

**PENGARUH VARIASI DOSIS LARUTAN KOAGULAN
POLYALUMINIUM CHLORIDE (PAC) 30% TERHADAP
KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND* (COD) PADA AIR
LINDI**

(Studi di Tempat Pemrosesan Akhir Ciangir Kota Tasikmalaya)

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Sarjana Kesehatan
Masyarakat dengan Peminatan Kesehatan Lingkungan



Disusun Oleh
PUSPA SARESAWATI RAE
214101506

**PROGRAM STUDI KESEHATAN MASYARAKAT
FAKULTAS ILMU KESEHATAN
UNIVERSITAS SILIWANGI
TASIKMALAYA
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi ini telah siap untuk dipertahankan di hadapan tim penguji Sidang Skripsi
Program Studi Kesehatan Masyarakat Fakultas Ilmu Kesehatan
Universitas Siliwangi

Pembimbing I



Andik Setivono, S.K.M., M.Kes.
NIP.197402062021211004

Pembimbing II



Nissa Noor Annashr, S.K.M., M.K.M.
NIP.198904062019032007

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini telah dipertahankan pada ujian skripsi oleh tim penguji skripsi yang dilaksanakan pada Hari Selasa, tanggal 14 April 2026 pada Program Studi Kesehatan Masyarakat Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Siliwangi

Menyetujui,

Pembimbing I

Andik Setiyono, S.KM., M.Kes.
NIP.197402062021211004



Pembimbing II

Nissa Noor Annashr, S.KM., M.KM.
NIP.198904062019032007



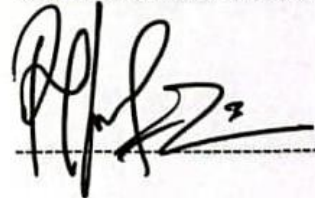
Penguji I

Dr. H. Asep Suryana Abdurrahmat, S.Pd., M.Kes.
NIP.196904231994031003



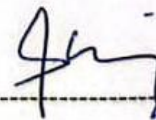
Penguji II

Rian Arie Gustaman, S.KM., M.Kes.
NIP.198206252021211001



Penguji III

Sri Maywati, S.KM., M.Kes., CRA., CRP.
NIP.197707022021212007



Mengesahkan,
Dekan Fakultas Ilmu Kesehatan



Dian Saraswati, S.Pd., M.Kes.
NIP. 198106132021211004

PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan penulis juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Tasikmalaya, April 2026



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Papa tercinta, Bapak Dayanaesa Triputra, yang selalu memberikan nasihat, dukungan dan mengusahakan anaknya untuk menempuh pendidikan setinggi-tingginya sehingga penulis tidak pernah merasa kekurangan. Terima kasih telah menanamkan keyakinan untuk mempercayai diri sendiri, menikmati setiap proses dan menjadi pengingat untuk selalu memilih mencoba daripada menyerah.
2. Mama tercinta, Ibu Atik Sartika, yang selalu mendukung dan kebersamai setiap langkah tanpa menghakimi, memberikan keteduhan saat keluh diceritakan, sumber kekuatan dan inspirasi untuk selalu bisa bertahan. Terima kasih atas kasih sayang, kesabaran dan doa-doa baik yang selalu menguatkan penulis untuk terus berusaha dengan ikhlas.
3. Kakak tersayang, Ayunda Nuresatika Rae, yang selalu memberikan dukungan, perhatian, semangat, dan menghibur selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita, menguatkan di saat penulis merasa goyah, serta menghadirkan doa-doa baik untuk kelancaran setiap langkah yang dijalani.
4. Keluarga besar, yang selalu memberikan motivasi, doa dan dukungan untuk setiap proses yang penulis jalani.
5. Sahabat terkasih, Nabila, Reva, Tika, dan Mevita yang selalu kebersamai dengan suka cita, memberikan dukungan, doa, bantuan, dan memori-memori baik selama perkuliahan.

6. Musisi-musisi favorit, yang menemani banyak malam panjang dan kebingungan dalam proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih kepada Day6, Xdinary Heroes, dan CORTIS yang melalui musik dan perjalanan karyanya mengingatkan bahwa tekanan, proses dan perjalanan yang tidak selalu mudah juga memiliki makna yang berharga.
7. Puspa Saresawati Rae, terima kasih telah bertahan dan menyelesaikan apa yang sudah dimulai.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. Identitas Pribadi

Nama : Puspa Saesawati Rae
Jenis Kelamin : Perempuan
Tempat, Tanggal Lahir : Tasikmalaya, 12 November 2002
Agama : Islam
Kewarganegaraan : Indonesia
Alamat : Jl. Babakan Payung III Gang Mesjid No. 18
RT 04 RW 05 Kelurahan Yudanagara
Kecamatan Cihideung Kota Tasikmalaya
Email : pusparae@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

2009 – 2015 : SDN DADAHA 1
2015 – 2018 : SMP NEGERI 2 TASIKMALAYA
2018 – 2021 : SMA NEGERI 1 TASIKMALAYA
2021 – 2026 : S1 Peminatan Kesehatan Lingkungan Program Studi
Kesehatan Masyarakat Fakultas Ilmu Kesehatan
Universitas Siliwangi

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian.....	7
D. Ruang Lingkup Penelitian	7
E. Manfaat Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	10
A. Sampah	10
B. Air Lindi (<i>Leachate</i>).....	15
C. Dampak Air Lindi.....	25
D. Pengolahan Air Lindi.....	29
E. Kerangka Teori	44

BAB III METODE PENELITIAN	45
A. Kerangka Konsep	45
B. Hipotesis Penelitian	45
C. Variabel Penelitian.....	46
D. Definisi Operasional.....	47
E. Desain Penelitian	48
F. Populasi dan Sampel Penelitian.....	49
G. Instrumen Penelitian.....	50
H. Prosedur Penelitian.....	56
I. Pengolahan dan Analisis Data	60
BAB IV HASIL PENELITIAN	64
A. Analisis Deskriptif.....	64
B. Analisis Inferensial.....	67
BAB V PEMBAHASAN	69
A. Hubungan Variasi Dosis Larutan <i>Poly Aluminium Chloride</i> (PAC) terhadap Kadar <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	69
B. Keterbatasan Penelitian	77
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	78
A. Kesimpulan.....	78
B. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA.....	80
LAMPIRAN.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Lindi	25
Tabel 3. 1 Definisi Operasional.....	47
Tabel 4. 1 Hasil <i>Pre-Test</i> dan <i>Post-Test</i> pH dengan Perlakuan Variasi Dosis Larutan Koagulan PAC 30%	64
Tabel 4. 2 Hasil <i>Pre-Test</i> dan <i>Post-Test</i> Suhu dengan Perlakuan Variasi Dosis Larutan Koagulan PAC 30%	65
Tabel 4. 3 Hasil <i>Pre-Test</i> dan <i>Post-Test</i> Kadar COD dengan Perlakuan Variasi Dosis Larutan Koagulan PAC 30%	65
Tabel 4. 4 Hasil Analisis Statistik Deskriptif Perlakuan Variasi Dosis Larutan Koagulan 30% pada Enam Kali Pengulangan dengan Uji Kruskal Wallis	66
Tabel 4. 5 Hasil Analisis Uji Kruskal Wallis.....	67
Tabel 4. 6 Hasil Analisis Uji <i>Post Hoc Dunn's Test</i>	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Koagulasi-Flokulasi.....	38
Gambar 2. 2 Kerangka Teori Modifikasi Busanto & Rahmadyanti (2021), Ian Kurniwan (2023), Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 59 Tahun 2016, Rosariawari & Mirwan (2013), Rosariawari & Mirwan (2018), Sabneno et al. (2024).....	44
Gambar 3. 1 Kerangka Konsep Penelitian	45
Gambar 3. 2 Desain Penelitian.....	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kartu Bimbingan Skripsi.....	83
Lampiran 2 Surat Izin Penelitian.....	84
Lampiran 3 Lembar Observasi.....	84
Lampiran 4 Sertifikat Hasil Pengujian Laboratorium.....	86
Lampiran 5 Output SPSS	88
Lampiran 6 Dokumentasi Penelitian.....	90

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**PENGARUH VARIASI DOSIS LARUTAN KOAGULAN *POLY ALUMINIUM CHLORIDE (PAC) 30% TERHADAP KADAR *CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) PADA AIR LINDI (Studi di Tempat Pemrosesan Akhir Ciangir Kota Tasikmalaya)****”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat di Universitas Siliwangi Tasikmalaya.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dan dukungan. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dian Saraswati, S.Pd., M.Kes selaku Dekan Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Siliwangi.
2. Dr. Siti Novianti, S.KM., M.KM selaku Ketua Jurusan Program Studi Kesehatan Masyarakat.
3. Andik Setiyono, S.KM., M.Kes selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan arahan, bimbingan, nasihat, dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
4. Nissa Noor Annashr, S.KM., M.KM selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan arahan, bimbingan, nasihat, dan motivasi dalam penyusunan skripsi ini.

5. Dr. Asep Suryana Abdurrahmat, S.Pd., M.Kes selaku Dosen Penguji 1 yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Rian Arie Gustaman, S.KM., M.Kes selaku Dosen Penguji 2 yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Sri Maywati, S.KM., M.Kes., CRA., CRP selaku Dosen Penguji 3 yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
8. Seluruh dosen dan staf Fakultas Ilmu Kesehatan yang telah memberikan bantuan dan pengalaman selama masa perkuliahan.
9. Kepala UPTD Tempat Pemrosesan Akhir Ciangir dan Dinas Lingkungan Hidup Kota Tasikmalaya yang telah memberikan izin untuk pelaksanaan penelitian ini.
10. Kedua orang tua dan kakak yang senantiasa memberikan dukungan moral maupun finansial.
11. Nabila, Reva, Tika, dan Mevita selaku sahabat yang selalu kebersamai, memberikan dukungan, doa, bantuan, dan pengalaman selama perkuliahan.
12. Teman-teman PBL Ataradhea, KKN 28 Sundakerta dan Magang RS TMC yang telah memberikan doa, bantuan dan pengalaman pada masa perkuliahan.
13. Teman-teman Kesehatan Masyarakat Angkatan 2021 yang telah memberikan banyak bantuan dan pengalaman selama perkuliahan.

**FAKULTAS ILMU KESEHATAN
UNIVERSITAS SILIWANGI
TASIKMALAYA
PROGRAM STUDI KESEHATAN MASYARAKAT
PEMINATAN KESEHATAN LINGKUNGAN
2026**

ABSTRAK

PUSPA SARESAWATI RAE

PENGARUH VARIASI DOSIS LARUTAN KOAGULAN POLY ALUMINIUM CHLORIDE (PAC) 30% TERHADAP KADAR CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) PADA AIR LINDI (Studi di Tempat Pemrosesan Akhir Ciangir Kota Tasikmalaya)

Pengelolaan sampah secara konvensional yang masih mengandalkan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan jumlah sampah yang sangat besar akan menimbulkan berbagai dampak lingkungan, salah satunya terbentuknya air lindi (*leachate*). Penanganan lindi yang belum tepat dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan penyebaran penyakit diantaranya diare dan dermatitis. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis pengaruh variasi dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30% terhadap kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuasi-eksperimen dengan desain studi *nonequivalent control group*. Sampel penelitian merupakan sebagian air lindi yang ada di kolam monitoring outlet yang diambil menggunakan metode *grab sampling*. Variabel bebas penelitian ini merupakan variasi dosis larutan koagulan PAC 30% 4,55 ml; dosis 4,65 ml; dan dosis 4,75 ml. Variabel terikat penelitian ini merupakan kadar COD pada air lindi. Analisis univariat menggunakan rumus efisiensi yang menunjukkan persentase penurunan kadar COD. Analisis bivariat dilakukan menggunakan uji Kruskal Wallis dan Post Hoc Dunn's Test untuk mengetahui pasangan mana yang berbeda signifikan. Menunjukkan adanya perbedaan kadar COD yang signifikan pada perlakuan berbagai variasi dosis larutan koagulan (*p-value* = 0,001). Variasi dosis larutan koagulan PAC 30% memiliki pengaruh terhadap kadar COD pada air lindi TPA Ciangir dengan persentase rata-rata penurunan terbesar sebanyak 40,9%. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan konsentrasi larutan PAC yang berbeda dan rentang variasi dosis koagulan PAC yang lebih luas dengan perkiraan penurunan COD dalam perlakuan 1 ml PAC 30% sebesar 156,39 mg/L serta dikombinasikan dengan variasi kondisi operasional. Proses koagulasi-flokulasi dengan PAC 30% dapat dikombinasikan dengan proses pengolahan lain (fisika, kimia, biologi) dalam suatu rangkaian pengolahan air lindi,

sehingga penurunan kadar pencemar dapat lebih optimal sampai memenuhi baku mutu.

Kata Kunci: Koagulan, PAC, Lindi, TPA, COD

**FACULTY OF HEALTH SCIENCES
SILIWANGI UNIVERSITY
TASIKMALAYA
PUBLIC HEALTH STUDY PROGRAM
ENVIRONMENT HEALTH SPECIALIZATION
2026**

ABSTRACT

PUSPA SARESAWATI RAE

***THE EFFECT OF VARIATION IN POLY ALUMINIUM CHLORIDE (PAC)
30% COAGULANT SOLUTION DOSAGE ON CHEMICAL OXYGEN
DEMAND (COD) LEVELS IN LEACHATE (Study at the Ciangir Final
Processing Site, Tasikmalaya City)***

Conventional waste management, which still relies on Landfills (TPA) with a very large amount of waste, will cause various environmental impacts, one of which is the formation of leachate. Improper leachate handling can lead to environmental pollution and the spread of diseases, including diarrhea and dermatitis. The purpose of this research is to determine the effect of variations in dosage of 30% Poly Aluminium Chloride (PAC) coagulant solution on the Chemical Oxygen Demand (COD) levels in leachate at the Ciangir Landfill. This study used a quasi-experimental research method with a nonequivalent control group study design. The research sample consisted of a portion of leachate from the monitoring pond outlet, collected using the grab sampling method. The independent variable of this study was the variation in dosage of the 30% PAC coagulant solution: 4.55 ml; 4.65 ml; and 4.75 ml. The dependent variable of this study is the COD level in leachate. Univariate analysis was performed using an efficiency formula that indicates the percentage decrease in COD levels. Bivariate analysis was conducted using the Kruskal-Wallis test and Dunn's Post Hoc Test to identify which pairs differed significantly. It was found that there was a significant difference in COD levels with the treatment of various doses of coagulant solution (p -value = 0.001). Variations in the dose of 30% Poly Aluminium Chloride (PAC) solution affected the Chemical Oxygen Demand (COD) levels in leachate at the Ciangir Final Processing Site (TPA), with the highest average reduction being 40.9%. Future studies may use different PAC solution concentrations and a wider range of PAC coagulant doses, with an estimated COD reduction of 156.39 mg/L for the treatment using 1 ml of 30% PAC, and can be combined with variations in operational conditions. The coagulation-flocculation process with 30% PAC can be combined with other treatment processes (physical, chemical, biological) in a leachate treatment sequence, so that pollutant levels can be reduced more optimally to meet quality standards.

Key Word: Coagulant, PAC, Leachate, Landfill, COD

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengelolaan sampah di negara-negara berkembang termasuk Indonesia masih menjadi persoalan serius. Menurut laporan berjudul *What a Waste 2.0* yang disusun oleh *World Bank* (2018), dunia menghasilkan 2,01 miliar ton sampah padat perkotaan setiap tahun dan setidaknya 33% sampah tersebut tidak dikelola dengan cara yang aman bagi lingkungan. Jumlah sampah global diperkirakan akan tumbuh menjadi 3,40 miliar ton pada tahun 2050.

Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), timbulan sampah di Indonesia pada tahun 2024 mencapai 34.273.876,85 ton per tahun dengan 44,85% sampah terkelola. Jawa Barat merupakan provinsi dengan timbulan sampah terbanyak pada tahun 2024 yaitu sebesar 6.153.346,94 ton per tahun. Kota Tasikmalaya sebagai salah satu kota di wilayah Jawa Barat menyumbang timbulan sampah sebesar 121.705,09 ton per tahun atau 333,44 ton per hari (SIPSN, 2025).

Axmalia & Mulasari (2020) menyatakan saat ini Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang berada di sebagian besar kota di Indonesia masih menerapkan sistem *open dumping*. Pengelolaan sampah secara konvensional yang masih mengandalkan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

dengan jumlah sampah yang sangat besar akan menimbulkan berbagai dampak lingkungan, salah satunya terbentuknya air lindi (*leachate*).

Menurut Laili (2021), air lindi merupakan cairan yang terbentuk akibat proses pelindian (perkolasi) air hujan maupun kelembaban dari timbunan sampah serta proses dekomposisi biologis bahan organik dalam sampah. Air yang tercemar lindi dapat menimbulkan penyakit gatal-gatal dan diare jika digunakan. Fajariyah & Mangkoedihardjo (2017) menyatakan bahwa karakteristik lindi dipengaruhi oleh umur *landfill*, curah hujan dan tingkat perkolasi air yang masuk ke *landfill*, kuantitas, jenis dan komposisi sampah, tingkat stabilisasi *landfill*, kelembaban *landfill*, posisi dan waktu pengambilan sampel, serta tahapan proses degradasi di dalam *landfill*.

Astuti et al., (2023) melakukan penelitian mengenai karakteristik air lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Piyungan. Dalam penelitiannya Astuti menjelaskan mengenai indeks pencemaran pada anak sungai yang bermuara di Sungai Opak sebagai tempat pembuangan air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan pengukuran di 5 titik. Hasil pengukuran beberapa parameter pada titik ke-4 yaitu *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 512 mg/L, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebesar 930 mg/L dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 3.267,2 mg/L.

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir merupakan pusat dari pembuangan sampah Kota Tasikmalaya yang masih menggunakan metode *open dumping* dengan tempat pengolahan air lindi menggunakan metode kolam dengan sembilan bak tampung permanen. Berdasarkan data

pemantauan *outlet* lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Tasikmalaya, hasil pengukuran beberapa parameter pada bulan Juli tahun 2025 yaitu *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebesar 184 mg/L, dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 2.074 mg/L. Berdasarkan hasil pra-eksperimen yang dilakukan pada bulan Agustus tahun 2025, didapatkan hasil pengujian air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir dalam beberapa parameter yaitu suhu 27 °C, pH 9,35 dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) 2.627,1 mg/L. Angka-angka hasil pengukuran tersebut belum memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah yaitu 6-9 untuk pH, dan 300 mg/L untuk *Chemical Oxygen Demand* (COD).

Kejadian pencemaran terhadap badan air permukaan seperti sawah dan kolam di Kelurahan Tamansari dan Mugarsari menjadi permasalahan rutin yang terjadi setiap tahun. Pada tahun 2015, sebanyak 28 kolam yang berada di wilayah Tamansari dan Mugarsari terpapar cemaran lindi dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir yang mengalir ke Sungai Cipajaran sehingga mencemari kolam yang berada di Kampung Cikeudang, Sirnagalih dan Mugarsari. Dampak yang lebih jauh bisa terjadi jika cemaran sudah terinfiltrasi ke dalam jalur air bawah tanah, yang tentunya dapat menimbulkan masalah kesehatan akibat kualitas air sumur yang tercemar lindi (Hartini & Yulianto, 2018).

Metcalf & Eddy (2015) menyatakan rasio BOD/COD digunakan sebagai indikator tingkat biodegradabilitas limbah cair. Rasio BOD/COD > 0,5 menunjukkan limbah mudah terurai secara biologis, sedangkan rasio BOD/COD < 0,3 menunjukkan bahwa limbah sulit untuk didegradasi secara biologis karena bersifat toksik. Penerapan proses fisika-kimia di tempat pembuangan sampah yang sudah tua wajib diterapkan.

Menurut Machdar (2018), koagulasi merupakan salah satu proses pengolahan limbah cair dengan bantuan koagulan kimia (garam besi, kapur, alum) atau oksidasi secara biologi sehingga koloid menjadi tidak stabil dan menaikkan flokulasi bahan terlarut halus kemudian mengendap. Hal ini akan meningkatkan efisiensi laju penyisihan *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 90%, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebesar 70%, dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 60%. Beberapa koagulan yang umum digunakan untuk pengolahan air limbah yaitu *Aluminium Sulfate* (tawas), *Poly Aluminium Chloride* (PAC), *Ferric Chloride*, dan *Poly Diallyl Dimethyl Ammonium Chloride* (Polydadmac).

Menurut Sossou et al., (2024), koagulan yang baik adalah koagulan yang mampu bekerja secara efisien dengan dosis yang relatif kecil, memiliki tingkat toksisitas rendah, menghasilkan residu kimia yang minimal, serta tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Koagulan berbasis besi, seperti *Ferric Chloride* dan *Ferric Sulfate* memiliki kelebihan dalam menghasilkan flok yang lebih padat dan berat, sehingga meningkatkan efisiensi proses pengendapan namun membutuhkan dosis

yang cenderung lebih tinggi dibandingkan koagulan aluminium. Koagulan berbasis besi menghasilkan lumpur dengan jumlah besar sehingga meningkatkan biaya pengolahan.

Koagulan *Poly Aluminium Sulfate* (PAS) dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) memiliki kemampuan bekerja efektif dengan dosis yang relatif rendah, pembentukan flok yang cepat dan padat, serta produksi lumpur yang lebih sedikit dibandingkan koagulan lainnya. *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dikenal mampu menghilangkan senyawa organik kompleks seperti asam humat, efektif menurunkan kekeruhan, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), dan *Total Suspended Solid* (TSS) dalam air lindi (Sossou et al., 2024).

Pada pra-eksperimen digunakan larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30% dengan perhitungan dosis berdasarkan perbandingan dari hasil penelitian Mahdiyah Anes (2019) dan rata-rata kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir pada bulan Januari sampai Mei 2025, sehingga didapatkan 3 variasi dosis yaitu 1,66 ml; 1,76 ml; dan 1,86 ml atau sama dengan 498 mg/L, 528 mg/L, dan 558 mg/L.

Hasil pra-eksperimen menunjukkan bahwa kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada sampel lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir sebesar 2.627,1 mg/L. Angka tersebut mengalami penurunan setelah perlakuan dengan beberapa dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30%. Setelah perlakuan dosis 1,66 ml kadar *Chemical*

Oxygen Demand (COD) menjadi 1.680,1 mg/L artinya ada penurunan sebesar 36% dari kadar awal. Setelah perlakuan dosis 1,76 ml kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) turun menjadi 1.759,3 mg/L artinya ada penurunan 33%, dan dengan perlakuan dosis 1,86 ml kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) turun menjadi 2.074,9 mg/L artinya ada penurunan sebesar 21%.

Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) setelah perlakuan beberapa dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30% mengalami penurunan yang cukup signifikan namun belum memenuhi baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah untuk parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) yaitu sebesar 300 mg/L, sehingga perlu dilakukan penyesuaian perhitungan dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30%. Perhitungan ulang dilakukan berdasarkan data primer dari hasil pra-eksperimen dengan perkiraan penurunan kadar COD sebesar 317,8 mg/L dalam pemakaian dosis larutan PAC 30% sebanyak 1 ml.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian sebagai upaya pemecahan masalah pengelolaan lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir dengan judul “Pengaruh Variasi Dosis Larutan Koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30% Terhadap

Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Air Lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir Kota Tasikmalaya.”

B. Rumusan Masalah

Apakah ada pengaruh variasi dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30% terhadap kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir?.

C. Tujuan Penelitian

Menganalisis pengaruh variasi dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30% terhadap kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir.

D. Ruang Lingkup Penelitian

1. Lingkup Masalah

Penelitian ini dibatasi hanya untuk menganalisis pengaruh variasi dosis koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) terhadap kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air lindi yang berasal dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir.

2. Lingkup Metode

Lingkup metode pada penelitian ini merupakan kuasi-eksperimental dengan desain penelitian *nonequivalent experimental control group*.

3. Lingkup Keilmuan

Penelitian ini berkaitan dengan ilmu kesehatan masyarakat khususnya mengenai kesehatan lingkungan yang berkaitan dengan pengolahan air limbah.

4. Lingkup Tempat

Penelitian ini dilaksanakan dengan kerja sama antara dua laboratorium. Laboratorium Lingkungan Universitas Siliwangi untuk proses koagulasi-flokulasi dengan metode *jar test* menggunakan *magnetic stirrer* dan Laboratorium Lingkungan UPTD Perumahan Rakyat, Kawasan Pemukiman dan Lingkungan Hidup (DPRKPLH) Kabupaten Ciamis untuk pengujian kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD). Sampel air lindi diambil dari *Outlet* IPAL Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir di Kampung Ciangir, Kelurahan Mugarsari, Kecamatan Tamansari, Kota Tasikmalaya.

5. Lingkup Sasaran

Sasaran penelitian ini merupakan air lindi yang ada di Outlet Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir Kota Tasikmalaya.

6. Lingkup Waktu

Penelitian ini dilaksanakan dalam rentang waktu tujuh bulan terhitung dari bulan Juni 2025 sampai dengan bulan Maret 2026.

E. Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan kajian dalam bidang kesehatan masyarakat khususnya kesehatan lingkungan serta menjadi sumber referensi mengenai penggunaan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dalam

proses pengolahan air lindi melalui proses koagulasi-flokulasi untuk menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD).

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai penggunaan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dalam pengolahan lindi untuk menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD), sehingga dapat menjadi acuan dalam pengelolaan lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sampah

1. Pengertian Sampah

Menurut Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Holimah et al (2024) mendefinisikan sampah sebagai material atau benda yang sudah tidak digunakan dan dianggap tidak memiliki nilai atau fungsi apa pun. Sampah dapat berasal dari berbagai sumber, seperti rumah tangga, industri, atau kegiatan sehari-hari.

2. Jenis-Jenis Sampah

Menurut Sabneno et al. (2024), secara umum sampah diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu sampah organik, anorganik, dan sampah bahan berbahaya beracun (B3).

a. Sampah Organik

Sampah organik adalah material yang dapat terurai secara alami oleh mikroorganisme dan berasal dari makhluk hidup. Sampah organik terdiri dari sisa-sisa makanan, dedaunan, kulit buah, sayuran, limbah tumbuhan dan bahan organik lainnya. Pengelolaannya bisa dilakukan melalui proses *composting* untuk menghasilkan pupuk alami yang bermanfaat bagi tanah (Holimah et al., 2024).

Sampah organik dapat diuraikan oleh proses alamiah seperti pengomposan, namun penanganan yang tidak tepat dapat menyebabkan produksi gas metana yang merugikan lingkungan. Strategi pengelolaan termasuk pengomposan rumah tangga, pembuatan kompos massal, dan pemanfaatan energi melalui biodigester. Pengelolaan sampah organik memerlukan pengolahan khusus agar tidak menghasilkan gas rumah kaca saat sampah terurai (Ranno Marlany Rachman et al., 2024).

b. Sampah Anorganik

Sampah anorganik adalah bahan yang tidak terurai secara alami dan biasanya berasal dari proses industri. Sampah anorganik terdiri dari plastik, kertas, karton, logam, dan bahan/material yang terbuat dari bahan sintesis (bukan organik). Sampah anorganik dapat didaur ulang untuk membuat produk baru, mengurangi kebutuhan akan bahan baku baru dan mengurangi jumlah sampah di tempat pembuangan akhir (Holimah et al., 2024).

c. Sampah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

Sampah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) adalah sampah yang mengandung bahan atau senyawa yang jika tidak dikelola dengan benar dapat menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia atau lingkungan. Sampah B3 terdiri dari baterai, cat, lampu neon, bahan kimia rumah tangga, limbah medis, dan pestisida. Pengelolaan limbah B3 sangat berisiko, karena memerlukan

penanganan khusus dan pemusnahan yang aman untuk mencegah dampak negatif. Pengelolaan yang tidak benar dapat mencemari tanah dan air. Pengumpulan khusus dan daur ulang limbah B3, serta kampanye kesadaran, diperlukan untuk mengatasi risiko kesehatan dan lingkungan (Ranno Marlany Rachman et al., 2024).

3. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) adalah tempat untuk memroses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. Ada 3 jenis metode yang digunakan di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yaitu penimbunan terbuka (*open dumping*), lahan urug terkendali (*controlled landfill*) dan lahan urug saniter (*sanitary landfill*).

a. Penimbunan Terbuka (*Open Dumping*)

Metode penimbunan terbuka atau *open dumping* adalah proses penimbunan sampah di TPA tanpa melalui proses pemadatan dan penutupan secara berkala. TPA jenis ini paling primitif dan tidak teratur, sering kali berupa tempat terbuka di mana sampah dibuang tanpa pengelolaan yang memadai. Tidak ada kontrol atas pencemaran tanah, air, atau udara sehingga menghasilkan masalah kesehatan dan lingkungan yang signifikan (Holimah et al., 2024).

Kelebihan dari metode *open dumping* yaitu teknis pelaksanaannya cenderung lebih mudah, personil yang dibutuhkan di lapangan relatif sedikit dan biaya operasi serta perawatan relatif rendah. Kekurangan dari aplikasi metode ini yaitu mengurangi estetika karena sampah dibiarkan menumpuk, adanya pencemaran lingkungan (air, udara, tanah), lahan yang sudah digunakan tidak dapat digunakan kembali, dan resiko kebakaran besar yang disebabkan oleh gas metana (Damanhuri & Padmi, 2010).

b. Lahan Urug Terkendali (*Controlled Landfill*)

Metode lahan urug terkendali atau *controlled landfill* adalah metode pengurangan di areal pengurangan sampah, dengan cara dipadatkan dan ditutup dengan tanah penutup sekurang-kurangnya setiap tujuh hari. Biasanya memiliki pelapis dasar tetapi kurang lengkap dalam pengelolaan *leachate* dan gas. Pengelolaan kontaminasi lingkungan dilakukan secara lebih terbatas (Holimah et al., 2024).

Kelebihan dari metode *controlled landfill* yaitu lahan dapat digunakan kembali setelah digunakan serta menghasilkan estetika yang cukup baik, namun adapaun kekurangannya yaitu biaya operasi dan perawatan yang cukup besar dan lebih sulit, serta memerlukan personil di lapangan yang terlatih (Damanhuri & Padmi, 2010).

c. Lahan Urug Saniter (*Sanitary Landfill*)

Metode lahan urug saniter atau *sanitary landfill* adalah metode pengurugan di areal pengurugan sampah yang disiapkan dan dioperasikan secara sistematis, dengan penyebaran dan pemadatan sampah pada area pengurugan serta penutupan sampah setiap hari. TPA jenis paling umum dan canggih. Sampah ditempatkan di dalam sel-sel yang tertutup rapat dan dipantau untuk mencegah pencemaran. Sel-sel disegel dengan liner (pelapis) dari bahan seperti plastik atau geotekstil untuk mencegah kebocoran bahan kimia ke tanah dan air tanah. Sistem pengumpulan gas metana dan *leachate* digunakan untuk mengelola dan mengolah produk sampingan (Holimah et al., 2024).

Metode *Sanitary landfill* memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan metode lainnya, timbulan gas metana dan air lindi terkontrol dengan baik sehingga tidak mencemari lingkungan, lahan dapat digunakan kembali, fleksibel terhadap fluktuasi jumlah sampah, dan dapat menerima berbagai tipe sampah. Kekurangan dari metode ini yaitu aplikasi sistem pelapisan dasar (*liner*) yang rumit, banyak biaya yang dikeluarkan misalnya pipa untuk gas metana dan air lindi, serta jika operasi tidak berfungsi maka akan kembali seperti metode open dumping (Damanhuri & Padmi, 2010).

B. Air Lindi (*Leachate*)

1. Pengertian Air Lindi

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir, lindi didefinisikan sebagai cairan yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi terlarut, termasuk materi organik hasil proses dekomposisi secara biologi.

Menurut Damanhuri & Padmi (2010), air lindi adalah cairan yang merembes melalui tumpukan sampah dengan membawa zat terlarut atau tersuspensi terutama hasil penguraian sampah atau dapat pula didefinisikan sebagai limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam tumpukan sampah melarutkan dan membilas zat terlarut, termasuk juga zat organik hasil proses dekomposisi biologis.

Air lindi mengandung berbagai zat pencemar seperti bahan organik, anorganik, logam berat, senyawa toksik, serta mikroorganisme patogen. Air lindi mengalir ke tempat yang lebih rendah dan dapat merembes ke dalam tanah serta bercampur dengan air tanah, ataupun mengalir di permukaan tanah dan bermuara pada aliran air sungai (Laili, 2021).

2. Parameter Air Lindi

a. pH

Derajat keasaman atau pH (*puissance negative de H*) merupakan logaritma dari kepekatan ion-ion H (hidrogen) yang terlepas dalam suatu cairan. Ion hidrogen bersifat asam, keberadaan ion hidrogen menggambarkan nilai pH pada suhu tertentu atau dapat ditulis dengan persamaan $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. Konsentrasi ion H^+ dan ion OH^- berbanding terbalik, semakin tinggi konsentrasi ion H^+ maka ion OH^- akan semakin rendah sehingga pH mencapai nilai < 7 (perairan asam). Jika konsentrasi ion OH^- lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi ion H^+ , maka perairan tersebut sifatnya basa karena memiliki nilai $\text{pH} > 7$. Ion hidrogen merupakan unsur yang sangat berpengaruh terhadap faktor kimia lainnya, seperti alkalinitas, kesadahan dan keasaman air. Tinggi rendahnya nilai pH air tergantung pada beberapa faktor yaitu konsentrasi gas-gas dalam air misalnya CO_2 , konsentrasi garam-garam karbonat dan bikarbonat, serta proses dekomposisi bahan organik di dasar perairan (Tarigan, 2019).

b. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

Menurut Umaly dan Curvin (1988) dalam Tarigan (2019), *Biochemical Oxygen Demand (BOD)* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau

mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik. Mays (1996) dalam Tarigan (2019) mendefinisikan BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikroba yang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diuraikan. BOD dapat juga diartikan sebagai gambaran jumlah bahan organik mudah urai (*biodegradable organics*) yang ada di perairan.

Adanya bahan organik yang tinggi, yang ditunjukkan dari nilai BOD dan COD menyebabkan mikroba menjadi aktif dan menguraikan bahan organik tersebut secara biologis menjadi senyawa asam-asam organik. Penguraian ini terjadi di sepanjang saluran secara aerob dan anaerob. Menghasilkan gas CH_4 , NH_3 dan H_2S yang berbau busuk. Uji terhadap BOD ini tidak dapat digunakan untuk mengukur jumlah bahan-bahan organik yang sebenarnya terdapat di dalam air, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah konsumsi oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi bahan organik tersebut. Banyaknya oksigen yang dikonsumsi berbanding lurus dengan kandungan bahan-bahan organik di dalamnya. Pemeriksaan BOD didasarkan atas reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen di dalam air, dan proses tersebut berlangsung karena adanya bakteri aerob (Tarigan, 2019).

c. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) atau kebutuhan oksigen kimia (KOK) merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air untuk mengoksidasi zat-zat organik menjadi CO_2 dan H_2O . Beberapa bahan organik tertentu yang terdapat pada air limbah kebal terhadap degradasi biologis dan ada beberapa diantaranya yang beracun meskipun pada konsentrasi yang rendah. Bahan yang tidak dapat didegradasi secara biologis tersebut akan didegradasi secara kimiawi melalui proses oksidasi, jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi tersebut dikenal dengan *Chemical Oxygen Demand (COD)*. Kadar COD dalam air limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah. Pada pengukuran COD hampir semua zat yaitu sekitar 85% dapat teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O dalam suasana asam, sedangkan penguraian secara biologi (BOD) tidak semua zat organik dapat diuraikan oleh bakteri (Tarigan, 2019).

Pada analisis COD ada dua oksidator kimia berbeda yang digunakan, yaitu kalium permanganat dan kalium dikromat. Standar Nasional Indonesia (SNI) menggunakan metode yang digunakan oleh US-EPA (*United States of Environmental Agency*) dengan metoda kalium dikromat. Oksidasi dengan kalium dikromat, akan menghasilkan oksidasi yang lebih lengkap, termasuk oksidasi

terhadap bermacam-macam senyawa anorganik, seperti terhadap senyawa NO_2^- , S_2^- , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, Fe^{2+} , dan SO_3^{2-} . Nilai COD yang terukur memberikan gambaran mengenai kandungan total senyawa organik, karena umumnya senyawa anorganik tidaklah terlalu signifikan dalam air limbah. Jika senyawa anorganik bernilai cukup berarti dalam air limbah, maka nilai COD tersebut bukan hanya menggambarkan senyawa organik saja, tapi termasuk juga senyawa anorganik (Nurmayanti & Purwoko, 2017).

Lindi dari suatu TPA yang berusia muda akan memiliki konsentrasi organik (sebagai COD) di atas 10.000 mg/L, sedangkan pada TPA yang usianya di atas 10 tahun biasanya COD di bawah 3.000 mg/L. Nilai COD juga dipengaruhi oleh tingkat ketersediaan oksigen, dalam kondisi anaerob (tanpa oksigen) kemungkinan nilainya akan lebih tinggi dibanding dalam kondisi aerob (Purwanta & Susanto, 2017).

Sumur warga di sekitar TPA yang terletak searah dengan aliran air tanah memiliki konsentrasi BOD dan COD yang tinggi, sehingga terindikasi adanya pengaruh air lindi dari TPA terhadap air sumur di sekitarnya. Nilai BOD dan COD yang tinggi menyebabkan DO (oksigen terlarut) yang ada di air sumur warga rendah. Nilai DO rendah menunjukkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah banyak masuk ke dalam akifer bebas sehingga air sumur tercemar. Dampak negatif berupa menurunnya kandungan oksigen terlarut

disebabkan oleh adanya mikroba yang mengkonsumsi oksigen untuk menguraikan bahan pencemar organik yang masuk ke perairan terutama air permukaan. Selain bisa memberikan dampak ke air permukaan, bahan organik tinggi juga dapat mengancam kualitas air bawah permukaan. Jika tidak dilakukan penanganan, air lindi akan menyebabkan organisme air mati karena kebutuhan oksigen yang ada tidak mencukupi (Widiarti & Muryani, 2018).

d. *Total Suspended Solid (TSS)*

Padatan tersuspensi total atau *total suspended solid (TSS)* merupakan residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 μm atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. TSS menyebabkan kekeruhan pada air akibat padatan tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap. TSS terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, dan sebagainya. TSS terdiri dari lumpur, tanah liat, logam oksida, sulfida, ganggang, bakteri dan jamur. Kadar TSS umumnya dihilangkan dengan flokulasi dan penyaringan. Parameter ini memberikan kontribusi untuk kekeruhan (*turbidity*) dengan membatasi penetrasi cahaya untuk fotosintesis dan visibilitas di perairan sehingga nilai kekeruhan tidak dapat dikonversi ke nilai TSS. Kekeruhan adalah kecenderungan ukuran

sampel untuk menyebarkan cahaya, sementara hamburan diproduksi oleh adanya partikel tersuspensi dalam sampel (Tarigan, 2019).

e. N-Total

Nitrogen adalah nutrisi penting dalam sistem biologis makhluk hidup. Amonia (NH_3), nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-) merupakan senyawa-senyawa yang mengandung unsur nitrogen (N). Proporsi nitrogen berupa nitrogen organik dan nitrogen amonia dalam air limbah, tergantung degradasi bahan organik yang berlangsung. Senyawa nitrogen organik dapat ditransformasi menjadi nitrogen amonium dan dioksidasi menjadi nitrogen nitrit dan nitrat dalam sistem biologis makhluk hidup. Unsur N sebagai salah satu unsur makro yang penting dibutuhkan untuk pertumbuhan suatu organisme (Angrianto et al., 2021).

Nitrogen terdapat dalam keadaan terlarut dan juga ditemukan sebagai bahan tersuspensi dalam air. Senyawa-senyawa ini memegang peranan sangat penting dalam perairan melalui reaksi-reaksi biologi perairan. Sebagian besar dari nitrogen total dalam air terikat sebagai nitrogen organik, yaitu dalam bahan-bahan yang berprotein, juga berbentuk bahan pencemar dalam bentuk senyawa/ion-ion lainnya. Nitrogen perairan merupakan penyebab utama pertumbuhan yang sangat cepat dari ganggang yang menyebabkan eutrofikasi (Nurmayanti & Purwoko, 2017).

Unsur nitrogen merupakan bagian yang penting untuk keperluan pertumbuhan protista dan tanaman karena nitrogen dikenal sebagai unsur hara atau makanan dan perangsang pertumbuhan. Nitrogen dalam limbah cair terutama merupakan gabungan dari bahan-bahan berprotein dan urea yang dapat diuraikan secara cepat kemudian diubah menjadi ammonia oleh bakteri, sehingga umur dari air buangan secara relatif dapat ditunjukkan dari jumlah ammonia yang ada (Mahyuddin et al., 2023).

f. Merkuri (Hg)

Merkuri (Hg) adalah logam berat berbentuk cair, berwarna putih perak serta mudah menguap pada suhu ruangan. Merkuri akan memadat pada tekanan 7.640 Atm. Merkuri dapat larut dalam asam sulfat atau asam nitrit, tetapi tahan terhadap basa. Berbagai produk yang mengandung merkuri di antaranya yaitu bola lampu, penambal gigi, dan thermometer. Merkuri digunakan dalam kegiatan penambangan emas, produksi gas klor dan soda kaustik, serta dalam industry pulp, kertas, dan baterai. Merkuri organik dapat berasal dari air hujan atau aliran sungai dan bersifat stabil pada pH rendah. Tersebar nya logam berat merkuri di tanah, perairan, ataupun udara bisa melalui berbagai jalur seperti pembuangan limbah industri secara langsung, baik limbah padat maupun limbah cair yang dibuang ke tanah, udara, dan air (Widowati et al., 2008).

Menurut Suhendrayatna dalam Kusumaningrum (2023), merkuri adalah salah satu logam berat yang memiliki efek toksik yang signifikan pada tubuh manusia dan lingkungan. Keracunan merkuri dapat terjadi melalui paparan langsung atau melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi merkuri. Efek toksik merkuri terutama mengenai sistem saraf pusat, pencernaan, dan ginjal. Pada sistem saraf pusat, merkuri dapat menyebabkan gejala seperti gangguan koordinasi motorik, gangguan penglihatan, gangguan pendengaran, tremor, dan gangguan perilaku. Pada sistem pencernaan, paparan merkuri dapat menyebabkan mual, muntah, diare, dan gangguan saluran cerna. Beberapa sumber paparan merkuri termasuk konsumsi ikan tertentu yang terkontaminasi merkuri, penggunaan produk yang mengandung merkuri seperti termometer raksa, serta aktivitas industri tertentu yang mengeluarkan merkuri ke lingkungan.

g. Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah logam berwarna putih perak, lunak, mengkilap, tidak larut dalam basa, mudah bereaksi, serta menghasilkan kadmium oksida jika dipanaskan. Kadmium umumnya terdapat dalam kombinasi klor dan belerang. Sumber pencemaran dan paparan kadmium berasal dari polusi udara, keramik berglazur, rokok, air sumur, makanan yang tumbuh di daerah pertanian yang tercemar kadmium, fungisida, pupuk, serta cat. Senyawa kadmium

digunakan dalam industri baterai dan dapat dimanfaatkan sebagai zat warna (Widowati et al., 2008).

Menurut Sudarmaji dalam Kusumaningrum (2023), kadmium adalah bahan beracun yang dapat mencemari lingkungan, terutama jika bahan-bahan yang mengandung kadmium seperti plastik bekas, baterai, dan sisa cat tidak dikelola dengan baik dan dibuang ke tempat pembuangan akhir seperti TPA tanpa pengolahan yang memadai. Kadmium memiliki sifat toksik dan berpotensi menyebabkan kerusakan pada organ dan sistem dalam tubuh manusia jika terpapar dalam jumlah yang cukup besar. Beberapa efek negatif kesehatan akibat paparan kadmium antara lain, gangguan pencernaan, gangguan otak dan saraf, gangguan ginjal, gangguan pada hati, gangguan pada sistem kardiovaskular, gangguan pada paru-paru, pengaruh terhadap pertumbuhan dan reproduksi.

3. Baku Mutu Lindi

Baku mutu lindi adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam lindi yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari kegiatan TPA, diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Lindi

Parameter	Kadar Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	-
BOD	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N Total	60	mg/L
Merkuri	0,005	mg/L
Kadmium	0,1	mg/L

Sumber: PermenLHK No. 59 Tahun 2016

C. Dampak Air Lindi

1. Penurunan Kualitas Lingkungan

Keberadaan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dapat memberikan dampak negatif bagi lingkungan berupa pencemaran air, udara dan tanah. Pencemaran tanah terjadi karena rembesan dan perkolasi sampah ke dalam tanah. Tumpukan sampah yang tidak teratur dapat menyebabkan bahan kimia berbahaya dan zat-zat toksik yang terkandung dalam sampah meresap ke dalam tanah. Hal ini mengakibatkan pencemaran tanah yang berdampak negatif terhadap kesuburan tanah dan kemampuan tanah dalam mendukung pertumbuhan tumbuhan. Rembesan dari tumpukan sampah dapat mencemari sumber air tanah di sekitar TPA. Zat-zat berbahaya yang terlarut dalam air dapat mencemari kualitas air tanah dan dapat mengurangi ketersediaan air yang aman serta berkualitas untuk keperluan domestik dan pertanian. Pencemaran air tanah ini berpotensi menyebabkan masalah kesehatan bagi masyarakat yang menggunakan air tersebut.

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) juga dapat menghasilkan gas berbahaya seperti metana. Metana adalah gas rumah kaca yang sangat berpotensi menyebabkan perubahan iklim. Gas metana dilepaskan ke atmosfer pada saat sampah terdekomposisi di dalam tumpukan. Peningkatan emisi metana dapat memberikan kontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim yang lebih lanjut. Dalam jangka panjang, dampak pencemaran lingkungan dari TPA dapat mengganggu ekosistem dan mengancam kehidupan makhluk hidup di sekitarnya. Pencemaran tanah dan air tanah dapat merusak keanekaragaman hayati, mengganggu siklus nutrisi, dan mengancam kehidupan organisme di ekosistem tersebut (Hafizah, 2023).

Oktapiani et al (2025) pada penelitiannya menjelaskan air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir pada akhirnya mengalir ke Sungai Cipajaran melalui parit-parit kecil yang menyebabkan pencemaran, terutama pada lahan pertanian padi dan kolam ikan masyarakat yang berada di sekitar area Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Air lindi yang ikut mengalir bersama air sungai mempengaruhi hasil pertanian padi warga, baik dari segi kualitas maupun kuantitas produksinya. Beberapa warga mengeluhkan lahan pertanian padi mengalami penurunan hasil panen akibat tercemarnya saluran irigasi oleh air lindi. Hal tersebut terjadi karena tidak tersedia sumber air bersih alternatif. Kondisi lahan pertanian padi yang cukup baik dapat menghasilkan sekitar 40 kg padi, namun pada saat kondisi lahan buruk

hasilnya bisa turun menjadi 10 kg atau bahkan gagal panen karena kualitas padi sangat rendah.

2. Risiko Kesehatan Masyarakat

Dari dampak yang dihasilkan banyak gangguan yang dirasakan oleh warga yang berada di sekitar lokasi TPA. Kebanyakan masyarakat merasakan penyakit seperti demam, diare, penyakit kulit (dermatitis), dan Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA). Air yang digunakan oleh beberapa warga mempunyai bau dan berwarna kuning kecoklatan (keruh) sehingga dapat menimbulkan penyakit gatal-gatal dan diare jika digunakan. Penyakit tersebut berhubungan dengan kualitas lingkungan (air dan udara), kondisi atau kualitas lingkungan ada keterkaitannya dengan keberadaan TPA telah mempengaruhi kesehatan masyarakat kawasan sekitar (Busanto & Rahmadyanti, 2021).

a. Diare

Diare merupakan salah satu penyakit menular, penyakit ini diartikan sebagai buang air besar dengan feses cair atau semi padat dan feses lebih banyak dari biasanya. Virus *Rotavirus*, bakteri *Escherichia coli*, *Shigella spp.*, dan parasit *Entamoeba histolytica* merupakan penyebab utama diare. Diare dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk kurangnya akses terhadap air bersih, air yang terkontaminasi tinja, penyiapan dan penyimpanan makanan yang tidak sesuai, fasilitas sanitasi yang tidak memadai, serta pembuangan tinja yang tidak bersih. Air lindi dari TPA masuk ke

dalam air sungai yang digunakan masyarakat terkandung berbagai macam bakteri yang berasal dari sampah di TPA seperti pampers bayi dan sisa makanan yang membusuk. Masyarakat juga mengeluhkan adanya keberadaan lalat yang banyak, sedangkan lalat merupakan vektor penyakit yang berperan dalam penularan penyakit diare (Melisa et al., 2024).

b. Dermatitis

Penyakit kulit bisa menyerang orang dewasa ataupun anak-anak yang diakibatkan oleh agent penyakit seperti jamur, virus, dan parasit. Kulit gatal dan merah merupakan respon kulit akibat dari kulit yang berinteraksi dengan zat kimia bersifat toksik dan alergik yang berkontak langsung ke kulit dan merupakan salah satu gejala dermatitis. Bahan-bahan kimia ini dapat berasal dari air sungai yang digunakan masyarakat sehari-hari dan kemungkinan besar tercemar oleh air lindi. Air lindi yang mengalir ke sungai kemungkinan besar dapat mempengaruhi kualitas sumber air di sekitar TPA karena sifat fisika dan kimia air lindi dapat mempengaruhi kandungan air sungai dan air tanah di sekitarnya. Penyakit kulit juga dapat disebabkan oleh tingkat sosial ekonomi yang rendah, kebersihan pribadi yang buruk, lingkungannya yang kotor, dan perbuatan yang tidak sehat (Melisa et al., 2024).

D. Pengolahan Air Lindi

Kurniawan (2023), membagi proses pengolahan limbah menjadi empat bagian yaitu pengolahan primer, sekunder, tersier, dan lanjutan melalui beberapa rangkaian pengolahan limbah air yang terdiri dari pengolahan secara fisika, kimia, dan biologi.

1. Pengolahan Secara Fisika

a. Pengendapan

Pengendapan adalah proses pemisahan partikel padat dari air limbah melalui penggunaan gravitasi untuk memisahkan partikel yang lebih berat yang mengendap di dasar tangki atau wadah. Metode ini digunakan untuk menghilangkan partikel padat seperti lumpur, pasir, dan bahan-bahan padat lainnya yang terlarut dan tersuspensi dalam air limbah. Proses pengendapan dipengaruhi oleh ukuran partikel dan kecepatan aliran. Partikel yang lebih besar cenderung lebih mudah mengendap daripada partikel kecil dan kecepatan aliran air limbah yang lambat memungkinkan partikel padat memiliki waktu yang cukup lama untuk mengendap (Kurniawan, 2023).

b. Flotasi

Flotasi adalah pemisahan partikel padat dari air limbah dengan menggunakan gelembung gas untuk membuat partikel-partikel tersebut terapung dan terpisah dari air. Metode ini memanfaatkan prinsip bahwa partikel padat yang terapung memiliki densitas yang lebih rendah daripada air. Proses flotasi udara terlarut

melibatkan pengenalan udara terlarut atau gas lainnya ke dalam air limbah untuk membentuk gelembung-gelembung kecil, kemudian gelembung tersebut melekat pada partikel padat dan membuatnya terapung ke permukaan air limbah. Flotasi biasanya digunakan dalam pengolahan air limbah untuk menghilangkan partikel padat, minyak, lemak, dan bahan-bahan organik lainnya (Kurniawan, 2023).

c. Penyaringan (Filtrasi)

Penyaringan atau filtrasi adalah proses pemisahan partikel-partikel padat berukuran besar dari air limbah melalui penggunaan filtrasi dengan ukuran lubang yang sesuai. Metode ini digunakan untuk menghilangkan partikel-partikel besar seperti kotoran, sampah, serpihan makanan, dan benda-benda padat lainnya dari air limbah. Prinsip utama filtrasi yaitu melewatkan air limbah melalui penyaring dengan ukuran lubang yang lebih kecil daripada partikel yang ingin disaring. Terdapat beberapa jenis filtrasi diantaranya filtrasi kasar (10-25 mm), filtrasi halus (0,2-2 mm), filtrasi ayakan bergerak, dan filtrasi drum. Proses filtrasi dibagi menjadi penyaringan statis dan penyaringan dinamis. Pada proses penyaringan statis, air limbah dialirkan melalui filtrasi yang ditempatkan secara horizontal atau vertikal dengan ukuran yang sesuai. Pada proses penyaringan dinamis, filtrasi bergerak atau

berputar secara terus-menerus untuk memisahkan partikel padat dari air limbah (Kurniawan, 2023).

2. Pengolahan Secara Biologi

a. Secara Aerobik

Pengolahan aerobik adalah proses pengolahan limbah yang melibatkan penggunaan mikroorganisme yang membutuhkan oksigen untuk menguraikan kontaminan organik dalam air limbah. Mikroorganisme ini memecah zat-zat organik menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti karbon dioksida dan air. Prinsip utama pengolahan aerobik adalah penggunaan oksigen sebagai agen oksidasi untuk menguraikan bahan organik. Mikroorganisme aerobik memperoleh energi dari oksidasi bahan organik dan menggunakan nutrisi lainnya untuk pertumbuhan dan reproduksi mereka. Prinsip pengolahan aerobik melibatkan pengendalian faktor-faktor lingkungan seperti suhu, pH dan konsentrasi oksigen terlarut. Beberapa metode pengolahan biologi secara aerobik meliputi proses lumpur aktif tersuspensi (*activated sludge process*), filtrasi lumpur aktif (*trickling filter*), dan proses nitrifikasi-denitrifikasi, fitoremediasi (Kurniawan, 2023).

b. Secara Anaerobik

Pengolahan anaerobik adalah proses penguraian bahan organik dalam air limbah oleh mikroorganisme tanpa adanya oksigen sebagai agen oksidasi utama. Proses ini terjadi dalam

kondisi anaerob dan dalam prosesnya mikroorganisme mengubah bahan organik menjadi gas metana (CH_4) serta karbon dioksida (CO_2) melalui serangkaian reaksi biokimia. Pengolahan anaerobik membutuhkan kondisi lingkungan yang bebas oksigen, baik dengan menghilangkan oksigen yang ada atau dengan mencegah masuknya oksigen ke dalam sistem. Faktor-faktor seperti suhu, pH dan waktu tinggal diatur untuk mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme. Metode pengolahan anaerobik meliputi reaktor biogas, sistem filter anaerobik, dan pengolahan aerobik terpadu (Kurniawan, 2023).

3. Pengolahan Secara Kimia

a. Koagulasi

Koagulasi adalah proses penggumpalan partikel-partikel terlarut dan tersuspensi dalam air melalui penambahan koagulan ke dalam air. Metode ini bertujuan untuk menggabungkan partikel-partikel kecil menjadi flok yang lebih besar agar mudah diendapkan atau dihilangkan dari air. Prinsip utama koagulasi yaitu dengan penambahan zat kimia tertentu ke dalam air yang menyebabkan partikel-partikel terlarut dan tersuspensi saling berinteraksi dan membentuk flok. Flok yang terbentuk dapat dengan mudah diendapkan atau dihilangkan dari air melalui proses pengendapan atau filtrasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi koagulasi yaitu dosis koagulan, pH air limbah, dan waktu kontak. Dosis bahan

kimia yang tepat sangat penting karena dosis yang terlalu rendah dapat mengurangi efisiensi penggumpalan, sedangkan dosis terlalu tinggi dapat menyebabkan pemborosan bahan kimia. Beberapa koagulan bekerja lebih baik pada pH tertentu, sehingga perlu melakukan penyesuaian pH jika diperlukan. Waktu kontak koagulasi yang cukup juga diperlukan agar bahan kimia memiliki waktu yang cukup untuk bereaksi dengan partikel-partikel kecil dan membentuk flok yang lebih besar (Kurniawan, 2023).

Menurut Rosariawari & Mirwan (2013) kecepatan putaran, waktu pengadukan, dan suhu merupakan faktor yang mempengaruhi proses koagulasi. Kecepatan putaran berperan dalam mendistribusikan koagulan secara merata ke dalam air serta membantu proses destabilisasi partikel koloid. Perbedaan kecepatan aliran yang ditimbulkan oleh pengadukan menyebabkan partikel bergerak dengan kecepatan yang berbeda, sehingga terjadi tumbukan antar partikel yang memungkinkan partikel dan presipitat bergabung membentuk flok berukuran lebih besar. Pada tahap koagulasi, pengadukan cepat (*rapid mixing*) diperlukan untuk mempercepat distribusi koagulan dan proses netralisasi muatan partikel. Kecepatan putaran yang terlalu rendah dapat menyebabkan koagulan tidak tersebar secara optimal, sedangkan kecepatan yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan gaya geser berlebih yang dapat mengganggu pembentukan mikroflok.

Suhu yang rendah memberikan efek yang merugikan terhadap efisiensi semua proses pengolahan dan waktu kontak dalam fasilitas koagulasi-flokulasi sebaiknya diatur. Pada suhu yang rendah membutuhkan waktu kontak semakin lama karena mempengaruhi pembentukan flok-flok supaya cepat mengendap di bak pengendap karena pada suhu rendah, viskositas air meningkat dan reaksi hidrolisis koagulan melambat, sehingga tumbukan antar partikel berkurang dan pembentukan flok menjadi lebih kecil dan rapuh. Pada suhu yang lebih tinggi, proses hidrolisis berlangsung lebih cepat, flok yang terbentuk lebih padat dan mudah mengendap. Penurunan suhu dari 20°C sampai 5°C dapat menurunkan efisiensi koagulasi hingga 20%. Hal ini mengindikasikan bahwa suhu berpengaruh langsung terhadap laju reaksi kimia, viskositas air, serta kualitas flok yang terbentuk (Metcalf & Eddy, 2015).

Menurut Kurniawan (2023), beberapa koagulan yang umum digunakan untuk pengolahan limbah di antaranya *aluminium sulfat* (tawas), *ferric chloride*, dan *poly aluminium chloride* (PAC).

1) *Aluminium Sulfate* (Tawas)

Aluminium sulfat merupakan koagulan yang paling banyak digunakan secara global. Mekanisme utama alum adalah pembentukan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang berfungsi sebagai media *sweep floc*. Koagulan ini bekerja efektif pada rentang pH 5,5 – 7,8 dan memerlukan alkalinitas yang cukup untuk menetralkan ion sulfat

yang dilepaskan. Kelebihan alum adalah ketersediaannya luas dan relatif murah, sedangkan kekurangannya adalah menghasilkan lumpur dalam jumlah besar serta menurunkan pH air limbah (Engelhardt, 2010).

2) *Poly Aluminium Chloride* (PAC)

Poly Aluminium Chloride (PAC) merupakan koagulan berbasis aluminium yang telah dihidrolisis sebagian sehingga lebih stabil terhadap perubahan pH maupun temperatur. PAC mampu menghasilkan flok lebih cepat dengan dosis lebih rendah dibandingkan alum. Koagulan ini efektif pada rentang pH 5 – 8 dan banyak digunakan dalam pengolahan limbah dengan kandungan bahan organik alami dan warna tinggi, termasuk pada lindi TPA (Anes, 2019). Adapun menurut Salsabila et al., (2018), beberapa keunggulan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) diantaranya memiliki kemampuan koagulasi yang kuat, dapat bekerja efektif pada rentang pH 6-9, biayanya murah dan cara pengoperasiannya mudah tetapi sedikit berpengaruh terhadap pH.

Koagulan berbasis aluminium banyak digunakan dalam pengolahan air limbah dan air lindi karena memiliki efektivitas tinggi dalam menurunkan kadar pencemar. *Poly Aluminium Sulfate* (PAS) dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) mempunyai ukuran partikel besar serta muatan positif tinggi yang mampu

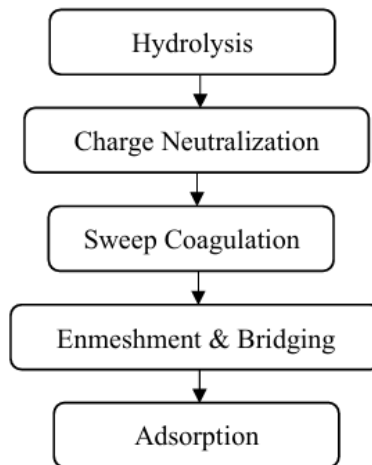
menarik partikel tersuspensi dan bahan organik dengan efisien. Keunggulan utama koagulan berbasis alum terletak pada kemampuannya bekerja efektif dengan dosis yang relatif rendah, pembentukan flok yang cepat dan padat, serta produksi lumpur yang lebih sedikit dibandingkan koagulan lainnya. *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dikenal mampu menghilangkan senyawa organik kompleks seperti asam humat pada air lindi. Kekurangan koagulan berbasis aluminium yaitu potensi meningkatnya kadar residu aluminium pada air hasil olahan (Sossou et al., 2024).

Proses koagulasi pada air lindi TPA menggunakan koagulan PAC terjadi melalui mekanisme destabilisasi koloid. Ketika PAC ditambahkan ke dalam air lindi, ion aluminiumnya (Al^{3+}) akan bereaksi dengan partikel-partikel tersuspensi dan koloid (seperti zat organik, logam berat, dan padatan tersuspensi) yang bermuatan negatif. Reaksi ini menetralkan muatan partikel, kemudian partikel-partikel kecil tersebut kehilangan gaya tolak-menolaknya sehingga menggumpal menjadi flok yang lebih besar dan berat. Flok-flok yang terbentuk ini kemudian akan mengendap di dasar wadah karena gaya gravitasi, sehingga dapat dipisahkan dari air lindi. Proses koagulasi dengan PAC efektif menurunkan kekeruhan, *Chemical Oxygen Demand* (COD),

Biological Oxygen Demand (BOD), dan *Total Suspended Solid (TSS)* dalam air lindi (Purnomo et al., 2018).

PAC memiliki struktur yang baik dengan kepadatan muatan tinggi serta kondisi optimumnya tidak terbatas. Aplikasi dosis yang rendah menunjukkan aktivitas koagulan yang sangat baik. Endapan Al(OH)₃ yang bermuatan positif membantu menarik dan mengikat zat humat sehingga mempercepat proses pembentukan flok (Mohd-Salleh et al., 2018).

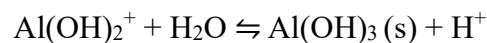
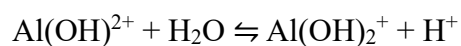
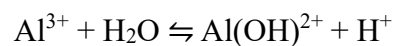
Koagulan berperan untuk mendestabilisasi dan menggumpalkan partikel-partikel halus yang tersuspensi di dalam air. Mekanisme destabilisasi dan penggumpalan partikel tersebut melibatkan beberapa tahapan kimia dan fisika yang saling berkaitan. Secara umum mekanisme koagulasi-flokulasi dapat dirangkum menjadi lima proses utama, yaitu netralisasi muatan (*charge neutralization*), koagulasi penyapuan (*sweep coagulation*), penjebakan dan pembentukan jembatan antar partikel (*enmeshment and bridging*), adsorpsi (*adsorption*), serta hidrolisis (*hydrolysis*). Kombinasi dari kelima mekanisme tersebut menyebabkan partikel menjadi tidak stabil dan bergabung membentuk flok, sehingga mempermudah proses pemisahan dari fase cair melalui tahapan seperti sedimentasi, flotasi, maupun filtrasi (Sossou et al., 2024).



Gambar 2. 1 Mekanisme Koagulasi-Flokulasi

a) Hidrolisis (*Hydrolysis*)

Hidrolisis adalah reaksi kimia yang melibatkan pemutusan ikatan suatu senyawa dengan bantuan molekul air (H_2O), sehingga senyawa kompleks diuraikan menjadi komponen yang lebih sederhana. Pada saat *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dilarutkan ke dalam air, ion aluminium (Al^{3+}) akan mengalami serangkaian reaksi hidrolisis yang menghasilkan berbagai spesies aluminium terhidrolisis. Reaksi hidrolisis tersebut dapat ditunjukkan sebagai berikut:



Proses hidrolisis ini menghasilkan spesies aktif seperti Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, dan $\text{Al}(\text{OH})_3$, yang

berperan penting dalam proses destabilisasi partikel selama koagulasi.

b) Netralisasi Muatan (*Charge Neutralization*)

Partikel koloid dalam air limbah, termasuk bahan organik penyumbang COD, umumnya memiliki muatan negatif pada permukaannya. Ion logam positif hasil hidrolisis PAC seperti Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, dan $Al(OH)_2^+$ akan berinteraksi dengan partikel tersebut dan menetralkan muatannya. Mekanisme netralisasi muatan berlangsung melalui adsorpsi spesies koagulan bermuatan berlawanan pada permukaan partikel koloid, yang menyebabkan penurunan muatan permukaan efektif dan melemahnya gaya tolak-menolak antarpartikel. Kondisi ini mengakibatkan destabilisasi partikel sehingga memungkinkan terjadinya penggabungan partikel (Bratby, 2016).

c) Koagulasi Penyapuan (*Sweep Coagulation*)

Hasil hidrolisis Al^{3+} selanjutnya membentuk endapan aluminium hidroksida $Al(OH)_3$ yang bersifat amorf. Endapan ini berfungsi sebagai medium penyapu yang menangkap dan mengikat partikel koloid serta zat organik terlarut di sekitarnya. Partikel tersuspensi dan bahan organik yang terperangkap kemudian mengendap bersama flok

$\text{Al}(\text{OH})_3$, sehingga menurunkan kadar COD dan kekeruhan air.

d) Penjebakan & Pembentukan Jembatan (*Enmeshment and Bridging*)

Pada proses ini, flok-flok kecil mulai saling menempel membentuk flok besar melalui mekanisme jembatan antar partikel. Partikel halus terjebak (*enmeshed*) di dalam struktur flok besar yang terbentuk dari $\text{Al}(\text{OH})_3$. Mekanisme jembatan (*bridging*) juga terjadi akibat adsorpsi spesies koagulan pada antarmuka antara partikel dan larutan. Koagulan logam memiliki kecenderungan kuat untuk mengalami polimerisasi selama reaksi hidrolisis. Seiring meningkatnya tingkat hidrolisis, akan terbentuk spesies polinuklir dengan ukuran yang semakin besar. Ketika spesies koagulan polimerik ini teradsorpsi pada permukaan partikel, koagulan tersebut dapat membentuk jembatan yang menghubungkan partikel-partikel yang berdekatan, sehingga mendorong terjadinya destabilisasi dan penggabungan partikel. Hal tersebut mengakibatkan flok menjadi lebih padat, berat, dan stabil, sehingga lebih cepat mengendap (Bratby, 2016).

e) Adsorpsi (*Adsorption*)

Gugus hidroksil ($-OH$) yang terdapat pada permukaan $Al(OH)_3$ memiliki afinitas tinggi terhadap senyawa organik, seperti asam humat, fenol, dan senyawa penyumbang COD lainnya. Sisa bahan organik terlarut yang belum tersapu pada tahap sebelumnya kemudian teradsorpsi di permukaan flok $Al(OH)_3$ melalui ikatan hidrogen, gaya elektrostatik, atau gaya van der Waals, sehingga semakin menurunkan kadar COD dalam air lindi.

3) *Ferric Chloride*

Koagulan berbasis besi seperti $FeCl_3$ dan $Fe_2(SO_4)_3$, bekerja melalui pembentukan endapan $Fe(OH)_3$ yang mampu menjerat partikel tersuspensi. Rentang pH efektif lebih luas dibanding alum, yaitu 4 – 11 dengan efektivitas tinggi pada penghilangan warna dan fosfat. Kekurangan penggunaan *ferric chloride* sebagai koagulan dapat menyebabkan penurunan pH signifikan dan menimbulkan masalah korosi pada peralatan (Engelhardt, 2010).

Jenis koagulan berbasis besi memiliki kelebihan dalam menghasilkan flok yang lebih padat dan berat, sehingga meningkatkan efisiensi proses pengendapan. Koagulan berbasis besi efektif dalam menghilangkan warna, kekeruhan, serta logam berat dari air limbah. Penggunaan koagulan ini

membutuhkan dosis yang cenderung lebih tinggi dibandingkan koagulan aluminium, serta menyebabkan pembentukan lumpur dalam jumlah besar dan peningkatan biaya pengolahan. Sisa besi dalam air olahan juga dapat menyebabkan perubahan warna atau noda kecokelatan, sehingga menurunkan kualitas estetika air hasil pengolahan (Sossou et al., 2024)

b. Flokulasi

Flokulasi adalah proses pembentukan flok atau gumpalan partikel-partikel kecil menjadi flok yang lebih besar melalui penggunaan bahan kimia yang disebut flokulan. Metode ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penghilangan partikel tersuspensi dalam air dan memudahkan proses pengendapan atau filtrasi. Prinsip kerjanya sama seperti koagulasi namun pada proses flokulasi dilakukan dengan pengadukan yang lambat. Koagulan membantu menggumpalkan partikel-partikel kecil menjadi flok yang lebih besar, sedangkan flokulan membantu memperbaiki struktur flok dan meningkatkan kecepatan pengendapan atau filtrasi. Bahan kimia yang umum digunakan sebagai flokulan antara lain poliakrilamida (PAM) dan polielektrolit anionik atau kationik (Kurniawan, 2023).

c. Oksidasi

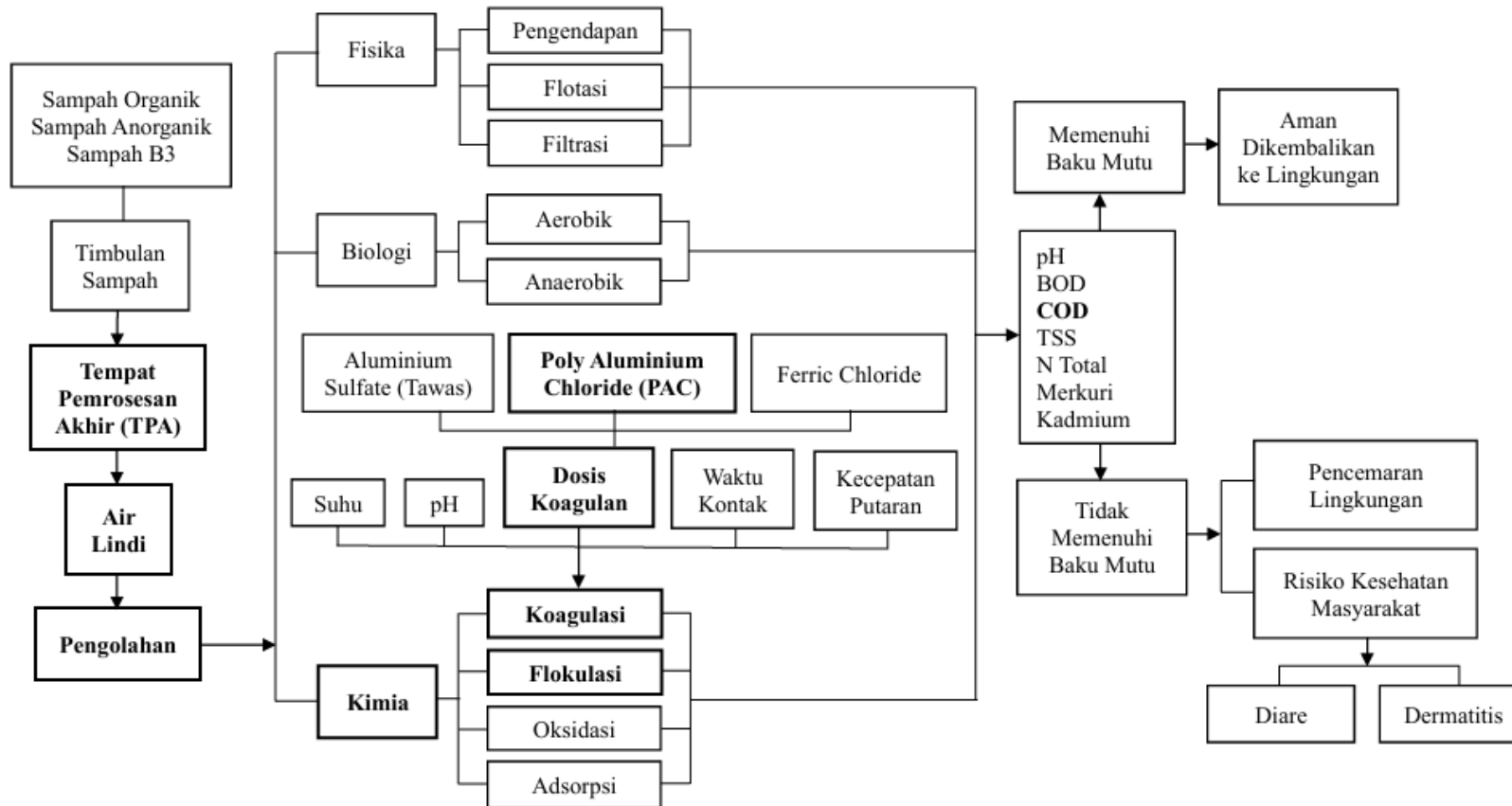
Oksidasi adalah reaksi kimia saat zat-zat teroksidasi mengalami peningkatan jumlah oksigen atau kehilangan elektron.

Dalam pengolahan air dan air limbah, oksidasi digunakan untuk mengubah kontaminan menjadi bentuk yang kurang berbahaya atau lebih mudah dihilangkan. Prinsip utama oksidasi yaitu reaksi kimia antara zat oksidator dan zat yang akan dioksidasi. Jenis-jenis zat oksidator diantaranya yaitu ozon (O_3), hidrogen peroksida (H_2O_2), dan klorin (Cl_2). Ozon (O_3) adalah oksidator yang kuat dan dapat mengoksidasi berbagai kontaminan seperti senyawa organik, bahan kimia berbahaya, serta zat-zat terlarut yang sulit dihilangkan. Hidrogen peroksida (H_2O_2) dapat digunakan untuk mengoksidasi senyawa organik dan menghilangkan bau yang tidak diinginkan. Klorin (Cl_2) merupakan oksidator yang sering digunakan dalam pengolahan air untuk menghilangkan kontaminan dan memastikan keamanan air minum karena klorin juga dapat mengoksidasi mikroorganisme patogen dan membunuhnya (Kurniawan, 2023).

d. Adsorpsi

Pengolahan menggunakan metode adsorpsi melibatkan penambahan adsorben ke dalam air limbah untuk menyerap kontaminan dalam bentuk partikel atau senyawa. Proses adsorpsi menggunakan media adsorben seperti arang aktif atau resin untuk menyerap senyawa-senyawa yang masih ada dalam air limbah (Kurniawan, 2023).

E. Kerangka Teori

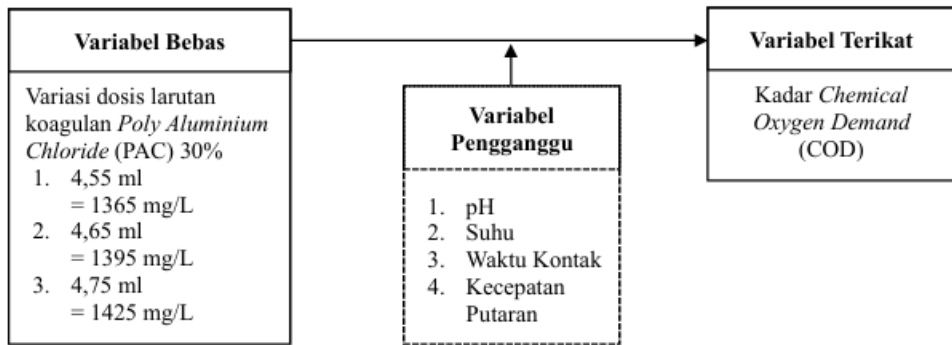


Gambar 2. 2 Kerangka Teori Modifikasi Busanto & Rahmadyanti (2021), Ian Kurniwan (2023), Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 59 Tahun 2016, Rosariawari & Mirwan (2013), Rosariawari & Mirwan (2018), Sabneno et al. (2024)

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Kerangka Konsep



Gambar 3. 1 Kerangka Konsep Penelitian

Keterangan:

▭ = Diteliti

▭ (dashed) = Diukur tapi tidak dianalisis bivariat

B. Hipotesis Penelitian

Menurut Yuwanto (2019), hipotesis adalah dugaan atau jawaban sementara dari rumusan masalah yang hendak diverifikasi melalui pelaksanaan penelitian secara empiris. Berdasarkan rumusan masalah dan tinjauan pustaka, didapatkan hipotesis penelitian sebagai berikut.

H_0 = Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara variasi dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30% terhadap kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir.

H_a = Terdapat perbedaan yang signifikan antara variasi dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30% terhadap kadar

Chemical Oxygen Demand (COD) pada air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir.

C. Variabel Penelitian

1. Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas (Independen)

Menurut Sugiyono (2024), variabel bebas (independen) adalah variabel yang mempengaruhi atau menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat (dependen). Variabel bebas pada penelitian ini merupakan variasi dosis koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Penentuan kisaran dosis koagulan dalam penelitian ini didasarkan pada hasil survei awal dan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mahdiyah Anes (2019) terhadap air lindi TPA Benowo menggunakan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) berbentuk larutan 30%. Berdasarkan hasil perhitungan, variasi dosis koagulan PAC pada penelitian ini yaitu 4,55 ml; 4,65 ml; dan 4,75 ml.

b. Variabel Terikat (Dependen)

Menurut Sugiyono (2024), variabel terikat (dependen) adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini merupakan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Kota Tasikmalaya.

c. Variabel Pengganggu (*Confounding*)

Menurut Ishak et al., (2023), variabel pengganggu adalah variabel yang menyebabkan bias pada hasil penelitian. Variabel ini berhubungan dengan variabel bebas dan terikat tapi bukan termasuk variabel perantara. Beberapa variabel yang dapat mengganggu pada penelitian ini di antaranya pH, suhu, waktu kontak, dan kecepatan putaran.

D. Definisi Operasional

Tabel 3. 1 Definisi Operasional

No	Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Kategori	Skala
Variabel Bebas					
1.	Dosis Koagulan <i>Poly Aluminium Chloride</i> (PAC)	Jumlah koagulan <i>Poly Aluminium Chloride</i> (PAC) dengan satuan mg/L dalam larutan 30%	Mikropipet	1. Dosis 0 mg/L (kontrol) 2. Dosis 4,55 ml = 1.365 mg/L 3. Dosis 4,65 ml = 1.395 mg/L 4. Dosis 4,75 ml = 1.425 mg/L	Ordinal
Variabel Terikat					
2.	Kadar <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	Konsentrasi <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) atau jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai seluruh bahan organik dalam satuan mg/L	Spektrofotometer UV-Vis metode SNI 6989.2:2009	-	Rasio

Variabel Pengganggu					
3.	pH	Tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki suatu larutan	pH meter	-	Rasio
4.	Suhu	Ukuran panas atau dinginnya sampel dalam satuan °C	Thermometer	-	Rasio
5.	Waktu Kontak	Durasi waktu pada saat perlakuan dalam satuan menit	Timer	-	Rasio
6.	Kecepatan Putaran	Jumlah putaran pengaduk dalam waktu satu menit	Indikator kecepatan <i>magnetic stirrer</i>	-	Rasio

E. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuasi-eksperimen dengan desain studi *nonequivalent control group*. Menurut Creswell dalam Sugiyono (2024), penelitian eksperimen bertujuan untuk mengetahui apakah suatu perlakuan tertentu berpengaruh terhadap hasil dalam suatu studi. Pengaruh tersebut dinilai dengan memberikan perlakuan tertentu pada satu kelompok dan tidak memberikannya pada kelompok lain, kemudian membandingkan hasil yang diperoleh dari kedua kelompok atau lebih tersebut.

Kelompok Perlakuan Dosis 1 (4,55 ml)	:	O ₁	X ₁	O ₂
Kelompok Perlakuan Dosis 2 (4,65 ml)	:	O ₃	X ₂	O ₄
Kelompok Perlakuan Dosis 3 (4,75 ml)	:	O ₅	X ₃	O ₆
Kelompok Kontrol	:	O ₇		O ₈

Gambar 3. 2 Desain Penelitian

Keterangan:O₁, O₃, O₅, O₇ = Hasil pengukuran sebelum perlakuanO₂, O₄, O₆, O₈ = Hasil pengukuran setelah perlakuanX₁, X₂, X₃ = Perlakuan berupa variasi dosis larutan koagulan PAC 30%**F. Populasi dan Sampel Penelitian****1. Populasi Penelitian**

Populasi penelitian ini merupakan seluruh air indii yang ada di kolam terakhir sebagai kolam monitoring outlet IPAL Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir Kota Tasikmalaya.

2. Sampel Penelitian

Sampel pada penelitian ini merupakan sebagian air lindi yang ada di kola monitoring outlet. Pengambilan sampel menggunakan metode *grab sampling* berdasarkan SNI 6989.59:2008. Fraenkel & Wallens (1993) dalam Hermawan & Amirullah (2016) menyebutkan besar sampel minimum untuk penelitian eksperimental sebanyak 30/15. Keputusan tentang ukuran yang digunakan juga ditentukan oleh pertimbangan-pertimbangan keterbatasan sumber daya yang tersedia, misalnya biaya dan waktu yang terbatas.

Menurut Anwar et al., (2023), secara umum ukuran sampel yang dibutuhkan dalam penelitian eksperimental minimal 15. Jumlah sampel pada penelitian ini dihitung berdasarkan 3 variasi dosis dan 1 kontrol menggunakan rumus federer sebagai berikut.

$$(t - 1)(n - 1) \geq 15$$

Keterangan:

t = jumlah intervensi

n = jumlah replikasi

Sehingga perhitungan besar sampel untuk setiap kelompok pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

$$(t - 1)(n - 1) \geq 15$$

$$(4 - 1)(n - 1) \geq 15$$

$$3(n - 1) \geq 15$$

$$3n - 3 \geq 15$$

$$3n \geq 15 + 3$$

$$n \geq \frac{18}{3}$$

$$n \geq 6$$

Berdasarkan hasil perhitungan, harus dilakukan 6 kali replikasi untuk setiap kelompok sampel, maka total sampel pada penelitian ini sebanyak $4 \times 6 = 24$ sampel.

G. Instrumen Penelitian

1. Alat dan Bahan Pengambilan Sampel

a. Aquades

Aquades digunakan untuk membilas wadah dan alat pengambil sampel sebelum dan setelah digunakan agar bebas dari ion atau zat pengganggu.

b. Gayung

Gayung digunakan untuk mengambil sampel air lindi dari kolam monitoring outlet.

c. Jerigen

Jerigen digunakan untuk wadah sampel, ukurannya disesuaikan dengan jumlah kebutuhan sampel pada penelitian.

d. pH meter

pH meter digunakan untuk mengukur pH air lindi langsung di tempat pengambilan sampel.

e. Thermometer

Thermometer digunakan untuk mengukur suhu air lindi langsung di tempat pengambilan sampel.

2. Alat dan Bahan Pembuatan Larutan PAC 30%

a. Aquades

Aquades digunakan sebagai pelarut *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan dipakai untuk membilas alat-alat sebelum serta sesudah digunakan agar bebas dari ion atau zat pengganggu.

b. *Beaker Glass*

Beaker glass digunakan untuk wadah pada saat proses membuat larutan PAC.

c. *Magnetic Stirrer*

Magnetic stirrer digunakan sebagai pengaduk pada saat proses pembuatan larutan PAC sehingga pengadukan dilakukan secara konstan dan teratur.

a. Serbuk *Poly Aluminium Chloride* (PAC)

Serbuk *Poly Aluminium Chloride* (PAC) digunakan sebagai bahan utama larutan koagulan.

d. Timbangan Analitik

Timbangan analitik untuk menimbang berat serbuk PAC yang akan digunakan.

3. Alat dan Bahan Koagulasi-Flokulasi

a. Aquades

Aquades digunakan untuk membilas wadah dan alat yang digunakan pada saat proses koagulasi-flokulasi sebelum dan setelah digunakan.

b. *Beaker Glass*

Beaker glass digunakan sebagai wadah sampel pada saat proses koagulasi-flokulasi berlangsung.

c. Larutan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30%

Larutan PAC 30% sebagai koagulan yang akan dicampurkan dengan sampel, kemudian diuji efektivitasnya.

d. *Magnetic Stirrer*

Magnetic stirrer merupakan alat pengaduk yang digunakan untuk membantu proses koagulasi-flokulasi secara jar dengan pengaturan kecepatan sehingga prosesnya bisa dilakukan dengan teratur. *Magnetic stirrer* yang digunakan pada penelitian ini merupakan Wiggins WH200 dan IKA C-MAG HS 7.

e. Mikropipet

Mikropipet digunakan untuk mengukur volume larutan PAC 30% yang akan diberikan pada sampel.

f. Sampel air lindi

Sampel air lindi merupakan objek uji yang akan diberikan perlakuan koagulan.

g. Spuit 150 ml

Spuit digunakan untuk memindahkan sampel dari *beaker glass* ke jerigen.

h. Jerigen 500 ml

Jerigen digunakan sebagai wadah penyimpanan sampel.

i. Timer

Timer digunakan sebagai pengukur waktu pada saat proses koagulasi-flokulasi menggunakan *magnetic stirrer*.

4. Alat dan Bahan Pengujian Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD)

a. Aquades

Digunakan sebagai pelarut atau blanko, serta untuk pencucian peralatan agar bebas dari ion atau zat pengganggu.

b. Asam Sulfat (H_2SO_4)

Berfungsi untuk menciptakan suasana asam ($\text{pH} < 2$) agar reaksi oksidasi berjalan optimal dan menyediakan panas reaksi untuk mempercepat oksidasi bahan organik

c. *Beaker Glass* & Gelas Piala

Untuk menampung, mencampur, atau menyiapkan larutan sebelum dipindahkan ke *digestion vessel*.

d. *Digestion Vessel*

Wadah reaksi tertutup untuk memanaskan sampel bersama reagen, mencegah kehilangan uap dan menjaga tekanan sehingga oksidasi sempurna.

e. *Heating Block*

Digunakan untuk memanaskan *digestion vessel* pada suhu tertentu (umumnya $150\text{ }^\circ\text{C}$) selama waktu yang ditentukan.

f. Kalium Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)

Oksidator utama dalam uji COD yang akan mengoksidasi senyawa organik menjadi CO_2 dan H_2O . Jumlah $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang tersisa setelah reaksi akan menentukan nilai COD.

g. Larutan Standar COD (Kalium Hidrogen Phlatat/KHP)

Digunakan sebagai larutan standar untuk membuat kurva kalibrasi atau untuk validasi metode, mengetahui apakah reagen dan alat bekerja dengan baik.

h. Perak Sulfat (Ag_2SO_4)

Digunakan sebagai katalis untuk mempercepat oksidasi senyawa organik yang sulit teroksidasi.

i. pH meter

Untuk mengecek pH awal sampel agar sesuai syarat analisis COD karena pH harus < 2 pada saat proses reaksi.

j. Pipet Volumetrik

Untuk mengambil volume sampel atau reagen dengan presisi tinggi sehingga hasil perhitungan COD akurat.

k. Sampel air lindi

Sampel air lindi merupakan objek uji yang akan diukur dan dianalisis.

l. Spektrofotometer UV-Vis

Digunakan untuk mengukur absorbansi larutan setelah proses *digest*, kemudian dibandingkan dengan kurva kalibrasi.

m. Sulfat Merkuri (HgSO_4)

Berfungsi untuk mengikat ion klorida (Cl^-) yang dapat mengganggu pengukuran COD karena Cl^- juga dapat teroksidasi oleh $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sehingga memberi hasil lebih tinggi.

n. Thermometer

Untuk memastikan suhu pada heating block sesuai (± 150 °C), sehingga reaksi oksidasi berjalan optimal.

H. Prosedur Penelitian

1. Persiapan

- a. Melakukan studi literatur dan menentukan variabel yang akan diambil dalam penelitian kemudian merangkumnya dalam bentuk proposal penelitian.
- b. Perizinan pengambilan sampel dan pelaksanaan penelitian kepada Kepala Dinas Lingkungan Hidup Kota Tasikmalaya dan Kepala Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir, permohonan peminjaman alat dengan Laboratorium Lingkungan Universitas Siliwangi, serta koordinasi untuk pengujian sampel dengan UPTD Perumahan Rakyat, Kawasan Pemukiman dan Lingkungan Hidup (DPRKPLH) Kabupaten Ciamis.
- c. Perhitungan dosis pra-eksperimen untuk 1 L sampel yang dilakukan berdasarkan data pemantauan air lindi TPA Ciangir yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Tasikmalaya pada tahun 2025, menggunakan rumus berikut:

$$\text{Dosis PAC} = \frac{\text{Penurunan Kadar COD yang dibutuhkan (mg/L)}}{\text{Angka penurunan COD per mg/L dosis PAC (1,06)}}$$

$$\text{Volume Dosis PAC} = \frac{\text{Dosis PAC (mg/L)} \times 1000 \text{ ml}}{300.000 \text{ mg/L}}$$

2. Pra-Eksperimen

- a. Pengambilan sampel lindi di kolam *monitoring outlet* TPA Ciangir dilakukan berdasarkan SNI 6989.59:2008 tentang Metoda Pegambilan Contoh Air Limbah.
- b. Pengukuran kadar COD awal sampel lindi di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Kota Tasikmalaya.
- c. Melakukan pra-eksperimen di Laboratorium Lingkungan Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya (UMTAS) dengan 3 variasi dosis larutan PAC 30% yaitu 1,66 ml; 1,76 ml; dan 1,86 ml untuk menguji karakteristik awal sampel, menentukan kisaran dosis yang tepat untuk penelitian, menguji kelayakan metode, mengestimasi waktu dan kebutuhan bahan, serta mendukung latar belakang penelitian.
- d. Pengukuran kadar COD sampel lindi setelah perlakuan dosis di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup Kota Tasikmalaya.
- e. Menghitung penurunan kadar COD dari hasil pra-eksperimen, dengan penurunan COD pada dosis 1 (1,66 ml) sebesar 36%, dosis 2 (1,76 ml) sebesar 33%, dan dosis 3 (1,86 ml) sebesar 21%.

3. Pelaksanaan Penelitian

- a. Pengambilan sampel dari kolam *monitoring outlet* TPA Ciangir dilakukan berdasarkan SNI 6989.59:2008 tentang Metoda Pegambilan Contoh Air Limbah.

- b. Pengukuran sampel pre-test oleh Laboratorium Lingkungan UPTD Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Lingkungan Hidup (DPRKPLH) Kabupaten Ciamis.
- c. Pembuatan larutan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30% dengan mencampurkan 30 g serbuk PAC dan 100 ml aquades, kemudian dilarutkan dengan proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit.
- d. Perhitungan dosis penelitian berdasarkan hasil pengukuran COD pada sampel pre-test yaitu 1.779 mg/L menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Volume Dosis} = \frac{\text{Kadar COD} - 300 \text{ mg/L}}{317,8 \text{ mg/L}}$$

$$\text{Volume Dosis} = \frac{1.779 \text{ mg/L} - 300 \text{ mg/L}}{317,8 \text{ mg/L}}$$

$$\text{Volume Dosis} = \frac{1.479 \text{ mg/L}}{317,8 \text{ mg/L}}$$

$$\text{Volume Dosis} = 4,65 \text{ ml}$$

Variasi dosis dilakukan dengan menurunkan dan menaikkan dosis sebesar 0,1 ml sehingga didapatkan 3 variasi dosis yaitu 4,55 ml; 4,65 ml; dan 4,75 ml.

- e. Perlakuan variasi dosis larutan PAC 30% yang diukur menggunakan mikropipet Socorex ACURA 825 dengan tiga variasi dosis yaitu 4,55 ml; 4,65 ml; dan 4,75 ml. Masing-masing dosis tersebut diberikan untuk setiap 1 L sampel air lindi dan dilakukan 6 kali

replikasi pada perlakuan setiap variasi dosis dengan sampel lindi yang berbeda sebagai perbandingan hasil.

- f. Proses koagulasi menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 260 rpm selama 1 menit.
- g. Proses flokulasi menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 50 rpm selama 20 menit.
- h. Proses sedimentasi (*settling*) selama 60 menit.
- i. Simpan masing-masing sampel sebanyak 150 ml dalam jerigen.
- j. Awetkan sampel dengan asam sulfat sampai $\text{pH} < 2$.

4. Pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pengukuran kadar COD dilakukan oleh Laboratorium Lingkungan UPTD Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Lingkungan Hidup (DPRKPLH) Kabupaten Ciamis berdasarkan SNI 6989.2:2009 tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimawi (*Chemical Oxygen Demand*) dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri:

- a. Masukkan 2,5 ml sampel lindi, 1,5 ml *digestion solution* dan 3,5 ml larutan pereaksi asam sulfat ke dalam tabung kultur ukuran 16×100 mm.
- b. Tutup tabung dan kocok perlahan sampai homogen.
- c. Letakkan tabung pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, lakukan refluks selama 2 jam.
- d. Dinginkan sampel yang sudah direfluks sampai suhu ruang, sesekali tutup sampel dibuka untuk mencegah adanya tekanan gas.

- e. Biarkan suspensi mengendap dan pastikan bagian yang akan diukur benar-benar jernih.
- f. Gunakan larutan blanko untuk menghasilkan nilai absorban nol.
- g. Ukur serapan sampel pada panjang gelombang 600 nm.
- h. Hitung kadar COD berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi.

Rumus perhitungan:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = C \times f$$

Keterangan:

C = nilai COD (mg/L)

f = faktor pengenceran

5. Penyelesaian

Pada tahap ini dilakukan pengolahan dan analisis data menggunakan *software IBM SPSS Statistics* serta penyusunan laporan hasil penelitian.

I. Pengolahan dan Analisis Data

1. Pengolahan Data

a. *Editing*

Data besaran dosis serta hasil pengukuran *Chemical Oxygen Demand* (COD) diperiksa untuk memastikan kelengkapan dan keakuratan pencatatan selama proses uji laboratorium. Data yang tidak wajar atau terdapat kesalahan pencatatan akan ditandai dan dikonfirmasi ulang.

b. *Coding*

Coding dilakukan untuk memudahkan dalam memasukan data (*entry*) dan menganalisis data dengan cara mengubah data

berbentuk huruf menjadi angka. Pada penelitian ini *coding* dilakukan untuk data variabel bebas yaitu:

1 = kontrol/tanpa perlakuan

2 = dosis koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 4,55 ml

3 = dosis koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 4,65 ml

4 = dosis koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 4,75 ml

c. *Input Data (Entry)*

Data yang sudah dicek kemudian dimasukkan ke dalam lembar kerja *Microsoft Excel* dan *software IBM SPSS Statistics* untuk dianalisis lebih lanjut.

d. *Cleaning*

Dilakukan pengecekan ulang terhadap data yang telah diinput untuk menghindari kesalahan pengetikan atau duplikasi data, data yang tidak valid akan dikeluarkan dari proses analisis.

e. *Tabulating*

Data diorganisasikan dalam bentuk tabel berdasarkan variasi dosis dan parameter yang telah diukur yaitu kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD), kemudian dihitung nilai rata-rata dan persentase efisiensi penurunannya.

2. Analisis Data

a. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif atau univariat dilakukan untuk mendeskripsikan karakter masing-masing variabel yang diteliti

dengan menggunakan tabel yang diinterpretasikan berdasarkan hasil yang diperoleh. Pada penelitian ini analisis univariat digunakan untuk menggambarkan hasil pengukuran laboratorium dan persentase penurunan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada setiap perlakuan dosis koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Analisis dilakukan dengan memanfaatkan data yang mencakup rata-rata, standar deviasi, nilai maksimum, nilai minimum, dan efisiensi. Untuk mengetahui efisiensi penurunan kadar COD menggunakan rumus sebagai berikut.

$$E = \frac{x - y}{x} \times 100$$

Keterangan:

E = efektivitas (%)

x = nilai parameter sebelum perlakuan (mg/L)

y = nilai parameter setelah perlakuan (mg/L)

b. Analisis Inferensial

Analisis inferensial digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh yang signifikan. Menurut Hermawan & Amirullah (2016), pengujian statistik dari suatu hipotesis merupakan suatu prosedur dimana suatu pilihan tindakan dibuat menjadi dua alternatif. Untuk uji parametrik, statistik yang cocok diasumsikan memiliki sampel yang cukup besar yaitu ≥ 30 . Hal tersebut berkaitan dengan Teorema Limit Pusat (*Central Limit Theorem*) yang menyatakan bahwa distribusi rata-rata sampel dari banyak pengambilan sampel acak akan mendekati distribusi normal saat

ukuran sampel bertambah besar, meskipun distribusi populasi asalnya tidak normal.

Jumlah sampel pada penelitian ini < 30 , maka asumsi tersebut tidak terpenuhi, sehingga analisis bivariat yang digunakan merupakan statistik non parametrik dengan uji Kruskal-Wallis yang tidak memiliki syarat data harus berdistribusi normal. Uji ini digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan pada kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) air lindi antara berbagai variasi dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30%. Jika hasil uji menunjukkan ada perbedaan yang signifikan, maka dilanjutkan dengan uji Post Hoc Dunn's Test untuk mengetahui pasangan dosis mana yang berbeda secara nyata dan menentukan dosis larutan koagulan paling efektif dengan perhitungan persentase efektivitas. Menurut Jiwantoro et al., (2023), interpretasi hasil pengujian statistik ini adalah sebagai berikut.

- 1) Jika nilai $p > 0,05$ maka tidak ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) lindi Tempat Pemrosesan Akhir Ciangir pada berbagai variasi dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30%.
- 2) Jika nilai $p \leq 0,05$ maka ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) lindi Tempat Pemrosesan Akhir Ciangir pada berbagai variasi dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30%.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

A. Analisis Deskriptif

1. Hasil Intervensi Terhadap pH

Hasil pengujian pH lindi sebelum dan sesudah diberi perlakuan variasi dosis koagulan PAC 30% disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4. 1 Hasil Pre-Test dan Post-Test pH dengan Perlakuan Variasi Dosis Larutan Koagulan PAC 30%

Replikasi	Pre-Test	Post-Test			NAB	
		Kontrol	Dosis 1	Dosis 2		Dosis 3
1	8,91	8,78	7,82	7,49	7,77	6 – 9
2		8,81	7,78	7,1	7,4	
3		8,79	7,9	7,58	7,88	
4		8,77	7,84	7,63	7,52	
5		8,8	7,98	7,32	7,83	
6		8,76	7,8	7,45	7,65	
Rata-rata	8,91	8,79	7,85	7,43	7,68	

Keterangan: (*) melebihi NAB Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir

Tabel 4.1 menunjukkan hasil intervensi variasi dosis larutan koagulan PAC 30% dapat menurunkan pH. pH tertinggi pada kelompok kontrol dengan nilai rata-rata 8,79 sedangkan pH terendah pada kelompok dosis 2 dengan nilai rata-rata 7,43.

2. Hasil Intervensi Terhadap Suhu

Hasil pengujian suhu lindi sebelum dan sesudah diberi perlakuan variasi dosis koagulan PAC 30% disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4. 2 Hasil Pre-Test dan Post-Test Suhu dengan Perlakuan Variasi Dosis Larutan Koagulan PAC 30%

Replikasi	Pre-Test	Post-Test			
		Kontrol	Dosis 1	Dosis 2	Dosis 3
1	27,7	27,5	26,8	26,4	26,5
2		27,8	26,2	25,9	26
3		27,6	26,5	26,2	26,3
4		27,5	26	26,6	25,9
5		27,7	26,6	26,1	26,4
6		27,6	26,1	26,3	26,1
Rata-rata	27,7	27,6	26,4	26,3	26,2

Tabel 4.2 menunjukkan hasil intervensi variasi dosis larutan koagulan PAC 30% dapat menurunkan suhu. Suhu tertinggi pada kelompok kontrol dengan nilai rata-rata 27,6°C, sedangkan suhu terendah pada kelompok dosis 3 dengan nilai rata-rata 26,2°C.

3. Hasil Intervensi Terhadap Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Hasil pengujian kadar COD lindi sebelum dan sesudah diberi perlakuan variasi dosis koagulan PAC 30% disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Pre-Test dan Post-Test Kadar COD dengan Perlakuan Variasi Dosis Larutan Koagulan PAC 30%

Replikasi	Pre-test	Post-test								NAB (mg/L)
		Kontrol	Selisih	Dosis 1	Selisih	Dosis 2	Selisih	Dosis 3	Selisih	
1	1.779	1.682	97	1.075	704	1.056	723	1.121	658	300
2		1.684	95	1.080	699	1.045	734	1.152	627	
3		1.688	91	1.066	713	1.062	717	1.101	678	
4		1.686	93	1.070	709	1.078	701	1.068	711	
5		1.691	88	1.083	696	1.035	744	1.076	703	
6		1.694	85	1.060	719	1.035	744	1.042	737	
Rata-rata	1.779	1.687,5	91,5	1.072,3	706,7	1.051,8	727,2	1.093,3	685,7	
Efisiensi (%)		5,1%		39,7%		40,9%		38,5%		

Keterangan: (*) melebihi NAB Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir

Tabel 4.3 menunjukkan hasil intervensi variasi dosis larutan koagulan PAC 30% dapat menurunkan kadar COD. Penurunan kadar COD yang paling tinggi terdapat pada kelompok perlakuan variasi dosis 2 dengan efisiensi sebesar 40,9% atau dengan rata-rata selisih penurunan kadar COD sebesar 727,2 mg/L. Penurunan kadar COD yang paling rendah terdapat pada kelompok kontrol dengan efisiensi sebesar 5,1% atau dengan rata-rata selisih penurunan kadar COD sebesar 91,5 mg/L.

Berdasarkan data yang diperoleh dan dianalisis menggunakan *software* analisis data SPSS, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Hasil Analisis Statistik Deskriptif Perlakuan Variasi Dosis Larutan Koagulan 30% pada Enam Kali Pengulangan dengan Uji Kruskal Wallis

Kadar	Variasi Dosis	Mean	Standar Deviasi	Minimum	Maksimum
COD	Kontrol	1.687,50	4,461	1.682	1.694
	Dosis 1	1.072,33	8,687	1.060	1.083
	Dosis 2	1.051,83	16,845	1.035	1.078
	Dosis 3	1.093,33	39,606	1.042	1.152

Berdasarkan tabel 4.4 dapat diketahui rata-rata, standar deviasi, nilai minimum dan maksimum pada setiap kadar COD dalam berbagai kelompok variasi dosis. Kelompok sampel dengan dosis ke-2 (4,65 ml) memiliki rata-rata kadar COD terendah dengan nilai minimum 1.035 mg/L, sedangkan rata-rata COD tertinggi pada kelompok sampel kontrol dengan nilai maksimum 1.694 mg/L.

B. Analisis Inferensial

Analisis inferensial dilakukan untuk mengetahui perbedaan rata-rata kadar COD setelah diberikan perlakuan berupa variasi dosis larutan PAC 30%. Untuk mengetahui perbedaan kadar COD pada setiap kelompok perlakuan, dilakukan Uji Kruskal Wallis dan dilanjutkan dengan Post Hoc Dunn's Test menggunakan *software* IBM SPSS *Statistics*.

1. Uji Kruskal Wallis

Uji Kruskal Wallis digunakan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan kadar COD yang signifikan antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan dengan tiga variasi dosis larutan koagulan PAC 30%. Berikut merupakan hasil analisis menggunakan uji Kruskal–Wallis:

Tabel 4. 5 Hasil Analisis Uji Kruskal Wallis

COD	Kruskal-Walis H	df	<i>p-value</i>	Keterangan
	16,294	3	0,001	Ada perbedaan signifikan

Pada tabel 4.5 diketahui *p-value* pada kadar COD sebesar 0,001 sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan kadar COD yang signifikan pada perlakuan berbagai variasi dosis larutan PAC 30% yaitu 4,55 ml; 4,65 ml; dan 4,75 ml. Hal ini menunjukkan bahwa hipotesis diterima, artinya variasi dosis koagulan PAC 30% berpengaruh terhadap kadar COD pada lindi TPA Ciangir.

2. Uji Post Hoc Dunn's Test

Uji Post Hoc Dunn's Test merupakan lanjutan dari uji Kruskal Wallis, digunakan untuk mengetahui pasangan kelompok mana yang menunjukkan perbedaan kadar COD yang signifikan, khususnya untuk membandingkan antara kelompok kontrol dengan masing-masing variasi dosis PAC 30%, serta antar kelompok dosis. Hasil uji lanjutan yang diperoleh sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Hasil Analisis Uji Post Hoc Dunn's Test

Kadar	Variasi Dosis	Variasi Dosis	<i>p-value</i>
COD	Kontrol	Dosis 1	0,048*
	Kontrol	Dosis 2	0,000*
	Kontrol	Dosis 3	0,165
	Dosis 1	Dosis 2	1,000
	Dosis 1	Dosis 3	1,000
	Dosis 2	Dosis 3	0,475

Keterangan: (*) menunjukkan rata-rata kadar COD pada air lindi berbeda signifikan

Berdasarkan tabel 4.6 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan kadar COD yang signifikan antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan dosis 1 serta antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan dosis 2.

BAB V

PEMBAHASAN

A. Hubungan Variasi Dosis Larutan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) terhadap Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Berdasarkan hasil uji Kruskal–Wallis, terdapat perbedaan kadar COD yang signifikan antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan ($p = 0,001$) yang menunjukkan bahwa pemberian variasi dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30% mempengaruhi kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir. Seluruh kelompok perlakuan menunjukkan penurunan kadar COD yang lebih besar dibandingkan dengan kelompok kontrol dengan efektivitas penurunan COD tertinggi diperoleh pada dosis 4,65 ml dengan persentase sebesar 40,9%.

Penurunan kadar COD tersebut cukup signifikan, namun hasil akhir dari seluruh kelompok perlakuan masih belum memenuhi baku mutu air lindi berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016. Hal ini menunjukkan bahwa proses koagulasi menggunakan larutan PAC 30% belum mampu menurunkan kadar COD hingga memenuhi baku mutu secara mandiri.

Penurunan kadar COD pada penelitian ini terjadi melalui mekanisme koagulasi–flokulasi. Menurut Sossou et al., (2024), mekanisme koagulasi–flokulasi pada pengolahan air lindi melibatkan lima mekanisme utama, yaitu hidrolisis, netralisasi muatan, *sweep coagulation*, *enmeshment*

dan bridging, serta adsorpsi. Rangkaian tersebut berlangsung secara saling tumpang tindih dan simultan. Setiap mekanisme dapat terjadi secara bersamaan dalam satu sistem, tergantung pada kondisi air limbah dan dosis koagulan yang digunakan. Oleh karena itu, tidak ada batasan yang tegas antar mekanisme, karena semuanya dapat berkontribusi secara bersamaan dalam proses destabilisasi dan agregasi partikel.

Pada tahap awal, PAC mengalami hidrolisis membentuk spesies aktif seperti Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, dan $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ yang berperan dalam proses destabilisasi partikel. Spesies bermuatan positif tersebut kemudian menetralkan muatan negatif partikel koloid dan senyawa organik penyumbang COD melalui mekanisme netralisasi muatan, sehingga gaya tolak-menolak antar partikel melemah dan partikel menjadi tidak stabil. Kondisi ini mendukung terbentuknya flok awal yang selanjutnya berkembang melalui mekanisme koagulasi penyapuan (*sweep coagulation*), dengan endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang terbentuk menangkap dan mengikat partikel tersuspensi serta bahan organik di sekitarnya.

Proses koagulasi penyapuan diperkuat oleh mekanisme penjebakan dan pembentukan jembatan (*enmeshment and bridging*), yaitu ketika spesies aluminium polimerik hasil hidrolisis PAC menghubungkan partikel-partikel yang berdekatan sehingga membentuk flok yang lebih besar, padat, dan mudah mengendap. Selain itu, gugus $-\text{OH}$ pada permukaan flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ memungkinkan terjadinya adsorpsi sisa senyawa organik terlarut yang belum terangkat pada tahap sebelumnya (Bratby, 2016).

Kombinasi mekanisme tersebut menyebabkan destabilisasi dan agregasi kontaminan sehingga dapat dipisahkan dari fase cair melalui proses sedimentasi. Mekanisme ini sejalan dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa peningkatan dosis koagulan hingga dosis optimum meningkatkan efektivitas pembentukan flok dan kemampuan pengikatan senyawa organik, sehingga menghasilkan penurunan COD yang signifikan.

Air lindi mengandung berbagai zat pencemar seperti bahan organik, anorganik, logam berat, senyawa toksik, serta mikroorganisme patogen. Tinggi rendahnya kadar COD berpengaruh terhadap risiko pencemaran lingkungan dan kesehatan masyarakat. Nilai COD yang tinggi menunjukkan kandungan bahan organik yang besar dalam air limbah. Bahan organik tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme sehingga meningkatkan aktivitas mikroba dan menurunkan kadar oksigen terlarut di perairan. Kondisi ini tidak hanya mengganggu ekosistem perairan tetapi juga berpotensi menurunkan kualitas air yang digunakan masyarakat, sehingga meningkatkan risiko gangguan kesehatan seperti diare dan dermatitis. Oleh karena itu, penurunan COD dapat mengurangi beban organik serta secara tidak langsung menurunkan potensi pertumbuhan mikroorganisme di lingkungan perairan (Pramaningsih et al., 2023).

Hasil analisis lanjutan menggunakan Uji Post Hoc Dunn's Test menunjukkan bahwa tidak seluruh variasi dosis menghasilkan perbedaan yang signifikan. Perbedaan nyata secara statistik hanya terjadi pada perbandingan antara kelompok kontrol dengan dosis 1 (4,55 ml) dan dosis

2 (4,65 ml), sedangkan perbandingan antar variasi dosis tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$).

Hal tersebut dapat terjadi karena ada beberapa faktor yang mempengaruhi pada proses koagulasi–flokulasi diantaranya pH, suhu, dosis koagulan, kecepatan putaran, dan waktu pengolahan. Suhu berpengaruh langsung terhadap laju reaksi kimia, viskositas air, serta kualitas flok yang terbentuk. Pada suhu rendah, viskositas air meningkat sehingga reaksi hidrolisis koagulan melambat dan tumbukan antar partikel berkurang, sedangkan pada suhu yang lebih tinggi proses hidrolisis berlangsung cepat dan flok yang terbentuk lebih padat serta mudah mengendap.

Pada penelitian ini, nilai pH dan suhu air lindi sebelum dan sesudah perlakuan berada dalam kondisi relatif stabil dan tidak mengalami perubahan yang signifikan dari rentang pH 7-9 dan rentang suhu 26-28°C. Koagulan berbasis aluminium bekerja optimal pada rentang pH 6–9 (Salsabila et al., 2018), sedangkan penurunan suhu dari 20°C sampai 5°C dapat menurunkan efisiensi koagulasi hingga 20% (Metcalf & Eddy, 2015). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses koagulasi menggunakan larutan PAC 30% pada penelitian ini berlangsung pada rentang pH dan suhu yang mendukung efektivitas koagulan sesuai.

Penurunan pH dan suhu dapat terjadi setelah perlakuan koagulasi dengan PAC. Hal tersebut terjadi akibat proses hidrolisis spesies aluminium di dalam air. Pada saat koagulan bereaksi, terbentuk ion hidrogen (H^+) sebagai hasil dari reaksi hidrolisis tersebut. Keberadaan H^+ meningkatkan

keasaman larutan dan sekaligus mengonsumsi alkalinitas yang ada dalam sistem. Berkurangnya alkalinitas serta bertambahnya konsentrasi H^+ menyebabkan nilai pH air lindi mengalami penurunan setelah proses koagulasi (Bratby, 2016).

Menurut Yutika Wirandani et al., (2017), penurunan suhu setelah perlakuan PAC terjadi karena adanya pelepasan panas oleh gas CO_2 . Hal tersebut dapat dikaitkan dengan berkurangnya aktivitas biologis dalam air lindi. Konsentrasi CO_2 dalam lindi umumnya berkaitan dengan proses degradasi bahan organik oleh mikroorganisme. Ketika kadar COD menurun akibat koagulasi, aktivitas mikroba juga berkurang sehingga produksi CO_2 dan panas metabolik menurun. Berkurangnya panas biologis tersebut dapat berkontribusi terhadap penurunan suhu sistem.

Secara deskriptif, dosis kedua (4,65 ml) menghasilkan efisiensi penurunan COD tertinggi walaupun belum sampai di bawah baku mutu, sedangkan pada dosis yang lebih tinggi terjadi kecenderungan penurunan efisiensi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa peningkatan dosis koagulan tidak selalu sejalan dengan peningkatan efektivitas proses pengolahan. Rosariawari & Mirwan (2013) menyatakan bahwa efektivitas koagulasi–flokulasi dipengaruhi oleh kecukupan dosis koagulan karena dosis yang tepat dapat menghasilkan flok yang lebih besar dan stabil sehingga mudah mengendap. Penurunan efisiensi dapat terjadi karena penambahan koagulan telah melewati titik jenuh.

Engelhardt (2010) menjelaskan bahwa penambahan koagulan secara berlebihan dapat memicu restabilisasi partikel koloid akibat dominasi muatan positif, sehingga partikel kembali terdispersi dan proses pengendapan menjadi kurang optimal. Dosis koagulan yang terlalu tinggi berpotensi membentuk flok yang bersifat rapuh dan mudah terfragmentasi selama proses pengadukan yang pada akhirnya berdampak pada penurunan efisiensi penyisihan bahan organik. Karakteristik air lindi yang banyak mengandung komponen organik makromolekul kompleks dan refrakter membuat sebagian COD tidak responsif terhadap proses koagulasi.

Menurut Rosariawari & Mirwan (2013), efisiensi penghilangan COD dipengaruhi oleh kombinasi interaksi antara dosis PAC, waktu kontak, serta kecepatan pengadukan yang mendukung distribusi koagulan secara merata. Kecepatan putaran dan waktu kontak pada penelitian ini mengacu pada penelitian Anes (2019) yang menyatakan bahwa kecepatan optimum pada proses koagulasi-flokulasi menggunakan larutan PAC 30% yaitu 260 rpm pada proses koagulasi dan 50 rpm pada proses flokulasi. Waktu yang digunakan yaitu 1 menit proses koagulasi, 20 menit proses flokulasi, dan 60 menit proses sedimentasi.

Sossou et al., (2024) menyatakan bahwa efektivitas koagulasi juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik limbah dan kondisi operasional, bukan hanya dengan peningkatan dosis koagulan. Hal tersebut sesuai dengan perbandingan hasil pra-eksperimen dan penelitian ini. Pada pra-eksperimen dengan kadar COD awal lindi sebesar 2.627,1 mg/L, didapatkan hasil

penurunan kadar COD terbesar pada perlakuan dosis 1,66 ml (498 mg/L) dengan persentase penurunan 36%. Pada penelitian ini dengan kadar COD awal lindi sebesar 1.779 mg/L, penurunan kadar COD terbesar pada penggunaan dosis koagulan PAC yang lebih tinggi, yaitu 4,65 ml (1.395 mg/L) dengan persentase penurunan sebesar 40,9%.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya juga didapatkan hasil dosis optimum dan angka penurunan kadar COD yang berbeda. Penelitian Anes (2019) dengan kadar COD awal lindi sebesar 3.680 mg/L, didapatkan hasil bahwa dosis 2.400 mg/L merupakan dosis optimum dengan persentase penurunan COD sebesar 63%. Sedangkan pada penelitian Yadav & Dikshit (2016) dengan kadar COD awal lindi sebesar 2.300 mg/L, didapatkan hasil optimum pada dosis 10 g/L dengan persentase penurunan COD sebesar 59%.

Perbedaan dosis optimum tersebut bisa dipengaruhi oleh jenis PAC yang digunakan. Hal ini berkaitan dengan tingkat *basicity* dan spesies aluminium yang terbentuk selama proses koagulasi. PAC merupakan koagulan pra-hidrolisis yang mengandung gugus hidroksida (OH^-) dalam strukturnya, sehingga aluminium di dalam PAC sebagian telah terpolimerisasi sebelum diaplikasikan ke dalam air lindi. Tingkat *basicity*, yang dinyatakan sebagai rasio jumlah OH^- terhadap Al^{3+} , mencerminkan derajat polimerisasi aluminium dan memengaruhi distribusi spesies aluminium, khususnya fraksi polimer (Al_3) seperti Al_3 yang bermuatan positif tinggi dan stabil.

Spesies Alb ini memiliki ukuran yang lebih besar dan kepadatan muatan kation (*charge density*) yang lebih tinggi dibandingkan spesies monomerik (Ala), sehingga lebih efektif dalam menetralkan muatan dan mengadsorpsi senyawa organik terlarut yang umumnya bermuatan negatif dan berkontribusi terhadap nilai COD. Selain itu, PAC dengan *basicity* lebih tinggi menghasilkan pelepasan ion hidrogen yang lebih sedikit selama reaksi hidrolisis, sehingga kondisi pH relatif lebih stabil dan mendukung interaksi optimal antara flok $\text{Al}(\text{OH})_3$ dengan bahan organik (Krupinska, 2023).

Perbedaan dosis optimum dalam eksperimen juga sangat bergantung pada karakteristik air lindi yang diolah. Air lindi memiliki komposisi yang kompleks dan bersifat dinamis. Konsentrasi bahan organik, senyawa anorganik, serta karakteristik fisik-kimia seperti pH dan kekuatan ionik dapat berubah seiring waktu yang dipengaruhi oleh umur *landfill*, curah hujan dan tingkat perkolasi air yang masuk ke *landfill*, kuantitas, jenis dan komposisi sampah, tingkat stabilisasi *landfill*, dan kelembaban *landfill* (Fajariyah & Mangkoedihardjo, 2017). Perbedaan dosis optimum ini dapat diartikan sebagai respon sistem koagulasi–flokulasi terhadap variasi karakteristik air lindi, sehingga penentuan dosis koagulan perlu disesuaikan dengan kondisi air lindi yang aktual pada saat pengolahan.

Penggunaan konsentrasi koagulan PAC perlu diteliti lebih lanjut dan penerapan koagulan pada proses pengolahan lindi dengan koagulasi-flokulasi perlu dikombinasikan dengan rangkaian pengolahan limbah

lainnya, seperti proses biologis aerobik atau anaerobik, filtrasi lanjutan, maupun adsorpsi. Koagulasi–flokulasi dapat digunakan sebagai proses pengolahan pendahuluan (*pre-treatment*) untuk menurunkan beban pencemar awal (Metcalf & Eddy, 2015).

B. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki keterbatasan, yaitu mengenai pengaruh curah hujan terhadap karakteristik sampel. Kondisi cuaca pada beberapa hari sebelum pengambilan sampel ditandai dengan adanya hujan yang cukup deras, sehingga sampel air lindi yang digunakan tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi kemarau. Keberadaan hujan tersebut berpotensi menyebabkan terjadinya pengenceran alami air lindi yang dapat menurunkan konsentrasi kadar COD.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini, variasi dosis larutan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) 30% terbukti memiliki pengaruh terhadap kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir dengan persentase rata-rata penurunan terbesar sebanyak 40,9%.

B. Saran

1. Bagi Peneliti Selanjutnya

- a. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan konsentrasi larutan PAC yang berbeda dan rentang variasi dosis koagulan PAC yang lebih luas dengan perkiraan penurunan COD dalam perlakuan 1 ml PAC 30% sebesar 156,39 mg/L serta dikombinasikan dengan variasi kondisi operasional, seperti waktu pengadukan dan waktu pengendapan, untuk memperoleh dosis optimum yang lebih akurat.
- b. Penelitian selanjutnya dapat mengombinasikan proses koagulasi–flokulasi menggunakan PAC dengan proses pengolahan lain (fisika, kimia, biologi) dalam suatu rangkaian pengolahan air lindi, sehingga penurunan kadar pencemar dapat lebih optimal sampai memenuhi baku mutu.

2. Bagi Tempat Pemrosesan Akhir Ciangir

- a. Penggunaan koagulan PAC dapat dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif pengolahan awal (*pre-treatment*) dan dikombinasikan dengan proses pengolahan lanjutan, seperti proses biologis atau filtrasi, agar kualitas air lindi yang dihasilkan dapat memenuhi baku mutu yang berlaku.
- b. Perlu dilakukan pemantauan kualitas air lindi serta *monitoring* dan evaluasi mengenai proses pengolahan lindi secara berkala untuk mengendalikan potensi pencemaran terhadap lingkungan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA


- Anes, M. (2019). *Optimasi Dosis dan Kecepatan pada Proses Koagulasi-Flokulasi Lindi TPA Benowo Menggunakan Poly Aluminium Chloride dan Kitosan dengan Response Surface Methodology Design Box Behnken*. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Angrianto, N. L., Manusawai, J., & Sinery, A. S. (2021). Analisis Kualitas Air Lindi dan Permukaan pada areal TPA Sowi Gunung dan Sekitarnya di Kabupaten Manokwari Papua Barat. *Cassowary*, 4(2), 221–233. <https://doi.org/10.30862/cassowary.cs.v4.i2.79>
- Anwar, T., Kosasih, C. E., & Pramukti, I. (2023). *Panduan Penelitian Quasi Eksperimen Pre dan Post*. Trans Info Media.
- Aprilia Vitri Kusumaningrum. (2023). Analisis Risiko Logam Berat Pada Air Tanah dan Kualitas Air Lindi di Sekitar TPA Banyuroto Kabupaten Kulonprogo. In *Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Repository*. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Astuti, F. A., Syafrudin, & Susilowati, I. (2023). Kajian Status Mutu Air Sungai Akibat Buangan Air Lindi TPA Piyungan di Kabupaten Bantul. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(4), 881–887. <https://doi.org/10.14710/jil.21.4.881-887>
- Axmalia, A., & Mulasari, S. A. (2020). Dampak Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA) Terhadap Gangguan Kesehatan Masyarakat. *Jurnal Kesehatan Komunitas*, 6(2), 171–176. <https://doi.org/10.25311/keskom.vol6.iss2.536>
- Bank, W. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Group. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Bratby, J. (2016). *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment* (3rd ed.). IWA Publishing.
- Busanto, A. N. F., & Rahmadyanti, E. (2021). Analisa Dampak Saluran Lindi Terhadap Lingkungan Dilihat Dari Aspek Pengelolaan TPA. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 45–53. <https://doi.org/10.31284/j.jts.2021.v2i1.1873>
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2010). *Diktat Kuliah: Pengelolaan Sampah*. Institut Teknologi Bandung.
- Engelhardt, T. L. (2010). *Coagulation, Flocculation and Clarification of Drinking Water*.
- Fajariyah, C., & Mangkoedihardjo, S. (2017). Kajian Literatur Pengolahan Lindi Tempat Basah menggunakan Tumbuhan Air. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2).
- Hafizah, A. (2023). Analisis Dampak Sistem Pengelolaan Sampah TPA Terjun di Kota Medan. *Journal of Health and Medical Research*, 3(3), 320–329.
- Hartini, E., & Yulianto, Y. (2018). Kajian Dampak Pencemaran Lindi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Ciangir Terhadap Kualitas Air dan Udara. *Jurnal Siliwangi*, 4(1).
- Hermawan, S., & Amirullah. (2016). *Metode Penelitian Bisnis Pendekatan Kuantitatif & Kualitatif*. Media Nusa Creative.
- Holimah, S., Wahyuni, S. A., & Suhariyono, A. (2024). *Pengelolaan Sampah Ramah Lingkungan*. Cerdas Ulet Kreatif.
- Ishak, S., Choirunissa, R., Purnama, A. Y., Achmad, V. S., Heriyyanoor, & Syamil,

- A. (2023). Metodologi Penelitian Kesehatan. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. CV. Media Sains Indonesia. http://bppsdmk.kemkes.go.id/pusdiksdmk/wp-content/uploads/2018/09/Metodologi-Penelitian-Kesehatan_SC.pdf
- Jiwantoro, Y. A., Anggareni, N. P. D. A., & Diarti, M. W. (2023). *Buku Ajatr Metode Penelitian dan Statistik*. Trans Info Media.
- Kehutanan, K. L. H. dan. (2025). Data Timbulan Sampah. In *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan#>
- Krupinska, I. (2023). Suitability of Highly Polymerised Polyaluminium Chlorides (PACs) in the Treatment of Mixture of Groundwater and. *Molecules*, 28, 468.
- Kurniawan, I. (2023). *Teknologi Pengolahan Air Limbah* (A. Huda & N. Aprianti (eds.)). PT. Literasi Nusantara Abadi Grup.
- Laili, F. (2021). Analisa Kualitas Air Lindi dan Potensi Penyebarannya Ke Lingkungan Sekitar TPA Gunung Tugel Kabupaten Banyumas. In *Skripsi Program Studi Teknik Lingkungan*. Universitas Islam Indonesia.
- Machdar, I. (2018). *Pengantar Pengendalian Pencemaran: Pencemaran Air, Pencemaran Udara, dan Kebisingan*. Deepublish.
- Mahyuddin, Tumpu, M., Tamim, T., Mansyur, Lapien, F. E., Bungin, E. R., Nurdin, A., & Johra. (2023). *Pengelolaan Air Limbah* (Issue July). <https://toharmedia.co.id>
- Melisa, M., Winardi, W., & Desmaiani, H. (2024). Analisis Kualitas Air Permukaan Serta Risiko Gangguan Kesehatan Pada Masyarakat Sekitar Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Salatiga Kabupaten Sambat. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 12(4), 978–986. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v12i4.83383>
- Metcalf, & Eddy. (2015). *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery (5th edition)* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Mohd-Salleh, S. N. A., Mohd-Zin, N. S., Othman, N., Mohd-Amdan, N. S., & Mohd-Shahli, F. (2018). Dosage and pH Optimization on Stabilized Landfill Leachate via Coagulation-Flocculation Process. *MATEC Web of Conferences*, 250, 1–11. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825006007>
- Nurmayanti, D., & Purwoko, D. (2017). *Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan: Kimia Lingkungan*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Oktapiani, I., Akhira, D., Nuraeni, I., Geografi, P., & Siliwangi, U. (2025). *Dampak Pencemaran Limbah Cair TPA Ciangir Terhadap Hasil Pertanian Padi Masyarakat Desa Mugarsari Kecamatan Tamansari Kota Tasikmalaya*. 4(2).
- Pramaningsih, V., Yulawati, R., Suhelmi, R., & Daramusseng, A. (2023). Indeks Kualitas Air dan Dampak terhadap Kesehatan Masyarakat Sekitar Sungai Karang Mumus, Samarinda. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(3), 313–319.
- Purnomo, S., Sujono, J., & Wahyono, T. (2018). Efektivitas Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) dalam Menurunkan Kadar COD, BOD, dan TSS pada Air Lindi TPA. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 24(2), 154–162.
- Purwanta, W., & Susanto, J. P. (2017). Laju Produksi dan Karakterisasi Polutan

- Organik Lindi dari TPA Kaliwlingi, Kabupaten Brebes Production Rate and Organic Pollutant Characterization Leachate from Kaliwlingi Landfill, Brebes Region. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 157–164.
- Ranno Marlany Rachman, F. R. R., Dwi Ermawati Rahayu, Bastian Artanto Ampangallo, Syaiful, Armin Aryadi, Mansyur, A. S., & Andi Arifuddin Iskandar, Burhanuddin Badrun, S. G. (2024). *Optimalisasi Sistem Pengelolaan Sampah (Strategi dan Implementasi)*. Tohar Media.
- Rosariawari, F., & Mirwan, M. (2013). *Efektivitas PAC dan Tawas untuk Menurunkan Kekeruhan Pada Air Permukaan*. Universitas Pembangunan Nasional.
- Sabneno, A. S., Faot, M. I., Arkian, T. A., & Purimahua, S. L. (2024). Gambaran Umum Pengolahan Sampah di TPA Alak Kota Kupang. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 5(4), 12518–12524. <https://doi.org/10.31004/jkt.v5i4.37614>
- Salsabila, U., Joko, T., & Dangiran, H. L. (2018). Perbedaan Penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) Melalui Pemberian Tawas dan Poly Aluminium Choride (PAC) pada Limbah Cair Rumah Pemotongan Hewan Penggaron Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(4).
- Sossou, K., Prasad, S. B., Eyram, K., & Saidou, H. (2024). Characteristics of Landfill Leachate and Leachate Treatment by Biological and Advanced Coagulation Process: Feasibility and Effectiveness – An overview. *Waste Management Bulletin*, 2(2), 181–198. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.04.009>
- Sugiyono. (2024). *Metode Penelitian Kuantitatif*. CV. Alfabeta.
- Tarigan, I. L. (2019). *Dasar-Dasar Kimia Air, Makanan dan Minuman*. Media Nusa Creative. www.mnccpublishing.com
- Widiarti, I. W., & Muryani, E. (2018). Kajian Kualitas Air Lindi Terhadap Kualitas Air Tanah di Sekitar TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Sampah Jetis, Desa Pakem, Kecamatan Gebang, Purworejo, Jawa Tengah. *Jurnal Tanah Dan Air (Soil and Water Journal)*, 15(1), 1–9.
- Widowati, W., Sastiono, A., & Rumampuk, R. J. (2008). *Efek Toksik Logam*. ANDI OFFSET.
- Yadav, J. S., & Dikshit, A. K. (2016). Effect of Pretreatment by Coagulation on Stabilized Landfill Leachate During Anaerobic Treatment. *Cogent Environmental Science*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311843.2016.1209993>
- Yutika Wirandani, M., Sudarno, & Purwono. (2017). Pengolahan Lindi Menggunakan Metode Koagulasi Flokulasi dengan Koagulan FeCl₃ (Ferric Chloride) dan AOPs (Advanced Oxidation Process) DENGAN Fe-H₂O₂ Studi Kasus : TPA Jatibarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(1).
- Yuwanto, L. (2019). *Metode Penelitian Eksperimen* (2nd ed.). Graha Ilmu.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Kartu Bimbingan Skripsi



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SILIWANGI
FAKULTAS ILMU KESEHATAN
Jalan Siliwangi Nomor 25 Kota Tasikmalaya Kode Pos 46115
Telepon (0265) 324445-335634-339922 Faksimile (0265) 325812


KARTU BIMBINGAN SKRIPSI

TAHUN MASUK
2021

Nama Mahasiswa : Rupa Sarrauwah Fae
 NIM : 211010506 foto 4x6
 Alamat : Jl. Babakan Pasung III, Gunung Maja, Tn. 16, RT 04/Raw 05, Kecamatan Vamaf, Desa Karang, Paly Alumniuma Cikampek (PAC)
 Judul Skripsi : Keefektifan Bahan Kimia Disinfektan Terhadap Bakteri Escherichia Coli (E. Coli) pada Air Lantai Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Gunung
 Pembimbing I : Andri Setyawan, S.Pd., M.Pd.
 Pembimbing II : Mika Fera Anggrah, S.K.M., M.K.M.

No.	Tanggal	Topik Bimbingan	Follow-up	Paraf Pembimbing
1.	17 Juni 2021	Pengajuan bimbingan skripsi (P1)	Acc	
2.	17 Juni 2021	Pengajuan topik skripsi (P2)	Acc	
3.	20 Juni 2021	Uraian review LPI	Minor edit	
4.	30 Juni 2021	Perubahan deskripsi (P1)	Acc	
5.	4 Juli 2021	Hasil survei awal (P1)	Survei awal selesai	
6.	1 Agustus 2021	Hasil survei awal (P1)	Acc	
7.	25 Agustus 2021	Bab I proposal penelitian (P1)	Revisi	
8.	26 Agustus 2021	Bab I proposal penelitian (P1)	Revisi	
9.	2 September 2021	Bab I proposal penelitian (P1)	Acc	
10.	4 September 2021	Bab II proposal penelitian (P1)	Revisi	
11.	5 September 2021	Bab II proposal penelitian (P1)	Revisi	
12.	10 September 2021	Perubahan deskripsi & bab II (P1)	Acc	
13.	11 September 2021	Bab III proposal penelitian (P1)	Revisi	
14.	13 September 2021	Proposal penelitian (P2)	Revisi	
15.	16 September 2021	Proposal penelitian (P2)	Revisi	
16.	20 September 2021	Bab III proposal penelitian (P1)	Revisi	
17.	23 September 2021	Proposal penelitian (P2)	Acc U1P	
18.	24 September 2021	Bab III proposal penelitian (P1)	Acc U1P	

CATATAN :
 * Di bawa setiap bimbingan
 * Pada Akhir Bimbingan harap menyerahkan kartu ini kepada dewan bimbingan skripsi (DBS)
 * Sebagai Persyaratan Sidang Skripsi



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SILIWANGI
FAKULTAS ILMU KESEHATAN
Jalan Siliwangi Nomor 25 Kota Tasikmalaya Kode Pos 46115
Telepon (0265) 330634, 333992 Faksimile (0265) 325812
Laman : www.unsil.ac.id Email : info@unsil.ac.id

KARTU BIMBINGAN SKRIPSI

TAHUN MASUK
2021

Nama Mahasiswa : Rupa Sarrauwah Fae
 NIM : 211010506 foto 4x6
 Alamat : Jl. Babakan Pasung III, Gunung Maja, Tn. 16, RT 04/Raw 05, Kecamatan Vamaf, Desa Karang, Paly Alumniuma Cikampek (PAC)
 Judul Skripsi : Keefektifan Bahan Kimia Disinfektan Terhadap Bakteri Escherichia Coli (E. Coli) pada Air Lantai Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Gunung
 Pembimbing I : Andri Setyawan, S.Pd., M.Pd.
 Pembimbing II : Mika Fera Anggrah, S.K.M., M.K.M.

No.	Tanggal	Topik Bimbingan	Follow-up	Paraf Pembimbing
1.	7/10/2021	Berkas usulan proposal (P1)	Revisi	
2.	4/11/2021	Berkas proposal penelitian (P1)	Acc	
3.	7/11/2021	Berkas proposal penelitian (P2)	Acc	
4.	10/11/2021	Perubahan alat penelitian (P1)	Revisi	
5.	16/11/2021	Perubahan alat penelitian (P1)	Acc	
6.	8/1/2022	Fisik alat penelitian (P1)	Acc	
7.	8/1/2022	Pengajuan permohonan alat (P1)	Acc	
8.	27/1/2022	Hasil penelitian (P1)	Revisi	
9.	28/1/2022	Hasil penelitian (P1)	Revisi	
10.	28/1/2022	Draft Bab IV, V, VI (P2)	Revisi	
11.	28/1/2022	Draft Bab IV (P1)	Acc	
12.	4/2/2022	Draft Bab IV, V, VI (P2)	Acc	
13.	4/2/2022	Draft Bab V & VI (P1)	Revisi	
14.	10/2/2022	Draft Bab V & VI (P1)	Acc	
15.	14/2/2022	Draft Jurnal (P1)	Revisi	
16.	10/2/2022	Draft Jurnal (P2)	Acc	
17.				
18.				

CATATAN :
 * Di bawa setiap bimbingan
 * Pada Akhir Bimbingan harap menyerahkan kartu ini kepada dewan bimbingan skripsi (DBS)
 * Sebagai Persyaratan Sidang Skripsi

Lampiran 2 Surat Izin Penelitian



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SILIWANGI
FAKULTAS ILMU KESEHATAN

Jalan Siliwangi Nomor 24 Kota Tasikmalaya Kode Pos 46115
Telepon (0265) 330634, 333092 Faksimile (0265) 325812
Laman: www.unsil.ac.id Posel: info@unsil.ac.id

Nomor : 6186/UN58.15.2/KM/2025
Perihal : Permohonan Izin Penelitian

10 November 2025

Kepada Yth.
Kepala Dinas Lingkungan Hidup
Kota Tasikmalaya
di
Tempat

Disampaikan dengan hormat, bahwa mahasiswa Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Siliwangi Tasikmalaya, yang namanya tersebut di bawah ini :

Nama	: Puspa Saesawati Rae
NPM	: 214101506
Peminatan/Jurusan	: Kesehatan Lingkungan/Kesehatan Masyarakat
Tingkat/Semester	: V/IX
No Hp/WA	: 082321807771

Sehubungan maksud di atas, mahasiswa kami akan melaksanakan izin penelitian serta permohonan pengambilan sampel air lindi TPA Ciangir untuk penyusunan skripsi mengenai "**Pengaruh Variasi Dosis Larutan Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) 30% Terhadap Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada Air Lindi**". Untuk itu kami mohon Bapak/Ibu memberi izin kepada mahasiswa kami, untuk menunjang kelancaran penyelesaian Tugas Akhir.

Demikian permohonan ini, atas perhatian serta kerja sama yang baik, kami ucapkan terima kasih.

a.n Dekan,
Wakil Dekan Bidang Akademik
dan Kemahasiswaan



Sri Maywati., SKM., M.Kes.,CRA.,CRP
NIP : 197707022021212007



Lampiran 3 Lembar Observasi

**LEMBAR OBSERVASI PRA-EKSPERIMEN PERLAKUAN VARIASI DOSIS LARUTAN
KOAGULAN *POLYALUMINIUM CHLORIDE* (PAC) 30% TERHADAP KADAR
CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) PADA AIR LINDI TPA CIANGIR**

No	Sampel	Label	pH	Suhu (°C)	COD (mg/L)
1	Pre-Test	K	9,35	27	2627,1
2	Dosis 1 (1,66 ml = 498 mg/L)	D1	9,13	26,3	1680,4
3	Dosis 2 (1,76 ml = 528 mg/L)	D2	9,13	26,3	1759,3
4	Dosis 3 (1,86 ml = 558 mg/L)	D3	9,07	26,1	2074,9

Lembar Observasi Pra-Eksprimen

**LEMBAR OBSERVASI PERLAKUAN VARIASI DOSIS LARUTAN KOAGULAN *POLY
ALUMINIUM CHLORIDE* (PAC) 30% TERHADAP KADAR *CHEMICAL OXYGEN
DEMAND* (COD) PADA AIR LINDI TPA CIANGIR**

Sampel	Replikasi	Label	pH	Suhu (°C)	COD (mg/L)
Pre-Test	1	L	8,91	27,7	1779
Kontrol	1	K1	8,78	27,5	1682
	2	K2	8,81	27,8	1684
	3	K3	8,79	27,6	1688
	4	K4	8,77	27,5	1686
	5	K5	8,8	27,7	1691
	6	K6	8,76	27,6	1694
Dosis 1 (4,55 ml = 1365 mg/L)	1	A1	7,82	26,8	1075
	2	A2	7,78	26,2	1080
	3	A3	7,9	26,5	1066
	4	A4	7,84	26	1070
	5	A5	7,98	26,6	1083
	6	A6	7,8	26,1	1060
Dosis 2 (4,65 ml = 1395 mg/L)	1	B1	7,49	26,4	1056
	2	B2	7,1	25,9	1045
	3	B3	7,58	26,2	1062
	4	B4	7,63	26,6	1078
	5	B5	7,32	26,1	1035
	6	B6	7,45	26,3	1035
Dosis 3 (4,75 ml = 1425 mg/L)	1	C1	7,77	26,5	1121
	2	C2	7,4	26	1152
	3	C3	7,88	26,3	1101
	4	C4	7,52	25,9	1068
	5	C5	7,83	26,4	1076
	6	C6	7,65	26,1	1042

Lembar Observasi Penelitian

Lampiran 4 Sertifikat Hasil Pengujian Laboratorium

**PEMERINTAH KOTA TASIKMALAYA
DINAS LINGKUNGAN HIDUP**
Jl. Noenoeang Tirtasaputra No. 5 Telp./Fax. (0265) 323539 Kota Tasikmalaya

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
Nomor : 600.4.26.7/10/1 Labing/ Bid P3LH / 2025

I. Keterangan Umum :
 1. Contoh Uji Dari : PUSPA RAE
 2. Lokasi Pengambilan Contoh Uji : UPTD PENGUJIAN SAMPAH Kp. Ciangir Kel. Tamansari Kec. Tamansari Kota Tasikmalaya
 3. Jenis Contoh Uji : Air Limbah (Leachate)
 4. Tanggal Penerimaan Contoh Uji : 13 Agustus 2025
 5. Tanggal Pengambilan Contoh Uji : Pelanggan
 6. Tanggal Pengujian Contoh Uji : 12 - 13 Agustus 2025

II. Hasil Pengujian Kualitas Air

No.	Sampel / Parameter	Satuan	Hasil Pengujian	Metode Acuan
pH				
1	Kontrol	-	9,35	SNI 6989.11-2019
2	Sampel 1	-	9,13	SNI 6989.11-2019
3	Sampel 2	-	9,13	SNI 6989.11-2019
4	Sampel 3	-	9,27	SNI 6989.11-2019
COD (Chemical Oxygen Demand)				
1	Kontrol	(mg/L)	3577,1	SNI 6989.2-2019
2	Sampel 1	(mg/L)	3589,4	SNI 6989.2-2019
3	Sampel 2	(mg/L)	3759,3	SNI 6989.2-2019
4	Sampel 3	(mg/L)	3974,9	SNI 6989.2-2019

Tasikmalaya, 13 Agustus 2025
 Pt. Kepala Dinas Lingkungan Hidup
 Kota Tasikmalaya
 H. NAWAL S.H., M.M.
 NP. 19800705 199203 1 011

Hasil Pengujian Sampel Pra-Eksperimen

**Pemerintah Kabupaten Ciamis
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN**
Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Lingkungan Hidup
Kabupaten Ciamis
Jl. Baru Komplek Perkantoran Kertasari Kabupaten Ciamis
E-mail : lab@ciamisi.go.id

LAPORAN HASIL UJI
LHU-LABLHCMS-2601005AL

Nama Pelanggan : Universitas Silwangi Alamat lengkap : Jl. Silwangi No. 24, Kauripan, Kecamatan Tamung, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, 46115
 Kontak Person : Puspita Rae (0823-2186-7771) Titik Pengambilan Sampel : -
 Jenis Contoh : Air Limbah/Air Lindi Titik Koordinat : -
 Type of Sample : (Sampel Label "B") Titik Koordinat : -
 Tanggal Terima Sampel : 12 Januari 2026 Waktu Pengambilan Sampel : -
 Date Received : Time of Sampling : -
 Tanggal Selesai : 27 Januari 2026 Prosedur Pengambilan Sampel : -
 Date Analyzed : Reference Sampling Procedure :

Hasil Pengujian (Analysis Result)

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu	Metode/Standar
1	Kebudayaan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/L	1779	150	USEPA HACH Method 8000

Keterangan :
 1. Hasil Hanya Berlaku untuk Contoh Uji yang Diuji
 2. Parameter Baku Mutu Air Limbah/Air Lindi Disesuaikan Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 89 Tahun 2018 Tentang Baku Mutu Air Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tanpa Pemrosesan Air/air Sampah

Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Kabupaten Ciamis
 HENENG LIANA APRILLIANTI, SKM
 NP. 19800408 200604 2 829

Ciamis, 27 Januari 2026
 Penanggung Jawab Teknis
 MOCH ZEIN SETIA PUTRA, A.Md, Si

Hasil Pengujian Sampel Pre-Test

**Pemerintah Kabupaten Ciamis
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN**
Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Lingkungan Hidup
Kabupaten Ciamis
Jl. Baru Komplek Perkantoran Kertasari Kabupaten Ciamis
E-mail : lab@ciamisi.go.id

LAPORAN HASIL UJI
LHU-LABLHCMS-2601005AL

Nama Pelanggan : Universitas Silwangi Alamat lengkap : Jl. Silwangi No. 24, Kauripan, Kecamatan Tamung, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, 46115
 Kontak Person : Puspita Rae (0823-2186-7771) Titik Pengambilan Sampel : -
 Jenis Contoh : Air Limbah/Air Lindi Titik Koordinat : -
 Type of Sample : (Sampel Label "B") Titik Koordinat : -
 Tanggal Terima Sampel : 13 Januari 2026 Waktu Pengambilan Sampel : -
 Date Received : Time of Sampling : -
 Tanggal Selesai : 27 Januari 2026 Prosedur Pengambilan Sampel : -
 Date Analyzed : Reference Sampling Procedure :

Hasil Pengujian (Analysis Result)

Parameter : Kebudayaan Oksigen Kimiawi (COD)

No.	Nama Sampel	Hasil Uji	Satuan	Baku Mutu	Metode/Standar
1	K1	1087	mg/L	150	USEPA HACH Method 8000
2	K2	1084			
3	K3	1088			
4	K4	1089			
5	K5	1091			
6	K6	1094			
7	K7	1091			
8	K8	1094			
9	K9	1094			

Keterangan :
 1. Hasil Hanya Berlaku untuk Contoh Uji yang Diuji
 2. Parameter Baku Mutu Air Limbah/Air Lindi Disesuaikan Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 89 Tahun 2018 Tentang Baku Mutu Air Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tanpa Pemrosesan Air/air Sampah

Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Kabupaten Ciamis
 HENENG LIANA APRILLIANTI, SKM
 NP. 19800408 200604 2 829

Ciamis, 27 Januari 2026
 Penanggung Jawab Teknis
 MOCH ZEIN SETIA PUTRA, A.Md, Si

Hasil Pengujian Sampel Kontrol

**Pemerintah Kabupaten Ciamis
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN**
Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Lingkungan Hidup
Kabupaten Ciamis
Jl. Baru Komplek Perkantoran Kertasari Kabupaten Ciamis
E-mail : lab@ciamisi.go.id

LAPORAN HASIL UJI
LHU-LABLHCMS-2601005AL

Nama Pelanggan : Universitas Silwangi Alamat lengkap : Jl. Silwangi No. 24, Kauripan, Kecamatan Tamung, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, 46115
 Kontak Person : Puspita Rae (0823-2186-7771) Titik Pengambilan Sampel : -
 Jenis Contoh : Air Limbah/Air Lindi Titik Koordinat : -
 Type of Sample : (Sampel Label "B") Titik Koordinat : -
 Tanggal Terima Sampel : 13 Januari 2026 Waktu Pengambilan Sampel : -
 Date Received : Time of Sampling : -
 Tanggal Selesai : 27 Januari 2026 Prosedur Pengambilan Sampel : -
 Date Analyzed : Reference Sampling Procedure :

Hasil Pengujian (Analysis Result)

Parameter : Kebudayaan Oksigen Kimiawi (COD)

No.	Nama Sampel	Hasil Uji	Satuan	Baku Mutu	Metode/Standar
1	A1	1075	mg/L	150	USEPA HACH Method 8000
2	A2	1080			
3	A3	1088			
4	A4	1070			
5	A5	1083			
6	A6	1080			

Keterangan :
 1. Hasil Hanya Berlaku untuk Contoh Uji yang Diuji
 2. Parameter Baku Mutu Air Limbah/Air Lindi Disesuaikan Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 89 Tahun 2018 Tentang Baku Mutu Air Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tanpa Pemrosesan Air/air Sampah

Mengetahui,
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan
 Kabupaten Ciamis
 HENENG LIANA APRILLIANTI, SKM
 NP. 19800408 200604 2 829

Ciamis, 27 Januari 2026
 Penanggung Jawab Teknis
 MOCH ZEIN SETIA PUTRA, A.Md, Si

Hasil Pengujian Sampel Perlakuan Dosis 1


Pemerintah Kabupaten Ciamis
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN
 Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Lingkungan Hidup
 Kabupaten Ciamis
 Jl. Baru Komplek Perkantoran Kerjasama Kabupaten Ciamis
 E-mail : lablingam@ciami.go.id



LAPORAN HASIL UJI
LHU-LABLHCMS-2601003AL

Nama Pelanggan : Universitas Siliwangi Alamat lengkap : Jl. Siliwangi No. 24, Kabupaten Karaman
 Customer Name : Address : Tawang, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, 46115

Narahubung : Purno Rao Titik Pengambilan Sampel : -
 Contact Person : (0823-2180-7771) Point of Sampling : -

Jenis Contoh : Air Limbah/Air Lindi Titik Koordinat : -
 Type of Sample : : -

Tanggal Terima Sampel : 13 Januari 2026 Waktu Pengambilan Sampel : -
 Date Received : Time of Sampling : -

Tanggal Selesai Date Analyzed : 27 Januari 2026 Prosedur Pengambilan Sampel : -
 Reference Sampling Procedure : -

Hasil Pengujian
(Analysis Result)

Parameter : Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)

No.	Nama Sampel	Hasil Uji	Satuan	Baku Mutu	Metode/Standar
1	B1	1038			
2	B2	1045			
3	B3	1052	mg/L	150	USEPA HACH Method 8000
4	B4	1078			
5	B5	1035			
6	B6	1035			

Keterangan :
 1. Hasil Hanya Berlaku untuk Contoh Uji yang Diuji
 2. Parameter Baku Mutu Air Limbah/Air Lindi ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2015 Tentang Baku Mutu Air Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Air/ Sampah

Mengetahui, Ciamis, 27 Januari 2026
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan Peranggung Jawab Teknis
 DPRKPLH Kabupaten Ciamis
 
 NENING LIANA APRILIYANTANTI, SKM MOCH ZEIN SETIA PUTRA, A.Md, Si
 NIP. 19800408 200904 2 026 NIP. 19800408 200504 2 029

Hasil Pengujian Sampel Perlakuan Dosis 2


Pemerintah Kabupaten Ciamis
UPTD LABORATORIUM LINGKUNGAN
 Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Lingkungan Hidup
 Kabupaten Ciamis
 Jl. Baru Komplek Perkantoran Kerjasama Kabupaten Ciamis
 E-mail : lablingam@ciami.go.id



LAPORAN HASIL UJI
LHU-LABLHCMS-2601004AL

Nama Pelanggan : Universitas Siliwangi Alamat lengkap : Jl. Siliwangi No. 24, Kabupaten Karaman
 Customer Name : Address : Tawang, Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, 46115

Narahubung : Purno Rao Titik Pengambilan Sampel : -
 Contact Person : (0823-2180-7771) Point of Sampling : -

Jenis Contoh : Air Limbah/Air Lindi Titik Koordinat : -
 Type of Sample : : -

Tanggal Terima Sampel : 13 Januari 2026 Waktu Pengambilan Sampel : -
 Date Received : Time of Sampling : -



Tanggal Selesai Date Analyzed : 27 Januari 2026 Prosedur Pengambilan Sampel : -
 Reference Sampling Procedure : -

Hasil Pengujian
(Analysis Result)

Parameter : Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)

No.	Nama Sampel	Hasil Uji	Satuan	Baku Mutu	Metode/Standar
1	C1	1121			
2	C2	1142			
3	C3	1101	mg/L	150	USEPA HACH Method 8000
4	C4	1069			
5	C5	1078			
6	C6	1042			

Keterangan :
 1. Hasil Hanya Berlaku untuk Contoh Uji yang Diuji
 2. Parameter Baku Mutu Air Limbah/Air Lindi ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2015 Tentang Baku Mutu Air Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Air/ Sampah

Mengetahui, Ciamis, 27 Januari 2026
 Kepala UPTD Laboratorium Lingkungan Peranggung Jawab Teknis
 DPRKPLH Kabupaten Ciamis
 
 NENING LIANA APRILIYANTANTI, SKM MOCH ZEIN SETIA PUTRA, A.Md, Si
 NIP. 19800408 200904 2 026 NIP. 19800408 200504 2 029

Hasil Pengujian Sampel Perlakuan Dosis 3

Lampiran 5 Output SPSS

Kadar COD

Kelompok sampel	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Kontrol	1687.50	4.461	1682	1694
Dosis 1	1072.33	8.687	1060	1083
Dosis 2	1051.83	16.845	1035	1078
Dosis 3	1093.33	39.606	1042	1152
Total	1226.25	273.219	1035	1694

Hasil Analisis Deskriptif

Ranks

	Kelompok sampel	N	Mean Rank
Kadar COD	Kontrol	6	21.50
	Dosis 1	6	10.67
	Dosis 2	6	5.33
	Dosis 3	6	12.50
	Total	24	

Test Statistics^{a,b}

Kadar COD	
Kruskal-Wallis H	16.294
df	3
Asymp. Sig.	.001

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable:
Kelompok sampel

Hasil Uji Kruskal Wallis

Pairwise Comparisons of Kelompok sampel

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	Std. Error	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Dosis 2-Dosis 1	5.333	4.082	1.307	.191	1.000
Dosis 2-Dosis 3	-7.167	4.082	-1.756	.079	.475
Dosis 2-Kontrol	16.167	4.082	3.961	.000	.000
Dosis 1-Dosis 3	-1.833	4.082	-.449	.653	1.000
Dosis 1-Kontrol	10.833	4.082	2.654	.008	.048
Dosis 3-Kontrol	9.000	4.082	2.205	.027	.165

Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same.

Asymptotic significances (2-sided tests) are displayed. The significance level is .05.

- a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Hasil Uji Post Hoc Dunn's Test

Lampiran 6 Dokumentasi Penelitian



Lokasi Penelitian



Lokasi Pengambilan Sampel Penelitian



Pengambilan Sampel Penelitian



Pengukuran pH dan Suhu Lindi



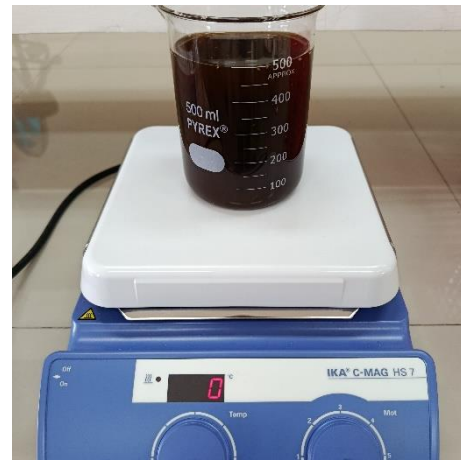
Proses Pembuatan Larutan PAC 30%



Proses Perlakuan Dosis



Proses Koagulasi



Proses Flokulasi



Proses Sedimentasi



Proses Pengambilan Sampel Setelah Perlakuan



Pengukuran pH dan Suhu Setelah Perlakuan



Pengawetan Sampel dengan Asam Sulfat



Penyimpanan Sampel dengan Suhu $< 4^{\circ}\text{C}$



Penyimpanan Sampel Selama Perjalanan



Lokasi Laboratorium untuk Pengujian Kadar COD