

**PEMANFAATAN SEDIMEN SALURAN DRAINASE
SEBAGAI MEDIA ADSORBEN DALAM
PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

YUSMARIZAL

NIM. 190702113

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2026 M/1447 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN SEDIMEN SALURAN DRAINASE SEBAGAI MEDIA ADSORBEN DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik (S1) dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh :

YUSMARIZAL

190702113

Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN AR-Raniry Banda Aceh

Disetujui Untuk Dimunaqasyahkan oleh:

Pembimbing I,

Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.,
NIP. 198311092014032002

Pembimbing II,

If. Lisa Ginayatri, ST. M.T

Mengetahui
Ketua Program Studi

Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.,
NIP. 198311092014032002

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PEMANFAATAN SEDIMEN SALURAN DRAINASE SEBAGAI MEDIA ADSORBEN DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TEMPE

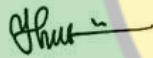
Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir/Skripsi
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Dinyatakan Lulus Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi
Program Sarjana (S-1) Dalam Ilmu Teknik Lingkungan.

Pada Hari/Tanggal: Senin, 20 April 2026
Senin, 2 Zulkaidah 1447 H

di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir/Skripsi

Ketua,



Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.,
NIP. 198311092014032002

Sekretaris,



Ir. Lisa Ginayatri, S.T., M.T

Penguji 1



Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc

Penguji 2



Muhammad Daudsyah, S.T., M.Ling

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh



Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU.
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yusmarizal
NIM : 190702113
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul : Pemanfaatan Sedimen Saluran Drainase Sebagai Media
Adsorben Dalam Pengolahan Limbah Cair Tempe

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir/skripsi ini, saya:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing
3. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
4. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
5. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
6. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh 05 Maret 2026


0BAOX123002238
(Yusmarizal)

ABSTRAK

Nama : Yusmarizal
NIM : 190702113
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi : Pemanfaatan Sedimen Saluran Drainase Sebagai Media Adsorben Dalam Pengolahan Limbah Cair Tempe
Tanggal Sidang :
Jumlah Halaman : 92 Halaman
Pembimbing I : Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.,
Pembimbing II : Ir. Lisa Ginayatri, ST. M.T
Kata Kunci : Limbah cair tempe, adsorpsi, sedimen saluran drainase, COD, BOD, TSS

Industri tempe merupakan salah satu industri rumah tangga yang menghasilkan limbah cair dengan kandungan bahan organik tinggi yang berasal dari proses pencucian, perendaman, dan perebusan kedelai. Limbah tersebut mengandung senyawa organik yang dapat meningkatkan nilai *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, dan *Total Suspended Solids (TSS)*, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas pemanfaatan sedimen saluran drainase sebagai media adsorben dalam menurunkan kadar pencemar pada limbah cair industri tempe. Penelitian dilakukan secara eksperimen menggunakan metode batch dengan variasi kecepatan pengadukan 80 rpm dan 200 rpm serta rasio limbah terhadap sedimen 1:2, 1:4, dan 1:5. Karakteristik awal limbah menunjukkan nilai COD >15.000 mg/L, BOD 108,9 mg/L, TSS 780 mg/L, dan pH 4. Hasil optimal tercapai pada pengadukan 200 rpm dengan rasio 1:2, menurunkan COD menjadi 1.858 mg/L (efisiensi 87,61%) dan TSS menjadi 70 mg/L (efisiensi 91,03%). Meskipun nilai BOD pada beberapa variasi mengalami kenaikan akibat pelarutan organik dari sedimen, seluruh hasil BOD tetap di bawah baku mutu 150 mg/L, dengan nilai terendah 105,56 mg/L pada 200 rpm rasio 1:5. pH limbah meningkat dari 4 menjadi 5,2. Studi ini menyimpulkan bahwa sedimen saluran drainase berpotensi sebagai adsorben alternatif yang efektif untuk mengurangi COD dan TSS limbah cair tempe. Diperlukan optimasi lebih lanjut untuk stabilisasi BOD dan pH.

ABSTRACT

Name : Yusmarizal
NIM : 190702113
Study Program : Environmental Engineering
Judul Skripsi : Utilization of Drainage Channel Sediment as an Adsorbent Medium in Tempe Liquid Waste Treatment
Trial Date :
Number of pages : 92 Page
Supervisor I : Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.,
Supervisor II : Ir. Lisa Ginayatri, ST. M.T
Keywords : Tempe liquid waste, adsorption, drainage channel sediment, COD, BOD, TSS, pH

The tempeh industry is a cottage industry that produces liquid waste with a high organic content resulting from the washing, soaking, and boiling of soybeans. This wastewater contains organic compounds that can increase the levels of Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), and Total Suspended Solids (TSS), thus potentially causing environmental pollution if discharged without treatment. This study aims to determine the effectiveness of using drainage channel sediment as an adsorbent medium in reducing pollutant levels in tempe industry wastewater. The study was conducted experimentally using a batch method with stirring speeds of 80 rpm and 200 rpm and waste-to-sediment ratios of 1:2, 1:4, and 1:5. Initial waste characteristics showed COD >15,000 mg/L, BOD 108.9 mg/L, TSS 780 mg/L, and pH 4. Optimal results were achieved at 200 rpm stirring with a 1:2 ratio, reducing COD to 1,858 mg/L (87.61% efficiency) and TSS to 70 mg/L (91.03% efficiency). Although BOD values in some variations increased due to the dissolution of organic matter from the sediment, all BOD results remained below the quality standard of 150 mg/L, with the lowest value of 105.56 mg/L at 200 rpm and a 1:5 ratio. The pH of the wastewater increased from 4 to 5.2. This study concludes that drainage channel sediment has the potential to serve as an effective alternative adsorbent for reducing COD and TSS in tempeh wastewater. Further optimization is needed to stabilize BOD and pH.

KATA PENGATAR

Alhamdulillahirabbil 'alamin, puji syukur kepada Allah Swt. yang senantiasa kita panjatkan atas segala rahmat dan karunia-Nya dan juga *shalawat* serta salam kepada pangkuan baginda nabi besar Muhammad saw. yang telah membawa kita dari alam kebodohan ke alam yang berilmu pengetahuan seperti yang kita rasakan pada saat ini, sehingga penulis diberi keberkahan ilmu pengetahuan guna menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Pemanfaatan Sedimen Saluran Drainase Sebagai Media Adsorben Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe”** dengan baik.

Tidak lupa pula pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua yang selalu memberikan doa, dukungan moral dan dukungan finansial, serta keluarga besar yang memberikan doa, perhatian dan dorongan bagi keberhasilan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan dengan tulus selama penulis melakukan penelitian hingga proses penyusunan tugas akhir ini. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada tidak terhitung kepada:

1. Prof. Dr. Ir. M. Dirhamsyah, M.T., IPU, yang menjabat sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc., yang merupakan Kepala Program Studi Teknik Lingkungan di Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh dan juga dosen pembimbing I yang memberi izin kepada penulis untuk melakukan penelitian ini.'
3. Ibu Ir. Lisa Ginayatri, ST. M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan dukungan serta masukan untuk penyempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Aulia Rohendi, M.Sc., Selaku Sekretaris program studi Teknik lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

5. Dosen Prodi dan staf Program Studi Teknik Lingkungan yang memberikan motivasi, pengajaran dan bantuan selama masa kuliah.
6. Kepada Partner saya Mayyada Salsabila yang selalu memberikan dukungan serta selalu mendoakan saya di setiap saat.
7. Serta semua pihak yang memberikan semangat dan bantuan untuk kelancaran penulisan proposal ini.

Oleh karena itu, penulis sangat menghargai saran dan kritik yang konstruktif, yang akan sangat membantu untuk meningkatkan kualitas proposal ini. Semoga penyusunan proposal ini akan membawa manfaat yang berarti, tidak hanya bagi penulis sendiri tetapi juga bagi pembaca yang lain. Dalam penutup, penulis mengucapkan terima kasih dengan penuh rasa tulus.

Banda Aceh, 05 Maret 2026

Yusmarizal

NIM. 190702113



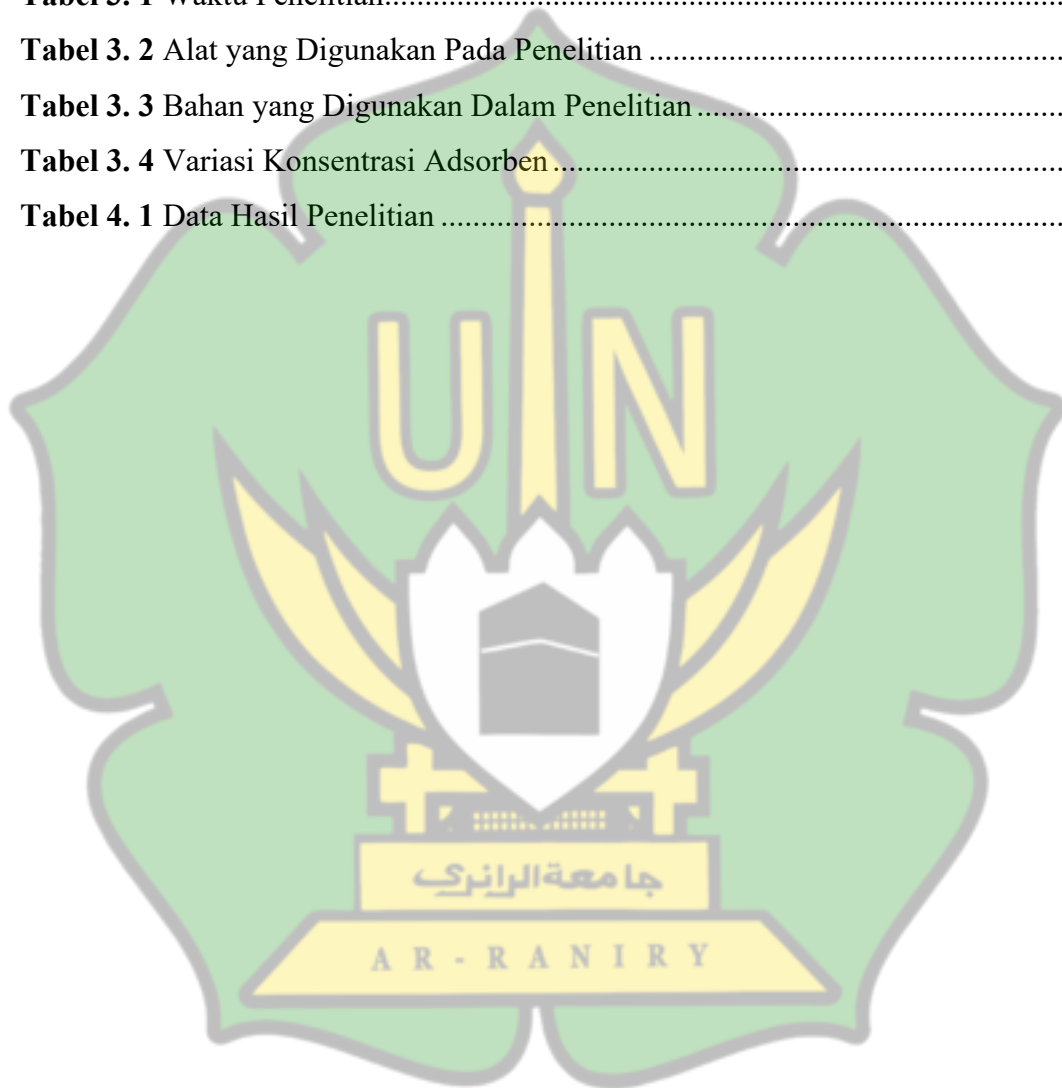
DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN.....	Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Limbah Cair Industri Tempe	5
2.1.1. Baku Mutu Limbah Cair Tempe	10
2.1.2. Dampak Pencemaran Air Limbah Industri Tempe Terhadap Lingkungan	11
2.2. Konsep Adsorpsi	12
2.3. Saluran Drainase.....	15
2.4. Sedimen sebagai Media Adsorben	17
2.5. Metode Pengadukan Cepat (<i>Rapid Mixing</i>)	19
2.6. Parameter Pencemar Air Limbah Industri Tempe.....	20
2.6.1. Biochemical Oxygen Demand (BOD)	20
2.6.2. Chemical Oxygen Demand (COD)	20
2.6.3. Total Suspended Solids (TSS).....	20

2.6.4. pH (Tingkat Keasaman)	20
2.7. Penelitian Terdahulu.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	24
3.2. Lokasi Pengambilan Media Adsorben	24
3.3. Objek dan Lokasi Pengambilan sampel	25
3.4. Sampel dan Bahan Penelitian	26
3.4.1. Alat dan Bahan Penelitian	26
3.4.2. Teknik Pengambilan Sampel.....	27
3.5. Prosedur Penelitian.....	28
3.5.1. Tahap Aktivasi	28
3.5.2. Cara Kerja.....	29
3.5.3. Analisis Data	32
3.6. Tahapan Umum Penelitian	33
3.7. Hasil Uji Pendahuluan.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Pengaruh pengaruh kecepatan pengadukan terhadap kinerja adsorpsi sedimen dalam mengurangi beban pencemar pada limbah cair industri tempe....	36
4.1.1. Parameter COD	37
4.1.2. Parameter BOD	41
4.1.3. Parameter TSS	47
4.1.4. Parameter pH.....	50
4.2. Efektivitas Sedimen Saluran Drainase Sebagai Adsorben dalam Menyisihkan Parameter Limbah Cair Tempe	53
BAB V PENUTUP	58
5.1. Kesimpulan.....	58
5.2. Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tempe.....	11
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu Pemanfaatan Beberapa Media Sebagai Adsorben .	22
Tabel 3. 1 Waktu Penelitian.....	24
Tabel 3. 2 Alat yang Digunakan Pada Penelitian	26
Tabel 3. 3 Bahan yang Digunakan Dalam Penelitian	27
Tabel 3. 4 Variasi Konsentrasi Adsorben	29
Tabel 4. 1 Data Hasil Penelitian	36



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses Perendaman Kacang Kedelai	8
Gambar 2. 2 Proses Pencucian Kacang Kedelai	9
Gambar 2. 3 Proses Perebusan Kacang Kedelai	9
Gambar 2. 4 Skema Proses Adsorpsi (Zaimee Dkk., 2021)	12
Gambar 2. 5 Sedimen Saluran Drainase	18
Gambar 3. 1 Peta Desa Tanjong, Kecamatan Ingin Jaya, Kabupaten Aceh Besar	25
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 4. 1 Perbandingan Nilai COD Sebelum dan Sesudah Perlakuan dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Rasio Sedimen	37
Gambar 4. 2 Perbandingan Nilai BOD Sebelum dan Sesudah Perlakuan dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Rasio Sedimen	42
Gambar 4. 3 Perbandingan Nilai TSS Sebelum dan Sesudah Perlakuan dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Rasio Sedimen	47
Gambar 4. 4 Perbandingan Nilai pH Sebelum dan Sesudah Perlakuan dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Rasio Sedimen	50
Gambar 4. 5 Efisiensi Penyisihan Parameter COD pada Variasi Kecepatan Pengadukan dan Perbandingan Limbah Terhadap Sedimen	54
Gambar 4. 6 Efisiensi Penyisihan Parameter BOD Pada Variasi Kecepatan Pengadukan dan Perbandingan Limbah Terhadap Sedimen	55
Gambar 4. 7 Efisiensi Penyisihan Parameter TSS Pada Variasi Kecepatan Pengadukan dan Perbandingan Limbah Terhadap Sedimen	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri tempe di Indonesia umumnya berskala kecil dan menggunakan teknologi produksi sederhana. Proses produksinya menghasilkan limbah cair yang signifikan, terutama dari aktivitas perendaman dan perebusan kedelai. Limbah ini seringkali dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu, yang dapat menyebabkan pencemaran air, bau tidak sedap dan gangguan kesehatan bagi masyarakat sekitar. Limbah cair yang dihasilkan dari proses perebusan kedelai dalam industri tempe dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan jika tidak dikelola dengan baik dan langsung dibuang ke perairan. Limbah ini mengandung berbagai zat kompleks, di antaranya protein sebesar 0,42%, lemak 0,113%, karbohidrat 0,11%, serta air sebanyak 98,87%. Selain itu, limbah ini juga mengandung mineral seperti kalsium (13,60 ppm), fosfor (1,74 ppm) dan besi (4,55 ppm). Apabila limbah cair tempe dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan, maka dapat menyebabkan pencemaran berupa kekeruhan, bau, penurunan kadar oksigen terlarut dan terganggunya ekosistem perairan. (Harrisa et al., 2024)

Kondisi serupa juga ditemukan pada pelaku usaha kecil di berbagai daerah, termasuk di Provinsi Aceh, di mana industri tempe sebagian besar masih dijalankan secara tradisional dengan teknologi produksi yang sederhana. Berdasarkan temuan (Ulya et al., 2025), proses produksi tempe di wilayah Banda Aceh dan Aceh Besar umumnya belum dilengkapi dengan sistem pengolahan limbah yang memadai, sehingga potensi pencemaran lingkungan masih cukup tinggi. Situasi serupa juga terjadi pada kelompok usaha mikro seperti UMKM Keripik Tempe Bungong Nanggroe di Kabupaten Aceh Utara, yang menggambarkan keterbatasan dalam penerapan teknologi ramah lingkungan dan pengelolaan limbah cair hasil produksi (Juanda & Heikal, 2022). Melihat kondisi tersebut, diperlukan penerapan metode pengolahan limbah yang efektif namun tetap sederhana dan terjangkau agar dapat diimplementasikan oleh pelaku UMKM tempe di daerah.

Salah satu metode pengolahan limbah cair yang efektif dan ekonomis adalah adsorpsi. Keberhasilan adsorpsi sangat dipengaruhi oleh karakteristik adsorben, seperti luas permukaan, ukuran pori dan kandungan mineral. Berbagai material alami telah digunakan sebagai adsorben, misalnya zeolit, tanah liat dan batu apung (Pratiwi et al., 2019). Namun, Pemanfaatan sedimen dari saluran drainase sebagai adsorben masih jarang dilakukan, padahal material ini melimpah, murah dan berpotensi besar setelah melalui proses aktivasi kimia.

Penelitian yang dilakukan oleh Cundari, Sari dan Rahmawati (2023) mengkaji pengolahan limbah cair industri tempe menggunakan campuran adsorben alami, yaitu zeolit, bentonit dan arang aktif dari eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi ketiga bahan tersebut mampu menurunkan tingkat kekeruhan (*turbidity*) limbah secara signifikan serta menstabilkan pH mendekati netral. Hal ini membuktikan bahwa bahan-bahan alam lokal dapat dimanfaatkan sebagai media adsorben yang efektif dan berkelanjutan.

Meskipun metode adsorpsi terbukti efektif dalam menurunkan parameter fisik seperti kekeruhan dan menstabilkan pH, penerapannya masih memiliki keterbatasan dalam menyisihkan zat organik terlarut seperti *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Adsorben alami, seperti campuran zeolit, bentonit dan arang aktif dari eceng gondok, lebih optimal dalam menghilangkan padatan tersuspensi *Total Suspended Solid* (TSS) dan partikel organik berukuran besar dibandingkan senyawa terlarut yang memerlukan proses lanjutan seperti oksidasi atau pengolahan biologis. Hasil penelitian (Cundari et al., 2023) menjadi landasan penting bagi pengembangan adsorben alternatif yang memiliki karakteristik mineral serupa, seperti sedimen dari saluran drainase, yang berpotensi menjadi solusi sederhana, ekonomis dan ramah lingkungan dalam menurunkan tingkat pencemaran limbah cair industri tempe.

Banyak material alam yang telah banyak dikaji sebagai adsorben, pemanfaatan sedimen dari saluran drainase masih sangat terbatas. Penggunaan sedimen saluran air yang relatif melimpah dan tersedia secara lokal masih minim dikaji dalam penelitian.

Sedimen tersebut secara alami berpotensi mengandung mineral seperti silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), yang berpotensi besar sebagai pusat reaktivitas untuk menangkap polutan. Pada penelitian ini sedimen yang dipakai telah diuji kandungan silikanya yang hasilnya dapat dilihat pada lampiran 7.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa permasalahan limbah cair industri tempe masih menjadi isu lingkungan yang memerlukan penanganan efektif, khususnya pada industri berskala kecil yang umumnya belum memiliki sistem pengolahan mandiri. Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode adsorpsi merupakan pendekatan yang sederhana, efisien, dan ekonomis dalam menurunkan kadar pencemar pada air limbah. Namun, pemanfaatan bahan adsorben yang mudah diperoleh, murah, dan ramah lingkungan masih terbatas penerapannya. Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada pengkajian potensi sedimen saluran drainase sebagai media adsorben dalam menurunkan kadar polutan pada limbah cair industri tempe. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap upaya pengendalian pencemaran lingkungan sekaligus menawarkan alternatif pengolahan limbah yang murah, berkelanjutan, serta mudah diterapkan oleh masyarakat dan pelaku industri kecil.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kecepatan pengadukan terhadap kinerja adsorpsi sedimen dalam mengurangi beban pencemar pada limbah cair industri tempe ?
2. Bagaimana efektivitas variasi sedimen saluran drainase yang telah diaktivasi dalam menurunkan kadar COD, BOD, TSS dan pH pada air limbah industri tempe?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi potensi sedimen saluran drainase sebagai media adsorben dalam pengolahan limbah cair industri tempe.
2. Mengetahui efektivitas sedimen parit dalam menurunkan parameter pencemar utama, yaitu COD, BOD, TSS dan pH.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan alternatif media adsorben yang murah, ramah lingkungan dan mudah diperoleh dari limbah padat seperti sedimen got.
2. Memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik lingkungan, khususnya terkait pemanfaatan material lokal sebagai media adsorben.
3. Mendorong pemanfaatan limbah lokal (sedimen got) menjadi bahan yang memiliki nilai guna melalui proses aktivasi menjadi arang aktif
4. Mengurangi pencemaran akibat pembuangan langsung limbah cair tempe ke badan air sekaligus memanfaatkan sedimen parit yang selama ini dianggap limbah padat.

1.5. Batasan Penelitian

Adapun batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya difokuskan pada pemanfaatan sedimen got sebagai bahan dasar pembuatan media adsorben.
2. Efektivitas unit filtrasi dalam mengolah limbah cair industri tempe dapat diukur melalui kemampuannya dalam menurunkan kadar zat organik. Hal ini ditunjukkan melalui seberapa besar penurunan nilai parameter COD, BOD, TSS dan pH dari air limbah yang dihasilkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Limbah Cair Industri Tempe

Industri tempe merupakan salah satu bentuk industri kecil yang umumnya dikelola secara mandiri dan tradisional oleh masyarakat, dengan sebagian pelaku usaha tergabung dalam wadah koperasi seperti Koperasi Pengusaha Tempe dan Tahu Indonesia (KOPTI) yang berperan dalam pembinaan serta penguatan ekonomi anggotanya. Proses produksinya masih banyak mengandalkan tenaga manusia dan peralatan sederhana, mulai dari pencucian, perendaman, perebusan hingga fermentasi kedelai, menunjukkan bahwa teknologi yang digunakan masih konvensional namun tetap mampu menghasilkan produk bernilai gizi tinggi dan memiliki permintaan pasar yang stabil. Seiring perkembangan zaman, industri tempe rumah tangga berkembang pesat di berbagai daerah, baik pedesaan maupun perkotaan dan berperan penting dalam menopang perekonomian masyarakat melalui penyediaan lapangan kerja, peningkatan pendapatan, serta pemanfaatan sumber daya lokal yang mudah diperoleh. Dengan karakteristik modal kecil, skala produksi terbatas dan sistem pengolahan berbasis pengalaman turun-temurun, sektor ini terbukti memiliki ketahanan ekonomi yang kuat. Oleh karena itu, perhatian terhadap keberlanjutan industri tempe, termasuk pengelolaan limbah yang dihasilkannya, menjadi langkah strategis agar manfaat ekonomi yang diberikan tetap sejalan dengan upaya menjaga kelestarian lingkungan (Sayow et al., 2020).

Dari perspektif lingkungan, perkembangan industri kecil skala rumah tangga memberikan tantangan tersendiri terhadap keberlanjutan ekosistem dan kesehatan masyarakat sekitar. Sebagian besar unit usaha ini masih beroperasi dengan sistem produksi yang sederhana tanpa memperhatikan aspek penataan lokasi dan pengelolaan limbah yang memadai. Ketidakteraturan dalam tata letak fasilitas produksi serta ketiadaan sistem pembuangan limbah yang terencana sering kali menyebabkan air limbah dibuang langsung ke lingkungan tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Praktik tersebut dapat menimbulkan pencemaran pada

badan air, menurunkan kualitas tanah, serta memicu timbulnya bau tidak sedap yang mengganggu kenyamanan dan kesehatan masyarakat di sekitarnya. Oleh karena itu, penerapan sistem manajemen lingkungan yang baik, termasuk pengolahan limbah cair secara efektif, menjadi langkah penting dalam mendukung keberlanjutan industri rumah tangga agar tidak hanya berkontribusi secara ekonomi, tetapi juga selaras dengan prinsip kelestarian lingkungan (Yahya, 2016).

Limbah yang dihasilkan dari proses produksi tempe, baik dalam bentuk cair maupun padat, dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan apabila tidak dikelola dengan benar. Selama proses pembuatan tempe, dibutuhkan volume air yang cukup besar terutama pada tahap perendaman, perebusan, pencucian dan pengupasan kulit kedelai. Setiap tahapan tersebut menghasilkan buangan yang berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Oleh karena itu, penanganan limbah secara tepat menjadi aspek penting dalam menjaga kualitas lingkungan serta mencegah terjadinya pencemaran air dan tanah di sekitar area produksi (Lufiana Sari Indah, Boedi Hebdrarto, 2014).

Proses produksi tempe menghasilkan limbah cair yang berasal dari berbagai tahapan, seperti pencucian kedelai, pembersihan peralatan, perendaman, hingga proses pencetakan. Limbah cair tersebut umumnya memiliki kandungan bahan organik yang tinggi serta nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang melebihi ambang batas lingkungan. Jika limbah ini dibuang langsung ke perairan tanpa pengolahan terlebih dahulu, dapat menimbulkan bau tidak sedap serta menurunkan kualitas lingkungan perairan akibat meningkatnya kadar pencemar organik. Kondisi ini menunjukkan pentingnya penerapan sistem pengolahan limbah yang efektif untuk menjaga daya dukung lingkungan di sekitar area produksi tempe (Kaswinarni, 2012).

Hasil penelitian yang dilakukan di wilayah Semanan, Jakarta Barat, menunjukkan bahwa kualitas limbah cair dari industri tempe memiliki nilai BOD sekitar 4.146,50 mg/L dan COD sebesar 32.297,71 mg/L. Nilai tersebut sangat jauh melampaui ambang batas baku mutu air limbah yang ditetapkan pemerintah untuk kegiatan industri pangan, yang umumnya berada pada kisaran ratusan mg/L. Tingginya BOD mencerminkan banyaknya jumlah senyawa organik yang dapat

diuraikan oleh mikroorganisme, sedangkan tingginya COD menunjukkan total kebutuhan oksigen, baik untuk senyawa organik yang mudah maupun yang sulit terurai. (Pakpahan et al., 2021)

Studi lain yang meneliti desain sistem pengolahan limbah cair industri tempe pada skala rumah tangga menunjukkan bahwa kualitas limbah yang dihasilkan berada pada kategori pencemar organik tinggi. Analisis laboratorium mencatat bahwa nilai BOD mencapai 8.294 mg/L dan COD sebesar 21.264 mg/L. Angka ini menegaskan bahwa limbah cair tempe mengandung senyawa organik dalam jumlah yang sangat besar sehingga membutuhkan oksigen dalam kadar tinggi, baik untuk proses dekomposisi biologis maupun oksidasi kimia. Kondisi tersebut jelas jauh melebihi ambang batas baku mutu yang ditetapkan untuk industri pangan, sehingga keberadaannya menimbulkan potensi pencemaran serius apabila dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu. Selain itu, penelitian yang sama juga menemukan bahwa pH limbah relatif asam, yaitu sekitar 4, yang umumnya disebabkan oleh akumulasi asam organik hasil dari proses fermentasi kedelai. Keasaman ini dapat memperburuk dampak lingkungan karena berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem perairan, menurunkan kualitas habitat akuatik dan mengancam keberlangsungan biota air yang sensitif terhadap perubahan pH. Kombinasi antara beban organik yang sangat tinggi dan kondisi pH asam tersebut menunjukkan bahwa limbah cair tempe harus mendapat perhatian khusus dalam hal pengelolaannya. Oleh sebab itu, penerapan sistem pengolahan limbah yang tepat, baik melalui metode fisik, kimia, maupun biologi, menjadi langkah penting untuk menurunkan konsentrasi pencemar hingga berada dalam kisaran yang aman sesuai standar baku mutu, sehingga risiko kerusakan lingkungan dapat diminimalkan sekaligus mendukung keberlanjutan industri tempe dalam jangka panjang. (Sistem et al., 2020)

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa setiap tahap produksi tempe menghasilkan karakteristik limbah yang berbeda. Pada tahap perendaman kedelai, tercatat konsentrasi organik tertinggi dengan nilai BOD sekitar 299,40 mg/L dan COD 540,66 mg/L. Hal ini disebabkan oleh pelarutan senyawa organik seperti protein, karbohidrat dan asam organik ke dalam air perendaman, sehingga limbah

dari tahap ini sangat berpotensi menurunkan kadar oksigen terlarut di perairan jika tidak diolah terlebih dahulu. Berbeda dengan itu, tahap perebusan menghasilkan TSS paling tinggi, sekitar 655,20 mg/L, akibat pelepasan kulit kedelai dan partikel padatan lain selama proses pemanasan. Tingginya TSS dapat menurunkan kejernihan air, mengganggu penetrasi cahaya, serta mempercepat sedimentasi di badan air. Perbedaan karakteristik ini menegaskan pentingnya pendekatan pengolahan limbah yang spesifik: tahap perendaman lebih difokuskan pada penurunan beban organik terlarut, sedangkan tahap perebusan pada pengendalian padatan tersuspensi. Strategi yang terarah sesuai sumber pencemar di tiap tahap akan meningkatkan efektivitas dan efisiensi sistem pengolahan limbah cair industri tempe (Pramaningsih et al., 2022). Berikut ditampilkan gambar pada proses pengolahan kacang kedelai pada pembuatan tempe.



Gambar 2. 1 Proses Perendaman Kacang Kedelai



Gambar 2. 2 Proses Pencucian Kacang Kedelai



Gambar 2. 3 Proses Perebusan Kacang Kedelai

Limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuatan tempe tidak hanya dipenuhi oleh materi organik seperti protein, karbohidrat dan lemak, tetapi juga mengandung beberapa mineral dalam kadar yang signifikan. Penelitian oleh Widiawati dkk. (2024) menggambarkan bahwa sebelum pengolahan, limbah ini memiliki kandungan protein sebesar kira-kira 0,42 %, karbohidrat 0,11 % dan lemak sekitar 0,13 %. Selain itu, kandungan mineral seperti zat besi dilaporkan sebanyak 4,55 %, serta fosfor sekitar 1,74 %. Proporsi yang besar dari air-nya

menunjukkan bahwa hampir keseluruhan limbah cair tersebut adalah air yang membawa larutan dari komponen-komponen tersebut. Adanya unsur organik dan anorganik ini membuka peluang bahwa limbah tersebut tidak sepenuhnya membahayakan, melainkan bisa dimanfaatkan (misalnya untuk koagulasi, biologis, atau pemulihan sumber daya mineral), asalkan terdapat sistem pengolahan yang sesuai agar tidak mencemari lingkungan (Widiawati et al., 2024).

2.1.1. Baku Mutu Limbah Cair Tempe

Air limbah yang dihasilkan dari industri tempe umumnya mengandung zat organik dan anorganik dalam jumlah tinggi, seperti protein, lemak, karbohidrat, serta senyawa-senyawa lain hasil fermentasi. Jika limbah ini dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan, maka dapat menurunkan kualitas air, mengganggu keseimbangan ekosistem, serta menimbulkan bau dan potensi penyakit bagi masyarakat sekitar.

Besarnya potensi pencemaran yang diakibatkan oleh limbah cair industri tempe mendorong pemerintah untuk menetapkan standar baku mutu air limbah yang wajib dipatuhi oleh setiap pelaku industri sebelum membuang limbah ke lingkungan. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, industri pengolahan kedelai seperti tempe diwajibkan untuk memastikan bahwa limbah cair yang dihasilkan telah memenuhi ambang batas yang ditetapkan. Ketentuan ini diberlakukan untuk meminimalkan risiko pencemaran air dan menjaga keberlanjutan ekosistem perairan di sekitar area kegiatan industri. Adapun nilai ambang batas parameter utama dalam baku mutu air limbah tersebut dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tempe

Parameter	Baku Mutu
<i>Biological Oxygen Demand (BOD)</i>	≤ 150 mg/L
<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	≤ 300 mg/L
<i>Total Suspended Solids (TSS)</i>	≤ 200 mg/L
pH	6 – 9

Sumber: Lampiran XVIII Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014.

Selain mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, penetapan standar kualitas limbah cair industri kecil juga didukung oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Peraturan ini menjadi acuan tambahan bagi kegiatan domestik dan agroindustri berskala kecil, termasuk industri pengolahan tempe, dalam memastikan bahwa limbah cair yang dihasilkan tidak melampaui batas pencemar yang diperbolehkan. Regulasi tersebut mencakup beberapa parameter penting yang harus dipenuhi untuk menjaga kualitas air lingkungan, seperti BOD, COD, TSS, pH, amonia, minyak dan lemak, serta total coliform. Rincian baku mutu tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

2.1.2. Dampak Pencemaran Air Limbah Industri Tempe Terhadap Lingkungan

Produksi tempe menghasilkan limbah cair dengan kadar bahan organik yang cukup tinggi, terutama dari proses perendaman dan perebusan kedelai. Limbah ini mengandung zat seperti protein, karbohidrat dan lemak dalam jumlah signifikan yang dapat mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Kandungan bahan organik ini berkontribusi terhadap meningkatnya nilai BOD dan COD dalam air limbah (Pradana et al., 2018).

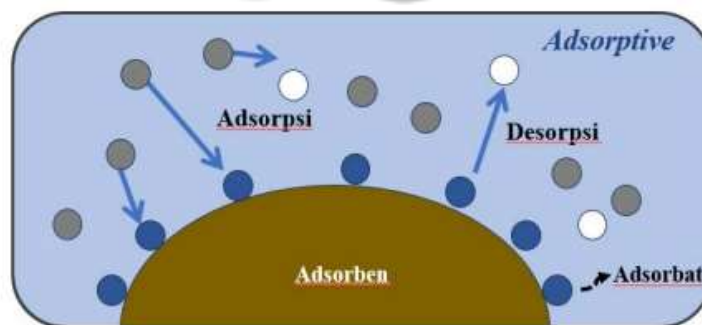
Limbah cair pada industri tempe dihasilkan dari rangkaian proses produksi yang meliputi pencucian, perendaman, perebusan, hingga pencetakan. Setiap

tahapan tersebut menghasilkan air buangan dengan kandungan bahan organik yang tinggi, sehingga berkontribusi terhadap besarnya nilai BOD dan COD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah cair tempe dapat memiliki nilai COD mencapai sekitar 26.693 mg/L dan BOD sebesar 11.204 mg/L, dengan kondisi pH yang cenderung asam, yaitu sekitar 3,99. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa kualitas limbah berada jauh di atas baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Pembuangan limbah tanpa pengolahan berpotensi menurunkan kualitas air secara signifikan serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan (Nurdini et al., 2020).

Jika limbah tersebut dibuang langsung ke saluran air atau sungai tanpa pengolahan, maka dapat terjadi dekomposisi anaerobik yang memunculkan gas berbau seperti amonia (NH_3) dan hidrogen sulfida (H_2S). Gas ini dapat menyebabkan bau menyengat di lingkungan sekitar dan berpotensi mengganggu kesehatan masyarakat seperti iritasi saluran pernapasan dan kulit. Selain itu, beban organik yang tinggi mampu memicu pertumbuhan alga berlebihan (eutrofikasi), sehingga menurunkan kualitas air dan merusak organisme akuatik ((Menteri Kesehatan, 2024).

2.2. Konsep Adsorpsi

\Adsorpsi merupakan proses penyerapan zat pencemar ke permukaan material padat (adsorben). Efektivitas adsorpsi dipengaruhi oleh luas permukaan, struktur pori, ukuran partikel, serta sifat kimia permukaan adsorben. Material dengan luas permukaan besar dan struktur berpori memiliki kemampuan lebih baik dalam mengikat polutan (Foo & Hameed, 2010). untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar ilustrasi berikut.



Gambar 2. 4 Skema proses adsorpsi (Zaimie dkk., 2021).

Metode adsorpsi yang merupakan salah satu teknik pengolahan limbah cair yang cukup populer karena mekanismenya sederhana, biaya relatif murah dan efisiensinya tinggi dalam menurunkan berbagai jenis polutan, baik yang bersifat organik maupun anorganik. Prinsip kerja metode ini adalah penyerapan zat pencemar pada permukaan material padat (adsorben), sehingga kadar pencemar dalam air dapat berkurang secara signifikan. Dibandingkan dengan metode pengolahan lain, seperti proses kimia atau biologi, adsorpsi lebih praktis untuk diterapkan terutama pada skala kecil hingga menengah (Setya Wardhana et al., 2024).

Berbagai bahan alami telah diteliti sebagai adsorben, seperti zeolit, tanah liat, arang aktif dari biomassa, hingga biochar dari limbah pertanian. Misalnya, biochar dari cangkang sawit mampu menurunkan kandungan organik dan logam dalam air gambut (Andrio et al., 2024). Selain itu, serbuk gergaji merupakan salah satu material biomassa yang berpotensi tinggi untuk dimanfaatkan sebagai adsorben melalui proses aktivasi kimia maupun fisik. Aktivasi tersebut berfungsi untuk memperbesar luas permukaan dan memperbanyak jumlah pori aktif pada struktur material, sehingga meningkatkan kemampuan penyerapan terhadap senyawa organik terlarut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serbuk gergaji teraktivasi mampu mengadsorpsi senyawa organik, seperti hidroksi-benzena, dengan tingkat efisiensi yang sebanding dengan karbon aktif komersial (Mekibes et al., 2024).

Dalam proses adsorpsi dikenal dua mekanisme utama, yaitu adsorpsi fisik (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*). Adsorpsi fisik terjadi karena adanya gaya *Van Der Waals* antara molekul polutan (adsorbat) dengan permukaan material penyerap (adsorben). Mekanisme ini bersifat lemah, reversibel dan berlangsung relatif cepat. Contohnya adalah penyerapan molekul air atau senyawa organik sederhana pada arang aktif. Sebaliknya, adsorpsi kimia melibatkan pembentukan ikatan kimia yang lebih kuat antara molekul adsorbat dan situs aktif pada permukaan adsorben, baik berupa ikatan ionik maupun kovalen. Proses ini cenderung irreversibel dan memiliki kapasitas serapan yang lebih besar dibandingkan adsorpsi fisik (J. Wang & Guo, 2020).

Dalam konteks penelitian ini, pemanfaatan sedimen parit sebagai media adsorben berpotensi melibatkan kedua mekanisme tersebut. Kandungan mineral seperti silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) dalam sedimen memungkinkan terjadinya adsorpsi kimia, terutama terhadap ion atau senyawa bermuatan dalam limbah cair tempe. Sementara itu, sifat porositas sedimen yang terbentuk melalui proses aktivasi kimia dengan HCl dapat meningkatkan adsorpsi fisik terhadap senyawa organik terlarut yang berkontribusi pada tingginya nilai BOD, COD dan TSS. Dengan demikian, kombinasi kedua mekanisme ini diharapkan mampu meningkatkan efektivitas sedimen parit sebagai media adsorben dalam mengurangi pencemar pada limbah cair tempe.

Berikut merupakan faktor – faktor yang dapat mempengaruhi efektivitas dari penyaringan pada filtrasi:

1. Luas dan Struktur Permukaan Adsorben (*Surface Area & Porosity*)

Material dengan luas permukaan spesifik yang besar akan memiliki lebih banyak situs aktif untuk berinteraksi dengan molekul polutan. Semakin besar luas permukaan, semakin tinggi kapasitas penyerapan yang dapat dicapai. Hal ini dibuktikan oleh penelitian Foo & Hameed (2010), yang menjelaskan bahwa luas permukaan merupakan salah satu parameter kunci dalam menentukan kapasitas maksimum adsorpsi. Kecepatan Aliran (*Flow Rate*).

2. Struktur Porositas

Porositas material adsorben, khususnya distribusi antara mikropori, mesopori dan makropori, sangat memengaruhi mekanisme penyerapan. Mikropori (<2 nm) berperan penting dalam menjebak molekul kecil, sedangkan mesopori (2–50 nm) dan makropori (>50 nm) berfungsi sebagai jalur transportasi massa, yang mempercepat difusi polutan menuju situs aktif. Tran et al., 2017 menekankan bahwa kombinasi pori mikro dan meso dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi secara signifikan.

3. pH Larutan

Nilai pH memengaruhi bentuk ionik polutan serta muatan permukaan adsorben. Pada kondisi pH tertentu, interaksi elektrostatik antara polutan dan permukaan adsorben akan lebih optimal. Misalnya, pada pH rendah,

permukaan adsorben cenderung bermuatan positif sehingga lebih efektif mengikat ion bermuatan negatif dan sebaliknya (Tran et al., 2017).

4. Waktu tinggal

Durasi waktu tinggal antara adsorben dengan adsorbat menentukan seberapa lama proses transfer massa berlangsung. Pada umumnya, jumlah polutan yang terserap akan meningkat seiring bertambahnya waktu hingga mencapai titik kesetimbangan (*equilibrium*). Setelah mencapai kondisi ini, penambahan waktu tidak lagi meningkatkan kapasitas adsorpsi secara signifikan (J. Wang & Guo, 2020).

5. Dosis Adsorben

Jumlah adsorben yang digunakan berbanding lurus dengan jumlah situs aktif yang tersedia. Semakin banyak dosis adsorben, semakin besar pula kapasitas penyerapan polutan. Namun, pada titik tertentu, peningkatan dosis tidak lagi signifikan karena sebagian besar polutan telah terserap, sehingga sistem mendekati kesetimbangan (Foo & Hameed, 2010).

2.3. Saluran Drainase

Saluran drainase merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pengelolaan air di suatu wilayah. Secara umum, drainase diartikan sebagai sistem yang berfungsi untuk mengalirkan, membuang, atau mengurangi kelebihan air dari suatu kawasan sehingga kondisi lingkungan tetap stabil dan tidak terjadi genangan. Sistem ini dapat berupa jaringan saluran yang dirancang untuk menyalurkan air hujan maupun air limbah menuju badan air penerima seperti sungai, danau, atau laut. Keberadaan sistem drainase sangat penting dalam mendukung pengelolaan lingkungan, terutama di kawasan permukiman dan perkotaan yang memiliki tingkat aktivitas manusia yang tinggi (Sekar & Malang, 2020)

Saluran drainase biasanya dibangun dalam bentuk jaringan yang terdiri dari saluran primer, sekunder, dan tersier yang saling terhubung. Saluran tersebut berfungsi mengalirkan air dari daerah yang lebih tinggi menuju daerah yang lebih rendah dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Dengan adanya sistem ini, kelebihan air dari curah hujan, limpasan permukaan, maupun aktivitas domestik dapat

dialirkan secara teratur sehingga tidak menimbulkan genangan atau banjir pada suatu kawasan. Pengelolaan drainase yang baik juga berperan dalam menjaga kualitas lingkungan serta mendukung kesehatan masyarakat karena mampu mencegah terbentuknya genangan air yang berpotensi menjadi tempat berkembangnya berbagai vektor penyakit (Miranda, 2023).

Dalam praktiknya, sistem drainase dapat dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu saluran drainase terbuka dan saluran drainase tertutup. Saluran drainase terbuka umumnya berbentuk parit atau selokan yang berada di permukaan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan air hujan atau air limpasan permukaan. Saluran jenis ini banyak ditemukan di kawasan permukiman maupun daerah perkotaan karena relatif mudah dalam proses pembangunan dan pemeliharaannya. Sementara itu, saluran drainase tertutup biasanya menggunakan pipa atau gorong-gorong yang berada di bawah permukaan tanah dan digunakan untuk mengalirkan air limbah atau air kotor yang dapat mengganggu kesehatan lingkungan jika dibiarkan terbuka (Kamila et al., 2016)

Pengelolaan sistem drainase yang tidak optimal dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan. Kapasitas saluran yang tidak memadai, sedimentasi, serta penumpukan sampah sering menyebabkan aliran air menjadi terhambat. Kondisi tersebut dapat menimbulkan genangan bahkan banjir ketika terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Oleh karena itu, perencanaan dan pemeliharaan sistem drainase harus dilakukan secara tepat agar mampu menampung dan mengalirkan debit air secara efektif sesuai dengan kondisi wilayah yang dilayani (Nugroho, 2025)

Selain berfungsi sebagai sarana pengaliran air, saluran drainase juga dapat menjadi tempat terakumulasinya berbagai material seperti sedimen, partikel tanah, bahan organik, maupun limbah domestik yang terbawa oleh aliran air. Akumulasi material tersebut dapat membentuk endapan sedimen di dasar saluran. Sedimen yang terdapat pada saluran drainase umumnya mengandung partikel mineral, bahan organik, serta mikroorganisme yang berasal dari lingkungan sekitar. Karakteristik tersebut menyebabkan sedimen memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai media adsorben dalam proses pengolahan limbah cair, karena partikel sedimen

memiliki permukaan yang dapat berinteraksi dengan berbagai zat pencemar di dalam air.

2.4. Sedimen sebagai Media Adsorben

Sedimen yang terakumulasi di saluran air umumnya dianggap sebagai limbah padat yang tidak memiliki nilai tambah. Padahal, material ini memiliki komposisi yang kaya akan mineral seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), serta komponen organik yang berpotensi menjadi situs aktif untuk proses adsorpsi. Silika dan alumina dikenal memiliki permukaan hidroksil yang dapat berinteraksi dengan ion maupun molekul organik, sehingga berfungsi sebagai pusat penyerapan polutan dari air limbah (S. Wang & Peng, 2010).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sedimen dapat dimanfaatkan sebagai media penyerap polutan. Misalnya, sedimen yang berasal dari instalasi pengolahan air minum (Water Supply Sediment/WSS) terbukti efektif dalam mengadsorpsi logam berat seperti Pb, Cu, Cd, Cr dan Ni, dengan efisiensi penyerapan mencapai 50–95% tergantung pada jenis logam dan kondisi larutan (Yaowayord et al., 2019). Selain itu, penelitian (Yin et al., 2020) mengembangkan material berbasis sedimen industri menjadi adsorben untuk penyerapan fosfor dalam air dan hasilnya menunjukkan kapasitas adsorpsi tinggi serta stabilitas yang baik. Hal ini menegaskan bahwa sedimen yang awalnya dianggap limbah padat dapat diubah menjadi material fungsional untuk pengolahan limbah cair.

Melalui proses aktivasi kimia misalnya perendaman dalam larutan asam, basa, atau penggunaan aktivator lainm struktur sedimen dapat diubah: pengotor dihilangkan, pori-pori yang semula terhalang dibuka dan luas permukaan efektif meningkat secara signifikan. Perubahan ini biasanya disertai peningkatan kepadatan situs aktif (gugus silanol, siloksan, hidroksil), sehingga adsorpsi polutan seperti logam berat, warna dan zat organik menjadi lebih efisien. (Sri Rahayu et al., 2018).

Dalam konteks pengolahan limbah cair tempe yang kaya akan bahan organik terlarut (protein, lemak dan karbohidrat), sedimen sungai atau parit berpotensi dimanfaatkan sebagai alternatif adsorben yang murah dan berkelanjutan. Penelitian

menunjukkan bahwa sedimen yang berasal dari kegiatan pengerukan/*dredging* dapat diproses menjadi bahan adsorben efektif untuk menghilangkan pewarna dan kontaminan organik dari air setelah melalui tahap pengeringan, penggilingan, serta perlakuan kimia termal (Ouakouak et al., 2021). Selain itu, perlakuan aktivasi kimia misalnya penggunaan asam atau campuran asam/oksidator efektif membuka pori-pori, membersihkan pengotor permukaan dan meningkatkan luas permukaan spesifik sehingga kapasitas adsorpsi material meningkat secara signifikan (Soliman et al., 2023). Oleh karena itu, pemanfaatan sedimen teraktivasi menawarkan pendekatan pemulihan sumber daya lokal sekaligus solusi pengurangan beban organik pada limbah tempe, dengan catatan bahwa prosedur aktivasi dan karakterisasi harus disesuaikan untuk memastikan keamanan dan efisiensi operasional

Sebelum digunakan dalam penelitian, sedimen perlu melalui tahapan persiapan, antara lain pembersihan dari kotoran makroskopis, pengeringan, pengayakan, serta aktivasi kimia untuk meningkatkan luas permukaan dan porositasnya. Untuk memberikan gambaran visual mengenai bentuk sedimen yang dijadikan media adsorben, berikut ditampilkan gambar sedimen saluran drainase.



Gambar 2. 5 Sedimen Saluran Drainase

2.5. Metode Pengadukan Cepat (*Rapid Mixing*)

Pengadukan cepat atau *rapid mixing* merupakan salah satu metode yang digunakan dalam proses pengolahan air maupun limbah cair untuk meningkatkan efisiensi pencampuran antara adsorben dengan larutan yang mengandung polutan. Prinsip dasar dari metode ini adalah memberikan gaya hidrodinamik melalui pengadukan intensif sehingga partikel adsorben dapat terdispersi secara merata di dalam larutan. Dengan demikian, kontak antar molekul adsorben dan adsorbat menjadi lebih optimal, yang pada akhirnya mempercepat proses perpindahan massa dan meningkatkan laju adsorpsi (Metcalf et al., 2003).

Metode *rapid mixing* sangat berguna karena membantu distribusi awal adsorben (sedimen) dalam limbah yang homogen, sehingga kontak antara polutan dan permukaan aktif adsorben bisa lebih cepat dan merata. Contoh penelitian menggunakan metode batch adsorpsi material silika gel dari fly ash menunjukkan bahwa variabel seperti waktu kontak sangat menentukan efisiensi, serta perubahan kondisi awal seperti pH dan konsentrasi awal dapat mempengaruhi kecepatan adsorpsi. Pengaturan kondisi awal ini mirip prinsip di *rapid mixing*, walaupun sedikit studi yang menyebutkan "*rapid mixing*" secara eksplisit. Contoh material silika gel fly ash yang diuji adsorpsi zat warna methylene blue, menunjukkan bahwa kombinasi kondisi kontrol (seperti dosis, waktu kontak, pH) mempengaruhi kapasitas adsorpsi maksimal. (Nurrohmat et al., 2023)

Dalam proses adsorpsi, kecepatan pengadukan berpengaruh besar terhadap kemampuan adsorben dalam menangkap zat pencemar dari larutan. Jika kecepatan pengadukan terlalu lambat, campuran antara larutan dan adsorben menjadi tidak merata sehingga molekul polutan sulit menempel di permukaan adsorben. Namun, jika pengadukan terlalu cepat, gaya gesek yang tinggi bisa menyebabkan pecahnya partikel atau kerusakan struktur adsorben, yang justru menurunkan kemampuan penyerapan. Penelitian yang dilakukan oleh (Umar et al., 2025) menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan yang tepat sangat penting untuk mencapai hasil adsorpsi yang maksimal. Dalam studinya, efisiensi penyerapan ion logam Cd (II) mencapai sekitar 96,9% pada kecepatan 120 rpm selama 70 menit, sedangkan kecepatan yang terlalu tinggi tidak memberikan hasil yang lebih baik dan dapat

mengganggu kestabilan sistem. Oleh karena itu, penentuan kecepatan pengadukan yang optimal merupakan faktor penting dalam meningkatkan efektivitas adsorpsi.

2.6. Parameter Pencemar Air Limbah Industri Tempe

2.6.1. Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah selama proses metabolisme. Penguraian senyawa organik ini terjadi secara alami melalui proses oksidasi biologis, asalkan air limbah memiliki kadar oksigen yang memadai untuk mendukung aktivitas mikroorganisme tersebut (Daroini & Arisandi, 2020).

2.6.2. Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah parameter utama yang digunakan untuk menilai tingkat pencemaran air. Nilai COD yang tinggi menunjukkan banyaknya kandungan bahan organik dalam air yang dapat teroksidasi secara kimia, sehingga dapat menurunkan jumlah oksigen terlarut dan memperburuk kualitas air (Sari & Rahmawati, 2020). Menurut (Cundari et al., 2022), nilai COD dalam limbah cair industri tempe dapat melebihi 3.000 mg/L. Hal ini menunjukkan beban pencemar yang sangat tinggi dan perlunya pengolahan khusus sebelum limbah dibuang ke lingkungan.

2.6.3. Total Suspended Solids (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) mengacu pada jumlah partikel padat yang tersuspensi dalam air limbah dan tidak larut. Partikel-partikel ini berasal dari sisa-sisa padatan organik dan anorganik selama proses produksi. TSS berdampak langsung terhadap kekeruhan air dan dapat menyebabkan sedimentasi di dasar sungai, serta mengganggu proses fotosintesis di perairan (Chapra, 2014).

2.6.4. pH (Tingkat Keasaman)

pH adalah ukuran penting yang menunjukkan sejauh mana air limbah bersifat asam atau basa, dengan skala 0-14 di mana nilai di bawah 7 menunjukkan keasaman. Dalam limbah cair industri tempe, keasaman sering menjadi masalah

karena banyak proses seperti fermentasi dan pencucian yang menghasilkan zat asam. Sebagai contoh, penelitian di Bekasi menemukan bahwa limbah cair tempe memiliki pH aliran masuk dan keluaran yang kurang dari 6,5 masih berada di bawah batas kualitas air limbah yang ideal (Azteria et al., 2025).

2.7. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pemanfaatan bahan alam sebagai media adsorben untuk pengolahan limbah cair telah banyak dilakukan oleh berbagai peneliti, baik menggunakan material alami, limbah biomassa, maupun material hasil aktivasi kimia. Kajian-kajian tersebut menjadi dasar penting dalam penelitian ini, karena memberikan gambaran mengenai efektivitas berbagai jenis adsorben serta parameter yang memengaruhi kinerjanya.

Beberapa penelitian terdahulu berfokus pada penggunaan material seperti zeolit, tanah liat, arang aktif dan biomassa organik dalam menurunkan parameter pencemar seperti COD, BOD, TSS, serta logam berat pada limbah cair industri pangan. Selain itu, terdapat pula penelitian yang menyoroti penggunaan sedimen dari berbagai sumber sebagai media alternatif dalam proses adsorpsi, meskipun aplikasinya untuk limbah cair tempe masih sangat terbatas.

Dengan mengacu pada hasil-hasil penelitian sebelumnya, penelitian ini mencoba mengisi celah tersebut melalui pemanfaatan sedimen saluran drainase yang diaktivasi sebagai media adsorben, dengan tujuan untuk mengurangi beban pencemar dari limbah cair industri tempe. Ringkasan penelitian terdahulu yang relevan disajikan pada Tabel 2.2 untuk memperlihatkan perbandingan metode, bahan, serta hasil yang dicapai.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu Pemanfaatan Beberapa Media Sebagai Adsorben

No	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian dan Variabel yang di Teliti	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Noor Endah Setyaningrum, Bimo Budi Santoso dan Bertha Mangallo	Studi adsorpsi limbah organik industri tahu tempe dengan karbon aktif kayu merbau [Intsia bijuga (Colebr) O. Kuntze] (Setyaningrum et al., 2019)	Penelitian ini bertujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan konsentrasi HCl yang diperlukan untuk mengaktifkan batubara kayu kayu, menemukan kapasitas adsorpsi arang kayu yang optimal untuk mengurangi tingkat BOD5 dan COD dalam limbah cair industri tahu dan tempe. secara kontinyu ke dalam kolom adsorpsi.	Metode penelitian untuk mengaktifkan arang kayu kayu secara fisik dengan memanaskan suhu 700oC dan secara kimiawi dengan perendaman dalam HCl 1M, 2M dan 3M. Pertama, variasi dibuat dari durasi kontak karbon aktif kayu dan limbah cair selama 30, 60, 90 dan 120 menit. Kemudian, volume limbah cair juga berbeda dengan 100, 150, 200, 250 dan 300 ml per 0,5 gram karbon aktif.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk adsorpsi limbah cair industri tahu dan tempe adalah sebagai berikut: pada konsentrasi HCl 3M, durasi kontak 30 menit, volume limbah cair 250 ml per 0,5 gram karbon aktif, kapasitas adsorpsi optimal kayu kayu Karbon aktif dicapai yang menurunkan tingkat BOD5 dan COD dari tahu Rizky dan limbah cair industri tempe; masing-masing sebesar 60.600 mg/g dan 12.500 mg/g. Pada keadaan di mana volume limbah adalah 100 ml per 0,5 gram, kapasitas adsorpsi optimal dari karbon aktif kayu kayu dalam mengurangi BOD5 dan tingkat COD dari tahu Sukamaju dan limbah cair industri tempe masing-masing adalah 82.400 mg/g dan 164.200 mg/g .
2	Prastika Alifaturrahma dan Okik Hendriyanto C	Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Untuk Menyisihkan Logam Cu (Alifaturrahma & Hendriyanto, 2018)	Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan adsorpsi oleh adsorben kulit pisang kepok dalam menurunkan logam Cu, serta menentukan model isoterm	Pada penelitian ini dilakukan metode batch dengan menggunakan shaker dan limbah industri elektroplating. Variasi yang digunakan meliputi variasi massa	Hasil menunjukkan bahwa kondisi optimum adsorpsi untuk adsorben kulit pisang kepok massa 4 gram pada kecepatan pengadukan 200 rpm. Isoterm adsorpsi mengikuti isoterm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi

			adsorpsi kulit pisang kepok terhadap logam Cu. Kulit pisang kepok ini dikarbonisasi dengan furnace pada suhu 350°C selama 30 menit hingga menjadi karbon. Dengan ukuran 100 mesh dan aktivatornya menggunakan HCl 1 N dengan proses perendaman selama 48 jam.	adsorben (gram): 2, 2,5, 3, 3,5, 4 dan kecepatan pengadukan (rpm): 50, 100, 150, 200, 250. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah konsentrasi Cu yang terdapat pada limbah.	sebesar 1,773 mg/g. Kemampuan adsorben kulit pisang kepok untuk menurunkan konsentrasi tembaga (Cu) pada limbah elektroplating dengan persen penyisihan tertinggi yaitu sebesar 81,78%.
3	Lia Cundari, Ahmad Adi Suhendra, Siti Rachmi Indahsari, Muhammad Asnari, Bazlina Dawami Afrah, Agung Gunawan, Muhammad Ma'Aruf Alfatih	Efektivitas Karbon Aktif Eceng Gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) Pada Pengolahan Limbah Cair Tempe (Cundari et al., 2022)	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas karbon aktif eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) pada pengolahan limbah cair tempe: penyisihan COD, TSS, kekeruhan dan isotherm adsorpsi. Limbah cair dari industri tempe dan pertumbuhan eceng gondok (<i>Eichornia crassipes</i>) yang sangat cepat. Limbah cair tempe yang dihasilkan oleh pengrajin memiliki kepekatan yang tinggi, bersifat asam dan bau khas yang menyengat.	Penelitian dilakukan secara batch dalam skala laboratorium dengan memvariasikan dosis adsorben (1, 3, 5 gr). Analisis terhadap nilai COD, TSS, kekeruhan dan pH dilakukan terhadap sampel awal dan setelah proses adsorpsi. Data penelitian digunakan untuk menghitung persentase penyerapan dari adsorben dan isotherm adsorpsi yang berlangsung.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif eceng gondok mampu menurunkan 26% COD, 73% TSS dan 81% kekeruhan. Kondisi limbah tempe masih berada pada rentang pH asam yaitu berkisar antara 4,21-4,59 di semua variasi dosis dan waktu. Proses adsorpsi pada pengolahan limbah cair tempe ini mengikuti model isotherm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 1,98-12,3 mg/g. Hal ini membuktikan bahwa karbon aktif eceng gondok dapat menjadi alternatif adsorben dalam pengolahan limbah cair tempe.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan pengujian parameter kualitas sampel dilakukan di Laboratorium Multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, yang berlokasi di Jalan Lingkar Kampus UIN Ar-Raniry, Rukoh, Darussalam, Banda Aceh. Penelitian ini berlangsung selama kurang lebih empat bulan, mencakup tahapan persiapan dan aktivasi sedimen, pengambilan sampel limbah cair tempe, proses percobaan dengan metode pengadukan cepat, hingga analisis laboratorium dan pengolahan data yang selanjutnya digunakan untuk penyusunan laporan penelitian. Untuk lebih jelas waktu penelitian ditampilkan pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Waktu Penelitian

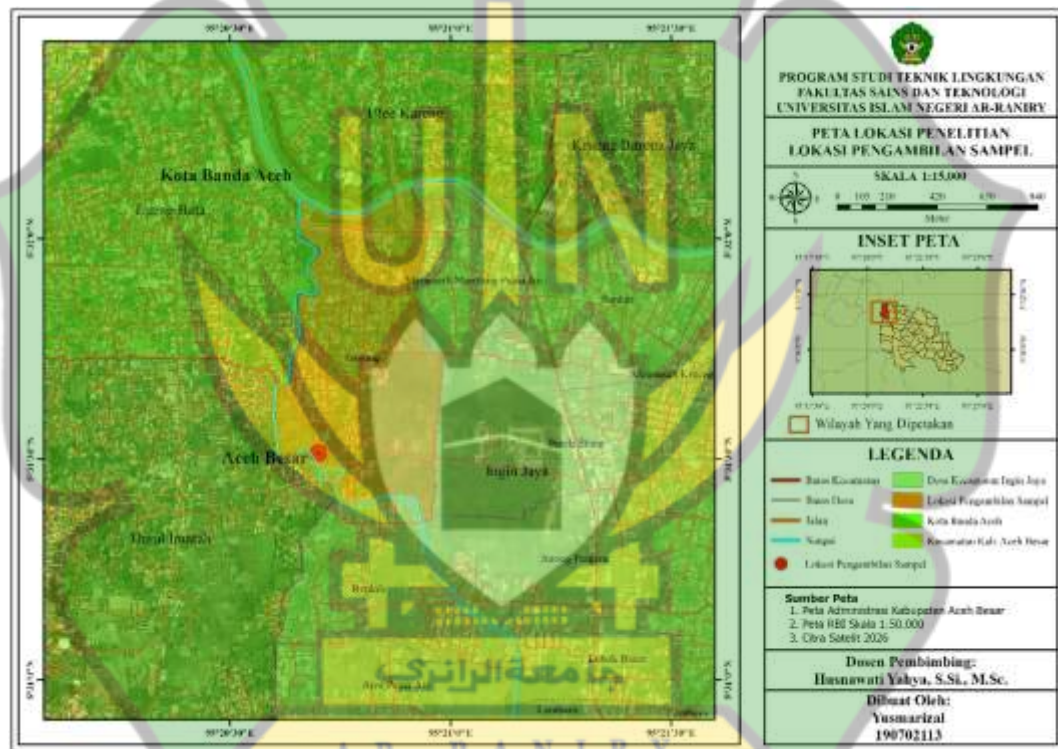
No	Uraian Kegiatan	2025								2026											
		November				Desember				Januari				Februari				Maret			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur																				
2	Observasi																				
3	Bahan																				
4	Pengambilan Sampel																				
5	Laboratorium																				
6	Pengolahan data dan penyusunan skripsi																				

3.2. Lokasi Pengambilan Media Adsorben

Media adsorben yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari sedimen saluran drainase yang terdapat di Komplek Perumahan Hadrah Residence, Desa Baet, Kecamatan Baitussalam, Kabupaten Aceh Besar.

3.3. Objek dan Lokasi Pengambilan sampel

Objek dalam penelitian ini adalah limbah cair tempe yang diperoleh dari hasil pembuangan salah satu industri tempe yaitu Pabrik Tempe Bintang yang berlokasi di Desa Tanjong, Kecamatan Ingin jaya, Kabupaten Aceh Besar. Lokasi tersebut dipilih berdasarkan hasil observasi lapangan yang menunjukkan bahwa limbah cair yang dihasilkan belum melalui proses pengolahan sebelumnya, melainkan langsung dialirkan ke badan air terdekat. Untuk memperjelas lokasi pengambilan sampel, peta area penelitian ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Peta Desa Tanjong, Kecamatan Ingin Jaya, Kabupaten Aceh Besar

3.4. Sampel dan Bahan Penelitian

3.4.1. Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam proses penelitian dapat dilihat pada tabel

3.2

Tabel 3. 2 Alat yang digunakan pada penelitian

Alat	Peruntukan
Oven laboratorium	Mengeringkan sedimen pada suhu terkontrol (105 °C) untuk mengurangi kadar air.
Ayakan 80 mesh	Menyeragamkan ukuran partikel sedimen agar lebih homogen sebagai adsorben.
Timbangan analitik	Menimbang sedimen dan bahan kimia dengan tingkat ketelitian tinggi.
Beaker glass dan gelas ukur	Wadah dan alat ukur untuk menyiapkan larutan serta mencampurkan sampel.
Erlenmeyer	Tempat reaksi kimia saat proses aktivasi dan pencucian sedimen.
Gayung bertangkai panjang	Mengambil sampel limbah cair dari lokasi industri tempe.
Jeriken (1L)	Wadah pengambilan dan penyimpanan sampel limbah cair tempe sesuai standar SNI.
Jar test apparatus	Melakukan proses adsorpsi dengan metode pengadukan cepat (rapid mixing).
pH meter digital	Mengukur tingkat keasaman atau kebasaan limbah cair.
DO meter	Mengukur kandungan oksigen terlarut untuk uji BOD.
COD digester & spektrofotometer	Mengukur nilai COD limbah cair melalui metode refluks tertutup.
Kertas saring dan corong	Memisahkan padatan tersuspensi (TSS) dari air limbah untuk uji gravimetri.
Botol sampel (500–1000 mL)	Menyimpan sampel uji yang akan dibawa ke laboratorium.

Bahan-bahan yang digunakan didalam peneletian dapat dilihat pada tabel

3.3

Tabel 3. 3 Bahan yang digunakan dalam penelitian

Bahan	Fungsi / Peruntukan
Sedimen parit	Digunakan sebagai media adsorben setelah melalui proses aktivasi.
Air limbah cair tempe	Sampel utama yang akan diuji dalam penelitian.
HCl 3 M	Bahan kimia untuk proses aktivasi sedimen agar meningkatkan daya serap.
Aquades	Digunakan untuk pencucian sedimen setelah aktivasi serta pelarut.
Asam Sulfat (H_2SO_4)	Reagen yang digunakan untuk pengujian Chemical Oxygen Demand (COD).
($K_2Cr_2O_7$)	Reagen yang digunakan untuk pengujian Chemical Oxygen Demand (COD).
Larutan buffer pH	Digunakan untuk kalibrasi pH meter dalam pengukuran pH sampel.

3.4.2. Teknik Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel dalam penelitian ini menggunakan teknik sesaat (*Grab Sampling*) yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.59:2008. Teknik ini dilakukan dengan cara mengambil sampel air limbah pada waktu tertentu yang dianggap mewakili kondisi aktual di lokasi penelitian. Adapun prosedur pengambilan sampel adalah sebagai berikut:

1. Sampel limbah cair diambil langsung dari industri tempe pada pagi hari, dengan pertimbangan bahwa aktivitas produksi tempe umumnya dimulai pada waktu tersebut sehingga limbah yang dihasilkan masih dalam kondisi segar dan representatif.
2. Pengambilan dilakukan menggunakan gayung bertangkai panjang, kemudian dimasukkan ke dalam jeriken berkapasitas 30 liter sebanyak satu jeriken.

Prosedur ini telah disesuaikan dengan ketentuan SNI 6989.59:2008 terkait tata cara pengambilan sampel limbah cair.

Metode Grab Sampling dipilih dalam penelitian ini karena mampu memberikan gambaran kondisi aktual limbah cair pada saat tertentu secara langsung. Hal ini penting mengingat proses produksi tempe biasanya berlangsung dalam periode waktu yang relatif singkat, sehingga karakteristik limbah yang dihasilkan dapat berbeda-beda sepanjang hari. Dengan pengambilan sesaat, sampel yang diperoleh benar-benar mewakili kondisi limbah pada saat produksi berlangsung

3.5. Prosedur Penelitian

3.5.1. Tahap Aktivasi

Proses aktivasi sedimen saluran air/parit dapat dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Sedimen diambil dari dalam parit atau saluran air menggunakan cangkul atau pengerok kemudian diletakkan kedalam wadah yang telah disediakan.
2. Sedimen yang telah diambil dikeringkan di bawah sinar matahari sebanyak 400 gram selama satu minggu. (Sapriyadi, 2024)
3. Sedimen yang telah dikeringkan kemudian dibersihkan dari sampah, batuan kecil dan senyawa anorganik bebas. (Sapriyadi, 2024)
4. Sedimen dimasukkan kedalam dengan suhu 110°C oven selama 12 jam untuk menghilangkan kadar air. (Sapriyadi, 2024)
5. Sedimen disaring menggunakan ayakan dengan berukuran 80 mesh.
6. Hasil dari ayakan tersebut kemudian sedimen di aktivasi secara kimiawi menggunakan HCL 3 M dengan cara di rendam selama 24 jam (1 hari) (Anisa Rahma Dewi et al, 2024).
7. Sedimen disaring menggunakan kertas saring kemudian dibilas dengan aquades hingga pH netral (Anisa Rahma Dewi et al, 2024).
8. Sedimen dikeringkan kembali didalam oven dengan suhu 110°C untuk menghilangkan kadar air selama 2 jam (Anisa Rahma Dewi et al, 2024).

3.5.2. Cara Kerja

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif untuk mengetahui efektivitas sedimen saluran drainase sebagai media adsorben dalam menurunkan kadar pencemar pada limbah cair industri tempe berdasarkan parameter pH, COD, BOD dan TSS. Tahapan penelitian diawali dengan proses aktivasi adsorben sedimen parit yang telah dikeringkan, diayak, kemudian direndam dengan larutan HCl 3 M untuk meningkatkan kemampuan adsorpsinya. Setelah proses aktivasi selesai, sedimen dicuci hingga pH netral dan dikeringkan kembali sebelum digunakan dalam proses adsorpsi (Anisa Rahma Dewi et al, 2024).

Perlakuan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *batch adsorption* menggunakan alat *jar test* pada kecepatan pengadukan konstan 200 rpm. Variasi perlakuan yang digunakan adalah perbandingan massa adsorben terhadap volume sampel limbah cair tempe, yaitu 1:2, 1:4 dan 1:5. Setiap perlakuan menggunakan volume sampel limbah sebanyak 100 mL, sehingga massa adsorben yang digunakan masing-masing adalah 50 gram pada perbandingan 1:2, 25 gram pada perbandingan 1:4 dan 20 gram pada perbandingan 1:5. Selain ketiga variasi perlakuan tersebut, penelitian ini juga menggunakan sampel kontrol tanpa penambahan adsorben untuk melihat kemampuan alami dari pengendapan tanpa perlakuan adsorpsi (Alifaturrahma & Hendriyanto, 2018). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3.4

Tabel 3. 4 Tabel variasi konsentrasi adsorben

Perbandingan	Massa Adsorben (gram)	Banyak Sampel (ml)	Kecapatan Pengadukan (rpm)	Waktu Pengadukan (menit)	Waktu Tenggat (menit)
1:2	50	100	80	60	20
			200		
1:4	25		80		
			200		
1:5	20		80		
			200		

Sampel limbah cair tempe yang telah ditimbang kemudian dicampurkan dengan sedimen sesuai variasi perbandingan dan diaduk menggunakan *jar test* dengan kecepatan 200 rpm untuk pengadukan cepat dan 80 rpm untuk pengadukan lambat selama 60 menit sebagai proses adsorpsi. Setelah proses pengadukan selesai, campuran didiamkan selama 20 menit (waktu pengendapan).

Pemilihan variasi kecepatan pengadukan dalam penelitian ini didasarkan pada prinsip perpindahan massa dalam sistem cair-padat. Pada proses adsorpsi, pengadukan berperan dalam mengurangi ketebalan lapisan difusi eksternal (*external film diffusion layer*) yang terbentuk di sekitar partikel adsorben. Lapisan ini merupakan hambatan awal dalam perpindahan zat terlarut dari fase cair menuju permukaan adsorben. Ketika ketebalan lapisan difusi menurun, laju perpindahan massa meningkat sehingga interaksi antara adsorbat dan situs aktif adsorben berlangsung lebih efektif. Intensitas pencampuran juga memengaruhi distribusi konsentrasi, tingkat turbulensi, dan efisiensi kontak antar fase dalam sistem pengolahan air limbah. Prinsip tersebut telah dijelaskan secara komprehensif dalam literatur teknik pengolahan air limbah yang menjadi rujukan dalam perancangan dan evaluasi proses fisik-kimia (Metcalf & Eddy, 2014).

Dalam praktik laboratorium dan penelitian adsorpsi, kecepatan pengadukan umumnya diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu pengadukan lambat pada kisaran 20–100 rpm, pengadukan sedang pada kisaran 100–150 rpm, dan pengadukan cepat pada kisaran 150–300 rpm. Klasifikasi ini digunakan untuk membedakan karakteristik aliran dan intensitas gaya geser yang dihasilkan selama proses pencampuran. Pengadukan cepat bertujuan mencapai homogenisasi dalam waktu singkat serta meningkatkan frekuensi tumbukan antar partikel, sedangkan pengadukan lambat digunakan untuk menjaga kestabilan agregat atau flok yang terbentuk tanpa menimbulkan gaya geser berlebihan yang dapat menyebabkan pecahnya partikel. Pendekatan tersebut banyak diterapkan dalam kajian koagulasi, flokulasi, dan adsorpsi pada pengolahan air dan air limbah (Bratby, 2016).

Kecepatan 200 rpm dipilih karena berada dalam rentang pengadukan cepat (*rapid mixing*) yaitu sekitar 150–300 rpm, yang secara umum digunakan untuk menciptakan kondisi turbulensi yang memadai dalam sistem cair-padat. Pada

rentang ini, energi pencampuran cukup besar untuk meningkatkan frekuensi tumbukan antara partikel adsorben dan molekul zat terlarut sehingga perpindahan massa berlangsung lebih cepat. Kondisi turbulen tersebut berkontribusi terhadap penurunan resistansi difusi eksternal, yaitu hambatan yang terjadi pada lapisan batas di sekitar permukaan partikel. Peningkatan kecepatan pengadukan hingga kisaran 200 rpm dilaporkan mampu meningkatkan efisiensi adsorpsi secara signifikan karena berkurangnya hambatan perpindahan massa pada fase cair (Foo & Hameed, 2012).

Kecepatan yang terlalu tinggi tidak selalu memberikan hasil yang lebih baik, karena gaya geser yang berlebihan dapat mengganggu stabilitas partikel dan berpotensi menurunkan efisiensi proses. Peningkatan intensitas pengadukan juga diketahui mempercepat tercapainya kondisi kesetimbangan adsorpsi akibat berkurangnya hambatan difusi, sehingga waktu kontak yang dibutuhkan menjadi lebih singkat (Ho & McKay, 1999).

Kecepatan 80 rpm digunakan untuk merepresentasikan kondisi pengadukan lambat (*slow mixing*) karena masih berada dalam kisaran 20–100 rpm yang umum diterapkan dalam proses pencampuran sistem cair–padat. Pada kecepatan ini, proses homogenisasi tetap berlangsung sehingga kontak antara limbah dan sedimen tetap terjaga, namun intensitas gaya geser yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan pengadukan cepat. Perbedaan kecepatan putar secara langsung memengaruhi nilai bilangan *Reynolds* (Re), yang menjadi parameter penentu karakteristik aliran apakah bersifat laminar, transisi, atau turbulen. Penurunan kecepatan putar menyebabkan energi kinetik sistem berkurang sehingga aliran cenderung lebih stabil dan tidak membentuk pusaran (*vortex*) yang kuat (Paul et al., 2004).

Kondisi tersebut relevan dalam penelitian yang menggunakan sedimen alami sebagai adsorben, karena pengadukan dengan intensitas rendah membantu menjaga kestabilan struktur partikel dan meminimalkan kemungkinan terjadinya resuspensi padatan ke dalam larutan. Resuspensi yang berlebihan berpotensi meningkatkan nilai TSS, sehingga pengaturan kecepatan pengadukan menjadi aspek penting dalam menjaga efektivitas proses pengolahan.

Selanjutnya, larutan dipisahkan antara padatan dan filtrat menggunakan kertas saring untuk mendapatkan hasil uji. Filtrat kemudian dianalisis berdasarkan parameter pH, COD, BOD dan TSS sesuai dengan standar metode pengujian kualitas air. Hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui efektivitas penurunan konsentrasi pencemar oleh media adsorben sedimen parit (Alifaturrahma & Hendriyanto, 2018).

3.5.3. Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini dilakukan untuk menentukan efektivitas sedimen saluran drainase sebagai media adsorben dalam menurunkan kadar pencemar pada limbah cair industri tempe. Parameter yang dianalisis meliputi COD, BOD, TSS dan pH yang diuji sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Nilai efektivitas dihitung berdasarkan perbandingan konsentrasi awal (C_0) dan konsentrasi akhir (C_t) menggunakan variasi perbandingan adsorben terhadap sampel yaitu 1:2, 1:4 dan 1:5 dengan kecepatan pengadukan cepat 200 rpm dan pengadukan lambat dengan kecepatan 80 rpm, masing-masing selama 60 menit. Hasil pengolahan data dinyatakan dalam bentuk persentase penurunan (*% removal*) untuk mengetahui kemampuan adsorben dalam mereduksi pencemar. Efektivitas dinilai baik apabila hasil akhir memenuhi atau mendekati baku mutu limbah cair industri sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 (Cundari et al., 2023).

Efektivitas penurunan konsentrasi pencemar dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Ep (\%) = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100$$

Keterangan:

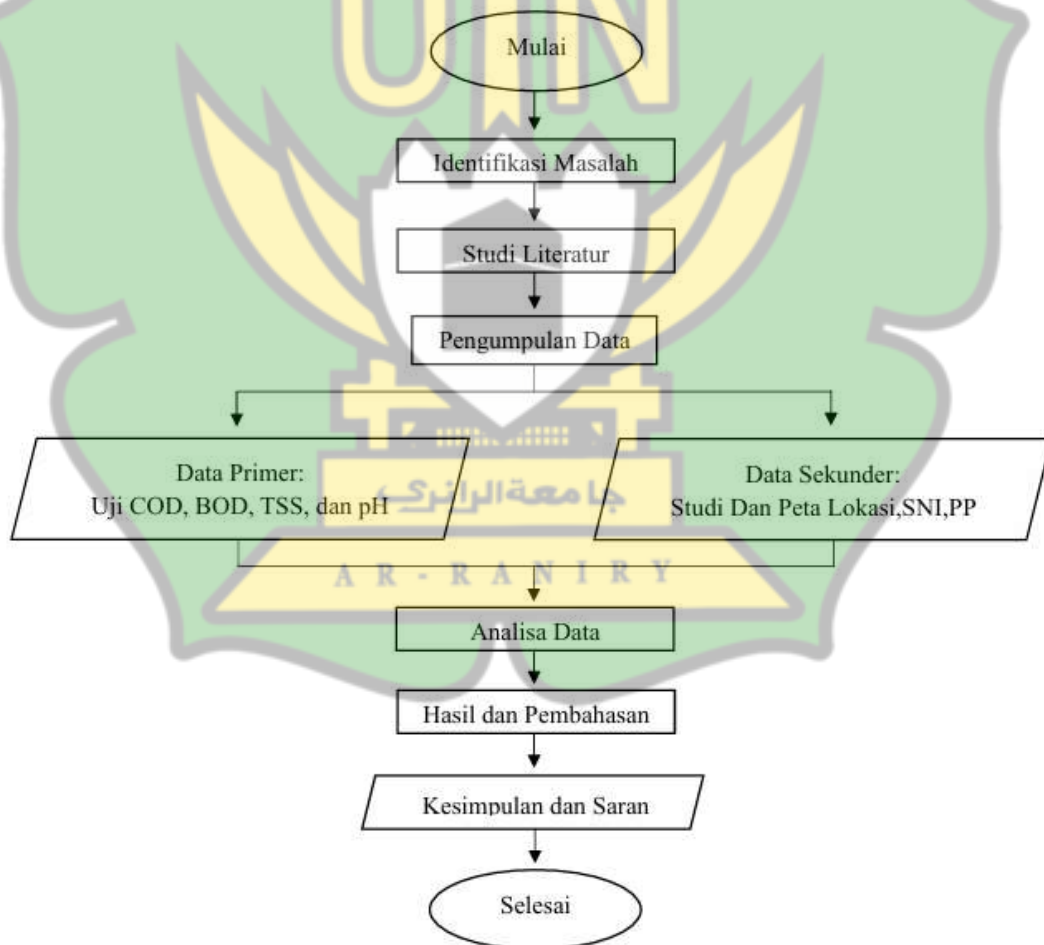
Ep = Efektivitas penyisihan

C_0 = Konsentrasi awal sebelum perlakuan (mg/L)

C_t = Konsentrasi akhir setelah perlakuan (mg/L)

3.6. Tahapan Umum Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimen laboratorium. Seluruh rangkaian kegiatan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari tahap persiapan hingga analisis data, sehingga hasil yang diperoleh dapat diuji secara objektif dan terukur. Untuk mempermudah pemahaman alur penelitian, setiap langkah yang ditempuh disusun dalam bentuk diagram alir. Penyajian diagram ini bertujuan agar proses penelitian, mulai dari identifikasi masalah, pengambilan dan pengolahan sampel, percobaan adsorpsi, hingga tahap akhir penarikan kesimpulan, dapat digambarkan secara runtut, jelas dan terperinci. Gambaran tahapan penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

3.7. Hasil Uji Pendahuluan

Berdasarkan hasil uji pendahuluan beberapa parameter limbah cair tempe melebihi ambang batas yang telah ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5. Hasil Uji Penelitian dapat dilihat pada Lampiran 1. Parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan pH pada limbah cair tempe belum memenuhi ketentuan baku mutu sebagaimana tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014.

Nilai COD awal menunjukkan angka lebih dari 15000 mg/L, yang mencerminkan tingginya kandungan bahan organik dalam limbah cair tempe. Setelah dilakukan uji awal dengan proses adsorpsi, konsentrasi COD menurun menjadi 8000 mg/L, namun angka ini masih jauh di atas batas maksimum baku mutu yang dipersyaratkan, yaitu 300 mg/L. Hal ini menandakan bahwa kandungan organik yang terdapat dalam limbah tempe relatif tinggi dan berpotensi besar mencemari badan air jika dibuang langsung tanpa pengolahan.

Sementara itu, parameter pH pada pengukuran awal tercatat berada pada angka 4, yang menunjukkan kondisi asam. Setelah perlakuan awal, pH meningkat menjadi 5, namun masih belum memenuhi rentang baku mutu yang ditetapkan, yaitu 6–9. Kondisi ini mengindikasikan bahwa limbah cair tempe bersifat asam akibat adanya proses fermentasi kedelai, sehingga berpotensi mengganggu ekosistem perairan maupun kualitas tanah apabila dibuang tanpa penanganan.

Pada tahap pendahuluan, pengujian difokuskan hanya pada COD dan pH karena keduanya merupakan indikator utama untuk menggambarkan kualitas limbah cair organik. COD dipilih karena parameter ini menunjukkan jumlah total bahan organik yang terkandung dalam limbah cair. Semakin tinggi nilai COD, semakin besar tingkat pencemaran yang mungkin ditimbulkan. pH diuji karena sifat keasaman atau kebasaan limbah sangat memengaruhi proses adsorpsi yang akan dilakukan pada penelitian ini. Selain itu, pH yang terlalu asam atau basa dapat membahayakan biota perairan dan merusak kualitas lingkungan.

Pengujian parameter lain seperti BOD dan TSS direncanakan untuk dilakukan pada tahap penelitian inti. Namun, pada tahap awal ini, COD dan pH dianggap

sudah cukup representatif untuk menunjukkan bahwa limbah cair tempe memang memerlukan proses pengolahan lebih lanjut.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengaruh pengaruh kecepatan pengadukan terhadap kinerja adsorpsi sedimen dalam mengurangi beban pencemar pada limbah cair industri tempe

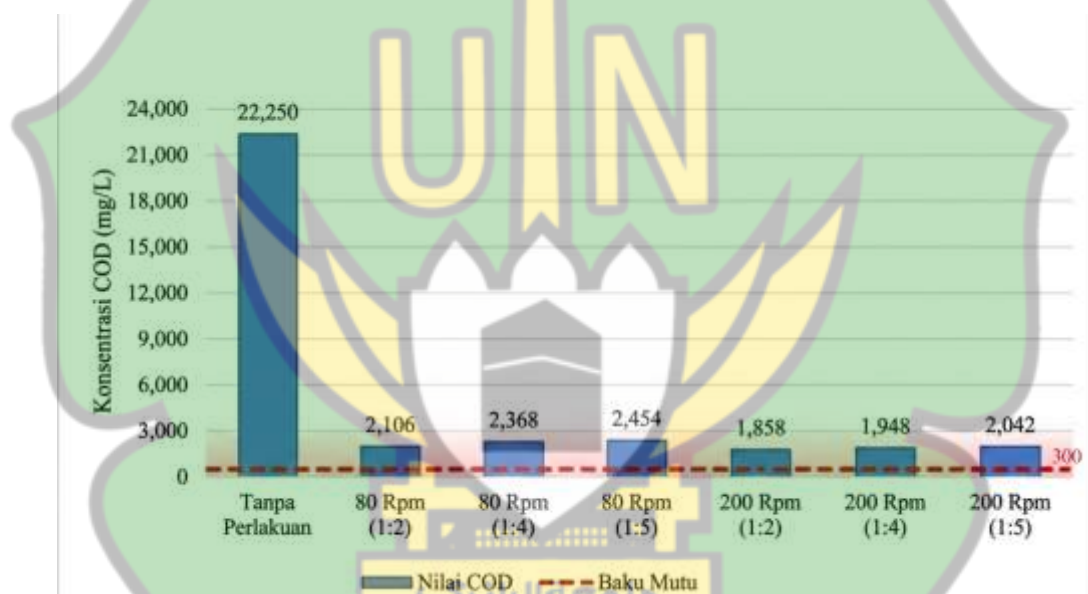
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kecepatan pengadukan dan perbandingan limbah terhadap sedimen terhadap efektivitas penurunan parameter pencemar, yaitu *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solids* (TSS), serta perubahan nilai pH. Pengujian dilakukan terhadap sampel limbah tanpa perlakuan sebagai kontrol, kemudian dibandingkan dengan sampel yang diberi perlakuan pengadukan cepat (200 rpm) dan pengadukan lambat (80 rpm) dengan variasi rasio 50 g:100 ml (1:2), 25 g:100 ml (1:4), dan 20 g:100 ml (1:5). Pengambilan data dilakukan setelah proses pencampuran dan waktu kontak tercapai sesuai dengan prosedur penelitian yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Setiap parameter dianalisis menggunakan metode standar pengujian kualitas air untuk memastikan keakuratan dan keterbandingan data. Hasil pengujian ini menjadi dasar dalam mengevaluasi kinerja sedimen sebagai adsorben serta pengaruh kondisi hidrodinamika terhadap proses penurunan beban pencemar. Data hasil penelitian selengkapnya disajikan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data Hasil Penelitian

No Sampel	Perlakuan		Hasil Uji			
	Kecepatan	Perbandingan Sedimen:Limbah (g:ml)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	TSS (mg/L)	pH
1	Tanpa Perlakuan		22.250	108,9	780	4
2	80 Rpm	1:2 (50 g:100 ml)	2106	139,75	100	5,2
3		1:4 (25 g:100 ml)	2368	120,42	140	5,1
4		1:5 (20 g:100 ml)	2454	131,58	270	4,9
5	200 Rpm	1:2 (50 g:100 ml)	1858	132,32	70	5,1
6		1:4 (25 g:100 ml)	1948	136,03	110	5
7		1:5 (20 g:100 ml)	2042	105,56	220	4,9

4.1.1. Parameter COD

Hasil penelitian bahwa konsentrasi COD pada limbah tanpa perlakuan bernilai 22.250 mg/L. Nilai tersebut menggambarkan tingginya kandungan bahan organik yang dapat teroksidasi secara kimia di dalam limbah cair. Perlakuan menggunakan sedimen sebagai adsorben dengan variasi kecepatan pengadukan serta rasio limbah terhadap sedimen menghasilkan penurunan nilai COD. Pengadukan cepat sebesar 200 rpm menghasilkan nilai COD 1.858 mg/L, 1.948 mg/L dan 2.042 mg/L. Pengadukan lambat sebesar 80 rpm menunjukkan nilai COD dengan nilai 2.106 mg/L, 2.368 mg/L dan 2.454 mg/L. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4. 1 Perbandingan Nilai COD Sebelum dan Sesudah Perlakuan dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Rasio Sedimen

Penurunan konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) setelah proses adsorpsi menggunakan sedimen saluran drainase dapat dijelaskan melalui mekanisme interaksi pada antarmuka padat-cair. Senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair tempe berpindah dari fase cair menuju permukaan partikel sedimen dan terikat melalui kombinasi interaksi fisik dan kimiawi. Secara fisik, mekanisme utama yang terjadi didominasi oleh gaya *Van der Waals*. Gaya ini merupakan daya tarik antarmolekul yang bekerja secara halus namun konstan pada

permukaan adsorben. Molekul-molekul organik dalam limbah tertarik dan menempel pada permukaan serta pori-pori sedimen akibat adanya gaya tarik elektrostatis yang lemah namun kolektif. Keberadaan mineral silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3), dalam sedimen menyediakan luas permukaan spesifik yang besar, sehingga menciptakan banyak titik kontak bagi molekul organik untuk terikat secara fisik. Semakin luas permukaan adsorben yang tersedia, semakin banyak molekul organik yang dapat dijerat melalui gaya Van der Waals ini, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi penyisihan COD.

Proses adsorpsi pada penelitian ini tidak hanya berlangsung melalui interaksi fisik, tetapi juga melibatkan interaksi kimia pada permukaan sedimen. Sedimen drainase yang telah diaktivasi mengandung gugus aktif seperti hidroksil ($-\text{OH}$) yang dapat berinteraksi dengan molekul polutan melalui ikatan hidrogen maupun gaya elektrostatis. Keberadaan interaksi gugus aktif tersebut dapat dilihat dari beberapa indikator penelitian. Kandungan silika yang cukup tinggi pada sedimen, yaitu sebesar 53,06%, menunjukkan bahwa material memiliki situs aktif yang berpotensi reaktif terhadap senyawa organik. Perubahan nilai pH limbah dari 4 menjadi 5,2 setelah perlakuan juga mengindikasikan adanya reaksi antara ion hidrogen (H^+) dalam limbah asam dengan permukaan sedimen. Efisiensi penurunan COD yang mencapai 87,61% memperlihatkan bahwa proses pengikatan pencemar tidak hanya dipengaruhi oleh gaya fisik yang lemah, tetapi juga didukung oleh interaksi kimia yang lebih kuat pada permukaan adsorben. Kondisi pengadukan 200 rpm turut meningkatkan perpindahan massa sehingga molekul organik lebih cepat mencapai permukaan sedimen dan terikat secara optimal. Hasil tersebut sejalan dengan teori bahwa efektivitas adsorpsi pada sistem cair-padat dipengaruhi oleh kombinasi luas permukaan, struktur pori, dan aktivitas kimia pada permukaan adsorben (Crini et al., 2019).

Secara teoritis, peningkatan kecepatan pengadukan dapat mempercepat proses adsorpsi karena pengadukan membantu memperbaiki proses perpindahan massa antara cairan dan permukaan adsorben. Di sekitar partikel adsorben biasanya terbentuk lapisan tipis cairan yang disebut lapisan difusi. Lapisan ini dapat menjadi penghalang bagi zat terlarut untuk mencapai permukaan adsorben. Kecepatan

pengadukan yang lebih tinggi dapat membuat lapisan difusi tersebut menjadi lebih tipis sehingga zat pencemar lebih mudah mencapai permukaan adsorben. Kondisi ini menyebabkan hambatan perpindahan zat dari cairan menuju adsorben menjadi lebih kecil dan proses adsorpsi dapat berlangsung lebih cepat. Fenomena tersebut dijelaskan dalam kajian kinetika adsorpsi yang menyatakan bahwa hambatan difusi eksternal merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan adsorpsi pada sistem cair–padat (Ho & McKay, 1999).

Berdasarkan data penelitian, penurunan konsentrasi COD menunjukkan tren yang stabil dan berbanding lurus dengan peningkatan jumlah sedimen yang ditambahkan. Penggunaan rasio sedimen yang lebih besar, yaitu pada perbandingan 1:2 (50 gram), memberikan hasil penyisihan yang paling optimal dibandingkan rasio 1:4 dan 1:5. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya ketersediaan luas permukaan spesifik dan jumlah situs aktif yang siap mengikat molekul organik dalam limbah cair tempe. Secara teoritis, penambahan massa adsorben akan meningkatkan kapasitas serap sistem karena semakin banyak peluang terjadinya kontak antara polutan dengan permukaan sedimen. Namun, perlu dipahami bahwa penambahan dosis adsorben harus dilakukan secara terukur; penambahan yang terlalu masif berisiko memicu agregasi partikel, di mana partikel-partikel sedimen saling menempel dan membentuk gumpalan yang dapat menghalangi akses polutan ke pori-pori bagian dalam. Meskipun dalam penelitian ini efisiensi tetap menunjukkan tren positif seiring bertambahnya massa, pemahaman mengenai titik jenuh dan dosis optimal tetap krusial untuk memastikan seluruh permukaan adsorben dapat dimanfaatkan secara efektif tanpa terjadi pemborosan material (Gupta, 2009).

Jumlah adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi perlu disesuaikan dengan konsentrasi zat pencemar yang terdapat di dalam larutan. Penambahan adsorben dalam jumlah yang terlalu besar tidak selalu meningkatkan efisiensi penyisihan polutan secara signifikan. Kondisi tersebut terjadi karena jumlah molekul polutan yang tersedia di dalam larutan menjadi tidak sebanding dengan jumlah situs aktif yang terdapat pada permukaan adsorben. Akibatnya, sebagian permukaan adsorben tidak dimanfaatkan secara optimal karena tidak ada lagi

molekul polutan yang dapat menempati situs aktif yang tersedia. Dalam kondisi ini, peningkatan jumlah adsorben hanya menambah luas permukaan secara teoritis, namun tidak memberikan peningkatan penyerapan yang berarti karena sistem telah mencapai titik jenuh. Fenomena tersebut berkaitan erat dengan konsep *Isoterm Langmuir*, yang menjelaskan bahwa proses adsorpsi memiliki batas kapasitas maksimum. Kapasitas maksimum ini tercapai ketika seluruh situs aktif pada permukaan adsorben telah terisi penuh oleh molekul adsorbat (pencemar). Setelah mencapai kondisi jenuh tersebut, kemampuan adsorben untuk menyerap zat pencemar tidak akan meningkat meskipun jumlah adsorben yang ditambahkan semakin banyak. Hal ini menjelaskan mengapa dalam penelitian ini, penentuan rasio massa adsorben terhadap volume limbah menjadi sangat krusial untuk mencapai efisiensi yang optimal tanpa terjadi pemborosan media adsorben (Babel & Kurniawan, 2003).

Pemilihan model *Isoterm Langmuir* dalam penelitian ini, dibandingkan dengan model isoterm lainnya seperti *Freundlich*, didasarkan pada karakteristik adsorben yang digunakan. Sedimen drainase yang telah melalui proses aktivasi kimia dengan HCl cenderung memiliki permukaan yang lebih homogen dengan energi situs aktif yang seragam. Model *Langmuir* sangat tepat untuk menggambarkan kondisi ini karena mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi secara *monolayer* (satu lapis), di mana satu situs aktif hanya mengikat satu molekul polutan. Berbeda dengan model *Freundlich* yang biasanya digunakan untuk permukaan heterogen dengan mekanisme penyerapan berlapis (*multilayer*), model *Langmuir* memberikan gambaran yang lebih logis mengenai batas kemampuan serap sedimen teraktivasi terhadap beban organik limbah tempe.

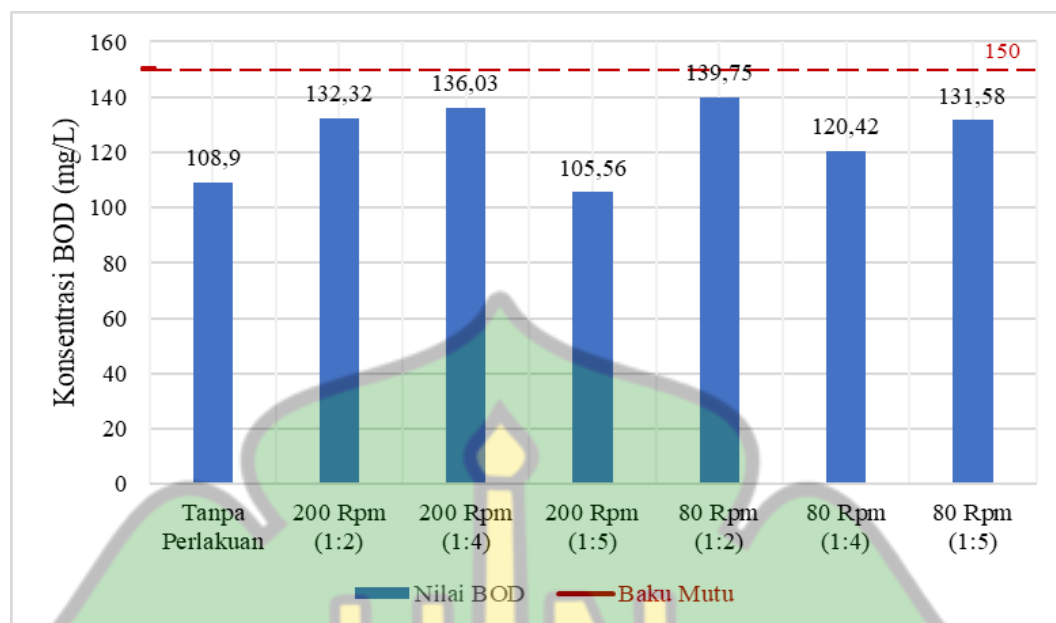
Pada proses adsorpsi, kecepatan pengadukan memegang peranan penting dalam menentukan efektivitas penyerapan zat pencemar. Ketika dosis sedimen yang digunakan cukup tinggi, pengadukan yang terlalu kencang justru dapat menimbulkan efek yang tidak diinginkan. Gesekan mekanis akibat putaran pengaduk yang kuat akan menciptakan turbulensi di dalam larutan, sehingga partikel sedimen saling bertumbukan satu sama lain maupun dengan dinding wadah. Benturan-benturan inilah yang kemudian melepaskan kembali zat-zat

pencemar yang sebelumnya sudah berhasil menempel pada permukaan sedimen, sehingga zat tersebut kembali larut ke dalam air limbah. Akibatnya, nilai COD yang semestinya menurun setelah proses adsorpsi justru kembali meningkat. Fenomena ini sejalan dengan prinsip yang telah dibahas dalam literatur teknik pencampuran industri, bahwa intensitas pengadukan yang berlebihan dapat mengganggu kestabilan ikatan antara adsorben dan zat yang diserap, sehingga efisiensi pengolahan limbah menjadi tidak optimal (Paul et al., 2004).

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sedimen sebagai adsorben mampu menurunkan nilai COD secara maksimal dibandingkan kondisi tanpa perlakuan. Kecepatan pengadukan 200 rpm memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan 80 rpm karena meningkatkan perpindahan massa dan mempercepat proses adsorpsi. Namun demikian, peningkatan rasio sedimen tidak selalu menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi karena adanya keterbatasan kapasitas adsorpsi, potensi aglomerasi partikel, serta kemungkinan resuspensi. Temuan ini sesuai dengan teori adsorpsi yang menyatakan bahwa efektivitas proses dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara dosis adsorben, kecepatan pengadukan, karakteristik limbah, dan kondisi hidrodinamika sistem.

4.1.2. Parameter BOD

Nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada limbah tanpa perlakuan sebesar 108,9 mg/L menunjukkan bahwa limbah mengandung beban organik biodegradable yang cukup tinggi. Parameter BOD merepresentasikan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik yang dapat terdegradasi secara biologis dalam periode inkubasi lima hari (BOD_5). Nilai ini menjadi indikator penting dalam menilai tingkat pencemaran organik suatu air limbah (Metcalf & Eddy, 2014). Hasil dari pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4. 2 Perbandingan Nilai BOD Sebelum dan Sesudah Perlakuan dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Rasio Sedimen

Gambar 4.2 menunjukkan variasi konsentrasi BOD pada limbah cair industri tempe sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan sedimen dengan variasi kecepatan pengadukan dan rasio campuran. Garis putus-putus berwarna merah pada grafik menandai batas baku mutu BOD sebesar 150 mg/L sesuai ketentuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014.

Nilai BOD tanpa perlakuan adalah sebesar 108,9 mg/L. Setelah dilakukan perlakuan pada kecepatan 200 rpm, nilai BOD pada rasio 1:2 (50 gram sedimen:100 ml sampel) meningkat menjadi 132,32 mg/L dan pada rasio 1:4 menjadi 136,03 mg/L. Pada rasio 1:5 (20 gram sedimen : 100 ml sampel), nilai BOD justru menurun menjadi 105,56 mg/L, yang merupakan nilai terendah dari seluruh variasi perlakuan. Kenaikan nilai BOD pada beberapa variasi rasio tersebut diduga terjadi akibat kandungan bahan organik yang tersimpan di dalam sedimen drainase. Sebagai material alami yang telah lama terendap di saluran drainase, sedimen mengandung akumulasi bahan organik dari lingkungan sekitarnya. Ketika sedimen dicampurkan ke dalam larutan limbah dan mendapat pengadukan dengan intensitas tinggi, sebagian bahan organik yang tersimpan di dalamnya ikut terlarut ke dalam air limbah. Tambahan bahan organik inilah yang menyebabkan kebutuhan oksigen biologis meningkat selama pengujian BOD berlangsung, sehingga nilainya menjadi

lebih tinggi dibandingkan kondisi awal. Fenomena peningkatan ini tidak dijumpai pada nilai COD yang justru menunjukkan tren penurunan secara konsisten. Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui perbedaan mendasar antara parameter BOD dan COD itu sendiri. COD mengukur keseluruhan senyawa organik dalam air menggunakan reaksi kimia kuat, mencakup senyawa yang mudah maupun yang sulit terurai secara biologis. Sementara itu, BOD hanya mengukur senyawa organik yang mampu diuraikan oleh mikroorganisme dalam kondisi tertentu. Bahan organik yang terlepas dari sedimen pada umumnya merupakan senyawa yang telah lama terendap dan bersifat relatif stabil secara kimia, sehingga lebih mudah dikenali dan diserap kembali oleh permukaan partikel sedimen melalui proses adsorpsi. Di sisi lain, senyawa organik utama penyumbang nilai COD dalam limbah tempe, seperti protein dan lemak yang berasal dari proses produksi, memiliki ukuran molekul yang lebih besar dan lebih mudah menempel pada permukaan adsorben. Akibatnya, proses adsorpsi bekerja lebih efektif dalam menurunkan COD, sementara senyawa organik berukuran kecil yang terlepas dari sedimen lebih mudah terdeteksi oleh pengujian BOD karena sifatnya yang lebih mudah diurai secara biologis. Hal inilah yang menyebabkan COD tetap menunjukkan penurunan yang signifikan, sedangkan BOD pada beberapa variasi justru mengalami sedikit peningkatan. Material adsorben alami yang belum sepenuhnya stabil secara kimia memang berpotensi mengalami pelepasan kembali komponen organiknya ketika berada dalam sistem perairan (Babel & Kurniawan, 2003).

Pada kecepatan pengadukan 80 rpm, nilai BOD pada rasio 1:2 (50 gram sedimen : 100 ml sampel) mencapai 139,75 mg/L, yang merupakan nilai tertinggi pada grafik. Rasio 1:4 (25 gram sedimen : 100 ml sampel) menunjukkan penurunan menjadi 120,42 mg/L, sedangkan rasio 1:5 (20 gram sedimen : 100 ml sampel) kembali meningkat menjadi 131,58 mg/L. Seluruh hasil pengujian masih berada di bawah batas baku mutu 150 mg/L sebagaimana ditunjukkan oleh garis horizontal pada grafik. Meskipun demikian, fluktuasi nilai BOD yang terjadi menunjukkan bahwa efektivitas perlakuan belum konsisten dalam menurunkan beban organik *biodegradable*.

Nilai terendah tercatat pada variasi 200 rpm rasio 1:5 (20 gram sedimen : 100 ml sampel) sebesar 105,56 mg/L. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada komposisi tertentu terjadi keseimbangan antara proses adsorpsi senyawa organik dari limbah dan pelepasan fraksi organik dari sedimen. Rasio yang lebih tinggi dapat meningkatkan jumlah situs aktif untuk mengikat sebagian senyawa organik, meskipun efektivitasnya tidak berlangsung secara linear. Hubungan antara dosis adsorben dan efisiensi penurunan polutan tidak selalu proporsional. Penambahan massa adsorben berlebih dapat menyebabkan aglomerasi partikel sehingga luas permukaan efektif menurun dan difusi zat terlarut menjadi kurang optimal. Fenomena ini telah banyak dibahas dalam kajian kinetika dan isoterm adsorpsi pada material berbiaya rendah (Gupta, 2009).

Peningkatan nilai BOD setelah perlakuan diduga berkaitan dengan karakteristik sedimen yang digunakan sebagai adsorben. Sedimen saluran drainase umumnya tidak hanya tersusun dari partikel mineral, tetapi juga mengandung bahan organik dan mikroorganisme yang berasal dari akumulasi limbah domestik, sisa tumbuhan, serta aktivitas biologis di lingkungan sekitar. Kandungan bahan organik dalam sedimen dapat berupa senyawa protein, karbohidrat, asam organik, serta biomassa mikroorganisme seperti bakteri heterotrof dan biofilm. Ketika sedimen dicampurkan dengan limbah cair selama proses pengadukan, sebagian bahan organik tersebut dapat terlepas atau terdispersi ke dalam larutan sehingga meningkatkan jumlah bahan organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Kondisi ini menyebabkan kebutuhan oksigen selama proses penguraian biologis meningkat sehingga nilai BOD yang terukur menjadi lebih tinggi (Metcalf & Eddy, 2014).

Keberadaan mikroorganisme di dalam sedimen juga berperan dalam mempengaruhi hasil pengujian BOD. Sedimen perairan umumnya menjadi habitat bagi berbagai mikroorganisme heterotrof yang memanfaatkan bahan organik sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan metabolisme. Ketika sedimen dicampurkan ke dalam sampel limbah, jumlah mikroorganisme yang terlibat dalam proses penguraian bahan organik dapat meningkat. Aktivitas respirasi mikroorganisme selama periode inkubasi pada pengujian BOD akan mengonsumsi

oksigen terlarut di dalam air, sehingga kebutuhan oksigen untuk proses dekomposisi menjadi lebih besar dan nilai BOD yang terukur dapat meningkat. Kondisi ini sering dijumpai pada penelitian yang menggunakan material alami sebagai adsorben, karena material tersebut masih mengandung komponen biologis yang aktif dan mampu mendukung aktivitas mikroorganisme (Flemming, dkk.)

Sedimen yang berasal dari saluran drainase umumnya mengandung berbagai komponen organik biologis yang berasal dari akumulasi bahan organik di lingkungan perairan. Kandungan tersebut dapat berupa protein, karbohidrat, lipid, serta biomassa mikroorganisme seperti bakteri heterotrof, jamur, dan biofilm yang berkembang pada partikel sedimen. Senyawa-senyawa organik tersebut memiliki karakteristik yang mudah terurai secara biologis sehingga dapat meningkatkan kebutuhan oksigen selama proses dekomposisi. Dalam konteks penelitian ini, jenis bahan organik yang terdapat pada sedimen memiliki kemiripan dengan komponen utama yang terdapat dalam limbah industri tempe. Limbah tempe umumnya mengandung protein kedelai, asam amino, pati, gula sederhana, serta senyawa organik terlarut yang berasal dari proses perendaman, perebusan, dan fermentasi kedelai. Senyawa tersebut merupakan substrat yang mudah dimanfaatkan oleh mikroorganisme heterotrof sehingga berkontribusi terhadap tingginya nilai BOD pada limbah tempe (Babel & Kurniawan, 2003).

Ketika sedimen dicampurkan ke dalam limbah tempe selama proses perlakuan, komponen organik yang terdapat pada sedimen seperti sisa biomassa mikroba, bahan humik, protein terdegradasi, dan polisakarida dapat terlarut atau terdispersi ke dalam larutan. Senyawa-senyawa ini bersifat biodegradable dan dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi. Proses metabolisme mikroorganisme tersebut akan mengonsumsi oksigen terlarut di dalam air sehingga meningkatkan kebutuhan oksigen biologis selama periode inkubasi pengujian BOD. Akibatnya, konsentrasi BOD yang terukur dapat meningkat dibandingkan dengan kondisi awal sebelum perlakuan. Fenomena ini juga dijelaskan dalam literatur pengolahan air limbah yang menyebutkan bahwa material alami yang mengandung bahan organik dan mikroorganisme aktif dapat melepaskan senyawa

organik tambahan ke dalam larutan sehingga meningkatkan nilai BOD apabila tidak melalui proses aktivasi atau pemurnian terlebih dahulu (Metcalf & Eddy, 2014).

Perbedaan kecepatan pengadukan juga memengaruhi distribusi partikel dan intensitas kontak antara adsorben dan zat terlarut. Pengadukan cepat meningkatkan perpindahan massa, namun pada material alami berpotensi memperbesar pelepasan komponen internal yang mudah larut. Kondisi ini menjelaskan mengapa pada 200 rpm tidak selalu diperoleh hasil yang lebih rendah dibandingkan 80 rpm.

Seluruh nilai BOD hasil perlakuan masih berada di bawah batas baku mutu 150 mg/L yang ditetapkan untuk industri pengolahan kedelai dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Secara regulatif, kondisi ini menunjukkan bahwa limbah telah memenuhi persyaratan parameter BOD untuk dibuang ke badan air penerima (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014).

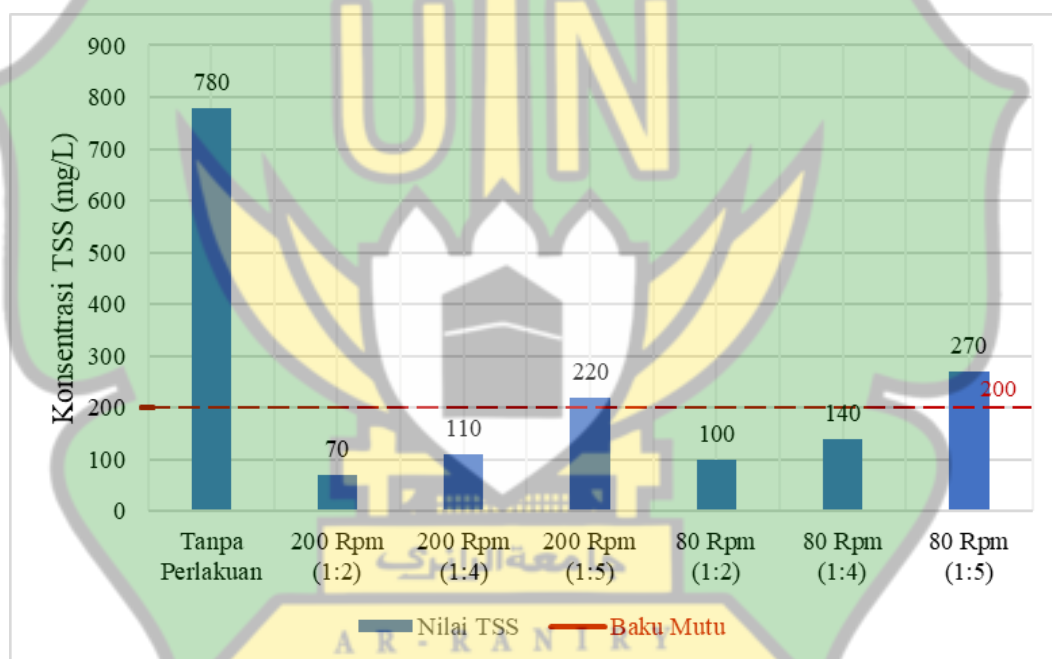
Perbandingan nilai BOD menunjukkan bahwa fluktuasi konsentrasi masih terjadi pada berbagai variasi perlakuan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa metode adsorpsi menggunakan sedimen alami belum mampu memberikan stabilitas penurunan BOD secara konsisten. Oleh karena itu, proses adsorpsi dengan sedimen lebih tepat diposisikan sebagai tahap prapengolahan dalam sistem pengolahan limbah cair. Tahap ini dapat berfungsi untuk mengurangi sebagian kandungan bahan organik sebelum limbah diproses lebih lanjut menggunakan sistem pengolahan biologis, seperti proses lumpur aktif atau biofilter anaerobik, yang secara khusus dirancang untuk mereduksi beban organik yang bersifat biodegradable (Metcalf & Eddy, 2014).

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa pemanfaatan sedimen drainase sebagai adsorben memiliki potensi terbatas dalam mengendalikan parameter BOD. Efektivitasnya dipengaruhi oleh kandungan organik awal sedimen, rasio campuran, dan intensitas pengadukan. Optimalisasi proses aktivasi dan pencucian material menjadi faktor penting untuk meminimalkan kontribusi organik tambahan dari sedimen. Pendekatan kombinasi antara adsorpsi dan pengolahan biologis direkomendasikan untuk meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Integrasi dua metode tersebut memungkinkan penurunan beban organik total sekaligus reduksi fraksi biodegradable secara lebih efektif.

4.1.3. Parameter TSS

Pengukuran parameter *Total Suspended Solids* (TSS) dilakukan untuk mengetahui besarnya kandungan padatan tersuspensi dalam limbah sebelum dan setelah perlakuan menggunakan sedimen dengan variasi kecepatan pengadukan dan rasio campuran. Parameter TSS menjadi salah satu indikator penting dalam evaluasi kualitas air limbah karena berkaitan langsung dengan tingkat kekeruhan, potensi sedimentasi di badan air penerima, serta dampaknya terhadap organisme perairan (Chapra, 2014). Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4. 3 Perbandingan Nilai TSS Sebelum dan Sesudah Perlakuan dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Rasio Sedimen

Gambar 4.3 menyajikan perbandingan konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS) limbah cair industri tempe sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan sedimen saluran drainase dengan variasi kecepatan pengadukan 200 rpm dan 80 rpm serta rasio campuran 1:2, 1:4, dan 1:5. Garis putus-putus berwarna merah pada grafik menunjukkan batas baku mutu TSS sebesar 200 mg/L sebagaimana

ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.

Nilai TSS sebelum perlakuan tercatat sangat tinggi, yaitu sebesar 780 mg/L, hampir empat kali lipat melampaui batas baku mutu yang berlaku. Tingginya kandungan padatan tersuspensi pada limbah tempe ini merupakan hal yang umum ditemukan, mengingat proses produksi tempe melibatkan tahapan pencucian, perendaman, dan perebusan kedelai yang menghasilkan banyak partikel padatan seperti serpihan kulit kedelai, serat sisa fermentasi, dan residu organik lainnya (Pramaningsih et al., 2022).

Setelah dilakukan perlakuan dengan penambahan sedimen, grafik menunjukkan penurunan konsentrasi TSS yang cukup besar pada hampir seluruh variasi. Pada kecepatan pengadukan 200 rpm, nilai TSS turun menjadi 70 mg/L pada rasio 1:2, 110 mg/L pada rasio 1:4, dan 220 mg/L pada rasio 1:5. Sementara pada kecepatan 80 rpm, nilai TSS tercatat 100 mg/L pada rasio 1:2, 140 mg/L pada rasio 1:4, dan 270 mg/L pada rasio 1:5. Penurunan paling optimal terjadi pada kombinasi 200 rpm dengan rasio 1:2 yang menghasilkan nilai TSS terendah sebesar 70 mg/L dengan efisiensi penyisihan mencapai 91,03%.

Penurunan TSS yang terjadi pada penelitian ini lebih dominan dijelaskan melalui mekanisme agregasi partikel dan pengendapan gravitasi, bukan semata-mata melalui adsorpsi murni. Hal ini didasarkan pada pemahaman bahwa TSS merupakan padatan yang sudah berbentuk partikel tersuspensi di dalam larutan, sehingga mekanisme yang paling berperan adalah destabilisasi dan penggabungan partikel menjadi agregat yang lebih besar dan mudah mengendap. Sedimen drainase yang mengandung mineral silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) berperan dalam proses ini karena permukaan mineralnya yang bermuatan mampu menarik partikel tersuspensi dalam limbah melalui interaksi elektrostatik, sehingga mendorong terbentuknya agregat yang kemudian mengendap selama fase pengendapan 20 menit setelah pengadukan. Prinsip ini serupa dengan mekanisme koagulasi dan flokulasi yang telah lama dikenal dalam teknologi pengolahan air (Bratby, 2016).

Variasi rasio sedimen yang lebih kecil (seperti 1:2 dan 1:4) menyediakan jumlah sedimen yang optimal sehingga luas permukaan efektif dan jumlah situs

adsorpsi cukup untuk menangkap partikel padatan tersuspensi. Kombinasi dengan pengadukan pada 200 rpm memperbesar frekuensi kontak antara sedimen dan partikel limbah sehingga meningkatkan peluang agregasi dan pengendapan. Kondisi ini tercermin dalam nilai TSS rendah yang dicapai, terutama pada rasio 1:2 (50 gram sedimen : 100 ml sampel) 200 rpm (70 mg/L).

Kecepatan pengadukan 200 rpm secara konsisten menghasilkan nilai TSS yang lebih rendah dibandingkan 80 rpm pada setiap rasio yang sama. Kondisi ini terjadi karena pengadukan dengan intensitas lebih tinggi meningkatkan frekuensi tumbukan antara partikel sedimen dan partikel tersuspensi dalam limbah, sehingga proses pembentukan agregat berlangsung lebih cepat dan lebih merata sebelum memasuki fase pengendapan. Hal ini sesuai dengan prinsip dalam teknik pencampuran bahwa intensitas pengadukan yang memadai berperan penting dalam memaksimalkan kontak antar partikel pada sistem cair-padat (Metcalf & Eddy, 2014).

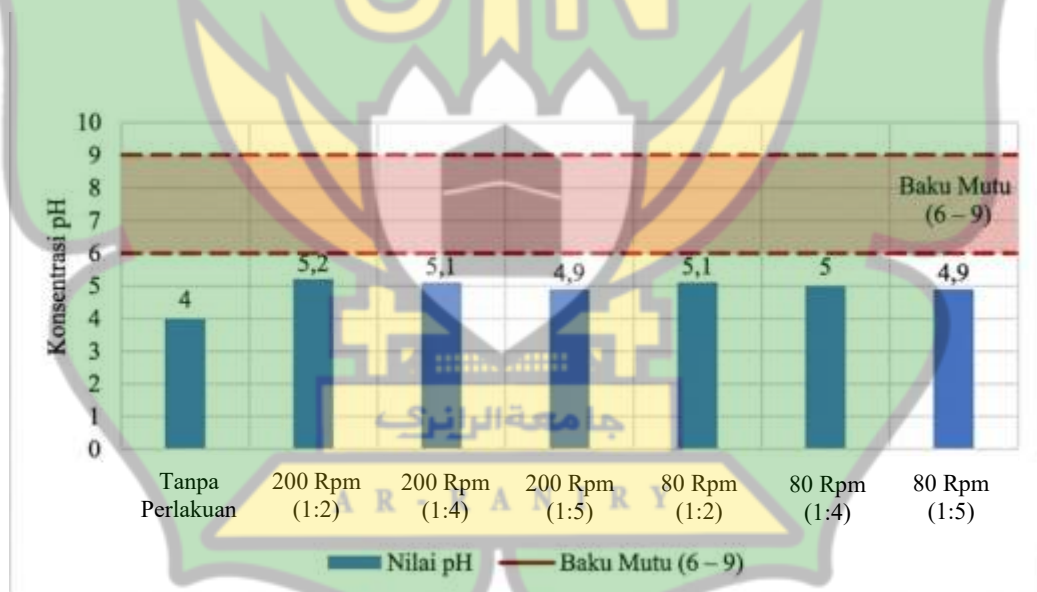
Grafik juga memperlihatkan bahwa nilai TSS pada rasio 1:5 di kedua kecepatan pengadukan melampaui batas baku mutu, yaitu 220 mg/L pada 200 rpm dan 270 mg/L pada 80 rpm. Kecenderungan ini terjadi akibat jumlah sedimen yang digunakan terlalu sedikit sehingga tidak cukup untuk mengikat dan mengendapkan seluruh partikel tersuspensi yang terdapat dalam larutan. Berkurangnya dosis sedimen berarti berkurangnya pula jumlah situs aktif yang tersedia untuk berinteraksi dengan partikel tersuspensi, sehingga sebagian partikel tetap melayang dan terukur sebagai TSS. Selain itu, pada rasio 1:5 dengan kecepatan 80 rpm, intensitas pengadukan yang lebih rendah menyebabkan kontak antara sedimen dan partikel limbah menjadi kurang optimal, sehingga proses agregasi tidak berlangsung secara efektif (Gupta, 2009).

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa kombinasi dosis sedimen yang memadai dan kecepatan pengadukan yang cukup merupakan faktor penentu keberhasilan penyisihan TSS. Sebagian besar variasi perlakuan mampu menghasilkan nilai TSS di bawah batas baku mutu 200 mg/L, yang mengindikasikan bahwa sedimen saluran drainase memiliki potensi nyata sebagai media pengolah padatan tersuspensi pada limbah cair industri tempe. Penelitian

serupa yang menggabungkan adsorpsi fisik dengan proses pengendapan pada pengolahan limbah industri pangan juga melaporkan efisiensi penurunan TSS yang tinggi ketika dosis dan kondisi operasi dioptimalkan dengan baik (Harrisa et al., 2024).

4.1.4. Parameter pH

Pengukuran parameter pH dilakukan untuk mengetahui tingkat keasaman atau kebasaan limbah sebelum dan setelah perlakuan dengan variasi kecepatan pengadukan dan rasio campuran. Nilai pH merupakan indikator penting dalam evaluasi kualitas air limbah karena memengaruhi stabilitas senyawa kimia serta efektivitas proses pengolahan. Hasil pengujian pH pada masing-masing perlakuan disajikan dalam bentuk grafik guna memperlihatkan perubahan yang terjadi serta kesesuaiannya dengan baku mutu yang berlaku. Untuk hasil lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Perbandingan Nilai pH Sebelum dan Sesudah Perlakuan dengan Variasi Kecepatan Pengadukan dan Rasio Sedimen

Gambar 4.4 memperlihatkan perubahan nilai pH limbah cair industri tempe sebelum dan sesudah perlakuan menggunakan sedimen dengan variasi kecepatan pengadukan dan rasio campuran. Grafik tersebut menunjukkan bahwa limbah tanpa perlakuan memiliki pH sebesar 4,0. Setelah perlakuan, nilai pH meningkat menjadi

5,2; 5,1; dan 4,9 pada variasi 200 rpm masing-masing untuk rasio 1:2 (50 gram sedimen : 100 ml sampel), 1:4 (25 gram sedimen : 100 ml sampel), dan 1:5 (20 gram sedimen : 100 ml sampel). Pada kecepatan 80 rpm, nilai pH tercatat sebesar 5,1; 5,0; dan 4,9 untuk rasio 1:2 (50 gram sedimen : 100 ml sampel), 1:4 (25 gram sedimen : 100 ml sampel), dan 1:5 (20 gram sedimen : 100 ml sampel).

Nilai awal pH sebesar 4,0 menunjukkan bahwa limbah cair industri tempe berada dalam kondisi asam. Karakteristik ini umum ditemukan pada limbah berbasis kedelai karena proses fermentasi menghasilkan asam organik seperti asam laktat dan asam asetat. Aktivitas mikroorganisme selama proses perendaman dan fermentasi meningkatkan konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam air limbah sehingga menurunkan pH. Temuan serupa dilaporkan pada penelitian pengolahan limbah tahu dan tempe yang menunjukkan pH awal berada pada kisaran 4–5 sebelum dilakukan perlakuan (Zea et al., 2014).

Kondisi asam dalam air limbah berpotensi meningkatkan kelarutan logam, mempercepat korosi instalasi, serta mengganggu keseimbangan biota perairan apabila dibuang langsung ke badan air. Pengendalian pH menjadi salah satu parameter dasar dalam sistem pengolahan limbah karena pH memengaruhi reaksi kimia, stabilitas senyawa, dan efektivitas proses biologis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi perlakuan memberikan peningkatan pH dibandingkan kondisi awal. Peningkatan tersebut mengindikasikan adanya proses netralisasi parsial yang terjadi setelah penambahan sedimen. Sedimen alami pada umumnya mengandung mineral karbonat dan silikat yang memiliki sifat basa. Mineral karbonat dapat bereaksi dengan ion H^+ di dalam larutan sehingga menurunkan tingkat keasaman dan meningkatkan pH. Reaksi netralisasi antara karbonat dan asam menghasilkan air serta karbon dioksida, yang secara bertahap mengurangi konsentrasi ion hidrogen dalam sistem. Material mineral diketahui memiliki kapasitas penyangga terhadap air limbah asam melalui mekanisme pertukaran ion dan reaksi kimia sederhana (S. Wang & Mulligan, 2006).

Nilai pH tertinggi sebesar 5,2 diperoleh pada variasi 200 rpm rasio 1:2. Rasio tersebut menunjukkan jumlah sedimen yang relatif optimal sehingga

kemampuan netralisasi berlangsung lebih efektif. Kontak antara partikel sedimen dan larutan asam memungkinkan terjadinya interaksi ionik yang lebih merata. Perbedaan nilai antara 200 rpm dan 80 rpm relatif kecil, sehingga dapat dipahami bahwa rasio material lebih berpengaruh dibandingkan intensitas pengadukan terhadap perubahan pH pada penelitian ini.

Nilai pH pada rasio 1:5 menunjukkan angka 4,9 baik pada 200 rpm maupun 80 rpm. Peningkatan dosis sedimen tidak menghasilkan kenaikan pH yang lebih tinggi. Hubungan antara jumlah material dan perubahan pH tidak selalu bersifat linier. Sedimen drainase berpotensi mengandung bahan organik terdekomposisi yang dapat terlarut kembali ketika mengalami pencampuran. Pelepasan senyawa organik bersifat asam dapat menahan kenaikan pH meskipun jumlah sedimen ditambah. Fenomena pelepasan komponen internal dari adsorben alami pada kondisi tertentu telah dilaporkan dalam kajian pengolahan limbah menggunakan material mineral dan biomassa (Xue et al., 2011).

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa meskipun terjadi peningkatan pH setelah perlakuan, seluruh nilai masih berada pada rentang 4,9 – 5,2 dan belum mencapai batas minimum baku mutu pH 6 sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. Regulasi tersebut mensyaratkan pH limbah industri berada pada kisaran 6–9 sebelum dilepaskan ke lingkungan untuk mencegah dampak negatif terhadap ekosistem perairan dan infrastruktur pengolahan (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014).

Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan sedimen sebagai media perlakuan memberikan kontribusi terhadap peningkatan pH, namun belum cukup efektif untuk mencapai kondisi netral. Tahap netralisasi tambahan menggunakan bahan alkali seperti kapur atau kalsium hidroksida diperlukan untuk menyesuaikan pH agar memenuhi standar baku mutu. Pengaturan pH secara tepat juga penting untuk mendukung proses pengolahan lanjutan, terutama apabila sistem biologis digunakan pada tahap berikutnya.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan pH akibat perlakuan sedimen, dengan rasio 1:2 sebagai kondisi yang paling mendekati netral. Fluktuasi pada rasio yang lebih tinggi mengindikasikan

bahwa komposisi kimia sedimen dan keseimbangan reaksi dalam sistem memegang peranan penting dalam menentukan perubahan derajat keasaman limbah.

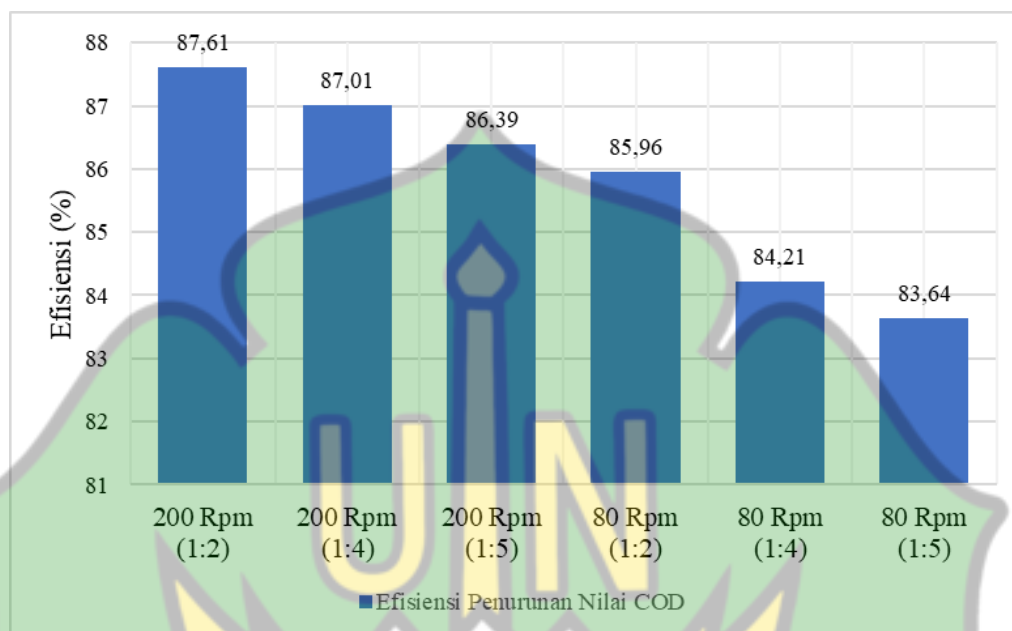
4.2. Efektivitas Sedimen Saluran Drainase Sebagai Adsorben dalam Menyisihkan Parameter Limbah Cair Tempe

Parameter pencemar limbah cair, seperti COD, BOD, dan TSS merupakan indikator penting kualitas limbah industri tempe. Efektivitas penyisihan parameter-parameter tersebut dihitung untuk mengetahui kemampuan sedimen saluran drainase sebagai media adsorben dalam proses pengolahan limbah cair. Tabel rekapitulasi efektivitas menunjukkan bahwa kemampuan media sedimen berbeda-beda antara parameter fisik dan kimia.

Efektivitas penyisihan COD pada seluruh variasi perlakuan berada pada kisaran 83,64% hingga 87,61%, mengindikasikan adanya penurunan beban oksidasi kimia yang cukup baik. COD merupakan indikator jumlah keseluruhan senyawa organik, baik *biodegradable* maupun *non-biodegradable*, yang dapat dioksidasi secara kimia. Penurunan COD menunjukkan bahwa sedimen memiliki kemampuan adsorpsi terhadap senyawa organik terlarut. Kajian terhadap adsorben berbasis karbon aktif dan material mineral lainnya menunjukkan bahwa peningkatan luas permukaan serta kelompok fungsional pada permukaan adsorben meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap senyawa organik dalam limbah. Adsorben berbasis karbon aktif dari bahan limbah organik telah dilaporkan mampu mencapai efisiensi COD yang tinggi, tergantung kondisi aktivasi dan ukuran partikel yang optimal. Material ini umum digunakan karena struktur pori-porinya yang tinggi sehingga mampu menangkap berbagai molekul organik dari limbah cair (Kumar et al., 2020)

Perbedaan efektivitas antar variasi juga menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan serta rasio adsorben-limbah memengaruhi interaksi antara media dan kontaminan. Pengadukan yang lebih intens cenderung meningkatkan peluang kontak antara permukaan sedimen dan molekul organik, sehingga memaksimalkan adsorpsi. Hal ini sesuai dengan temuan dalam kajian pengolahan limbah tekstil dan domestik menggunakan adsorben yang menunjukkan bahwa kondisi operasi seperti

rasio adsorben, waktu kontak, dan karakteristik media sangat menentukan efektivitas parameter organik seperti COD dan BOD (Aritonang et al., 2025). untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.5.

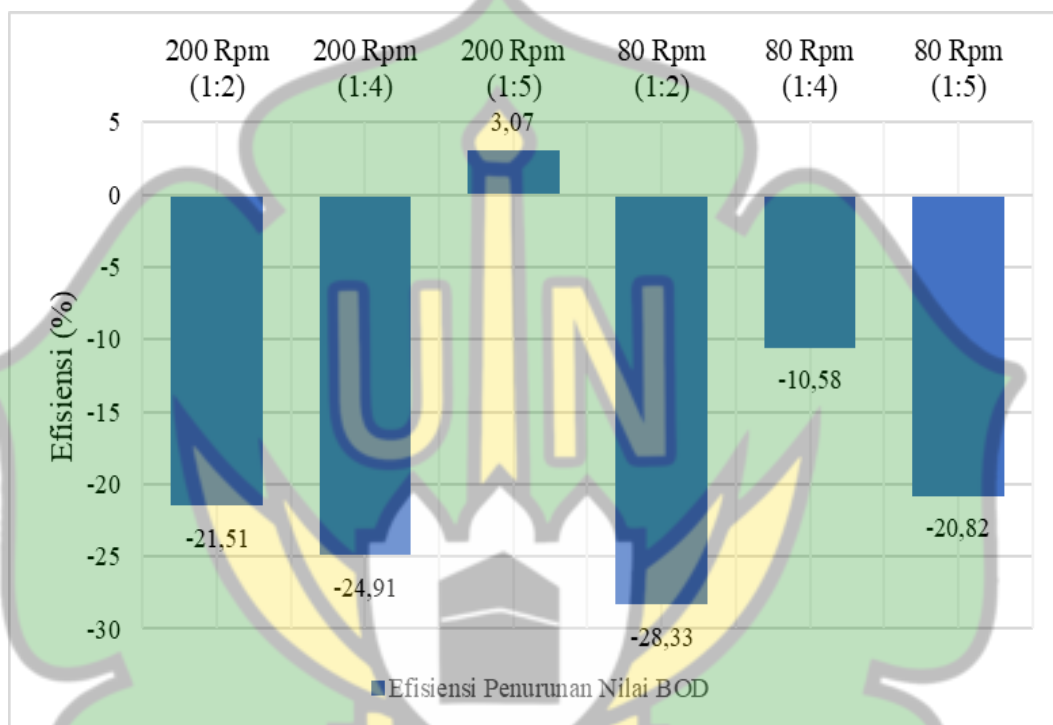


Gambar 4. 5 Efisiensi Penyisihan Parameter COD pada Variasi Kecepatan Pengadukan dan Perbandingan Limbah terhadap Sedimen

Efektivitas terhadap BOD tidak menunjukkan kinerja yang konsisten seperti COD dan TSS. Nilai efektivitas BOD bervariasi dari -28,33% hingga 3,07%, di mana sebagian besar variasi menunjukkan nilai negatif. Nilai negatif tersebut menunjukkan peningkatan konsentrasi BOD setelah perlakuan, bukan penurunan. BOD mengukur kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang dapat terdegradasi secara biologis. Proses adsorpsi pada media sedimen alami cenderung kurang selektif terhadap fraksi biodegradable dibandingkan proses biologis aktif seperti lumpur aktif atau biofilter. Kajian terhadap adsorben berbasis limbah organik menunjukkan bahwa penurunan BOD melalui adsorpsi langsung umumnya lebih rendah dibandingkan penurunan COD karena adsorpsi lebih efektif menangkap molekul secara fisik-kimia daripada memfasilitasi degradasi biologis (Damayanti et al., 2023).

Fenomena peningkatan BOD pada beberapa variasi masih dapat dijelaskan oleh kemungkinan pelepasan fraksi organik dari sedimen selama proses

pengadukan. Material alami seperti sedimen drainase dapat mengandung bahan organik teradsorpsi yang mudah larut kembali ke dalam larutan ketika terjadi gangguan mekanis. Situasi ini menyebabkan konsentrasi organik yang tersedia untuk konsumsi mikroba meningkat, sehingga nilai BOD terukur sebenarnya bisa lebih tinggi daripada kondisi awal. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.6.

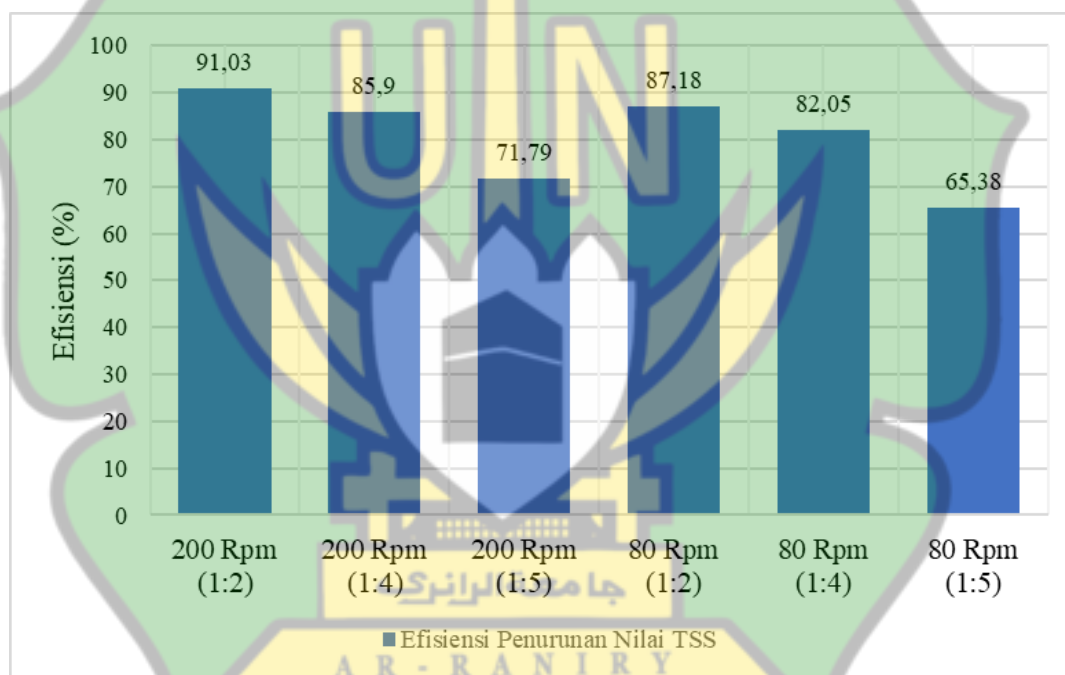


Gambar 4. 6 Efisiensi Penyisihan Parameter BOD pada Variasi Kecepatan Pengadukan dan Perbandingan Limbah terhadap Sedimen

Parameter TSS menunjukkan efektivitas penyisihan yang sangat tinggi, berkisar 65,38% hingga 91,03%, dengan efektivitas tertinggi pada kombinasi 200 rpm (1:2). TSS merupakan ukuran padatan tersuspensi yang tidak larut dalam air. Penurunan TSS yang tinggi menunjukkan bahwa sedimen sangat efektif dalam mengikat dan mengendapkan partikel tersuspensi melalui mekanisme adsorpsi fisik dan flokulasi. Partikel padatan cenderung membentuk agregat setelah berinteraksi dengan permukaan sedimen dan mudah mengendap akibat peningkatan massa gabungan. Mekanisme ini serupa dengan proses flokulasi dan sedimentasi yang umum digunakan dalam pengolahan air untuk mengurangi partikel tersuspensi (Bratby, 2016). Walaupun hanya sebagian variasi mencapai efektivitas di atas 80%,

kondisi ini tetap menunjukkan bahwa sedimen mampu bekerja secara baik dalam menurunkan parameter fisik limbah.

Perbandingan efektivitas ketiga parameter menunjukkan bahwa media sedimen memiliki kemampuan yang lebih unggul dalam penyisihan parameter fisik (TSS) dan senyawa organik terlarut secara keseluruhan (COD) dibandingkan dengan parameter yang berkaitan dengan aktivitas biologis (BOD). Pola ini mencerminkan bahwa adsorpsi bukan mekanisme utama untuk degradasi biologis, melainkan lebih dominan pada penangkapan molekul organik dan partikel padat melalui mekanisme fisik dan kimia permukaan. Efisiensi fluktuasi nilai TSS dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Efisiensi Penyisihan Parameter TSS pada Variasi Kecepatan Pengadukan dan Perbandingan Limbah terhadap Sedimen

Hasil penelitian ini memiliki implikasi teknis bahwa pemanfaatan sedimen saluran drainase sebagai media adsorben dapat dijadikan tahap prapengolahan (pre-treatment) untuk mengurangi beban padatan dan organik sebelum dilanjutkan ke proses biologis lanjutan. Prapengolahan ini penting karena limbah industri tempe memiliki beban pencemar yang kompleks, dan kombinasi metode sering kali dibutuhkan untuk memenuhi baku mutu lingkungan yang ditetapkan, seperti dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat diketahui bahwa kemampuan sedimen saluran drainase dalam menyisihkan parameter COD, BOD, dan TSS menunjukkan perbedaan pada setiap variasi perlakuan. Parameter TSS memperlihatkan efektivitas yang paling tinggi dibandingkan parameter lainnya, sedangkan efektivitas terhadap BOD cenderung rendah dan tidak konsisten. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa media sedimen lebih efektif dalam mengurangi padatan tersuspensi dibandingkan senyawa organik yang bersifat biodegradable.

Tingginya efektivitas pada parameter COD dan TSS mengindikasikan bahwa sedimen memiliki peran dalam proses adsorpsi dan pengikatan partikel melalui mekanisme fisik serta interaksi permukaan. Struktur mineral yang terkandung di dalam sedimen memungkinkan terjadinya proses penyerapan dan agregasi partikel, sehingga beban pencemar dapat berkurang secara signifikan. Perbedaan nilai efektivitas pada setiap variasi juga menunjukkan bahwa faktor kecepatan pengadukan dan perbandingan limbah terhadap sedimen memengaruhi tingkat kontak antara media dan zat pencemar.

Secara umum, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sedimen saluran drainase memiliki potensi sebagai media alternatif dalam pengolahan limbah cair tempe, khususnya sebagai tahap awal untuk menurunkan beban pencemar sebelum dilakukan pengolahan lanjutan. Pemanfaatan media ini dapat menjadi salah satu upaya pengolahan limbah yang lebih sederhana dan ekonomis, meskipun masih diperlukan kombinasi dengan metode lain agar seluruh parameter dapat memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian, kecepatan pengadukan memberikan pengaruh terhadap kinerja adsorpsi sedimen dalam menurunkan beban pencemar pada limbah cair industri tempe. Pengadukan dengan kecepatan 200 rpm menunjukkan kemampuan penurunan parameter pencemar yang lebih baik dibandingkan pengadukan 80 rpm. Pada kecepatan 200 rpm diperoleh nilai COD berkisar antara 1.858 – 2.042 mg/L, sedangkan pada kecepatan 80 rpm berada pada kisaran 2.106 – 2.454 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa pengadukan yang lebih cepat mampu meningkatkan kontak antara partikel sedimen dan zat pencemar di dalam limbah, sehingga proses adsorpsi berlangsung lebih efektif. Dengan demikian, peningkatan kecepatan pengadukan dapat mempercepat proses difusi dan interaksi antara adsorben dan zat pencemar sehingga kemampuan penyisihan pencemar menjadi lebih baik.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sedimen saluran drainase sebagai media adsorben mampu menurunkan beberapa parameter pencemar pada limbah cair industri tempe, terutama COD dan TSS. Efektivitas penurunan COD berada pada kisaran $\geq 83,64\%$ hingga $\geq 87,61\%$, sedangkan efektivitas penurunan TSS berkisar antara 71,79% hingga 91,03%. Nilai efektivitas terbaik diperoleh pada variasi perbandingan limbah : sedimen 1:2 dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Namun demikian, penurunan parameter BOD cenderung lebih rendah dan tidak konsisten dibandingkan parameter lainnya. Selain itu, nilai pH limbah meningkat dari kondisi awal yang bersifat asam (pH 4) menjadi sekitar 4,9–5,2 setelah perlakuan, meskipun masih belum sepenuhnya memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa sedimen saluran drainase memiliki potensi sebagai media adsorben alternatif untuk menurunkan beban pencemar limbah cair tempe, terutama dalam mengurangi kandungan padatan tersuspensi dan sebagian senyawa organik.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian lanjutan perlu dilakukan dengan melakukan aktivasi atau modifikasi sedimen untuk meningkatkan luas permukaan dan kapasitas adsorpsinya sehingga efektivitas penyisihan pencemar dapat lebih optimal.
2. Perlu dilakukan pengujian dengan variasi waktu kontak yang lebih panjang serta variasi dosis adsorben yang lebih luas untuk memperoleh kondisi optimum proses adsorpsi.
3. Karakterisasi fisik dan kimia sedimen seperti analisis ukuran partikel, kandungan mineral, serta luas permukaan spesifik perlu dilakukan untuk mengetahui secara lebih rinci mekanisme penyisihan pencemar.
4. Pemerintah daerah dan pelaku industri rumah tangga tempe dapat mempertimbangkan pemanfaatan media lokal seperti sedimen sebagai alternatif pengolahan awal limbah cair, dengan tetap memperhatikan kebutuhan pengolahan lanjutan agar sesuai dengan standar lingkungan yang berlaku.
5. Untuk aktivasi sedimen sebaiknya menggunakan NaOH.

DAFTAR PUSTAKA

- Alifaturrahma, P., & Hendriyanto, O. (2018). UNTUK MENYISIHKAN LOGAM Cu. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(2), 105–111.
- Andrio, D., Mahardika, D. A. D. P., & Darmayanti, L. (2024). Penyisihan Warna, Zat Organik, dan Logam Fe Air Gambut dengan Magnetic Biochar Berbahan Dasar Cangkang Sawit. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v13i1.64365>
- Aritonang, B., Ritonga, A. H., & Harefa, K. (2025). *Reduction of BOD , COD , and TSS in Textile Wastewater Using Bentonite Activated Charcoal Adsorbent. c*, 381–389.
- Babel, S., & Kurniawan, T. A. (2003). *Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water : a review*. 97, 219–243.
- Bratby, J. (n.d.). *FLOCCULATION*.
- Chapra, S. (2014). *Water-Quality Modeling. January 1997*.
- Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L., Morin-crini, N., Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L., & Conventional, N. M. (2019). Conventional and non-conventional adsorbents for wastewater treatment To cite this version : HAL Id : hal-02082916 Conventional and non - conventional adsorbents for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 195–213. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0786-8>
- Cundari, L., Suhendra, A. A., Indahsari, S. R., Asnari, M., Afrah, B. D., Gunawan, A., & Alfatih, M. M. (2022). Efektivitas Karbon Aktif Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Pada Pengolahan Limbah Cair Tempe. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 11(2), 403–410. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v11i2.49422>
- Cundari, L., Sukandar, M. R., & Nurusman, F. (2023). Tempeh Industry Wastewater Treatment using Mix Natural Adsorbents (Zeolite, Bentonite, Water Hyacinth-Activated Carbon): Effect of Mass Ratio and Dosage of Mix Adsorbents on Turbidity and pH. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 14(3), 41–52.

<https://doi.org/10.21771/jrtpi.2023.v14.no3.p41-52>

- Damayanti, A. P., Nury, D. F., Sufra, R., Achmad, F., & Luthfi, M. Z. (2023). *EFFECTIVENESS TEST OF DURIAN PEEL ADSORBENTS ON COD AND TSS LEVELS IN LIQUID WASTE OF TOFU INDUSTRY*. 152, 91–101.
- Daroini, T. A., & Arisandi, A. (2020). Analisis BOD (Biological Oxygen Demand) Di Perairan Desa Prancak Kecamatan Sepulu, Bangkalan. *Juvenil, Vol 1(4)(4)*, 558–566. <http://doi.org/10.21107/juvenil.v1i4.9037ABSTRAK>
- Flemming, H.-C. (n.d.). *Bacteria and archaea on Earth and their abundance in biofilms 1,2*.
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2012). Bioresource Technology Preparation , characterization and evaluation of adsorptive properties of orange peel based activated carbon via microwave induced K₂CO₃ activation. *Bioresource Technology*, 104, 679–686. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.005>
- Gupta, V. K. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2313–2342. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>
- Harrisa, H., Wandasundari, M., Maulana, M. I., & Apriani, I. (2024). Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe Menggunakan Metode Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Dan Metode Filtrasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 12(1), 151. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v12i1.74299>
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). *Pseudo-second order model for sorption processes*. 34, 451–465.
- Juanda, R., & Heikal, M. (2022). *PENINGKATAN KAPASITAS PENDUKUNG USAHA PADA UMKM KELOMPOK USAHA KERUPUK TEMPE BUNGONG NANGGROE*. 2(2), 32–36.
- Kamila, N., Wardhana, I. W., & Sutrisno, E. (2016). *PERENCANAAN SISTEM DRAINASE BERWAWASAN LINGKUNGAN (ECODRAINAGE) DI KELURAHAN JATISARI , KECAMATAN MIJEN , KOTA SEMARANG ECO-*

FRIENDLY DRAINAGE PLANNING SYSTEM (ECODRAINAGE) IN JATISARI SUB-DISTRICT , MIJEN DISTRICT ,. 22, 63–72.

- Kaswinarni, F. (2012). Studi Kasus Industri Tahu Tandang Semarang , Sederhana Kendal dan. *Kesehatan Lingkungang*, 4(2), 1–20.
- Kimia, J. T., & Malang, P. N. (2024). *Parameter Limbah Cair Mall X Melalui Pengolahan*. 10(9), 303–315.
- Kumar, S., Noof, S., Said, R., Mushaiqri, A., Mohammed, H., Subhi, A., Yoo, K., & Sadeq, H. Al. (2020). Low - cost activated carbon production from organic waste and its utilization for wastewater treatment. *Applied Water Science*, 10(2), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1145-z>
- Lingkungan, J. B., Azteria, V., Veronika, E., & Irfandi, A. (2025). *BioLink STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL CONTENT OF TEMPEH FACTORY LIQUID WASTE IN BEKASI DISTRICT*. 12(1). <https://doi.org/10.31289/biolink.v12i1.15526>
- Lufiana Sari Indah, Boedi Hebdrarto, P. S. (2014). *KEMAMPUAN ECENG GONDOK (Eichhornia sp.), KANGKUNG AIR (Ipomea sp.), DAN KAYU APU*. 3, 1–6.
- Mekibes, Z., Boucherdoud, A., Bestani, B., & Benderdouche, N. (2024). Activator effect on sawdust-based adsorbent efficiency: application to organic pollutants decontamination. *Studies in Engineering and Exact Sciences*, 5(1), 847–875. <https://doi.org/10.54021/seesv5n1-045>
- Metcalf, L., Eddy, H. P., & Tchobanoglous, G. (2003). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, Fifth Edition. In *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. <https://books.google.com/cu/books?id=6KVKMAEACAAJ>
- Miranda, A. T. (2023). *Analysis of Flood Control in Lambidaro Sub-Watershed Using EPA SWMM: Environmental Protection Agency Storm Water Management Model*. 6(January), 1–18.
- Nugroho, H. W. (2025). *Desain Sistem Drainase Perkotaan Sustainability dengan Pendekatan Saluran Bertingkat dan Grill Sampah di Kota Pekanbaru*. 7(2), 85–96.

- Nurdini, L., D, W. G. N. A., & Putri, A. F. (2020). Research of COD and BOD Removal Efficiency in Tempeh Industrial Wastewater Treatment using Aerated Activated Sludge. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(3S), 229–231. <https://doi.org/10.35940/ijitee.c1050.0193s20>
- Nurrohmat, M. R., Dewi, E., & Junaidi, R. (2023). Pemanfaatan Fly Ash dari Sisa Pembakaran Batubara PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang dalam Pembuatan Silika Gel Sebagai Adsorben Limbah Zat Warna Methylene Blue. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 21917–21924.
- Ouakouak, A., Abdelhamid, M., Thouraya, B., Chahinez, H. O., Hocine, G., Hamdi, N., Syafiuddin, A., & Boopathy, R. (2021). Development of a novel adsorbent prepared from dredging sediment for effective removal of dye in aqueous solutions. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/app112210722>
- Pakpahan, M. R. R. B., Ruhayat, R., & Hendrawan, D. I. (2021). Karakteristik Air Limbah Industri Tempe (Studi Kasus: Industri Tempe Semanan, Jakarta Barat). *Jurnal Bhuwana*, 1(2), 164–172. <https://doi.org/10.25105/bhuwana.v1i2.12535>
- Paul, E. L., Atiemo-obeng, V. A., & Kresta, S. M. (n.d.). *HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING* Edited by.
- Pradana, T. D., Suharno, S., & Apriansyah, A. (2018). Pengolahan Limbah Cair Tahu Untuk Menurunkan Kadar TSS Dan BOD. *Jurnal Vokasi Kesehatan*, 4(2), 56. <https://doi.org/10.30602/jvk.v4i2.9>
- Pramaningsih, V., Hansen, H., Praveena, S. M., & Styana, U. I. F. (2022). Wastewater Quality and Pollution Load of Each Stage in Tempeh Production. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(3), 209–222. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v5i3.12838>
- Pratiwi, N. I., Huwaida, A., Indah, S., & Helard, D. (2019). Adsorption and Regeneration of Sungai Pasak Pumice As an Adsorbent for Ammonium Removal in Water. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 10(1), 38–46. <https://doi.org/10.21771/jrtppi.2019.v10.no1.p38-46>

- Recovery, R. (n.d.). *Wastewater Engineering*.
- Sari, D., & Rahmawati, A. (2020). Pengelolaan Limbah Cair Tempe Air Rebusan dan Air Rendaman Kedelai. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Media Husada*, 9(1), 47–54. <https://doi.org/10.33475/jikmh.v9i1.210>
- Sayow, F., Polii, B. V. J., Tilaar, W., & Augustine, K. D. (2020). Analisis Kandungan Limbah Industri Tahu Dan Tempe Rahayu Di Kelurahan Uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten Minahasa. *Agri-Sosioekonomi*, 16(2), 245. <https://doi.org/10.35791/agrsosek.16.2.2020.28758>
- Sekar, S. S., & Malang, K. (2020). *Perencanaan Sistem Drainase Perumahan Istana Safira di Jalan Jambu Curah Hujan Rata – Rata*. 5(2), 147–158.
- Setya Wardhana, B., Ardelia Musnamar, A., & Esti Rahayu, D. (2024). Pengolahan Air Limbah Industri: Pendekatan Metode Adsorpsi Dalam Perspektif Islam Berkemajuan. *Jurnal Kemuhammadiyah Dan Integrasi Ilmu*, 2(2), 213–225.
- Setyaningrum, N. E., Santoso, B. B., & Mangallo, B. (2019). Studi adsorpsi limbah organik industri tahu tempe dengan karbon aktif kayu merbau [Intsia bijuga (Colebr) O. Kuntze]. *Cassowary*, 2(1), 86–101. <https://doi.org/10.30862/cassowary.cs.v2.i1.24>
- Sistem, D., Pabrik, L., Skala, T., Rifki, D. M., Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., & Mercubuana, U. (2020). <http://mercubuana.ac.id/>.
- Soliman, M. F., Rashed, M. N., & Ahmd, A. A. (2023). Chemical Activation of Sludge from Drinking Water Treatment Plant for Adsorption of Methylene Blue Dye. *Water, Air, and Soil Pollution*, 234(4). <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06216-9>
- Soni Andriawan*, David Hermawan, Shafira Rahmania. (2024). *Optimation of tempe liquid waste usage for growth performances and feed uptake on Oreochromis niloticus*. University of Muhammadiyah Malang, Department of Aquaculture, Jalan Raya Tlogomas 246, Malang, East Java, Indonesia, Postal Code: 65144
- Studi, P., & Lingkungan, T. (2024). Pemanfaatan arang aktif ampas kopi sebagai media filtrasi dalam pengolahan limbah cair tahu. *Repository.Ar-Raniry.Ac.Id*.

[https://repository.ar-raniry.ac.id/37409/1/Skripsi Sapriyadi_190702070%281%29.pdf](https://repository.ar-raniry.ac.id/37409/1/Skripsi_Sapriyadi_190702070%281%29.pdf)

- Tran, H. N., You, S. J., Hosseini-Bandegharai, A., & Chao, H. P. (2017). Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: A critical review. *Water Research*, 120, 88–116. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.04.014>
- Ulya, Z., Lufika, R. D., Mandira, A. S., Lestari, D., & Mailida, S. (2025). *Analisis Rantai Nilai Produk Tempe Berbasis Tempe Koro di Banda Aceh dan Aceh Besar untuk Mendukung Konsumsi Pangan Berkelanjutan*. 5(3), 2321–2330.
- Umar, M., Hidayah, N., Hanifah, A., Anita, S., Devi, S., & Mahidin, E. (2025). *Optimization of Contact Time and Stirring Speed in The Adsorption of Cd (II) Using Acacia crassicaarpa Bark Powder as Adsorbent*. 08(02), 111–120. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol8.iss2.art2>
- Wang, J., & Guo, X. (2020). Adsorption isotherm models: Classification, physical meaning, application and solving method. *Chemosphere*, 258, 127279. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127279>
- Wang, S., & Mulligan, C. N. (2006). *Natural attenuation processes for remediation of arsenic contaminated soils and groundwater*. 138, 459–470. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.048>
- Wang, S., & Peng, Y. (2010). Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 11–24. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.10.029>
- Widiawati, S., Ardistya, F. B., Aktawan, A., & Alfiata, F. M. (2024). *Perbandingan Tawas Dan Poly Aluminium Chloride (PAC) Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe*. April, 1–8.
- Xue, G., Liu, H., Chen, Q., Hills, C., Tyrer, M., & Innocent, F. (2011). Synergy between surface adsorption and photocatalysis during degradation of humic acid on TiO₂ / activated carbon composites. *Journal of Hazardous Materials*, 186(1), 765–772. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.11.063>
- Yaowayord, P., Tungkananuruk, K., Semvimol, N., & Rungratthanaubon, T. (2019). ในน ้ นส ี ยอ ุ ตสาหกรรม *Application of Sediment from Water Supply*

Process for Removing Heavy Metals in Industrial Wastewater. 20(1).

Yin, Y., Xu, G., Li, L., Xu, Y., Zhang, Y., Liu, C., & Zhang, Z. (2020). Fabrication of ceramic adsorbent from industrial wastes for the removal of phosphorus from aqueous solutions. *Journal of Chemistry*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8036961>

Zea, J., Pada, L., Inceptisol, T., Hapiza, M. R., Sabrina, T., & Marbun, P. (2014). *No Title.* 2(2337), 1098–1106.



LAMPIRAN

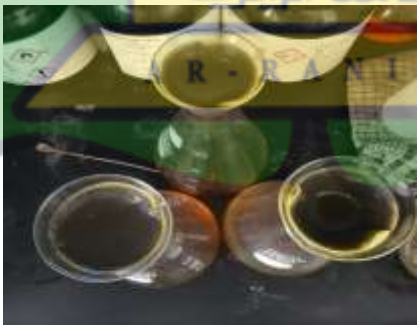
LAMPIRAN 1. TABEL HASIL PENGUJIAN PENDAHULUAN

No	Parameter	Sebelum Uji	Hasil Uji	Baku Mutu
1	COD	>15000 mg/L	800 mg/L	300 mg/L
2	pH	4	5	6-9



LAMPIRAN 2. DOKUMENTASI PENELITIAN

No	Gambar	Keterangan
1		Pengambilan sedimen saluran drainase
2		Sedimen setelah melalui proses penjemuran
3		Pembersihan dan Pengayakan Sedimen

4		Sedimen yang sudah melalui proses pengovenan selama 12 jam dengan suhu 110 °C
5		Proses aktivasi sedimen selama 24 Jam
6		Proses pembilasan sedimen dengan aquades
7		Proses penyaringan sedimen setelah pembilasan

8		Proses pengovenan sedimen
9		Proses penimbangan sedimen
10		Pengambilan sampel limbah cair industri tempe
11		Proses pengadukan sampel limbah cair tempe dengan sedimen menggunakan <i>jar test</i> dengan kecepatan 200 rpm dan 80 rpm

12		Proses waktu tunggu selama 20 menit
13		Proses penyaringan atau pemisahan sedimen dengan air limbah yang sudah melalui proses pengadukan dan waktu tinggal
14		Hasil dari limbah yang sudah melalui proses adsorpsi
15		Proses pengujian COD

16		Proses pemanasan COD selama 2 jam dalam temperatur 150°C
17		Proses analisis nilai COD
18		Proses pengujian pH
19		Proses pengujian TSS menggunakan alat Vakum

LAMPIRAN 3. PERHITUNGAN SAMPEL PARAMETER TSS LIMBAH CAIR TEMPE

Rumus Perhitungan:

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

Keterangan:

A = Berat kertas saring sebelum penyaringan (g)

B = Berat kertas saring setelah penyaringan dan pengeringan (g)

V = Volume sampel (mL)

Volume sampel yang digunakan = 100 mL

1. Sampel tanpa perlakuan

$$\begin{aligned} \text{TSS (mg/L)} &= \frac{(B - A)}{V} \times 1000 \\ &= \frac{(1,356 \text{ g} - 1,278 \text{ g})}{100} \times 1000 \\ &= \frac{(0,078 \text{ g})}{100} \times 1000 \\ &= 0,00078 \text{ g} \times 1000 \\ &= 780 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

2. 80 Rpm (Rasio 1:2)

$$\begin{aligned} \text{TSS (mg/L)} &= \frac{(B - A)}{V} \times 1000 \\ &= \frac{(1,287 \text{ g} - 1,277 \text{ g})}{100} \times 1000 \\ &= \frac{(0,010)}{100} \times 1000 \\ &= 0,0001 \text{ g} \times 1000 \\ &= 100 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

3. 80 Rpm (Rasio 1:4)

$$\begin{aligned}
 \text{TSS (mg/L)} &= \frac{(B - A)}{V} \times 1000 \\
 &= \frac{(1,290 \text{ g} - 1,276 \text{ g})}{100} \times 1000 \\
 &= \frac{(0,014)}{100} \times 1000 \\
 &= 0,00014 \text{ g} \times 1000 \\
 &= 140 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

4. 80 Rpm (Rasio 1:5)

$$\begin{aligned}
 \text{TSS (mg/L)} &= \frac{(B - A)}{V} \times 1000 \\
 &= \frac{(1,298 \text{ g} - 1,271 \text{ g})}{100} \times 1000 \\
 &= \frac{(0,027)}{100} \times 1000 \\
 &= 0,00027 \text{ g} \times 1000 \\
 &= 270 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

5. 200 Rpm (Rasio 1:2)

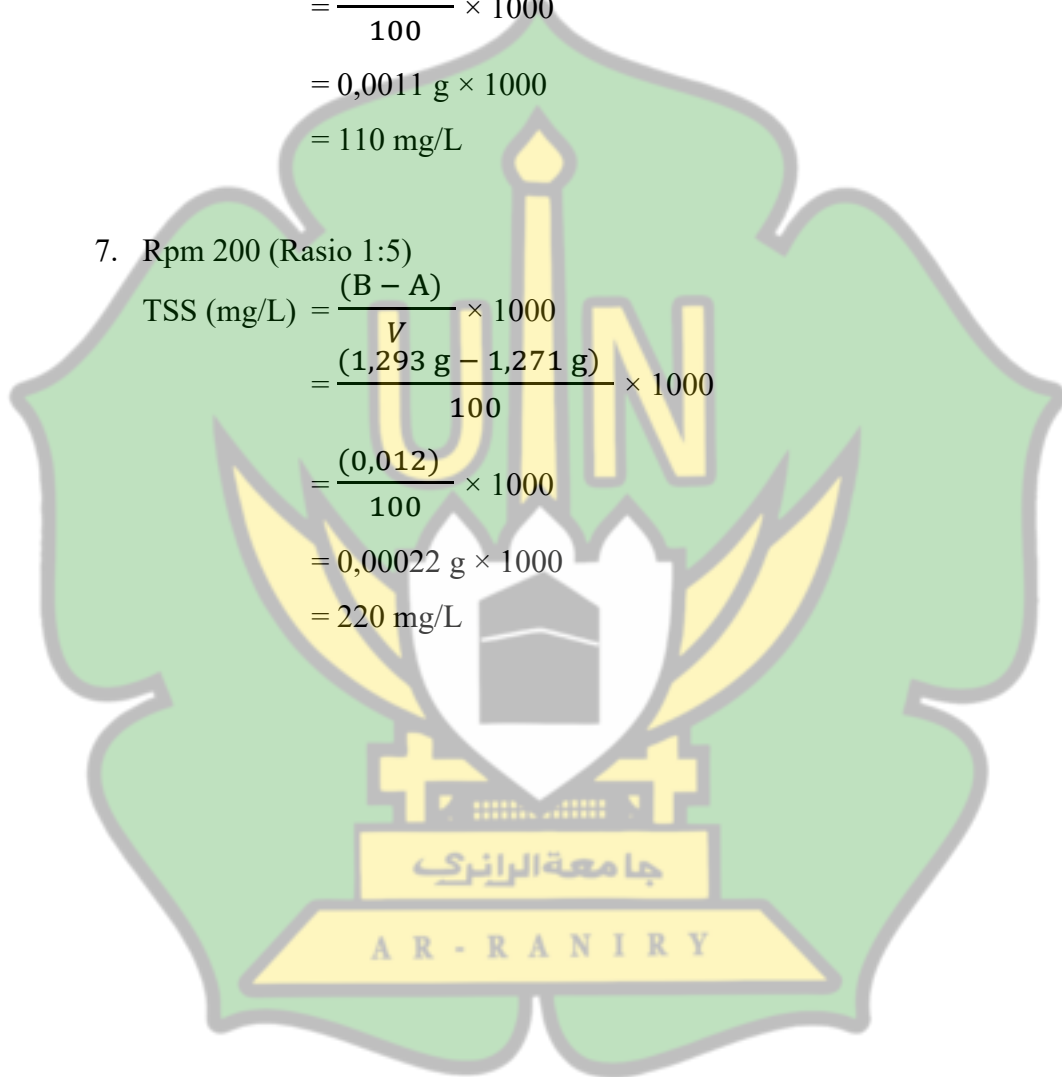
$$\begin{aligned}
 \text{TSS (mg/L)} &= \frac{(B - A)}{V} \times 1000 \\
 &= \frac{(1,285 \text{ g} - 1,278 \text{ g})}{100} \times 1000 \\
 &= \frac{(0,007)}{100} \times 1000 \\
 &= 0,0007 \text{ g} \times 1000 \\
 &= 70 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

6. 200 Rpm (Rasio 1:4)

$$\begin{aligned} \text{TSS (mg/L)} &= \frac{(B - A)}{V} \times 1000 \\ &= \frac{(1,287 \text{ g} - 1,276 \text{ g})}{100} \times 1000 \\ &= \frac{(0,011)}{100} \times 1000 \\ &= 0,0011 \text{ g} \times 1000 \\ &= 110 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

7. Rpm 200 (Rasio 1:5)

$$\begin{aligned} \text{TSS (mg/L)} &= \frac{(B - A)}{V} \times 1000 \\ &= \frac{(1,293 \text{ g} - 1,271 \text{ g})}{100} \times 1000 \\ &= \frac{(0,012)}{100} \times 1000 \\ &= 0,00022 \text{ g} \times 1000 \\ &= 220 \text{ mg/L} \end{aligned}$$



LAMPIRAN 4.

PERHITUNGAN EFISIENSI PENURUNAN PARAMETER LIMBAHCAIR TEMPE

1. Perhitungan Efisiensi COD

a. Pengadukan 200 Rpm (Rasio 1:2)

$$\begin{aligned} \text{EF (\%)} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{15000 - 1858}{15000} \times 100\% \\ &= 87,61\% \end{aligned}$$

b. Pengadukan 200 Rpm (Rasio 1:4)

$$\begin{aligned} \text{EF (\%)} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{15000 - 1948}{15000} \times 100\% \\ &= 87,01\% \end{aligned}$$

c. Pengadukan 200 Rpm (Rasio 1:5)

$$\begin{aligned} \text{EF (\%)} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{15000 - 2042}{15000} \times 100\% \\ &= 86,39\% \end{aligned}$$

d. Pengadukan 80 Rpm (Rasio 1:2)

$$\begin{aligned} \text{EF (\%)} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{15000 - 2106}{15000} \times 100\% \\ &= 85,96\% \end{aligned}$$

e. Pengadukan 80 Rpm (Rasio 1:4)

$$\begin{aligned} \text{EF (\%)} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{15000 - 2368}{15000} \times 100\% \\ &= 84,21\% \end{aligned}$$

f. Pengadukan 80 Rpm (Rasio 1:5)

$$\text{EF (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{15000-2454}{15000} \times 100\%$$

$$= 83,64\%$$

2. Perhitungan Efisiensi BOD

a. Pengadukan 200 Rpm (Rasio 1:2)

$$\text{EF (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{108,9 - 132,32}{108,9} \times 100\%$$

$$= -21,51\%$$

b. Pengadukan 200 Rpm (Rasio 1:4)

$$\text{EF (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{108,9 - 136,03}{108,9} \times 100\%$$

$$= -24,91\%$$

c. Pengadukan 200 Rpm (Rasio 1:5)

$$\text{EF (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{108,9 - 105,56}{108,9} \times 100\%$$

$$= 3,07\%$$

d. Pengadukan 80 Rpm (Rasio 1:2)

$$\text{EF (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{108,9 - 139,75}{108,9} \times 100\%$$

$$= -28,33\%$$

e. Pengadukan 80 Rpm (Rasio 1:4)

$$\text{EF (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{108,9 - 120,42}{108,9} \times 100\%$$

$$= -10,58\%$$

f. Pengadukan 80 Rpm (Rasio 1:5)

$$\text{EF (\%)} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

$$= \frac{108,9 - 131,58}{108,9} \times 100\%$$

$$= -20,83\%$$

3. Perhitungan Efisiensi TSS

a. Pengadukan 200 Rpm (Rasio 1:2)

$$\begin{aligned} \text{EF (\%)} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{780 - 70}{780} \times 100\% \\ &= 91,03\% \end{aligned}$$

b. Pengadukan 200 Rpm (Rasio 1:4)

$$\begin{aligned} \text{EF (\%)} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{780 - 110}{780} \times 100\% \\ &= 85,90\% \end{aligned}$$

c. Pengadukan 200 Rpm (Rasio 1:5)

$$\begin{aligned} \text{EF (\%)} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{780 - 220}{780} \times 100\% \\ &= 71,79\% \end{aligned}$$

d. Pengadukan 80 Rpm (Rasio 1:2)

$$\begin{aligned} \text{EF (\%)} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{780 - 100}{780} \times 100\% \\ &= 87,18\% \end{aligned}$$

e. Pengadukan 80 Rpm (Rasio 1:4)

$$\begin{aligned} \text{EF (\%)} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{780 - 140}{780} \times 100\% \\ &= 82,05\% \end{aligned}$$

f. Pengadukan 80 Rpm (Rasio 1:5)

$$\begin{aligned} \text{EF (\%)} &= \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \\ &= \frac{780 - 270}{780} \times 100\% \\ &= 65,38\% \end{aligned}$$

LAMPIRAN 5. HASIL PENGUJIAN BOD

PEMERINTAH ACEH
DINAS LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN
 UPTD BALAI PENGUJIAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN LINGKUNGAN
 Jalan Tgk. Melagat No. 6, Desa Tibang
 BANDA ACEH, 23114
 Email : bppplaceh@gmail.com

KAN
 Kantor Akreditasi Nasional
 LP-1833-IDN

SERTIFIKAT HASIL UJI
 No. 009/SHU/BPPPL/II/2026

Hal 1 dari 1

Tanggal Penerbitan : 19 Februari 2026

Kepada : Yusmarizal / UIN
 di – Banda Aceh

Yang bertanda tangan dibawah ini menerangkan bahwa :

Jenis Sampel : Air Limbah
 Parameter Uji : BOD
 Lokasi : Pango

Koordinat : N : -
 E : -

Hasil Uji :

Tanggal Sampling : 28 Januari 2026
 Tanggal Diterima : 29 Januari 2026
 Tanggal Uji : 29 Januari 2026
 Selesai Uji : 18 Februari 2026
 Sampel diterima dari : Yusmarizal

No.	Kode Sampel	Metoda Uji	Acuan	Satuan	Batas deteksi Metode	Hasil Uji
1	Tanpa Perlakuan	Winkler	SNI 6989.72.2009	mg/L	2	108,9
2	200 rpm 1:2	Winkler	SNI 6989.72.2009	mg/L	2	132,32
3	200 rpm 1:4	Winkler	SNI 6989.72.2009	mg/L	2	136,03
4	200 rpm 1:5	Winkler	SNI 6989.72.2009	mg/L	2	105,56
5	80 rpm 1:2	Winkler	SNI 6989.72.2009	mg/L	2	139,75
6	80 rpm 1:4	Winkler	SNI 6989.72.2009	mg/L	2	120,42
7	80 rpm 1:5	Winkler	SNI 6989.72.2009	mg/L	2	131,58

Catatan
 * Hasil analisis hanya berdasarkan dengan sampel yang diuji
 ** Sampel Alternatif
 *** Batas Deteksi Metode
 **** Parameter lain lingkup Akreditasi

KEPALA UPTD BALAI
 PENGUJIAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN LINGKUNGAN
 DINAS LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN ACEH

Ar-Raniry
 Ir. AKMAL HUSEN, MM
 Pembina Utama Muda (IV/c)
 NIP. 19681207 199503 1 005

LAMPIRAN 7. HASIL PENGUJIAN SILIKA PADA SEDIMEN


**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI BANDA ACEH
LABORATORIUM PENGUJI
Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamteumen Timur Banda Aceh 23230 Telp. (0651) 49714 Fax. (0651) 49556 - 6302642
 E-mail: bspjaceh@gmail.com Website: http://bspjaceh.kemenperin.go.id

LAPORAN HASIL UJI
Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 2 Februari 2026
Date of issue

Kepada : Yusmarizal
To
di - Universitas Islam Negeri Ar-Raniry

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :
The undersigned certifies

Nama Contoh : Sedimen
Sample Name (s)

Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status

Kode Contoh : Sedimen
Sample Code

Kondisi Contoh : Dikemas Dalam Plastik
Sample Description

Tanggal Sampling :
Date of Sampling

Hasil Analisis :
Analysis Results

Nomor Laporan : 139/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/II/2026
Report Number

Nomor Analisis : 26 - 26 - Kim
Analysis Number

Nomor BAPC : 7/Insd/Kim/1/2026
Sample Report Number

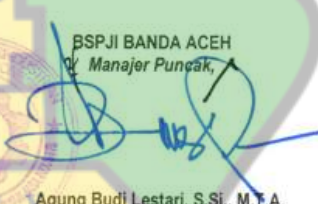
Jenis Pengujian : Kimia
Type of Analysis

Lokasi :
Location

Tanggal Penerimaan : 6 Januari 2026
Date of Receipt

Tanggal Analisis : 7 Januari 2026
Date of Analysis

NO	PARAMETER UJI	METODE UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	SiO ₂	SNI 2049-3:2022	%	53,06


BSPJI BANDA ACEH
Manajer Puncak,
Agung Budi Lestari, S.Si., M.P.A.
 NIP. 19780208 200212 1 004

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi: 5/0

