanjutkan. Pengambilan keputusan didasarkan pada nilai signifikansi (p-value atau Sig.) yang dihasilkan dari output IBM SPSS Statistics dengan taraf signifikansi (α) sebesar 0,05. Apabila nilai Sig. < 0,05, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima, yang menunjukkan bahwa variabel independen memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen. Sebaliknya, apabila nilai Sig. $\geq$ 0,05, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak, yang menunjukkan bahwa variasi dosis koagulan ataupun variasi kecepatan lambat tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan parameter air limbah (Pandey dkk., 2021) . Adapun hipotesis 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.

H_{1a} = Ada pengaruh variasi dosis biokoagulan terhadap penurunan COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.

- B. H_{0b} = tidak ada pengaruh variasi kecepatan lambat yang menghasilkan efektivitas tertinggi dalam menurunkan parameter BOD, COD, TSS, dan minyak lemak pada proses koagulasi-flokulasi limbah cair UMKM kue kering

H_{1b} = ada pengaruh variasi kecepatan lambat yang menghasilkan efektivitas tertinggi dalam menurunkan parameter BOD, COD, TSS, dan minyak lemak pada proses koagulasi-flokulasi limbah cair UMKM kue kering

- C. H_{0c} = tidak ada pengaruh variasi dosis koagulan & kecepatan pengadukan lambat terhadap penurunan COD, BOD, TSS, serta minyak dan lemak pada limbah cair UMKM kue kering.

H_{1c} = ada pengaruh variasi dosis koagulan & 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 beberapa tahap penelitian dan memperoleh hasil dari analisis data. Kesimpulan akan menjawab atas rumusan masalah pada penelitian dan harus sesuai dengan analisis data. Sementara itu, saran berupa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya.

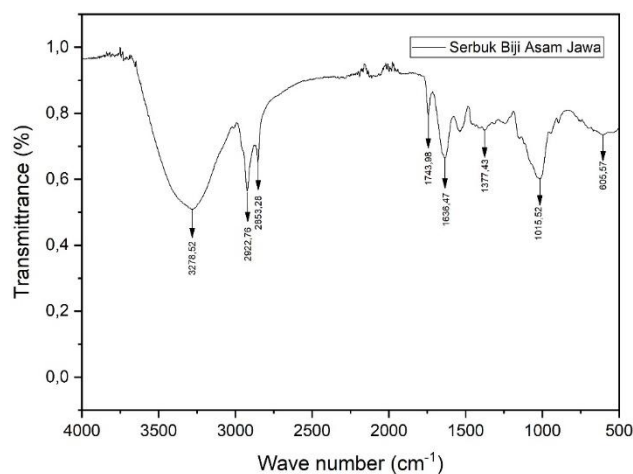
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristisasi Biokoagulan

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

Serbuk biji asam jawa telah diekstraksi dengan larutan NaCl dengan konsentrasi 1 M, maka diperlukan adanya pengujian karakteristik untuk mengetahui gugus fungsi dengan pengujian FTIR. Hasil dari pengujian FTIR serbuk biji asam jawa dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Spektrum Fourier Transformed Infrared (FTIR) Serbuk biji asam jawa

Hasil spektrum FTIR pada serbuk biji asam jawa menunjukkan adanya pita serapan lebar pada bilangan gelombang 3278,52 cm^{-1} merupakan regangan dan vibrasi dari kelompok gugus fungsi hidroksil (-OH) yang terdiri dari fenol dan ikatan hidrogen. Selanjutnya pada pita serapan 2922,76 dan 2853,28 menunjukkan adanya vibrasi regangan asimetris dan simetris gugus fungsi metilen ($-\text{CH}_2$) karena berada di panjang gelombang sekitar 2915-2935 cm^{-1} & 2845-2865 cm^{-1} (Bayu dkk., 2023).

Puncak serapan $1743,98\text{ cm}^{-1}$. mengindikasikan adanya vibrasi regangan gugus karbonil ($\text{C}=\text{O}$) yang khas dari senyawa ester atau asam karboksilat. Daerah ini umumnya berada pada serapan $1735\text{-}1750\text{ cm}^{-1}$. Menurut Ruiz-aquino dkk (2023) Pada pita serapan ini mengidentifikasi adanya tanin terhidrolisis yang memiliki gugus karbonil dari asam galat. Puncak pita serapan $1636,47\text{ cm}^{-1}$ dan $1537,61\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya 2 kontribusi 2 jenis gugus fungsi yaitu gugus cincin aromatik ($\text{C}=\text{C}$) yang berada dalam pita serapan dan gugus amida dari protein. Walaupun pita ini juga dapat dikaitkan dengan gugus imina ($-\text{C}=\text{N}-$), interpretasi tersebut kurang tepat dalam konteks ini dikarenakan adanya gugus amida dari protein. Pada pita serapan $1495 - 1615\text{ cm}^{-1}$ merupakan ciri khas vibrasi cincin aromatik. Sementara itu pada protein, pada pita serapan $1600 - 1690\text{ cm}^{-1}$ merupakan bagian dari amida I dan pada pita serapan $1480 - 1575$ merupakan bagian dari amida II yang berasal dari getaran ikatan $\text{C}=\text{O}$ dan N-H (Bunaciu dkk., 2014)

Keberadaan tanin semakin diperkuat karena adanya puncak pada $1377,43\text{ cm}^{-1}$ yang tergolong dengan vibrasi C-H bending dari gugus metil. Setelah itu pada puncak $1015,52\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi regangan C-O yang merupakan bagian penting dari struktur senyawa fenolik (Koochakzaei & Sabaghian, 2023). Pada pita serapan $605,57\text{ cm}^{-1}$ berada pada daerah *fingerprint* karena berada di daerah $<1500\text{ cm}^{-1}$ dan diinterpretasikan sebagai vibrasi bending C-H aromatik (*out of plane*) yang dimana menunjukkan keberadaan struktur cincin benzena (Bayu dkk., 2023)

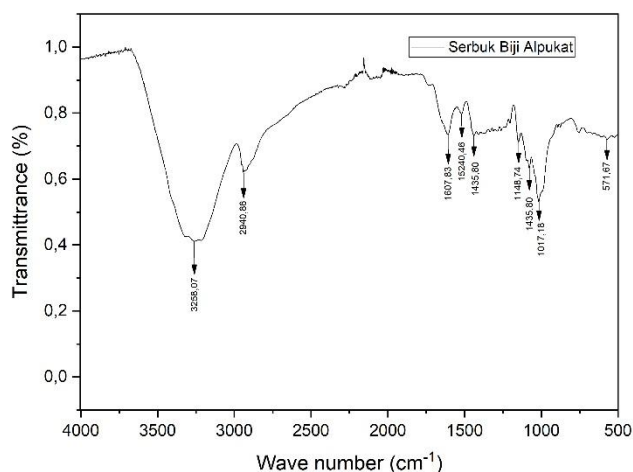
Tabel 4. 1 Hasil FTIR Serbuk Biji Asam Jawa

No	Bilangan Gelombang (Serbuk Biji Asam Jawa)	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (Penelitian Terdahulu)	Referensi
1	$3278,52\text{ cm}^{-1}$	O-H	$3275,54\text{ cm}^{-1}$	(Bayu dkk., 2023).
2	$2922,76\text{ cm}^{-1}$ dan $2853,28\text{ cm}^{-1}$	C-H	$2850,72 - 2919,45\text{ cm}^{-1}$	(Bayu dkk., 2023)
3	$1743,98\text{ cm}^{-1}$	C=O	$1745,3\text{ cm}^{-1}$	(Ruiz-aquino dkk., 2023)
4	$1636,47\text{ cm}^{-1}$	C=O (amida)	$1600 - 1690\text{ cm}^{-1}$	(Bunaciu dkk., 2014)

No	Bilangan Gelombang (Serbuk Biji Asam Jawa)	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (Penelitian Terdahulu)	Referensi
		I)		
5	1537,61 cm^{-1}	N-H (amida II)	1480 – 1575 cm^{-1}	(Bunaciu dkk., 2014))
6	1377,43 cm^{-1}	C-H	1377,81 cm^{-1}	(Koochakzaei & Sabaghian, 2023).
7	1015,52 cm^{-1}	C-O	1018,67 cm^{-1}	(Koochakzaei & Sabaghian, 2023).
8	605,57 cm^{-1}	C-Cl	< 600 cm^{-1} – 840 cm^{-1}	(Bayu dkk., 2023)

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

Serbuk biji asam jawa telah diekstraksi dengan larutan NaCl dengan konsentrasi 1M, maka diperlukan adanya pengujian karakteristik untuk mengetahui gugus fungsi dengan pengujian FTIR. Hasil dari pengujian FTIR serbuk biji asam jawa dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2. Spektrum Fourier Transformed Infrared (FTIR) Serbuk biji alpukat

Berdasarkan hasil spektrum FTIR serbuk biji alpukat, terdapat beberapa puncak utama yang menunjukkan keberadaan gugus fungsi. Pada puncak pita serapan 3258,07 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi gugus fungsi O-H yang berasal dari alkohol dan fenol. Pita yang lebar mengindikasikan adanya ikatan hidrogen yang kuat, yang umum ditemukan

pada senyawa fenolik seperti tanin dan flavonoid (Ainindia, 2025). Pada pita serapan 2940,86 cm diinterpretasikan sebagai vibrasi C-H *stretching* dari gugus alifatik CH₂ asimetris dari asam karboksilat karena berada dalam daerah 2850-2950 cm (Girigisu dkk., 2023).

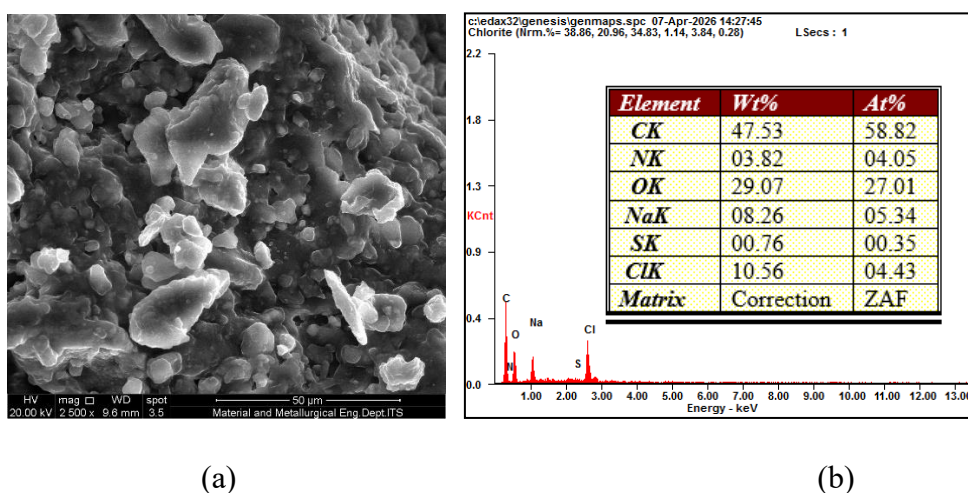
Pada Puncak pita serapan 1607,83 cm⁻¹ dan 1524,46 cm⁻¹ menunjukkan adanya 2 kontribusi 2 jenis gugus fungsi yaitu gugus cincin aromatik (C=C) yang berada dalam pita serapan dan gugus amida dari protein. Walaupun pita ini juga dapat dikaitkan dengan gugus imina (-C=N), interpretasi tersebut kurang tepat dalam konteks ini dikarenakan adanya gugus amida dari protein. Pada pita serapan 1495 – 1615 cm⁻¹ merupakan ciri khas vibrasi cincin aromatik. Sementara itu pada protein, pada pita serapan 1600 -1690 merupakan bagian dari amida I dan pada pita serapan 1480 – 1575 merupakan bagian dari amida II yang berasal dari getaran ikatan C=O dan N-H (Bunaciu dkk., 2014) Pita serapan 1453,80 cm dikategorikan sebagai vibrasi deformasi C-H bending dari gugus fungsi methylene CH₂ dan CH₃. hal ini sesuai dengan penelitian Parinding dkk 2021, yang menyatakan bahwa daerah serapan sekitar 1400 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi deformasi (bending) gugus CH₂ yang merupakan karakteristik selulosa. Pada pita serapan 1017,18 cm menunjukkan vibrasi egangan C-O *stretching* yang berasal dari gugus alkohol, eter, dan senyawa fenolik (Bayu dkk., 2023). Pita serapan pada 571,67 cm⁻¹ berada pada daerah *fingerprint* FTIR dan diinterpretasikan sebagai vibrasi bending C–H aromatik (*out-of-plane*) yang berkaitan dengan struktur cincin aromatik. Meskipun pita ini berada sedikit di bawah rentang yang umum dilaporkan, keberadaannya masih mendukung adanya struktur aromatik dalam sampel. Vibrasi *out-of-plane* C–H aromatik umumnya muncul pada kisaran 670–900 cm⁻¹ dan merupakan salah satu pita karakteristik senyawa aromatik, termasuk senyawa fenolik dan tanin. Oleh karena itu, pita pada 571,67 cm⁻¹, bersama dengan pita FTIR lainnya yang menunjukkan gugus fenolik, mengindikasikan keberadaan senyawa aromatik seperti fenol dan tanin dalam sampel (Wongsa dkk., 2022).

Tabel 4. 2. Hasil FTIR Biji Alpukat (yang benar)

No	Bilangan Gelombang (Serbuk Biji Asam Jawa)	Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (Penelitian Terdahulu)	Referensi
1	3258,07 cm^{-1}	O–H	3200–3600 cm^{-1}	(Bayu dkk., 2023).
2	2940,86 cm^{-1}	C–H	2850–2950 cm^{-1}	(Bayu dkk., 2023)
3	1607,83 cm^{-1}	C=O (amida I)	1600 – 1690 cm^{-1}	(Bunaciu dkk., 2014)
4	1524,46 cm^{-1}	N–H (amida II)	1480 – 1575 cm^{-1}	(Bunaciu dkk., 2014)
5	1453,80 cm^{-1}	C–H	1400–1470 cm^{-1}	(Parinding dkk., 2021)
6	1017,18 cm^{-1}	C–O	1018,67 cm^{-1}	(Bayu dkk., 2023)
7	571,67 cm^{-1}	C–H	650-900 cm^{-1}	(Wongsa dkk., 2022).

4.1.3 Analisis SEM EDX Serbuk Biji Asam Jawa

Serbuk biji asam jawa yang sudah diekstrak dengan NaCl dianalisis menggunakan uji SEM EDX untuk mengetahui bentuk morfologi dan kandungan protein dan taninnya. Berikut Gambar 4.3 hasil dari SEM biji asam jawa;



Gambar 4. 3 (a) Gambar ukuran diameter partikel biji asam jawa; (b) Gambar Hasil EDX Serbuk Biji Asam Jawa di Perbesaran 2500x

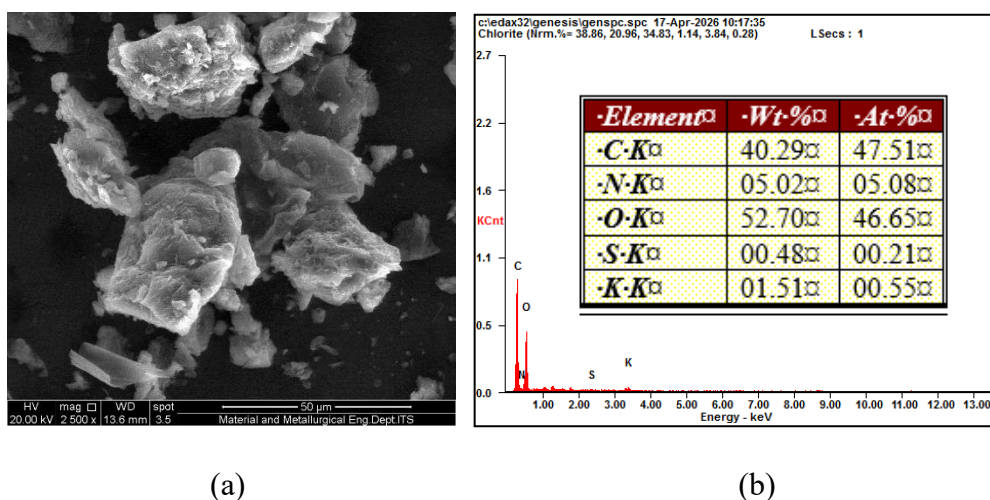
Hasil dari SEM diatas menunjukkan bahwa partikel memiliki berbagai ukuran, permukaan yang kasar dan beraglomerasi. Lalu hasil analisis EDX pada serbuk biji asam jawa menunjukkan bahwa unsur yang paling dominan adalah karbon (C) dengan persentase massa sebesar 47,53% dan persentase atom (At%) sebesar 58,82%. Selain karbon, unsur oksigen (O) juga terdeteksi dalam jumlah yang cukup tinggi yaitu sebesar 29,07% (Wt%) dan 27,01% (At%). Keberadaan oksigen berkaitan dengan banyaknya gugus hidroksil (-OH) dan gugus fungsi lainnya. Tingginya kandungan karbon dan oksigen menunjukkan bahwa biji asam jawa tersusun oleh senyawa organik dalam jumlah besar, seperti polisakarida, selulosa, hemiselulosa, protein, dan senyawa metabolit sekunder lainnya (Muthia, 2025).

Unsur natrium (Na) teridentifikasi sebesar 8,26% (Wt%) dan 5,34% (At%), sedangkan klorin (Cl) sebesar 10,56% (Wt%) dan 4,43% (At%). Kehadiran kedua unsur tersebut mengindikasikan adanya kandungan mineral atau garam yang masih tersisa pada sampel, baik yang berasal dari jaringan alami biji maupun dari proses preparasi dan ekstraksi sampel. Hasil EDX juga menunjukkan adanya unsur nitrogen (N) sebesar 3,82% (Wt%) dan 4,05% (At%). Keberadaan nitrogen mengindikasikan adanya senyawa protein atau asam amino dalam biji asam jawa. Protein merupakan salah satu komponen penting pada biji asam jawa sebagai koagulan (Mardiyah dkk., 2022).

Unsur sulfur (S) yaitu 0,76% (Wt%) dan 0,35% (At%). Kandungan sulfur yang rendah merupakan karakteristik umum biomassa nabati karena unsur ini hanya dibutuhkan dalam jumlah relatif sedikit dibandingkan karbon, oksigen, dan nitrogen. (Narayan dkk., 2023).

4.1.4 Analisis SEM EDX Serbuk Biji Alpukat

Serbuk biji alpukat yang sudah diekstrak dengan etanol 96% dianalisis menggunakan uji SEM EDX untuk mengetahui bentuk morfologi dan kandungan protein dan taninnya. Berikut gambar 4.4 hasil dari SEM biji alpukat.



Gambar 4. 4 (a) Gambar ukuran diameter partikel biji alpukat; (b) Gambar Hasil EDX Serbuk Biji Asam Jawa di Perbesaran 2500x

Gambar SEM menunjukkan bahwa partikel tidak beraturan, berbentuk kepingan, permukaan kasar, dan beraglomerasi: Berdasarkan hasil analisis EDX, unsur yang paling dominan pada serbuk biji alpukat hasil maserasi menggunakan etanol 96% adalah oksigen (O) sebesar 52,70% (Wt%) dan 46,65% (At%) sedangkan karbon (C) sebesar 40,29% (Wt%) dan 47,51% (At%). Dominasi kedua unsur tersebut menunjukkan bahwa sampel masih didominasi oleh senyawa organik yang berasal dari komponen penyusun biomassa, seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, polifenol, dan tanin. Tingginya kandungan karbon dan oksigen merupakan karakteristik umum bahan nabati karena sebagian besar struktur kimianya tersusun atas rantai karbon yang berikatan dengan gugus hidroksil, karbonil, dan karboksil (Parinding dkk., 2021).

Selain itu, unsur nitrogen (N) terdeteksi sebesar 5,02% (Wt%). Keberadaan nitrogen mengindikasikan adanya senyawa yang mengandung gugus amina, terutama protein. Selain itu, unsur nitrogen (N) terdeteksi sebesar 5,02% (Wt%) dan 5,08% (At%). Keberadaan nitrogen mengindikasikan masih adanya senyawa yang mengandung gugus amina, terutama protein yang terdapat secara alami dalam biji alpukat (Mardiyah dkk., 2022). Analisis EDX juga menunjukkan adanya unsur kalium (K) sebesar 1,51% (Wt%) dan 0,55% (At%). Kalium merupakan salah satu

mineral esensial yang secara alami terdapat pada jaringan tanaman dan masih dapat tertinggal setelah proses maserasi (Parinding dkk., 2021). Unsur sulfur (S) yaitu 0,48% (Wt%) dan 0,21% (At%). Kandungan sulfur yang rendah merupakan karakteristik umum biomassa nabati karena unsur ini hanya dibutuhkan dalam jumlah relatif sedikit dibandingkan karbon, oksigen, dan nitrogen. (Narayan dkk., 2023).

4.2 Karakteristik Awal Limbah Cair UMKM Kue Kering

Limbah cair kue kering sebelum diolah menggunakan *jar test*, dianalisis terlebih dahulu karakteristiknya dan diperoleh hasil berikut:

Tabel 4. 3 Karakteristik Limbah Cair Kue Kering

Parameter		Konsentrasi (mg/L)	Rata-Rata (mg/L)
COD	I	679,3	673,2
	II	667,1	
TSS	I	4820	4.905
	II	4990	
Minyak Lemak	I	41100	46.310
	II	51520	

Berdasarkan hasil karakterisasi awal limbah cair industri kue kering pada Tabel diatas, diperoleh nilai rata-rata COD sebesar 673,2 mg/L, TSS sebesar 4.905 mg/L, dan minyak dan lemak sebesar 46.310 mg/L. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa limbah cair yang dihasilkan memiliki kandungan bahan pencemar organik dan padatan yang cukup tinggi dibandingkan dengan baku mutu air limbah Pergub Jatim No 72 Tahun 2013. Oleh karena itu, berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila dibuang langsung tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Limbah cair kue kering, umumnya berasal dari proses pencucian peralatan produksi, pencampuran bahan baku, sisa adonan, serta residu minyak atau margarin yang digunakan selama proses produksi.

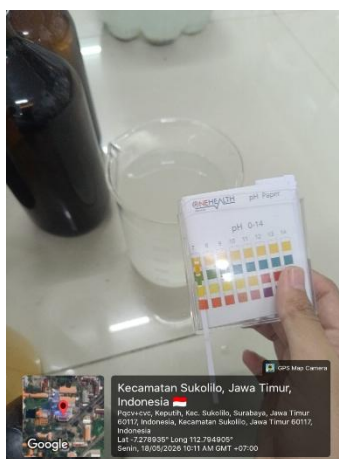
Nilai parameter COD sebesar 673,2 mg/L menunjukkan tingginya kandungan senyawa organik yang teroksidasi secara kimia dalam limbah cair. Semakin tinggi nilai COD, semakin besar kebutuhan oksigen untuk menguraikan

bahan organik yang terkandung di dalam air limbah (Harahap dkk., 2020). Nilai parameter TSS sebesar 4.905 mg/L menunjukkan bahwa limbah mengandung banyak partikel padat seperti remah-remah kue, sisa adonan, tepung, dan bahan baku lain yang tidak larut dalam air. Konsentrasi TSS yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan kekeruhan air dan menghambat penetrasi cahaya ke dalam badan air (D. Arum, 2019).

Parameter yang paling dominan pada limbah cair kue kering ini adalah minyak dan lemak dengan nilai rata-rata 46.310 mg/L. Tingginya kandungan minyak dan lemak diduga berasal dari penggunaan margarin, mentega, minyak goreng dalam proses pembuatan kue kering. Minyak mempunyai berat jenis lebih kecil dari air sehingga akan membentuk lapisan tipis di permukaan air. Minyak yang menutupi permukaan juga akan menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam air sehingga menghambat transfer oksigen dari udara ke dalam air. Kondisi tersebut dapat mengganggu keseimbangan ekosistem perairan dan menurunkan kadar oksigen terlarut (Hardiana & Aris, 2022).

4.3 Analisis pH Limbah Cair UMKM kue kering

Hasil pH pada limbah cair kue kering bisa dilihat pada Gambar 4.5 berikut



Gambar 4. 5 pH limbah cair

Hasil pengukuran pH setelah proses koagulasi-flokulasi menunjukkan bahwa nilai pH air limbah berada pada nilai 7.. pH merupakan salah satu faktor yang memengaruhi keberhasilan proses koagulasi-flokulasi karena berperan dalam

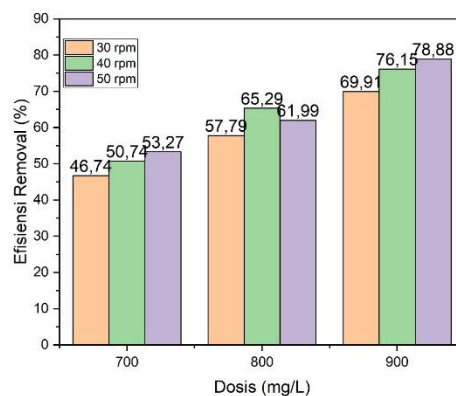
menentukan efektivitas netralisasi muatan partikel koloid dan pembentukan flok. Pada kondisi pH 6-8, gugus aktif yang terdapat pada biokoagulan seperti hidroksil, karboksil, dan amina dapat berinteraksi secara lebih optimal dengan partikel tersuspensi dan senyawa organik sehingga pembentukan flok menjadi lebih efektif (Kotb & Moaz, 2025). Selain itu, pH yang tetap berada pada kisaran netral juga menunjukkan bahwa hasil pengolahan lebih aman untuk tahapan pengolahan berikutnya serta tidak memerlukan penyesuaian pH tambahan (Ira & Sa, 2024).

4.4 Analisis Variasi Dosis dan Pengadukan lambat

Hasil penelitian yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi dosis koagulan dan kecepatan pengadukan lambat terhadap efisiensi penurunan COD, TSS, dan minyak lemak. Analisis dilakukan berdasarkan perubahan nilai efisiensi *removal* pada setiap kombinasi perlakuan sehingga dapat diketahui kondisi yang memberikan hasil pengolahan terbaik terhadap limbah cair UMKM kue kering.

4.4.1 Analisis Variasi Dosis dan Pengadukan Lambat terhadap Parameter COD

Berdasarkan pengujian menggunakan *jar test* dengan beberapa variasi dosis dan pengadukan lambat, air limbah dianalisis konsentrasi parameter COD. Setelah itu didapatkan hasil efisiensi *removal* dari konsentrasi parameter COD dapat dilihat dari Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Grafik Efisiensi Removal COD

Hasil pengujian COD setelah proses koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan gabungan biji asam jawa dan biji alpukat, diperoleh penurunan konsentrasi COD pada seluruh variasi dosis dan kecepatan pengadukan lambat. Konsentrasi COD awal limbah sebesar 673,2 mg/L mengalami penurunan pada setiap perlakuan dengan tingkat efisiensi yang berbeda-beda. Pada kecepatan pengadukan lambat 30 rpm, peningkatan dosis biokoagulan dari 700 mg/L menjadi 900 mg/L menghasilkan peningkatan efisiensi penyisihan COD sebesar 358,55 mg/L, 284,15 mg/L, dan 202,55 mg/L. Pada kecepatan pengadukan lambat 40 rpm mengalami penurunan konsentrasi COD sebesar 331,60 mg/L, 233,65 mg/L, 160,55 mg/L pada dosis berturut-turut 700, 800, dan 900 mg/L. Pada kecepatan pengadukan lambat 50 rpm, rata-rata konsentrasi COD setelah pengolahan sebesar 314,60 mg/L, 255,85 mg/L, dan 142,20 mg/L pada dosis berturut-turut 700, 800, dan 900 mg/L. Efisiensi penyisihan tertinggi diperoleh pada perlakuan dosis 900 mg/L dengan kecepatan pengadukan lambat 50 rpm, yaitu sebesar 78,88%. Hal ini sejalan dengan penelitian Assha dkk (2025) yang menunjukkan bahwa biji asam jawa dan biji alpukat mampu menurunkan COD yaitu efisiensi sebesar 69%

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pengadukan lambat dan dosis biokoagulan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi removal COD. Kecepatan pengadukan lambat yang lebih tinggi mampu meningkatkan frekuensi tumbukan antarpartikel yang telah terdestabilisasi sehingga proses pembentukan flok yang bergabung berlangsung lebih optimal. Flok yang terbentuk menjadi lebih besar, padat, dan mudah mengendap, sehingga senyawa organik penyebab COD dapat tersisihkan secara lebih efektif dari limbah cair. Peningkatan efisiensi removal yang diperoleh pada kecepatan pengadukan 50 rpm menunjukkan bahwa proses flokulasi berlangsung dengan baik. Pengadukan yang diberikan cukup untuk memperbesar flok tanpa menyebabkan kerusakan struktur flok yang telah terbentuk. Temuan ini sejalan dengan penelitian Azizah dkk (2021) yang menyatakan bahwa kecepatan

pengadukan berpengaruh terhadap pembentukan flok dan efisiensi penyisihan parameter COD.

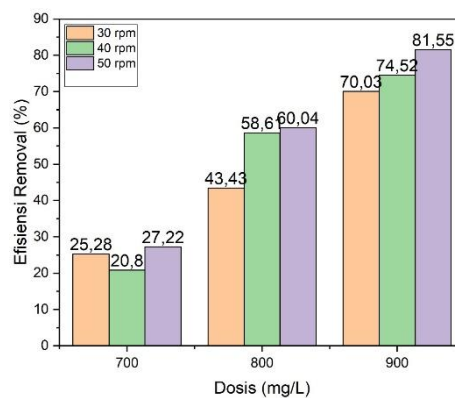
Peningkatan dosis biokoagulan hingga 900 mg/L menyediakan jumlah gugus aktif yang lebih banyak untuk menetralkan muatan partikel koloid dan mengikat senyawa organik penyebab COD. Semakin tinggi dosis biokoagulan yang ditambahkan, semakin besar peluang terjadinya interaksi antartikel sehingga proses pembentukan flok berlangsung lebih efektif. Flok yang terbentuk menjadi lebih besar dan lebih stabil, sehingga lebih mudah dipisahkan melalui proses sedimentasi. Kondisi ini tercermin dari meningkatnya efisiensi removal COD yang mencapai nilai tertinggi sebesar 78,88% pada dosis 900 mg/L dan kecepatan pengadukan lambat 50 rpm. Hal ini sejalan dengan penelitian Nurrahmajanti dkk (2026) yang menyatakan bahwa peningkatan dosis koagulan alami pada proses koagulasi-flokulasi mampu meningkatkan penyisihan COD karena semakin banyak senyawa organik dan partikel pencemar yang terperangkap dalam flok dan kemudian mengendap. Dengan demikian, kombinasi dosis biokoagulan yang memadai dan kecepatan pengadukan lambat yang optimal merupakan faktor penting dalam meningkatkan efisiensi penyisihan COD pada proses pengolahan limbah cair.

konsentrasi COD hasil pengolahan sudah memenuhi baku mutu air limbah industri roti sebesar 150 mg/L yaitu sebesar 142,20 mg/L. Kondisi ini diduga disebabkan oleh dosis koagulan dan kecepatan pengadukan lambat yang digunakan sudah mencapai kondisi terbaik. Dosis koagulan yang belum optimum dapat menyebabkan proses netralisasi muatan dan destabilisasi partikel koloid berlangsung kurang sempurna sehingga tidak seluruh bahan organik penyebab COD dapat bergabung membentuk flok yang stabil. Akibatnya, efisiensi penyisihan COD menjadi kurang maksimal karena masih terdapat partikel yang tetap terdispersi dalam air limbah. Pernyataan ini didukung oleh penelitian yang menyatakan bahwa efektivitas proses koagulasi-flokulasi sangat dipengaruhi oleh dosis koagulan, dimana

dosis yang tidak sesuai dapat menurunkan efektivitas pembentukan flok dan penyisihan partikel (Khairati & Sutri, 2025).

4.4.2 Analisis Variasi Dosis dan Pengadukan Lambat terhadap Parameter TSS

Setelah dilakukan proses pengolahan menggunakan metode *jar test* dengan variasi dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat, sampel air limbah kemudian dianalisis untuk mengetahui konsentrasi parameter TSS. Selanjutnya diperoleh nilai efisiensi *removal* TSS pada setiap variasi perlakuan yang dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Grafik Efisiensi *Removal* TSS

Berdasarkan hasil pengujian TSS setelah proses koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan gabungan biji asam jawa dan biji alpukat, diperoleh penurunan konsentrasi TSS pada seluruh variasi dosis dan kecepatan pengadukan lambat. konsentrasi TSS awal limbah sebesar 4.905 mg/L mengalami penurunan pada setiap dosis koagulan. Pada kecepatan pengadukan lambat 30 rpm mengalami penurunan sebesar 3.665 mg/L, 2.775 mg/L, dan 1.470 mg/L, dengan dosis berturut turut 700, 800, dan 900 mg/L. Pada kecepatan pengadukan lambat 40 rpm, rata-rata konsentrasi TSS hasil pengolahan sebesar 3.885 mg/L pada dosis 700 mg/L, 2.030 mg/L pada dosis 800 mg/L, dan 1.250 mg/L pada dosis 900 mg/L. Pada kecepatan pengadukan lambat 50 rpm, rata-rata konsentrasi TSS setelah pengolahan

berturut-turut sebesar 3.570 mg/L, 1.960 mg/L, dan 905 mg/L pada dosis 700, 800, dan 900 mg/L. Efisiensi penyisihan tertinggi diperoleh pada perlakuan dosis 900 mg/L dengan kecepatan pengadukan lambat 50 rpm, yaitu sebesar 81,55%. Hal ini sejalan dengan penelitian Assha dkk (2025) yang menunjukkan bahwa biji asam jawa dan biji alpukat mampu menurunkan TSS yaitu efisiensi sebesar 88%

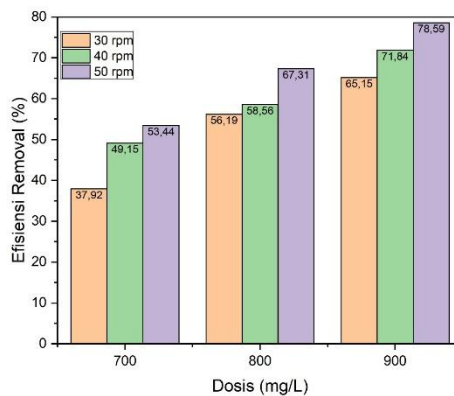
Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahwa peningkatan dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat memberikan pengaruh terhadap efisiensi *removal* TSS. Efisiensi penyisihan TSS cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya dosis biokoagulan dari 700 mg/L hingga 900 mg/L pada setiap variasi kecepatan pengadukan. Peningkatan dosis biokoagulan menyediakan lebih banyak gugus aktif yang berperan dalam menetralkan muatan partikel tersuspensi dan membentuk jembatan antartikel (*bridging*), sehingga proses koagulasi-flokulasi berlangsung lebih efektif dan menghasilkan flok yang tergabung lebih besar serta mudah mengendap (Putri dkk., 2025). Selain itu, peningkatan kecepatan pengadukan lambat dari 30 rpm menjadi 50 rpm juga meningkatkan efisiensi *removal* TSS. Kecepatan pengadukan yang lebih tinggi mampu meningkatkan frekuensi tumbukan antartikel yang telah mengalami destabilisasi sehingga pembentukan flok berlangsung lebih optimal. Flok yang terbentuk menjadi lebih padat dan stabil, sehingga lebih mudah dipisahkan melalui proses sedimentasi (Fitria dkk., 2024)

Konsentrasi TSS akhir masih belum memenuhi baku mutu air limbah industri roti berdasarkan Pergub Jatim No 72 tahun 2013 sebesar 80 mg/L yaitu sebesar 905 mg/L. Kondisi ini diduga disebabkan oleh dosis koagulan yang digunakan belum mencapai kondisi optimum untuk menyisihkan padatan tersuspensi secara maksimal. Dosis koagulan yang belum optimum dapat menyebabkan proses netralisasi muatan dan destabilisasi partikel koloid berlangsung kurang sempurna sehingga tidak seluruh partikel tersuspensi dapat bergabung membentuk flok yang stabil. Akibatnya,

efisiensi penyisihan TSS menjadi kurang maksimal karena masih terdapat partikel yang tetap terdispersi dalam air limbah. Pernyataan ini didukung oleh penelitian yang menyatakan bahwa efektivitas proses koagulasi-flokulasi sangat dipengaruhi dosis koagulan, dimana dosis yang tidak sesuai dapat menurunkan efektivitas pembentukan flok dan penyisihan partikel (Khairati & Sutri, 2025). Kecepatan pengadukan juga dapat memengaruhi frekuensi tumbukan antarpartikel selama proses flokulasi. Pengadukan yang terlalu rendah menyebabkan peluang kontak antarpartikel berkurang sehingga flok yang terbentuk berukuran kecil dan sulit mengendap, sedangkan pengadukan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan flok yang telah terbentuk pecah kembali (T. M. Arum & Indarayanto, 2021). Selain itu, diperlukan tahap *pre-treatment* untuk mengurangi kandungan TSS. Tahap tersebut meliputi grit chamber atau bak pengendap awal untuk menghilangkan padatan tersuspensi yang mudah mengendap. Dengan berkurangnya TSS pada tahap awal, beban proses koagulasi-flokulasi menjadi lebih ringan sehingga pembentukan flok berlangsung lebih efektif dan kebutuhan koagulan dapat berkurang. (Abdillah & Mirwan, 2024).

4.4.3 Analisis Variasi Dosis dan Pengadukan Lambat terhadap Parameter Minyak Lemak

Setelah dilakukan proses pengolahan menggunakan metode *jar test* dengan variasi dosis biokoagulan dan kecepatan pengadukan lambat, sampel air limbah kemudian dianalisis untuk mengetahui konsentrasi parameter Minyak lemak. Selanjutnya diperoleh nilai efisiensi *removal* TSS pada setiap variasi perlakuan yang dapat dilihat pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Grafik Efisiensi *Removal* Minyak Lemak

Hasil pengujian kadar minyak dan lemak setelah proses koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan gabungan biji asam jawa dan biji alpukat, diperoleh penurunan konsentrasi minyak dan lemak pada seluruh variasi dosis dan kecepatan pengadukan lambat. Konsentrasi awal minyak dan lemak limbah sebesar 46.310 mg/L mengalami penurunan dengan tingkat efisiensi yang berbeda. Pada kecepatan pengadukan lambat 30 rpm, peningkatan dosis biokoagulan dari 700 mg/L menjadi 900 mg/L meningkatkan efisiensi penyisihan minyak dan lemak. Rata-rata konsentrasi minyak dan lemak setelah pengolahan berturut-turut sebesar 28.750 mg/L, 20.290 mg/L, dan 16.140 mg/L. Pada kecepatan pengadukan lambat 40 rpm, rata-rata konsentrasi minyak dan lemak hasil pengolahan sebesar 23.550 mg/L pada dosis 700 mg/L, 19.190 mg/L pada dosis 800 mg/L, dan 13.040 mg/L pada dosis 900 mg/L. Pada kecepatan pengadukan lambat 50 rpm, rata-rata konsentrasi minyak dan lemak setelah pengolahan berturut-turut sebesar 21.560 mg/L, 15.140 mg/L, dan 10.840 mg/L pada dosis 700 mg/L, 800 mg/L, dan 900 mg/L. Perlakuan dengan dosis 900 mg/L dan kecepatan pengadukan lambat 50 rpm menghasilkan efisiensi penyisihan minyak dan lemak tertinggi, yaitu sebesar 76,59%, dengan konsentrasi akhir sebesar 10.840 mg/L. hal serupa pada penelitian Lester dkk (2023) yaitu biokoagulan dari biji kelor yang mempunyai kandungan protein dan tanin mampu meremoval minyak lemak sebesar 95%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengadukan lambat yang lebih tinggi mampu meningkatkan frekuensi tumbukan antarpartikel sehingga pembentukan flok menjadi lebih optimal dan proses penyisihan minyak dan lemak berlangsung lebih efektif. Peningkatan efisiensi pada kecepatan pengadukan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa proses flokulasi berlangsung lebih optimal karena frekuensi tumbukan antarpartikel meningkat, sehingga terbentuk flok yang lebih besar dan mudah mengendap. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Fitria dkk (2024) yang menyatakan bahwa kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap pembentukan flok dan efisiensi penyisihan pencemar, dimana pengadukan yang optimal menghasilkan flok yang lebih besar sehingga meningkatkan efektivitas proses pengolahan limbah cair. Selain itu, penambahan dosis biokoagulan hingga 900 mg/L menyediakan lebih banyak gugus aktif untuk mendestabilisasi emulsi minyak dan lemak serta mengikat partikel pencemar. Hal ini juga sejalan dengan penelitian Sevira & Sa (2024) yang menyatakan bahwa peningkatan dosis koagulan pada proses koagulasi-flokulasi dapat meningkatkan penyisihan minyak dan lemak hingga mencapai efisiensi 92,16% pada kondisi optimum, yang menunjukkan pentingnya pemilihan dosis koagulan yang tepat dalam meningkatkan kinerja pengolahan limbah.

Konsentrasi minyak dan lemak hasil pengolahan masih belum memenuhi baku mutu air limbah industri roti sebesar 10 mg/L yaitu 10.840 mg/L. Kondisi ini diduga disebabkan oleh dosis koagulan dan kecepatan pengadukan lambat yang digunakan belum mencapai kondisi optimum. Dosis koagulan yang belum optimum dapat menyebabkan proses destabilisasi emulsi minyak dan lemak berlangsung kurang sempurna sehingga tidak seluruh partikel minyak dapat bergabung membentuk flok yang stabil (Sevira & Sa, 2024). Selain itu, diperlukan *pre-treatment* menggunakan grease trap atau oil-water separator yaitu untuk memisahkan minyak dan lemak yang ada di permukaan sehingga dapat mengurangi

konsentrasi minyak dan lemak sebelum masuk ke dalam koagulasi-flokulasi. (Mahmud dkk., 2023).

4.5 Analisis Dosis Optimum Biokoagulan

Berdasarkan hasil pengolahan data efisiensi *removal* TSS, minyak dan lemak, serta COD pada seluruh kombinasi perlakuan, diperoleh bahwa perlakuan dosis 900 mg/L dengan kecepatan lambat 50 rpm memberikan hasil terbaik dibandingkan perlakuan lainnya. Pada perlakuan ini diperoleh efisiensi *removal* TSS sebesar 81,55%, minyak dan lemak sebesar 76,59%, serta COD sebesar 78,88%. Jika ketiga parameter tersebut dirata-ratakan, diperoleh efisiensi *removal* keseluruhan sebesar 79,01%, yang merupakan nilai tertinggi di antara seluruh perlakuan yang diuji. Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi operasi pada perlakuan pada dosis 900 mg/L dan kecepatan lambat 30 rpm mampu menghasilkan proses koagulasi-flokulasi yang paling efektif dalam menyisihkan padatan tersuspensi, senyawa organik, serta kandungan minyak dan lemak dari limbah cair.

Tingginya efisiensi *removal* pada dosis 900 mg/L dan kecepatan pengadukan 50 rpm menunjukkan bahwa jumlah biokoagulan yang ditambahkan telah mampu menyediakan gugus aktif dalam jumlah yang cukup untuk menetralkan muatan partikel koloid, sehingga partikel-partikel yang semula stabil di dalam air dapat saling bertumbukan dan membentuk flok yang lebih besar (Putri dkk., 2025). Berdasarkan gabungan efisiensi *removal* TSS, minyak dan lemak, serta COD, dosis 900 mg/L dan kecepatan pengadukan 50 rpm dapat dinyatakan sebagai perlakuan dengan hasil terbaik dalam penelitian ini karena menghasilkan nilai efisiensi penyisihan tertinggi pada ketiga parameter yang diamati. Namun demikian, perlakuan tersebut belum dapat secara langsung dinyatakan sebagai kondisi optimum karena belum terlihat adanya titik jenuh yang ditandai oleh penurunan efisiensi secara konsisten pada seluruh parameter setelah penambahan dosis biokoagulan lebih lanjut.

4.6 Analisis Statistik *MANOVA*

Analisis *Multivariate Analysis of Variance (MANOVA)* dilakukan untuk mengetahui pengaruh simultan dari variabel bebas terhadap lebih dari satu variabel terikat secara bersamaan. Pada penelitian ini, penggunaan MANOVA bertujuan untuk menguji signifikansi perbedaan antara dosis biokoagulan dan Kecepatan pengadukan lambat terhadap konsentrasi COD, TSS, dan Minyak lemak. Berikut hasil uji normalitas MANOVA pada tabel 4.4 dibawah.

Tabel 4. 4 Hasil Uji Normalitas Manova

Variabel Penelitian	Variasi	Shapiro-Wilk (Sig.)	Keterangan	Kesimpulan
Dosis Koagulan				
TSS	700 mg/L	0,870	Sig > 0,05	Normal
	800 mg/L	0,227	Sig > 0,05	Normal
	900 mg/L	0,654	Sig > 0,05	Normal
Minyak Lemak	700 mg/L	0,676	Sig > 0,05	Normal
	800 mg/L	0,606	Sig > 0,05	Normal
	900 mg/L	0,510	Sig > 0,05	Normal
COD	700 mg/L	0,899	Sig > 0,05	Normal
	800 mg/L	0,052	Sig > 0,05	Normal
	900 mg/L	0,182	Sig > 0,05	Normal
Kecepatan Lambat				
TSS	30 rpm	0,232	Sig > 0,05	Normal
	40 rpm	0,502	Sig > 0,05	Normal
	50 rpm	0,850	Sig > 0,05	Normal
Minyak Lemak	30 rpm	0,906	Sig > 0,05	Normal
	40 rpm	0,932	Sig > 0,05	Normal
	50 rpm	0,640	Sig > 0,05	Normal
COD	30 rpm	0,932	Sig > 0,05	Normal
	40 rpm	0,845	Sig > 0,05	Normal
	50 rpm	0,645	Sig > 0,05	Normal

Uji normalitas pada penelitian ini menggunakan metode *Shapiro Wilk* karena jumlah sampel pada setiap kelompok perlakuan kurang dari 50. Jika nilai

$p\text{-value} > 0,05$ maka data dapat dikatakan berdistribusi normal (Mishra dkk., 2021). Namun, jika nilai $p\text{-value} < 0,05$ maka data tidak berdistribusi normal. Hasil penelitian pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa antara jenis biokoagulan dan dosis biokoagulan terhadap parameter uji yakni COD, TSS, dan minyak lemak sebagian besar memenuhi asumsi normalitas karena hasil $p\text{-value} > 0,05$. Setelah melakukan uji normalitas, maka perlu dilakukan uji homogenitas untuk mengetahui keseragaman data. Hasil uji homogenitas disajikan pada Tabel 4.5 dibawah.

Tabel 4. 5 Hasil Uji Homogenitas MANOVA

Variabel Penelitian	Probabilitas (Sig.)	Keterangan	Kesimpulan
Dosis Koagulan			
TSS	0,056	Sig > 0,05	Homogen
Minyak Lemak	0,375	Sig > 0,05	Homogen
COD	0,657	Sig > 0,05	Homogen
Kecepatan Lambat			
TSS	0,968	Sig > 0,05	Homogen
Minyak Lemak	0,633	Sig > 0,05	Homogen
COD	0,941	Sig > 0,05	Homogen

Hasil uji homogenitas pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa antara dosis biokoagulan dan kecepatan lambat terhadap parameter COD, TSS, dan Minyak Lemak menghasilkan angka probabilitas (*Sig*) diatas $> 0,05$, yang mana hal ini berarti data telah homogen. Setelah melakukan uji normalitas dan homogenitas, maka dilakukan uji MANOVA untuk mengetahui apakah penggunaan dosis biokoagulan dan kecepatan lambat berpengaruh terhadap parameter uji COD, TSS, dan Minyak lemak. Hasil uji MANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4. 6 Hasil Uji MANOVA

Variabel Penelitian		Probabilitas (Sig.)	Keterangan	Kesimpulan
Dosis Koagulan	TSS	<0,001	H _{1a} diterima	Berpengaruh
	Minyak	0,001	H _{1a} diterima	Berpengaruh

Variabel Penelitian		Probabilitas (Sig.)	Keterangan	Kesimpulan
	Lemak			
	COD	<0,001	H _{1a} diterima	Berpengaruh
Kecepatan Lambat	TSS	0,152	H _{0b} ditolak	Tidak Berpengaruh
	Minyak Lemak	0,044	H _{1b} diterima	Berpengaruh
	COD	<0,001	H _{1b} diterima	Berpengaruh
Dosis Koagulan * Kecepatan Lambat	TSS	0,534	H _{0c} ditolak	Tidak Berpengaruh
	Minyak Lemak	0,934	H _{0c} ditolak	Tidak Berpengaruh
	COD	0,013	H _{1c} diterima	Berpengaruh

Tabel 4.6 menyajikan hasil uji statistik MANOVA terhadap pengaruh dua variabel penelitian, yaitu dosis biokoagulan dan Kecepatan Lambat, terhadap parameter COD, TSS dan minyak lemak. Penilaian dilakukan berdasarkan pada nilai probabilitas Sig. Sebagian besar variabel penelitian menunjukkan nilai H_1 diterima karena nilai $p\text{-value} < 0,05$ yang berarti variabel dosis biokoagulan atau kecepatan lambat, serta gabungan keduanya pada penelitian berpengaruh terhadap parameter COD, TSS, dan Minyak Lemak. Namun, hasil uji MANOVA pada variabel penelitian untuk kecepatan lambat parameter TSS menyatakan bahwa H_0 ditolak karena nilai $p\text{-value} > 0,05$. Berdasarkan hal ini, Kecepatan lambat tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi TSS, dan Minyak Lemak. Peningkatan kecepatan pengadukan lambat dalam rentang percobaan pada penelitian ini tidak efektif untuk menurunkan TSS dan Minyak Lemak secara nyata. Pengkajian ulang mengenai Kecepatan pengadukan terhadap parameter TSS, dan Minyak Lemak sangat diperlukan. Hal ini untuk mengetahui pengaruh yang signifikan antara variabel independen terhadap variabel dependen secara bersamaan dalam suatu analisis.

(Halaman ini sengaja ikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

2. Karakteristik Koagulan alami biji asam jawa dan biji alpukat menunjukkan bahwa
 - a. Pada biji asam jawa mengandung gugus fungsi utama berupa O–H, C–H, C=O, C=C aromatik, amida, dan C–O yang menunjukkan keberadaan senyawa fenolik, tanin, dan protein. Biji asam jawa didominasi oleh unsur karbon dan oksigen serta mengandung nitrogen, natrium, klorin, dan sulfur dalam jumlah yang lebih kecil.
 - b. Pada biji alpukat menunjukkan adanya gugus fungsi O–H, C–H alifatik, C=C aromatik, amida, CH_2/CH_3 , dan C–O yang menunjukkan keberadaan senyawa fenolik, tanin, dan protein. biji alpukat didominasi oleh unsur oksigen dan karbon, serta mengandung nitrogen, kalium, dan sulfur dalam jumlah yang lebih kecil.
3. variasi dosis koagulan memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap penurunan parameter COD, TSS, dan minyak lemak pada proses koagulasi-flokulasi limbah cair UMKM kue kering.
4. Kecepatan pengadukan lambat berpengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap penurunan minyak lemak dan COD namun tidak berpengaruh signifikan ($p > 0,05$) terhadap penurunan TSS.

5.2 Saran

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk penambahan variasi dosis yang lebih tinggi untuk mengetahui kondisi optimum secara lebih akurat. Dikarenakan hasil penelitian ini belum menunjukkan adanya titik jenuh, sehingga belum dapat dipastikan dosis optimum yang menghasilkan efisiensi penyisihan tertinggi.

2. Diperlukan tahap *pre-treatment* sebelum proses koagulasi-flokulasi, seperti *grease trap* untuk mengurangi minyak dan lemak bebas serta bak pengendap awal (*primary sedimentation*) untuk menyisihkan TSS sebelum dioalah menggunakan koagulasi-flokulasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, N. I., & Mirwan, M. (2024). *Kombinasi Koagulasi – Flokulasi dan Filtrasi Menggunakan Bahan Alami Pada Limbah Cair Laundry Untuk Menurunkan Parameter TSS dan Kekeruhan*. IX(4), 11063–11077.
- Ahmed, N., Straub, A., & Ali. (2025). *Fats , oil , and grease (FOG) in wastewater : sources , mechanisms , control , and removal strategies*.
- Ainindia, N. B. (2025). *PEMANFAATAN CANGKANG KERANG HIJAU (Perna viridis) DAN BIJI ALPUKAT (Persea americana m.) SEBAGAI BIOKOAGULAN DALAM MENURUNKAN KADAR COD DAN TSS PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU*.
- Alazaiza, M. Y. D., Albahnasawi, A., Ali, G. A. M., Bashir, M. J. K., Nassani, D. E., Maskari, T. Al, Amr, S. S. A., & Abujazar, M. S. S. (2022). *Application of Natural Coagulants for Pharmaceutical Removal from Water and Wastewater : A Review*. 1–16.
- Alya, S., & Zamrudy, W. (2023). *Analisis tss, bod, cod, dan minyak lemak limbah cair pada industri susu*. 9(9), 266–278.
- Andareswari, N., Hariyadi, S., & Yulianto, G. (2019). *SENTRA USAHA TAPIOKA DI BOGOR UTARA (CHARACTERISTICS AND MANAGEMENT STRATEGIES OF TAPIOCA LIQUID WASTE PROCESSING IN TAPIOCA BUSINESS CENTER Kota Bogor Kecamatan Bogor Utara)*. 13(2), 85–96.
- Arum, D. (2019). *Kadar Total Suspended Solid pada Air Sungai Nguneng Sebelum dan Sesudah Tercem,ar Limbah Cair Tahu*.
- Arum, T. M., & Indarayanto, H. W. (2021). *PENENTUAN KONDISI OPTIMUM PENGADUKAN DALAM PROSES KOAGULASI DETERMINATION OF OPTIMUM MIXING CONDITION*. 121–126.
- Assha, S. H., Adzillah, W. N., & Amanah, N. (2025). *Efektivitas Gabungan Biji Asam Jawa dan Biji Alpukat sebagai Biokoagulan dalam Menurunkan Parameter Limbah Cair Tahu*. 13(2), 108–118.
- Ayu, C. (2022). *Kajian Penggunaan BIOKOAGULAN BIJI PEPAYA (CARICA PAPAYA L.), BIJI ASAM JAWA (TAMARINDUS INDICA L.) SERTA ALUMINIUM SULVATE PADA LIMBAH BATIK*.
- Azizah, N., Masrulita, M., Suryati, S., Meriatna, M., & Bahri, S. (2021). *PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN DAN DOSIS PENAMBAHAN KOAGULAN ALAMI DARI SELULOSA KULIT BIJI BUNGA MATAHARI (Helianthus annus L) TERHADAP PENURUNAN KADAR TSS DAN TDS*. *Chemical Engineering Journal Storage*, 2(Oktober), 11–23. <https://ojs.unimal.ac.id/cejs/index>

- Bahru, T. B., Tadele, Z. H., & Ajebe, E. G. (2019). *A Review on Avocado Seed : Functionality , Composition , Antioxidant and Antimicrobial Properties*. 27(2), 1–10. <https://doi.org/10.9734/CSJI/2019/v27i230112>
- Bayu, A., Nandiyanto, D., Ragadhita, R., & Fiandini, M. (2023). *Interpretasi Spektrum Inframerah Transformasi Fourier (FTIR): Pendekatan Praktis dalam Polimer / Plastik Dekomposisi Termal*. 8(1), 113–126.
- Budi, S., Aulia, A., Soedarti, T., Prasetyo, E., & Fauzul, M. (2025). *Revealing the potential of extracted Tamarindus indica seed as a biocoagulant for aquaculture wastewater treatment : Effect of solvent type , concentration , dose , and toxicity assessment*. 27(April). <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105710>
- Bunaciu, A. A., Fleschin, Ş., & Aboul-enein, H. Y. (2014). *Evaluation of the Protein Secondary Structures Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. 27(1), 637–644.
- Coates, J. (2006). *Interpretation of Infrared Spectra , A Practical Approach*. 1–23. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a5606>
- Darmawan, A., Siagian, R. A., Wakidah, R. N., Elektro, T., & Kediri, U. K. (2023). *Simulasi Software PLC Dan HMI SIEMENS TIA Portal Pada Proses Netralisasi pH Air Limbah*.
- Dewi, A., Rustanti, E. I., Pratiwi, H., & T, N. D. A. (2021). *Application of Tamarindus indica seed extract as bio-coagulant to removal suspended solids and colors*. 10(2), 324–329. <https://doi.org/10.11591/ijphs.v10i2.20686>
- El-gindy, A. A., Youssif, M. E., & M.R.G, Y. (2015). *Chemical studies and utilization of Tamarindus indica and its seeds in some technological application*. 10(1), 93–107.
- Fitria, D., Fadila, M., Mustain, A., & Dandel, B. F. (2024). *PENYISIHAN PARAMETER NILAI TSS DAN TURBIDITY PADA PROSES PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI KRIMER*. 10(9), 734–742.
- Girigisu, S., Salman, A., Shitu, F. B., & Salawu, A. O. (2023). *PHYSICOCHEMICAL EVALUATION AND FTIR CHARACTERISATION OF THE OIL*. 48(1), 65–72.
- Gusti, I., Wayan, I., & Elly, A. (2022). *Kadar Total Suspended Solid pada Air Sungai Nguneng Sebelum dan Sesudah Tercemar Limbah Cair Tahu* (p. Vol.12 No.1:26-34).
- Habibi, A., Sjaifuddin, S., & Pancawati, J. (2024). *Jurnal Presipitasi Characteristics of Wastewater Generated by the Snack Food (Cookies) Industry*. 21(1), 112–131.
- Harahap, M. R., Amanda, L. D., & Matondang, A. H. (2020). *ANALISIS KADAR COD (CHEMICAL OXYGEN DEMAND) DAN TSS (TOTAL SUSPENDED*

SOLID) PADA LIMBAH CAIR DENGAN MENGGUNAKAN SPEKTROFOTOMETER UV-VIS. 2(2), 79–83.

Hardiana, S., & Aris, S. (2014). *PENGEMBANGAN METODE ANALISIS PARAMETER MINYAK DAN LEMAK PADA CONTOH UJI AIR.* 1–6.

Hermansyah, M. H., Putri, Y. P., Setiawan, A. A., Eddy, S., Saputra, W., Studi, P., & Lingkungan, S. (2024). *UJI PADATAN TERSUSPensi TOTAL (TSS) PADA SAMPEL AIR LIMBAH SAWIT SECARA GRAVIMETRI.* 05, 27–33.

Hidayah, R., Effendi, H., & Hariyadi, S. (2022). *penggunaan biji asam jawa (tamarindus indica L.) sebagai koagulan alami pada pengolahan limbah cair* (pp. 80–92).

Ira, M., & Sa, K. (2024). *PENGARUH RASIO PENAMBAHAN ALUMINIUM SULFAT PERBELANJAAN SECARA KOAGULASI-FLOKULASI.* 10(9), 219–232.

Jennifer, A., Kristianto, H., Sugih, A. K., & Prasetyo, S. (2020). Potensi Polisakarida dari Limbah Buah-buahan sebagai Koagulan Alami dalam Pengolahan Air dan Limbah Cair: Review. *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(2), 108. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.57798>

Jusra, R. (2024). *PEMANFAATAN EKSTRAK BIJI ALPUKAT (PERSEA AMERICANA MILL) SEBAGAI BIOKOAGULAN PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI.*

Khairati, M., & Sutri, R. (2025). *ANALISIS PENENTUAN KOAGULAN DAN DOSIS OPTIMUM PADA PROSES KOAGULASI – FLOKULASI DALAM PENGOLAHAN AIR ANALYSIS OF COAGULANT TYPE AND OPTIMUM DOSAGE IN THE COAGULATION – FLOCCULATION PROCESS FOR WATER.* 22(1), 27–36.

Koochakzaei, A., & Sabaghian, M. (2023). Tannin characterization and sourcing in historical leathers through FTIR spectroscopy and PCA analysis. *Collagen and Leather*. <https://doi.org/10.1186/s42825-023-00128-4>

Kotb, S., & Moaz, A. (2025). Eco - friendly solutions : a comprehensive review of natural coagulants for sustainable water treatment. *Environmental Geochemistry and Health*, 47(12), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s10653-025-02803-3>

Kristianto, H. (2017). *The Potency of Indonesia Native Plants as Natural Coagulant: a Mini Review.* 51–60. <https://doi.org/10.1007/s41101-017-0024-4>

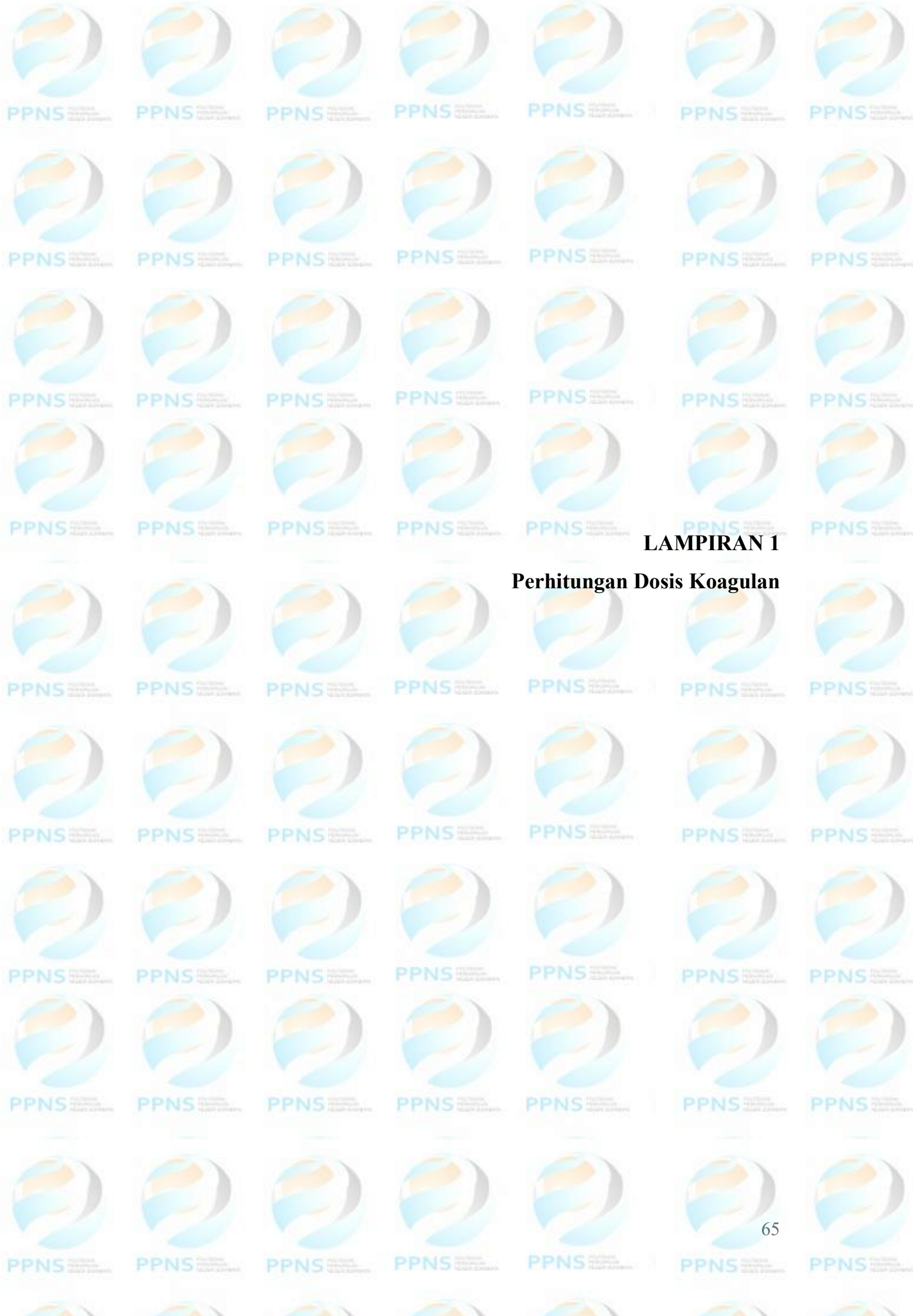
Kristianto, H., Prasetyo, S., & Sugih, A. K. (2022). Pemanfaatan Ekstrak Protein dari Kacang-kacangan sebagai Koagulan Alami: Review. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(2), 65. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.46292>

Kustomo. (2020). *Indonesian Journal of Chemical Science Uji Karakterisasi dan Mapping Magnetit Nanopartikel Terlapisi Asam Humat.* 9(3).

- Lester-Card, E., Smith, G., Lloyd, G., & Tizaoui, C. (2023). A green approach for the treatment of oily steelworks wastewater using natural coagulant of *Moringa oleifera* seed. *Bioresource Technology Reports*, 22(November 2022), 101393. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101393>
- Machado, R., & Farias, B. S. De. (2025). *From Natural to Industrial : How Biocoagulants Can Revolutionize Wastewater Treatment*.
- Mahajani, K. (2020). *Physicochemical, Functional Properties and Proximate Composition of Tamarind Seed*. 7(1), 51–53.
- Mahmud, M., Mahmud, N. U., Abdi, C., Luthfina, N., & Fatimah, A. (2023). *Proses Gabungan Koagulasi-Adsorpsi Menggunakan Material Lokal Tanah Lempung Gambut dan Adsorben Gambut untuk Menyisihkan Warna dan Organik pada Limbah Cair Sasirangan*. 21(4), 839–848. <https://doi.org/10.14710/jil.21.4.839-848>
- Mardiyah, U., Nur, S., Jamil, A., Sandra, L., Studi, P., Hasil, T., Ibrahimy, U., & Timur, J. (2022). KARAKTERISASI MIKROSTRUKTUR DAN KOMPOSISI UNSUR GELATIN KEPALA IKAN KURISI (*Nemipterus Bathybius*) MENGGUNAKAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPY-ENERGY DISPERSIVE X-RAY (SEM-EDX) CHARACTERIZATION OF MICROSTRUCTURE AND ELEMENTAL COMPOSITION OF PINK PERCH HEA.
- Mishra, P., Pandey, C. M., & Singh, U. (2021). *Descriptive Statistics and Normality Tests for Statistical Data*. 67–72. <https://doi.org/10.4103/aca.ACA>
- Muhajir, A., Junaidi, R., & Aznury, M. (2024). *Pengoptimalan Pengolahan Air Pada Proses Koagulasi dengan Kombinasi Bahan Kimia Aluminium Sulfat dan Poly Aluminium Chloride PT . Tirta Sriwijaya Maju (Perseroda) Palembang*. 4, 976–984.
- 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*.
- Nagarajan, K. S. K., Geor, G. C., Rajalakshmi, M. S., & Lakshmi, P. R. (2022). A comprehensive review on comparison among effluent treatment methods and modern methods of treatment of industrial wastewater effluent from different sources. *Applied Water Science*, 12(4), 1–27. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01594-7>
- Narayan, O. P., Kumar, P., Yadav, B., & Dua, M. (2023). Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1). <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2030082>
- Novita, E., Bagus, M., & Andiananta, H. (2021). *PENANGANAN AIR LIMBAH INDUSTRI KOPI DENGAN METODE KOAGULASI-FLOKULASI MENGGUNAKAN KOAGULAN ALAMI BIJI ASAM JAWA (TAMARINDUS*

- INDICA L .) Coffee Industry Wastewater Treatment with Coagulation-Flocculation Method Using a Natural Coagulant of Tamarind Seeds. 22(1), 13–24.*
- Nurmala, F. (2023). *ANALISIS PENGGUNAAN BIOKOAGULAN BIJI ALPUKAT (PERSEA AMERICANA), BIJI SALAK (SALACCA ZALACCA), KULIT JERUK (CITRUS SINENSIS) PADA LIMBAH CAIR BETON.*
- Nurrahmajanti, A., Djamaludin, O., Intanika, A., & Klatatiana, S. (2026). *Efek Koagulasi-Flokulasi Terhadap Penurunan COD Menggunakan Poly Aluminium Chloride (PAC) dan Kapur pada Limbah Cair Tekstil dengan Zat Warna Direk.*
- Parinding, Y. R., Suryanto, E., & Momuat, L. I. (2021). *KARAKTERISASI DAN AKTIVITAS ANTIOKSIDAN SERAT PANGAN DARI TEPUNG BIJI ALPUKAT (Persea americana Mill). 14(1), 22–31.*
- Puji, T., & Hariyanti, A. (2024). *Kebijakan Pengelolaan Limbah Industri UMKM Produksi Makanan dan Minuman terhadap Lingkungan di Kota Palangkaraya (pp. 1–6).*
- Putri, H., Sari, K., Rosariawari, F., Qothrunada, S., & Nisa, Z. (2025). *Optimasi Dosis Koagulan dan Konsentrasi Pelarut Pada Biokoagulan Biji Asam Jawa dan Biokoagulan Komersil dalam Proses Pengolahan Air Limbah Laundry. X(4), 14892–14901.*
- Rahimah, Z., Heldawati, H., & Syauqiah, I. (2016). *Pengolahan limbah deterjen dengan metode koagulasi - flokulasi menggunakan koagulan kapur dan pac. 5(2), 13–19.*
- Reza, A. (2021). *ANALISIS PENGOLAHAN AIR TERPRODUKSI DARI LAPANGAN MINYAK MENGGUNAKAN KARBON AKTIF CANGKANG BIJI KARET (Hevea brasiliensis) DENGAN METODE JAR TEST UNIVERSITAS ISLAM RIAU.*
- Robiah, Akbar, I., & Junaidi, R. (2026). *Pembuatan Koagulan Alami dengan Proses Maserasi untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu. November 2025, 1–7.*
- Ruby, M., & Eddy, S. (2025). *Kemampuan Unit Koagulasi-Flokulasi untuk Menurunkan Total Fosfat dan COD dalam Pengolahan Air Sungai Menggunakan Koagulan. 2, 147–155.*
- Ruiz-aquino, F., Feria-reyes, R., Rutiaga-quiñones, J. G., Robledo-taboada, L. H., & Gabriel-parra, R. (2023). *Characterization of tannin extracts derived from the bark of four tree species by HPLC and FTIR. Forest Science and Technology, 19(1), 38–46. <https://doi.org/10.1080/21580103.2023.2166593>*
- Safitri, S., Jubaidah, S., & Nurhasnawati, H. (2024). *Penetapan Kadar Proantosianidin Ekstrak Etanol Biji Alpukat (Persea americana Mill .) dengan Metode Spektrofotometri UV- Vis. 6(1), 24–38.*

- Sevira, P., & Sa, K. (2024). *PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PUSAT PERBELANJAAN SECARA KOAGULASI-FLOKULASI*. 10(9), 205–218.
- Siol, M., & Sadowska, A. (2023). *Chemical Composition , Physicochemical and Bioactive Properties of Avocado (Persea americana) Seed and Its Potential Use in Functional Food Design*.
- Sri, P. (2019). *EFISIENSI PENURUNAN KADAR COD, TSS, DAN TDS PADA AIR LIMBAH PT MAXINDO KARYA ANUGERAH MENGGUNAKAN KOAGULAN POLY ALUMINIUM CHLORIDE DENGAN METODE JAR TEST*.
- Syamsudin, A. (2024). *OPTIMASI LARUTAN NaCl PADA PEMBUATAN BIOKOAGULAN DARI BIJI PEPAYA (Carica papaya L.) DAN BIJI KELOR (Moringa oleifera)*.
- Tahraoui, H., Toumi, S., Boudoukhani, M., Touzout, N., Nour, A., Houda, E., Amrane, A., Belhadj, A., Hadjadj, M., Laichi, Y., & Aboumustapha, M. (2024). *Evaluating the Effectiveness of Coagulation – Flocculation Treatment Using Aluminum Sulfate on a Polluted Surface Water Source : A Year-Long Study*. 2.
- Wangi, S., & Rahmayanti, M. (2020). *EFEKTIVITAS BIJI ASAM JAWA SEBAGAI KOAGULAN ALAMI DALAM MENURUNKAN KONSENTRASI ZAT WARNA REMAZOL RED DAN NILAI COD* (pp. 2548–8570).
- Widyastuti. (2023). *PERBANDINGAN KARAKTERISTIK DAN KUALITAS KITOSAN DARI KULIT UDANG JERBUNG (Penaeus merguensis de Man)*. 2(1), 1–14.
- Wongsa, P., Phatikulrungsun, P., & Prathumthong, S. (2022). OPEN FT - IR characteristics , phenolic profiles and inhibitory potential against digestive enzymes of 25 herbal infusions. *Scientific Reports*, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10669-z>
- Zourif, A., Benbiyi, A., Kouniba, S., & Guendouzi, M. El. (2024). Avocado seed as a natural coagulant for removing dyes and turbidity from wastewater : Behnken Box design , sustainable reuse , and economic evaluation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 39(April), 101621. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101621>



LAMPIRAN 1

Perhitungan Dosis Koagulan

Konsentrasi larutan koagulan ekstrak biji alpukat dan ekstrak biji asam jawa 10.000 mg/L

Biji Asam Jawa	Biji Alpukat
Dosis 700 mg/L	
Dosis 350 mg/L $M1 \times V1 = M2 \times V2$ $10.000 \text{ mg/L} \times V1 = 350 \text{ mg/L} \times 1000$ mL $V1 = 35 \text{ mL}$	Dosis 350 mg/L $M1 \times V1 = M2 \times V2$ $10.000 \text{ mg/L} \times V1 = 350 \text{ mg/L} \times 1000$ mL $V1 = 35 \text{ mL}$
Dosis 800 mg/L	
Dosis 400 mg/L $M1 \times V1 = M2 \times V2$ $10.000 \text{ mg/L} \times V1 = 400 \text{ mg/L} \times 1000$ mL $V1 = 40 \text{ mL}$	Dosis 400 mg/L $M1 \times V1 = M2 \times V2$ $10.000 \text{ mg/L} \times V1 = 400 \text{ mg/L} \times 1000$ mL $V1 = 40 \text{ mL}$
Dosis 900 mg/L	
Dosis 450 mg/L $M1 \times V1 = M2 \times V2$ $10.000 \text{ mg/L} \times V1 = 450 \text{ mg/L} \times 1000$ mL $V1 = 45 \text{ mL}$	Dosis 450 mg/L $M1 \times V1 = M2 \times V2$ $10.000 \text{ mg/L} \times V1 = 450 \text{ mg/L} \times 1000$ mL $V1 = 45 \text{ mL}$

LAMPIRAN 2
Perhitungan Larutan

1. Pembuatan Larutan NaCl 1 M

Diketahui :

$$\text{Mr NaCl} = 58,5 \text{ gr/mol}$$

$$\text{V Larutan} = 1000 \text{ mL}$$

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

Penyelesaian :

$$\text{Mol NaCl (n)} = M \times V$$

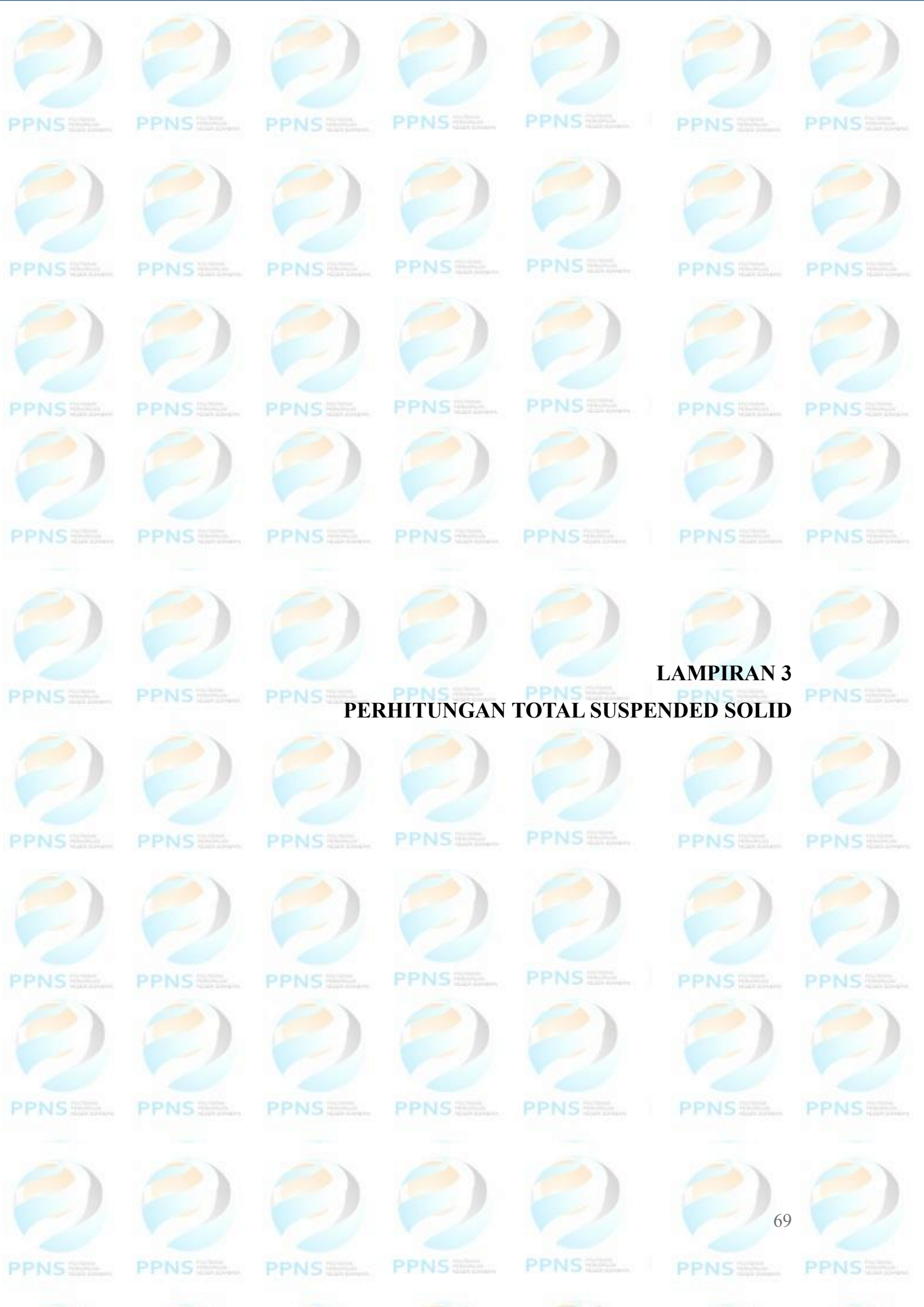
$$= 1 \text{ mol/L} \times 1 \text{ L}$$

$$= 1 \text{ mol}$$

$$\text{Massa NaCl} = n \times \text{Mr}$$

$$= 1 \text{ mol} \times 58,5 \text{ g/mol}$$

$$= 58,5 \text{ gram}$$



LAMPIRAN 3
PERHITUNGAN TOTAL SUSPENDED SOLID

Perhitungan TSS air limbah industri tahu pada penelitian ini mengacu pada SNI 6989.3:2019 dengan persamaan berikut:

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

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 kontrol

$$\begin{aligned} \text{a. TSS (mg/L)} &= \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000 \\ \text{TSS (mg/L)} &= \frac{1,134 \text{ g} - 0,652 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000 \\ \text{TSS (mg/L)} &= \frac{1134 \text{ mg} - 652 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000 \\ \text{TSS (mg/L)} &= 4.820 \text{ mg/L} \\ \text{b. TSS (mg/L)} &= \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000 \\ \text{TSS (mg/L)} &= \frac{1,121 \text{ g} - 0,622 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000 \\ \text{TSS (mg/L)} &= \frac{1121 \text{ mg} - 622 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000 \\ \text{TSS (mg/L)} &= 4.990 \text{ mg/L} \\ \text{c. Rata - Rata} &= \frac{4820 \text{ mg/L} + 4990 \text{ mg/L}}{2} = 4905 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

2. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering R1

$$\begin{aligned} \text{a. TSS (mg/L)} &= \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000 \\ \text{TSS (mg/L)} &= \frac{1,029 \text{ g} - 0,653 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000 \\ \text{TSS (mg/L)} &= \frac{1029 \text{ mg} - 653 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000 \end{aligned}$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 3.760 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{v} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{0,979 \text{ g} - 0,622 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{979 \text{ mg} - 622 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 3.570 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{3760 \text{ mg/L} + 3570 \text{ mg/L}}{2} = 3.665 \text{ mg/L}$$

3. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering R2

$$\text{a. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{v} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{0,964 \text{ g} - 0,623 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{964 \text{ mg} - 623 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 3.410 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{v} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{0,861 \text{ g} - 0,647 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{861 \text{ mg} - 647 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 2.140 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{3410 \text{ mg/L} + 2140 \text{ mg/L}}{2} = 2.775 \text{ mg/L}$$

4. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering R3

$$\text{a. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{v} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{0,729 \text{ g} - 0,619 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{729 \text{ mg} - 619 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 1.100 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{v} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{0,809 \text{ g} - 0,625 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{809 \text{ mg} - 625 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 1.840 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{1100 \text{ mg/L} + 1840 \text{ mg/L}}{2} = 1.470 \text{ mg/L}$$

5. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering R4

$$\text{a. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{1,023 \text{ g} - 0,632 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{1023 \text{ mg} - 632 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 3.910 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{1,017 \text{ g} - 0,631 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{1017 \text{ mg} - 631 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 3.860 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{3910 \text{ mg/L} + 3860 \text{ mg/L}}{2} = 3.885 \text{ mg/L}$$

6. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering R5

$$\text{a. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{0,848 \text{ g} - 0,642 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{848 \text{ mg} - 642 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 2.060 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{0,829 \text{ g} - 0,629 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{829 \text{ mg} - 629 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 2.000 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{2060 \text{ mg/L} + 2000 \text{ mg/L}}{2} = 2.030 \text{ mg/L}$$

7. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering R6

- a. $TSS (mg/L) = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = \frac{0,781 \text{ g} - 0,643 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = \frac{781 \text{ mg} - 643 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = 1.380 \text{ mg/L}$
- b. $TSS (mg/L) = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = \frac{0,751 \text{ g} - 0,639 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = \frac{751 \text{ mg} - 639 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = 1.120 \text{ mg/L}$
- c. Rata – Rata = $\frac{1380 \text{ mg/L} + 1120 \text{ mg/L}}{2} = 1250 \text{ mg/L}$

8. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering R7

- a. $TSS (mg/L) = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = \frac{0,994 \text{ g} - 0,637 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = \frac{994 \text{ mg} - 637 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = 3.570 \text{ mg/L}$
- b. $TSS (mg/L) = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = \frac{0,992 \text{ g} - 0,635 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = \frac{992 \text{ mg} - 635 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = 3.570 \text{ mg/L}$
- c. Rata – Rata = $\frac{3570 \text{ mg/L} + 3570 \text{ mg/L}}{2} = 3.570 \text{ mg/L}$

9. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering R8

- a. $TSS (mg/L) = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$
 $TSS (mg/L) = \frac{0,837 \text{ g} - 0,651 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{837 \text{ mg} - 651 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 1.860 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{v} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{0,834 \text{ g} - 0,628 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{834 \text{ mg} - 628 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 2.060 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{1860 \text{ mg/L} + 2060 \text{ mg/L}}{2} = 1.960 \text{ mg/L}$$

10. Perhitungan TSS air limbah UMKM kue kering R9

$$\text{a. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{v} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{0,735 \text{ g} - 0,651 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{735 \text{ mg} - 651 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 850 \text{ mg/L}$$

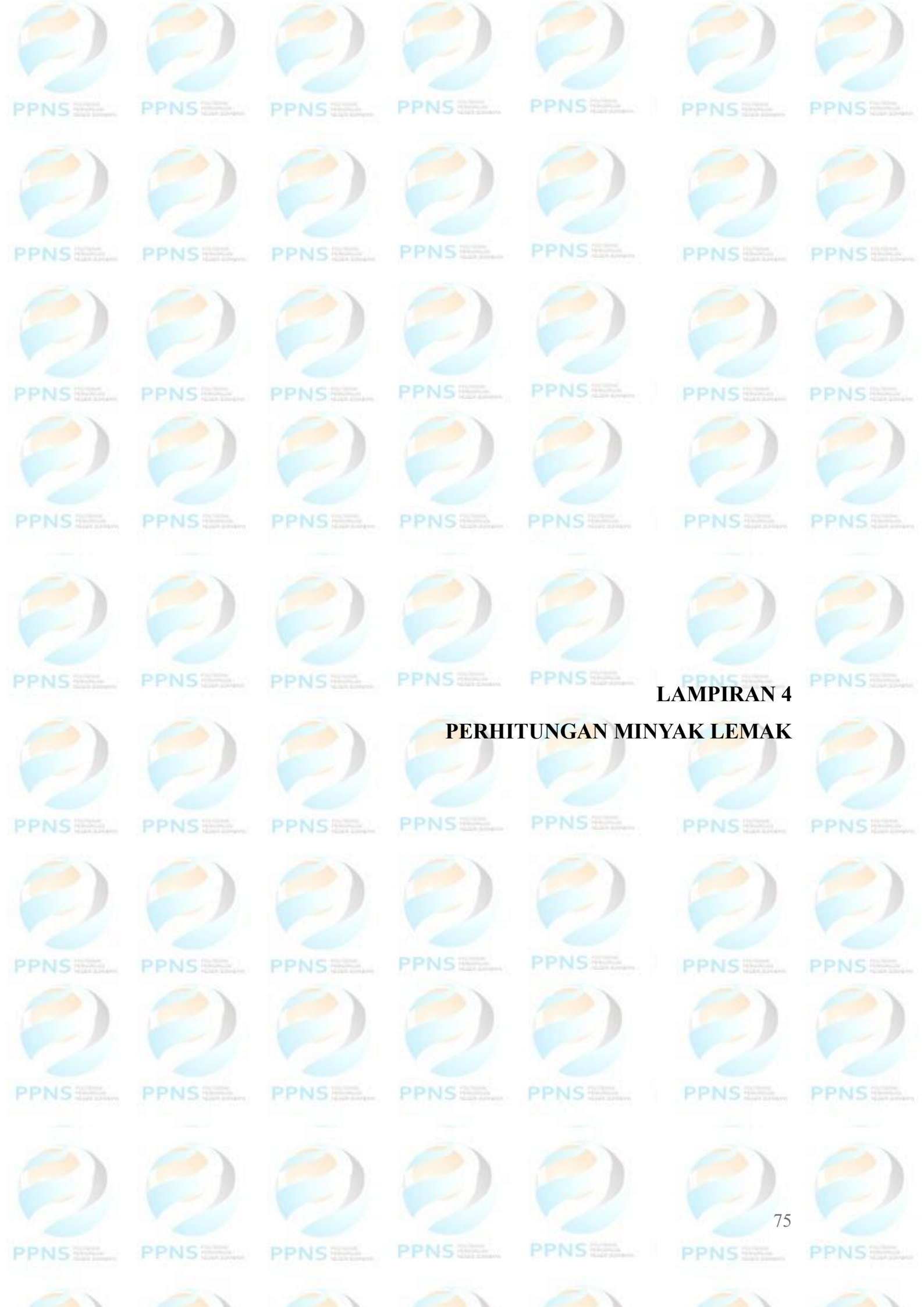
$$\text{b. TSS (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{v} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{0,756 \text{ g} - 0,659 \text{ g}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = \frac{756 \text{ mg} - 659 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{TSS (mg/L)} = 970 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{840 \text{ mg/L} + 970 \text{ mg/L}}{2} = 905 \text{ mg/L}$$



LAMPIRAN 4
PERHITUNGAN MINYAK LEMAK

Perhitungan minyak lemak air limbah industri tahu pada penelitian ini mengacu pada SNI 6989.10:2011 dengan persamaan berikut:

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

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 minyak lemak air limbah UMKM kue kering variabel kontrol

a. $\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W1 - W0}{V} \times 1000$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{42,352 \text{ g} - 40,297 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{42352 \text{ mg} - 40297 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 41.100 \text{ mg/L}$$

b. $\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W1 - W0}{V} \times 1000$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{42,873 \text{ g} - 40,297 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{42873 \text{ mg} - 40297 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 51.520 \text{ mg/L}$$

c. $\text{Rata - Rata} = \frac{41100 \text{ mg/L} + 51520 \text{ mg/L}}{2} = 46310 \text{ mg/L}$

2. Perhitungan minyak lemak air limbah UMKM kue kering R1

a. $\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W1 - W0}{V} \times 1000$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41,593 \text{ g} - 40,297 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41593 \text{ mg} - 40297 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 25.920 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41,876 \text{ g} - 40,297 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41876 \text{ mg} - 40297 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 31.580 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{25920 \text{ mg/L} + 31580 \text{ mg/L}}{2} = 28750 \text{ mg/L}$$

3. Perhitungan minyak lemak air limbah UMKM kue kering R2

$$\text{a. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{45,115 \text{ g} - 44,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{45.115 \text{ mg} - 44.085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 20.600 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{45,084 \text{ g} - 44,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{45084 \text{ mg} - 44085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 19.980 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{20600 \text{ mg/L} + 19980 \text{ mg/L}}{2} = 20.290 \text{ mg/L}$$

4. Perhitungan minyak lemak air limbah UMKM kue kering R3

$$\text{a. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62,878 \text{ g} - 62,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62878 \text{ mg} - 62085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 15.860 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62,906 \text{ g} - 62,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62906 \text{ mg} - 62085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 16.420 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{15860 \text{ mg/L} + 16420 \text{ mg/L}}{2} = 16.140 \text{ mg/L}$$

5. Perhitungan minyak lemak air limbah UMKM kue kering R4

$$\text{a. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41,712 \text{ g} - 40,297 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41712 \text{ mg} - 40297 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 28.300 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41,237 \text{ g} - 40,297 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41237 \text{ mg} - 40297 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 18.800 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{28300 \text{ mg/L} + 1880 \text{ mg/L}}{2} = 23.550 \text{ mg/L}$$

6. Perhitungan minyak lemak air limbah UMKM kue kering R5

$$\text{a. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{45,104 \text{ g} - 44,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{45104 \text{ mg} - 44085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 20.380 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{44,985 \text{ g} - 44,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{44985 \text{ mg} - 44085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 18.000 \text{ mg/L}$$

$$c. \text{ Rata - Rata} = \frac{20380 \text{ mg/L} + 18000 \text{ mg/L}}{2} = 19.190 \text{ mg/L}$$

7. Perhitungan minyak lemak air limbah UMKM kue kering R6

$$a. \text{ Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62,578 \text{ g} - 62,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62578 \text{ mg} - 62085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 9.860 \text{ mg/L}$$

$$b. \text{ Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62,896 \text{ g} - 62,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62896 \text{ mg} - 62085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 16.220 \text{ mg/L}$$

$$c. \text{ Rata - Rata} = \frac{9860 \text{ mg/L} + 16220 \text{ mg/L}}{2} = 16140 \text{ mg/L}$$

8. Perhitungan minyak lemak air limbah UMKM kue kering R7

$$a. \text{ Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41,494 \text{ g} - 40,297 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41494 \text{ mg} - 40297 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 23.940 \text{ mg/L}$$

$$b. \text{ Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41,256 \text{ g} - 40,297 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{41256 \text{ mg} - 40297 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 19.180 \text{ mg/L}$$

$$c. \text{ Rata - Rata} = \frac{23940 \text{ mg/L} + 19180 \text{ mg/L}}{2} = 21560 \text{ mg/L}$$

9. Perhitungan minyak lemak air limbah UMKM kue kering R8

$$a. \text{ Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{44,792 \text{ g} - 44,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{44792 \text{ mg} - 44085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 14.140 \text{ mg/L}$$

$$\text{b. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{44,892 \text{ g} - 44,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{44892 \text{ mg} - 44085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 16.140 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{14140 \text{ mg/L} + 16140 \text{ mg/L}}{2} = 15.140 \text{ mg/L}$$

10. Perhitungan minyak lemak air limbah UMKM kue kering R9

$$\text{a. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62,543 \text{ g} - 62,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62543 \text{ mg} - 62085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 9.160 \text{ mg/L}$$

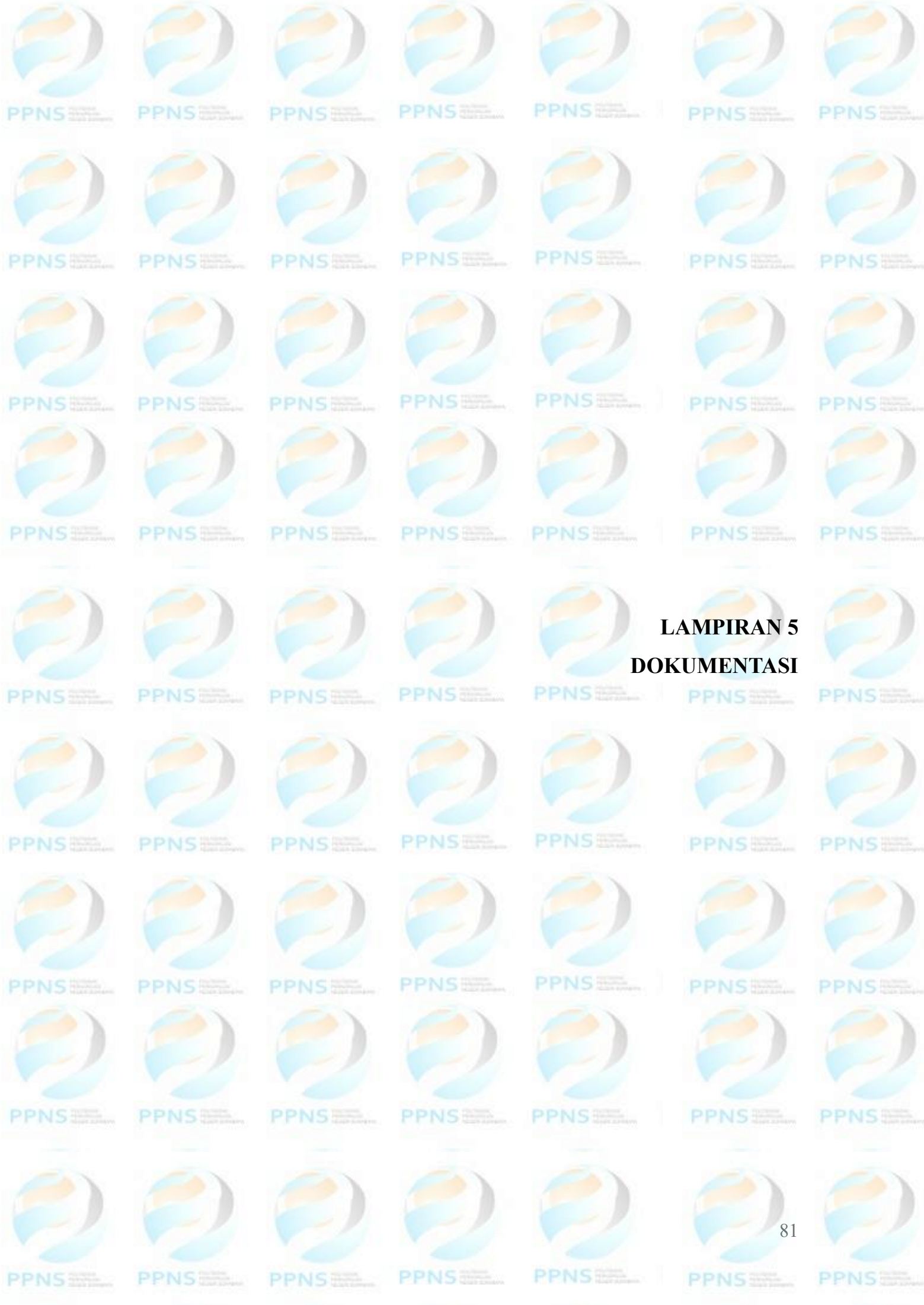
$$\text{b. Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{W_1 - W_0}{V} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62,711 \text{ g} - 62,085 \text{ g}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = \frac{62711 \text{ mg} - 62085 \text{ mg}}{50 \text{ ml}} \times 1000$$

$$\text{Minyak Lemak (mg/L)} = 12.520 \text{ mg/L}$$

$$\text{c. Rata - Rata} = \frac{9160 \text{ mg/L} + 12520 \text{ mg/L}}{2} = 10.840 \text{ mg/L}$$



LAMPIRAN 5
DOKUMENTASI

Preparasi biokoagulan



Pengovenan biji asam jawa

Pengovenan biji alpukat



Penghalusan biji asam jawa

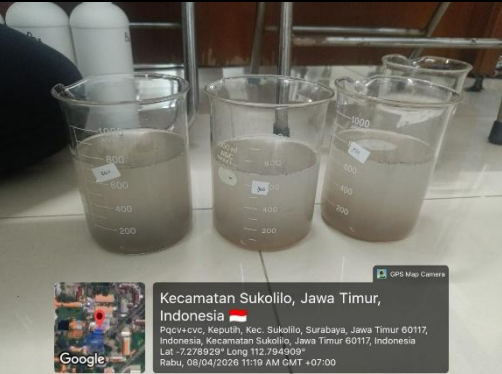
Penghalusan biji alpukat



Pengayakan biji asam jawa dengan menggunakan ayakan 100 mesh

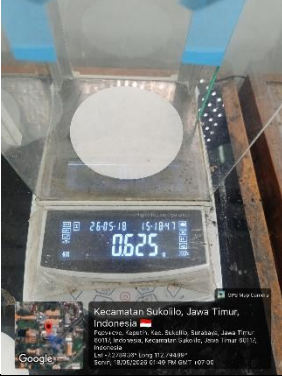
Ekstraksi Biokoagulan

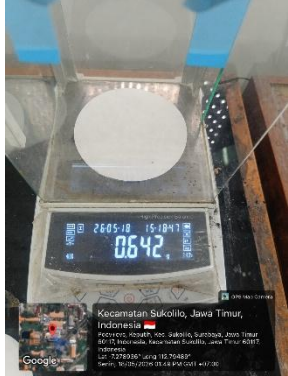
	
Pengukuran massa serbuk biji asam jawa	Pengukuran massa serbuk biji alpukat
Pembuatan larutan NaCl 1 M untuk serbuk biji asam jawa	
	
Proses perendaman biji asam jawa dengan larutan NaCl 1 M	Proses perendaman biji alpukat dengan larutan etanol 96%
Proses pemisahan residu koagulan	Proses penyaringan biji alpukat
Tahap Running dengan <i>jar test</i>	

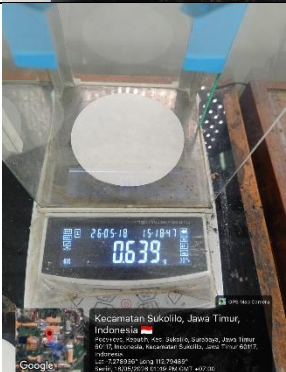
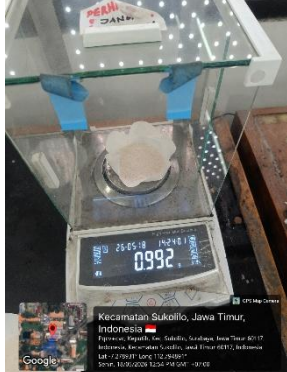
	
Proses pengadukan <i>jar test</i>	Hasil air limbah setelah <i>jar test</i>

LAMPIRAN 6
DOKUMENTASI PENGUJIAN TOTAL SUSPENDED SOLID

No	Variabel Penelitian	W_0	W_1
1	R0	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Pegowen, Kowati, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117, Indonesia Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 60117, Indonesia Lat: -7.27832° Long: 112.734859° Seri: 18062020 17:36 PM GMT +07:00	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Pegowen, Kowati, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117, Indonesia Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 60117, Indonesia Lat: -7.27832° Long: 112.734859° Seri: 18062020 17:36 PM GMT +07:00
		 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Pegowen, Kowati, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117, Indonesia Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 60117, Indonesia Lat: -7.27832° Long: 112.734859° Seri: 18062020 17:36 PM GMT +07:00	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Pegowen, Kowati, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117, Indonesia Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 60117, Indonesia Lat: -7.27832° Long: 112.734859° Seri: 18062020 17:36 PM GMT +07:00
2	R1	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Pegowen, Kowati, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117, Indonesia Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 60117, Indonesia Lat: -7.27832° Long: 112.734859° Seri: 18062020 17:36 PM GMT +07:00	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Pegowen, Kowati, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117, Indonesia Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 60117, Indonesia Lat: -7.27832° Long: 112.734859° Seri: 18062020 17:36 PM GMT +07:00
		 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Pegowen, Kowati, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117, Indonesia Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 60117, Indonesia Lat: -7.27832° Long: 112.734859° Seri: 18062020 17:36 PM GMT +07:00	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Pegowen, Kowati, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60117, Indonesia Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 60117, Indonesia Lat: -7.27832° Long: 112.734859° Seri: 18062020 17:36 PM GMT +07:00

No	Variabel Penelitian	W ₀	W ₁
3	R2		
			
4	R3		
			

No	Variabel Penelitian	W ₀	W ₁
5	R4		
			
6	R5		
			

No	Variabel Penelitian	W ₀	W ₁
7	R6		
			
8	R7		
			

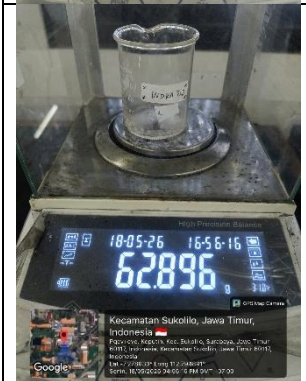
No	Variabel Penelitian	W ₀	W ₁
9	R8	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Koordinat: 8.0481° N, 115.8416° E Sat: 12 Indonesia, Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 80115 Indonesia Lat: 8.0481° Long: 115.8416° Sat: 12 Indonesia 12.04.2018 15:10:17	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Koordinat: 8.0481° N, 115.8416° E Sat: 12 Indonesia, Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 80115 Indonesia Lat: 8.0481° Long: 115.8416° Sat: 12 Indonesia 12.04.2018 15:10:17
		 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Koordinat: 8.0481° N, 115.8416° E Sat: 12 Indonesia, Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 80115 Indonesia Lat: 8.0481° Long: 115.8416° Sat: 12 Indonesia 12.04.2018 15:10:17	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Koordinat: 8.0481° N, 115.8416° E Sat: 12 Indonesia, Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 80115 Indonesia Lat: 8.0481° Long: 115.8416° Sat: 12 Indonesia 12.04.2018 15:10:17
10	R9	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Koordinat: 8.0481° N, 115.8416° E Sat: 12 Indonesia, Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 80115 Indonesia Lat: 8.0481° Long: 115.8416° Sat: 12 Indonesia 12.04.2018 15:10:17	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Koordinat: 8.0481° N, 115.8416° E Sat: 12 Indonesia, Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 80115 Indonesia Lat: 8.0481° Long: 115.8416° Sat: 12 Indonesia 12.04.2018 15:10:17
		 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Koordinat: 8.0481° N, 115.8416° E Sat: 12 Indonesia, Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 80115 Indonesia Lat: 8.0481° Long: 115.8416° Sat: 12 Indonesia 12.04.2018 15:10:17	 Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur, Indonesia Koordinat: 8.0481° N, 115.8416° E Sat: 12 Indonesia, Kecamatan Sukolilo, Jawa Timur 80115 Indonesia Lat: 8.0481° Long: 115.8416° Sat: 12 Indonesia 12.04.2018 15:10:17

LAMPIRAN 7
DOKUMENTASI PENGUJIAN MINYAK LEMAK

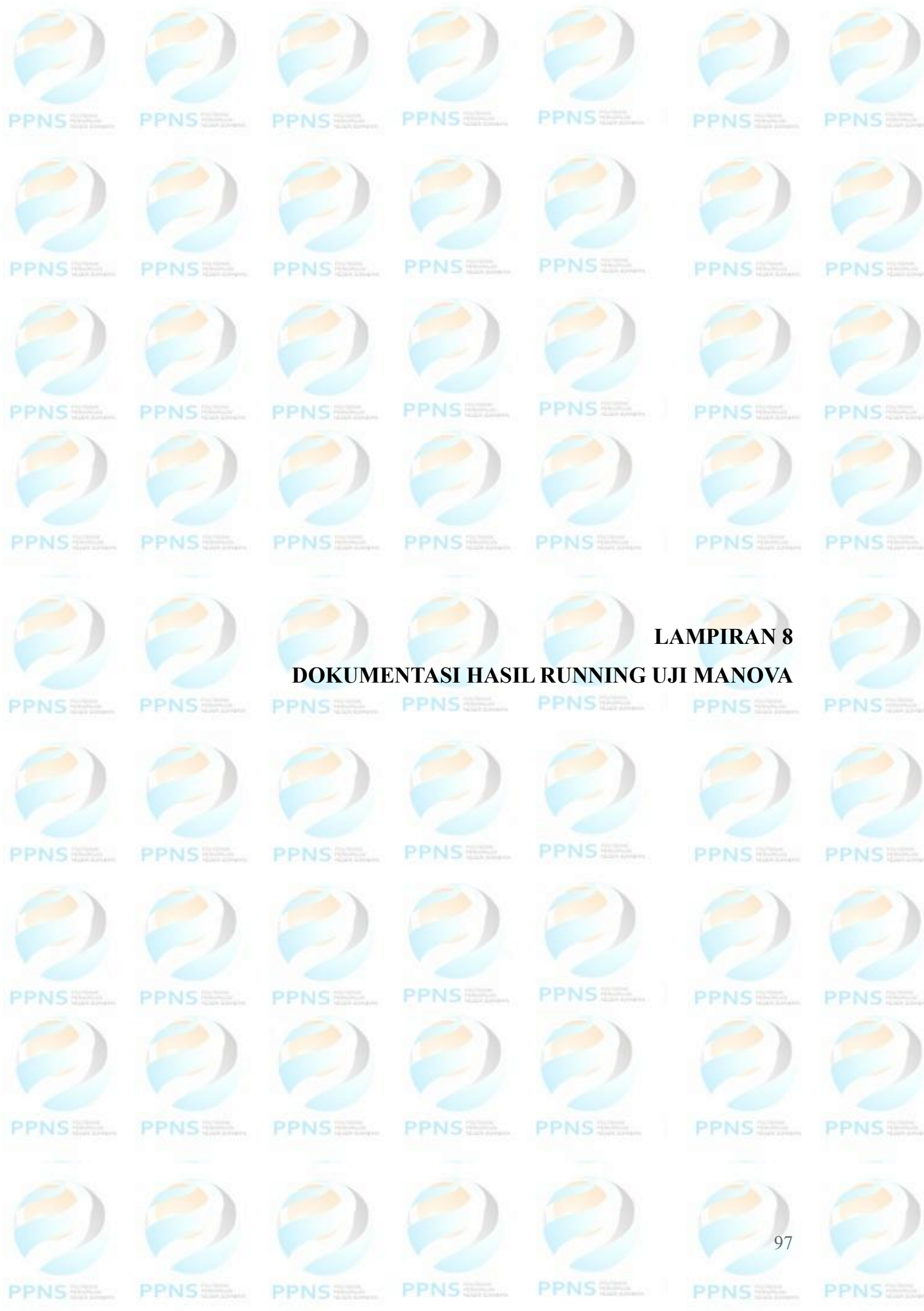
No	Variabel Penelitian	W_0	W_1
1	R0		
			
2	R1		
			

3	R2		
			
4	R3		
			

5	R4		
			
6	R5		
			

7	R6		
			
8	R7		
			

9	R8		
			
10	R9		
			



LAMPIRAN 8
DOKUMENTASI HASIL RUNNING UJI MANOVA

1. Pengujian hasil uji normalitas manova

- uji normalitas variasi dosis kaogulan

Tests of Normality							
	Dosis	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
TSS	700	.198	3	.	.995	3	.870
	800	.342	3	.	.845	3	.227
	900	.249	3	.	.968	3	.654
COD	700	.244	3	.	.972	3	.676
	800	.260	3	.	.958	3	.606
	900	.282	3	.	.936	3	.510
Minyak_Lemak	700	.191	3	.	.997	3	.899
	800	.375	3	.	.773	3	.052
	900	.351	3	.	.827	3	.182

a. Lilliefors Significance Correction

- uji normalitas variasi kecepatan lambat

Tests of Normality							
	Kecepatan Lambat	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
TSS	30	.341	3	.	.847	3	.232
	40	.284	3	.	.933	3	.502
	50	.203	3	.	.994	3	.850
COD	30	.189	3	.	.998	3	.906
	40	.183	3	.	.999	3	.932
	50	.252	3	.	.965	3	.640
Minyak_Lemak	30	.183	3	.	.999	3	.932
	40	.204	3	.	.993	3	.845
	50	.251	3	.	.966	3	.645

a. Lilliefors Significance Correction

2. Pengujian Hasil Uji Homogenitas Manova

- Uji homogenitas dosis koagulan

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
TSS	4.839	2	6	.056
Minyak_Lemak	1.162	2	6	.375
COD	.451	2	6	.657

- Uji homogenitas kecepatan lambat

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
TSS	.033	2	6	.968
Minyak_Lemak	.495	2	6	.633
COD	.062	2	6	.941

3. Hasil pengujian Manova

Tests of Between-Subjects Effects							
Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	TSS	20134000.0 ^a	8	2516750.000	16.258	.000	.935
	Minyak_Lemak	497021511 ^b	8	62127688.89	5.402	.010	.828
	COD	91704.730 ^c	8	11463.091	216.434	.000	.995
Intercept	TSS	102817800.0	1	102817800.0	664.198	.000	.987
	Minyak_Lemak	6309388889	1	6309388889	548.651	.000	.984
	COD	1158850.880	1	1158850.880	21880.248	.000	1.000
Dosis_Koagulan	TSS	18889033.33	2	9444516.667	61.011	.000	.931
	Minyak_Lemak	384107377.8	2	192053688.9	16.701	.001	.788
	COD	83338.403	2	41669.202	786.756	.000	.994
Kecepatan_Lambat	TSS	725233.333	2	362616.667	2.342	.152	.342
	Minyak_Lemak	103872711.1	2	51936355.56	4.516	.044	.501
	COD	7122.923	2	3561.462	67.244	.000	.937
Dosis_Koagulan * Kecepatan_Lambat	TSS	519733.333	4	129933.333	.839	.534	.272
	Minyak_Lemak	9041422.222	4	2260355.556	.197	.934	.080
	COD	1243.403	4	310.851	5.869	.013	.723
Error	TSS	1393200.000	9	154800.000			
	Minyak_Lemak	103498400.0	9	11499822.22			
	COD	476.670	9	52.963			
Total	TSS	124345000.0	18				
	Minyak_Lemak	6909908800	18				
	COD	1251032.280	18				
Corrected Total	TSS	21527200.00	17				
	Minyak_Lemak	600519911.1	17				
	COD	92181.400	17				

a. R Squared = .935 (Adjusted R Squared = .878)

b. R Squared = .828 (Adjusted R Squared = .674)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 9
HASIL PENGUJIAN LABORATORIUM EKSTERNAL

1. Hasil Pengujian Parameter COD

No Analisa : 2026P02740 - 2026P02749

Tanggal pengujian : 19 Mei – 03 Juni 2026

Hasil Uji :

No	No Analisa	Kode	Satuan	Hasil Uji COD	
				I	II
1	2026P02740	R0	mg/L	679.3	667.1
2	2026P02741	R1	mg/L	351.9	365.2
3	2026P02742	R2	mg/L	286.8	281.5
4	2026P02743	R3	mg/L	209.5	195.6
5	2026P02744	R4	mg/L	323.7	339.5
6	2026P02745	R5	mg/L	238.2	229.1
7	2026P02746	R6	mg/L	162.6	158.5
8	2026P02747	R7	mg/L	308.4	320.8
9	2026P02748	R8	mg/L	253.7	258
10	2026P02749	R9	mg/L	145.2	139.2
Metode Uji				SNI 6989.2:2019	

Catatan :

- Parameter uji sesuai dengan permintaan
- Laboratorium tidak melakukan pengambilan contoh tersebut, sehingga laboratorium tidak bertanggung jawab atas pengambilan dan pengiriman contoh

Laboratorium
Kimia dan Lingkungan



Ardhaningtyas Riza Utami, ST, MT
NIP. 1978082320056022001

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Andiannur Poppy Arsymillah yang bisa dipanggil Poppy lahir di Surabaya, 19 Februari 2004. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis diantaranya SDN 3 Petiken (2010-2016), SMPN 1 Driyorejo (2016-2019), dan SMAN 1 Driyorejo (2019-2022). Penulis kemudian 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 di organisasi HIMATEKPL dengan mengamban amanah di Departemen Sosial Masyarakat, yaitu sebagai staff ahli pada periode 2025 dan periode 2023-2024. Penulis memiliki pengalaman On The Job Training pada 2 industri berbeda, Seperti PT Tunas Bestari Adhiwangsa (Februari – Juli 2025) dan PT Manohara Asri (Agustus – Desember 2025). Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi penulis via email andiannurpoppy@gmail.com. Penulis berharap bahwa penelitian ini akan memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan untuk para pembacanya.