

# EVALUASI SISTEM PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG PT X



**CHRISTOBALT PUTRA YONANDA**  
**D131201021**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**GOWA**  
**2024**

**EVALUASI SISTEM PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG PT X**

**CHRISTOBALT PUTRA YONANDA  
D1301201021**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**EVALUASI SISTEM PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG PT X**

CHRISTOBALT PUTRA YONANDA

D131201021

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Lingkungan

pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**SKRIPSI**  
**EVALUASI SISTEM PENGOLAHAN AIR ASAM TAMBANG PT. X**

**CHRISTOBALT PUTRA YONANDA**  
**D131201021**

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada 8 Oktober 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan  
pada



Mengesahkan:

Pembimbing tugas akhir,



Dr. Ir. Roslinda Ibrahim, S.P., M.T.  
NIP. 197506232015042001

Mengetahui:

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM., AER.  
NIP. 197204242000122001

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "**Evaluasi Sistem Pengolahan Air Asam Tambang PT X**" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Dr. Ir. Roslinda Ibrahim, S.P., M.T.). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, September 2024



*[Handwritten Signature]*  
Putra Yonanda  
NIM D131201021

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis bisa menyelesaikan dan menyusun tugas akhir dengan judul "Evaluasi Sistem Pengolahan Air Asam Tambang PT X". Penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak.

Penelitian yang dilakukan oleh penulis ini dapat terlaksanakan dengan baik dan dapat diselesaikan dalam bentuk tugas akhir berupa skripsi ini atas bimbingan dan arahan dari Ibu Dr. Ir. Roslinda, S.P., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya. Kemudian tak lepas juga ucapan terima kasih kepada Bapak maupun Ibu dosen dan staf Departemen Teknik Lingkungan yang juga telah membantu dalam penyelesaian tesis ini baik berupa penyampaian diskusi dan pemenuhan dokumen berkas yang diperlukan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak di PT X yang telah membantu dan mengarahkan dalam menentukan judul serta menemani dalam setiap pengambilan sampel dan pengujian di lokasi. Selain itu juga kepada semua teman-teman Teknik Sipil 2020 dan Teknik Lingkungan 2020 dan Hasanuddin terutama Talaks Fam and additions (Nisa, Yani, Nat, Naya, Pute, Ikka, Fitri, Luls, Olip, Pahir, Gup, Nade, Dinda, Wara, Agis, Rani, Mifta) yang bersama menemani huru-hara perkuliahan, serta teman-teman asisten laboratorium kualitas air dan keluarga water yang menjadi tempat berdiskusi bersama di konsentrasi air.

Yang terakhir dan tidak kalah utama dan terutama, ucapan terima kasih kepada kedua orang tua penulis, Triyono dan Helda Manting, yang telah membantu dalam segala hal, yang selalu memberikan doa, dukungan, kasih sayang, dan dorongan yang tiada henti. Tanpa doa dan pengorbanan mereka, penulis tidak akan bisa mencapai tahap ini.

Penulis,  
Christobalt Putra Yonanda

## ABSTRAK

**CHRISTOBALT PUTRA YONANDA.** *Evaluasi Sistem Pengolahan Air Asam Tambang PT X* (dibimbing oleh Roslinda Ibrahim)

**Latar Belakang.** PT X di Kalimantan Selatan merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara. Dalam proses kegiatannya, pertambangan menghasilkan air limbah yang berupa air asam tambang. Air asam tambang umumnya mengandung logam berat yang dapat bersifat beracun jika langsung dibuang ke badan air tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengolahan seperti kolam dan lahan basah buatan agar sebelum dibuang konsentrasi pencemar pada air limbah dapat diturunkan hingga memenuhi nilai baku mutu yang berlaku. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi sistem pengolahan air limbah dan mengetahui kesesuaian pengolahannya pada setiap kompartemen sebagai satu kesatuan unit. **Metode.** Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengujian air limbah dengan memperhatikan delapan parameter pada empat titik sampel dijadikan sebagai data acuan dalam menentukan efisiensi pengolahan dan kesesuaian perencanaan unit pengolahan lahan basah buatan. **Hasil.** Berdasarkan hasil analisis efisiensi kinerja lahan basah buatan didapatkan bahwa unit lahan basah buatan belum efisien dalam menyisihkan polutan yang terkandung dalam air limbah, dari delapan parameter terdapat dua parameter yang belum memenuhi baku mutu yang berlaku dengan TSS mencapai 523 mg/L dengan baku mutu 200 mg/L dan COD mencapai 398,3 mg/L dengan baku mutu 100 mg/L. Untuk evaluasi kinerja lahan basah buatan, baik pada kompartemen pertama, kompartemen kedua, kompartemen ketiga didapatkan bahwa dari delapan parameter terdapat dua parameter yang belum memenuhi yaitu, nilai beban hidrolis yang sangat tinggi yang menyebabkan laju aliran terlalu cepat dan berakibat pada menurunnya atau berkurangnya waktu tinggal. **Kesimpulan.** Sehingga dilakukan perencanaan ulang dengan menggunakan dua kolam berupa aerasi-oksidasi menggunakan oksigen-kalium permanganat dan ekualisasi dengan pengolahan tiap parameter mencapai 70% TSS, 95% COD, 90% BOD, 90% Fe, dan 48,65% Mn.

Kata kunci: air asam tambang, unit lahan basah buatan, unit kolam lagoon, evaluasi unit pengolahan

## ABSTRACT

**CHRISTOBALT PUTRA YONANDA.** *Evaluation of the Acid Mine Drainage Water Treatment at PT X* (supervised by Roslinda Ibrahim)

**Background.** PT X in South Kalimantan, a company engaged in coal mining. During its operations, mining activities produce wastewater, which may include acid mine drainage. Acid mine drainage contains heavy metals that can be toxic if discharged directly into water bodies without prior treatment. Therefore, a treatment system, such as pond or lagoon and constructed wetlands, is necessary to reduce pollutant concentrations in wastewater before it is discharged, ensuring it meets the required environmental standards. **Objective.** This study aims to assess the efficiency of the wastewater treatment system and evaluate the suitability of the treatment in each compartment as a unified unit. **Method.** The research was conducted by testing wastewater with attention to eight parameters at four sampling points, which were used as reference data in determining the efficiency and suitability of the constructed wetland treatment unit's design. **Result.** Based on the efficiency analysis of the constructed wetland's performance, it was found that the unit is not yet efficient in removing pollutants from wastewater. Out of the eight parameters, two did not meet the applicable standards, with TSS reaching 523 mg/L against a standard of 200 mg/L, and COD reaching 398.3 mg/L against a standard of 100 mg/L. The performance evaluation of the constructed wetland, including the first, second, and third compartments, revealed that two parameters were not met: the hydraulic load, which was excessively high, causing a rapid flow rate and consequently reducing or shortening the retention time. **Conclusion.** Thus, a revised plan is implemented using two ponds: aeration-oxidation with oxygen and potassium permanganate, and equalization. The treatment aims to achieve removal efficiencies of 70% for TSS, 95% for COD, 90% for BOD, 90% for Fe, and 48.65% for Mn.

Keywords: acid mine drainage, constructed wetland unit, lagoon pond unit, treatment unit evaluation

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERNYATAAN PENGAJUAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA</b> .....	iv
<b>UCAPAN TERIMA KASIH</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR PERSAMAAN</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	3
1.6 Teori .....	3
<b>BAB II METODE PENELITIAN</b> .....	16
2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	16
2.2 Variabel Penelitian .....	16
2.3 Bahan Uji dan Alat .....	17
2.4 Teknik Pengumpulan Data.....	20
2.5 Teknik Analisis Data.....	24
2.6 Diagram Alir Penelitian.....	25
<b>BAB III ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....	26
3.1 Kondisi Unit Pengolahan.....	26
3.2 Kualitas Air Hasil Pengolahan.....	30
3.3 Efisiensi Pengolahan.....	42
3.4 Evaluasi Unit Pengolahan .....	48
3.5 Rekomendasi Unit Pengolahan .....	54
<b>BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	66
4.1 Kesimpulan.....	66
4.2 Saran.....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	68
<b>LAMPIRAN</b> .....	74

## DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Sifat fisika logam besi .....	8
2. Sifat kimia logam besi .....	9
3. Sifat fisika logam mangan.....	9
4. Sifat kimia logam mangan.....	10
5. Sifat fisika logam kadmium .....	10
6. Sifat kimia logam kadmium .....	11
7. Baku mutu air limbah kegiatan penambangan, pengolahan/pencucian batubara .....	12
8. Baku mutu air limbah pengolahan/pencucian batu bara.....	12
9. Baku mutu air limbah pertambangan batu bara dan lignit .....	13
10. Kriteria desain lahan basah buatan .....	14
11. Perbandingan luas kompartemen unit pengolahan .....	26
12. Perbandingan volume kompartemen unit pengolahan .....	26
13. Hasil pengujian parameter pH .....	30
14. Hasil pengujian parameter Fe .....	32
15. Hasil pengujian parameter Mn .....	33
16. Hasil pengujian parameter Cd .....	35
17. Hasil pengujian parameter BOD .....	36
18. Hasil pengujian parameter COD .....	38
19. Hasil pengujian parameter TSS .....	39
20. Hasil pengujian parameter kekeruhan .....	41
21. Efisiensi kompartemen satu hari pertama .....	42
22. Efisiensi kompartemen satu hari kedua .....	43
23. Efisiensi kompartemen satu hari ketiga .....	43
24. Efisiensi kompartemen satu secara rata-rata .....	44
25. Efisiensi kompartemen dua hari pertama .....	44
26. Efisiensi kompartemen dua hari kedua .....	44
27. Efisiensi kompartemen dua hari ketiga .....	45
28. Efisiensi kompartemen dua secara rata-rata .....	45
29. Efisiensi kompartemen tiga hari pertama.....	46
30. Efisiensi kompartemen tiga hari kedua .....	46
31. Efisiensi kompartemen tiga hari ketiga .....	47
32. Efisiensi kompartemen tiga secara rata-rata .....	47
33. Rekapitulasi pemenuhan baku mutu.....	48
34. Evaluasi kriteria desain kompartemen satu .....	49
35. Evaluasi efisiensi kompartemen satu.....	49
36. Evaluasi kriteria desain kompartemen dua .....	50
37. Evaluasi efisiensi kompartemen dua .....	51
38. Evaluasi kriteria desain kompartemen tiga .....	52
39. Evaluasi efisiensi kompartemen tiga.....	52

40. Data perencanaan unit rekomendasi .....	54
41. Data kontaminan per hari (konsentrasi x debit) .....	54
42. Perencanaan kolam satu .....	56
43. Perencanaan kolam dua .....	60
44. Rekapitulasi ukuran dan kebutuhan kolam satu .....	61
45. Rekapitulasi ukuran kolam dua .....	61
46. Mass balance dan efisiensi pengolahan kolam satu .....	64
47. Mass balance dan efisiensi pengolahan kolam dua .....	64

## DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Lokasi penelitian pada <i>settling pond</i> 08 PT X.....	16
2. Diagram alir penelitian .....	25
3. Perbandingan awal dan eksisting unit .....	27
4. Kondisi awal Pembangunan .....	27
5. Kondisi eksisting .....	28
6. Tampak atas bidang tiga dimensi unit .....	28
7. Potongan 1-1 bidang tiga dimensi unit.....	29
8. Potongan 2-2 bidang tiga dimensi unit.....	29
9. Potongan 3-3 bidang tiga dimensi unit.....	29
10. Potongan 4-4 bidang tiga dimensi unit .....	29
11. Potongan 5-5 bidang tiga dimensi unit .....	30
12. Grafik konsentrasi pH.....	31
13. Grafik perbandingan konsentrasi pH dengan baku mutu .....	31
14. Grafik konsentrasi Fe .....	32
15. Grafik perbandingan konsentrasi Fe dengan baku mutu .....	33
16. Grafik konsentrasi Mn .....	34
17. Grafik perbandingan konsentrasi Mn dengan baku mutu .....	34
18. Grafik konsentrasi Cd.....	35
19. Grafik perbandingan konsentrasi Cd dengan baku mutu .....	36
20. Hasil pengujian parameter BOD .....	37
21. Grafik perbandingan konsentrasi BOD dengan baku mutu .....	37
22. Grafik konsentrasi COD .....	38
23. Grafik perbandingan konsentras COD dengan baku mutu.....	39
24. Grafik konsentrasi TSS .....	40
25. Grafik perbandingan konsentrasi TSS dengan baku mutu .....	40
26. Grafik konsentrasi kekeruhan .....	41
27. Pengaruh pH dan waktu aerasi.....	55
28. Pompa JYSR-150 .....	58
29. <i>Disc diffuser system type ABS Sucoflow DS 20</i> .....	59
30. Tampak atas unit.....	62
31. Tampak atas miring unit.....	62
32. Potongan 1-1 A Unit.....	63
33. Potongan 1-1 B Unit.....	63
34. Potongan 2-2 A Unit.....	63
35. Potongan 2-2 B Unit.....	63
36. Potongan 3-3 A Unit.....	64
37. Potongan 3-3 B Unit.....	64

**DAFTAR PERSAMAAN**

Nomor urut	Halaman
1 .....	14
2 .....	15
3 .....	15
4 .....	15
5 .....	23
6 .....	23
7 .....	23
8 .....	42
9 .....	55
10 .....	55
11 .....	56
12 .....	56
13 .....	56
14 .....	57
15 .....	57
16 .....	57
17 .....	57
18 .....	57
19 .....	58
20 .....	58
21 .....	59
22 .....	59

**DAFTAR LAMPIRAN**

Nomor urut	Halaman
1. Perhitungan .....	74
2. Dokumentasi .....	78
3. Hasil Pengujian .....	84
4. Baku Mutu Acuan.....	88

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021, air limbah adalah air yang berasal dari suatu proses dalam suatu kegiatan sedangkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 80 Tahun 2019, air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Berdasarkan dari peraturan yang ada, air limbah dapat diartikan sebagai air yang berasal dari proses dalam suatu kegiatan atau sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang memiliki wujud cairan. Air limbah sendiri dapat dibagi menjadi air limbah yang berasal dari kegiatan domestik seperti kegiatan sehari-hari yang membutuhkan air dan yang berasal dari kegiatan non domestik seperti dari hasil kegiatan perindustrian. Salah kategori perindustrian yang menghasilkan air limbah adalah perindustrian pertambangan.

Mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2022, pertambangan merupakan sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka pengelolaan dan pengusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan/atau pemurnian atau pengembangan dan/atau pemanfaatan, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pascatambang. Berdasarkan dari peraturan yang sama, salah satu jenis pertambangan yang dimaksud adalah pertambangan batu bara.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2022, pertambangan batubara dapat diartikan sesuai dengan KBLI (Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia) sebagai kelompok yang mencakup usaha operasi pertambangan, pengeboran berbagai kualitas batu bara di permukaan tanah atau bawah tanah, termasuk pertambangan dengan cara pencairan (*liquefaction*). Operasi pertambangan tersebut meliputi penggalian, penghancuran, pencucian, penyaringan dan pencampuran serta pemadatan untuk meningkatkan kualitas atau memudahkan pengangkutan dan penyimpanan atau penampungan. Termasuk pencarian batu bara dari kumpulan tepung bara (*culm bank*).

Air limbah yang dihasilkan oleh pertambangan dapat berupa air limbah proses utama dan air limbah proses penunjang. Air limbah proses utama dapat berupa air limpasan; air limbah dari lubang tambang; dan air limbah dari proses pengolahan dan pemurnian, sedangkan untuk air limbah proses penunjang dapat berupa air limbah domestik dalam tambang. Dalam aturan yang sama disebutkan, air dalam lubang tambang yang merupakan air hujan dan air tanah yang masuk dapat menjadi penyebab terbentuknya air asam tambang.

Air asam tambang adalah istilah untuk menjelaskan polusi air permukaan di daerah pertambangan yang memiliki tingkat pH rendah dan kelarutan logam tinggi karena reaksi mineral, oksigen, dan air (Maharani dkk., 2019). Air asam tambang

yang terbentuk pada lubang tambang hasil galian dapat merusak lingkungan sekitar jika tidak dilakukan pengolahan terhadap air asam tambang tersebut sehingga semua air limbah yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan memiliki peraturan ataupun regulasi dalam pengolahannya.

Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 Tahun 2018 menyebutkan bahwa air asam tambang dapat dicegah dengan melakukan manajemen penempatan batuan penutup, pengkapsulan, pencampuran material yang bersifat basa, dll. Jika air asam tambang terbentuk sebelum dilakukan pencegahan, air asam tambang memerlukan kajian tersendiri dan beberapa bentuk pengolahan yang disesuaikan dengan kondisi lapangan yang ada seperti *open limestone channel* dan menggunakan lahan basah.

Hal tersebut sejalan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2022 yang menyebutkan secara singkat terkait pengolahan yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan standar teknologi pengolahan air limbah berupa lahan basah buatan yang harus memenuhi persyaratan berupa lokasi, fasilitas, dan pemantauan. Lahan basah buatan adalah ekosistem yang memiliki desain khusus untuk memurnikan air yang tercemar dengan mengoptimalkan proses fisika dan biokimia dengan melibatkan tanaman, mikroba, dan tanah yang tergenang air. Setelah air limbah melewati pengolahan yang dilakukan, air dapat dilepas kembali ke media lingkungan.

PT X merupakan salah satu perusahaan yang telah menerapkan teknologi pengolahan air limbah dengan cara lahan basah buatan. PT X merupakan pertambangan batubara yang telah berjalan sejak tahun 2014 dan saat ini sudah memiliki beberapa lahan basah buatan yang disesuaikan dengan lokasi pertambangan yang terus bergeser berdasar pada kondisi lapangan yang disesuaikan dengan ketersediaan batubara. Salah satu lahan basah buatan yang akan dilakukan evaluasi dan perbaikan kembali adalah lahan basah buatan dengan kode SP 08 atau *Settling Pond* 08. SP 08 merupakan lahan basah buatan yang telah digunakan dan beroperasi sejak 2022, tetapi dalam pengoperasian terjadi penurunan sehingga perlu perbaikan untuk mengoptimalkan operasi dari SP 08.

Berdasarkan uraian yang ada, untuk mengetahui bagaimana optimalisasi terhadap pengolahan air limbah tambang yang terjadi pada SP 08, maka perlu dilakukan penelitian dengan judul **“Evaluasi Sistem Pengolahan Air Asam Tambang PT X”**.

## 1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki rumusan masalah berupa.

1. Bagaimana efisiensi sistem pengolahan air limbah yang dilakukan pada *Settling Pond*?
2. Bagaimana kesesuaian sistem pengolahan air limbah yang diterapkan dengan peraturan yang berlaku?
3. Bagaimana penyesuaian yang dapat dilakukan jika terjadi ketidaksesuaian dengan peraturan yang berlaku?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan penelitian ini adalah.

1. Mengetahui efisiensi sistem pengolahan air limbah yang dilakukan pada *Settling Pond*.
2. Mengetahui kesesuaian sistem pengolahan air limbah pada *Settling Pond* yang diterapkan dengan peraturan yang berlaku.
3. Mengetahui penyesuaian yang dapat dilakukan jika terjadi ketidaksesuaian dengan peraturan yang berlaku.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bahan kajian dari evaluasi mengenai efisiensi pengolahan pada *Settling Pond* 08 dan *review design* teknologi pengolahan air limbah sebagai upaya optimalisasi kinerja teknologi pengolahan air limbah.

### 1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian ini adalah.

1. Lokasi penelitian berada di PT X di Kalimantan Selatan
2. Objek penelitian adalah efisiensi kinerja teknologi pengolahan air limbah *settling pond* 08 dan kesesuaian sistem berdasarkan peraturan yang berlaku.
3. Parameter yang diuji adalah pH, TSS, Fe, Mn, Cd, BOD, COD, dan kekeruhan.
4. Lokasi pengujian secara mandiri dilakukan di PT X dan di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin.
5. Lokasi pengujian pihak ketiga dilakukan di Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar.

### 1.6 Teori

#### 1.6.1 Pertambangan batubara

Jika ditinjau berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020, dijelaskan bahwa pertambangan dapat diartikan sebagai sebagian atau seluruh tahapan kegiatan dalam rangka, pengelolaan dan perusahaan mineral atau batubara yang meliputi penyelidikan umum, eksplorasi, studi kelayakan, konstruksi, penambangan, pengolahan dan/atau pemurnian atau pengembangan dan/atau pemanfaatan, pengangkutan dan penjualan, serta kegiatan pascatambang sedangkan menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) 2020, pertambangan dapat diartikan sebagai urusan (pekerjaan dan sebagainya) yang berkenaan dengan lombong (cebakan, parit, lubang di dalam tanah) tempat menggali (mengambil) hasil dari dalam bumi berupa bijih logam batu bara, dan sebagainya. Berdasarkan

peraturan yang sama, batubara diartikan sebagai endapan senyawa organik karbonan yang terbentuk secara alamiah dari sisa tumbuh-tumbuhan.

Menggunakan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2020, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 80 Tahun 2019, dan Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI) 2020 sebagai bahan acuan, pertambangan batubara dapat diartikan sebagai aktivitas ekstraksi atau pengambilan batu bara dari endapan karbon di dalam bumi, termasuk bitumen padat, gambut, dan batuan aspal. Proses ini melibatkan pengeboran baik di permukaan tanah maupun bawah tanah untuk mengambil batu bara dengan berbagai kualitas seperti *anthracite* (kandungan karbon tertinggi), *bituminous* (kandungan karbon menengah atau paling umum), dan *subbituminous* (kandungan karbon terendah). Selain itu, kegiatan pertambangan juga mencakup serangkaian kegiatan tahapan proses yang termasuk di dalamnya adalah kegiatan pengolahan batubara dan kegiatan pencucian batubara.

### 1.6.2 Air limbah

Air limbah adalah bahan atau sisa dari kegiatan yang tak terpakai dan membawa dampak negatif pada lingkungan dan masyarakat bila tidak mendapat penanganan yang baik dan sesuai. Berdasarkan sumbernya, air limbah dapat dibagi menjadi air limbah domestik dan air limbah non domestik. Air limbah domestik merupakan sisa hasil buangan yang berasal dari kegiatan rumah tangga dari aktivitas manusia baik *grey water*, *black water* dan kegiatan rumah tangga lainnya. (Tunggu Jama & Suryo Pambudi, 2023). Sedangkan air limbah non domestik atau air limbah industri merupakan bahan yang dihasilkan dari kegiatan atau proses pada industri, manufaktur, perdagangan, pengembangan atau pemulihan sumber daya alam yang menyebabkan atau menjadi sumber dari pencemar air mencakup berbagai jenis kontaminan, termasuk bahan kimia berbahaya, logam berat, minyak dan lemak, serta bahan organik dan anorganik lainnya (Aditia, 2020).

Air limbah memiliki karakteristik yang bervariasi tergantung pada sumbernya, yang dapat dikelompokkan menjadi sifat fisik, kimia, dan biologi. Secara fisik, air limbah dapat memiliki padatan yang tersuspensi, tingkat kekeruhan, bau yang mungkin tidak sedap, suhu yang berbeda, dan warna yang bervariasi. Sifat-sifat ini dapat mempengaruhi kualitas air dan memerlukan penanganan yang sesuai. Dari segi kimia, air limbah dapat mengandung oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) yang penting untuk kehidupan akuatik, serta indikator lain seperti kebutuhan oksigen biologi (BOD) dan kebutuhan oksigen kimiawi (COD). BOD mengukur jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air, sementara COD mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan kimia. Selain itu, sifat kimia juga mencakup derajat keasaman (pH), alkalinitas, serta kandungan lemak, minyak, klorida, dan fosfat. Di sisi biologis, air limbah mengandung mikroorganisme yang dapat mempengaruhi kualitas dan potensi pencemarannya. Pemahaman mendalam tentang sifat-sifat ini penting untuk

merancang sistem pengolahan yang efektif dan memastikan dampak lingkungan yang minimal. (Kadir, 2022).

Berdasarkan Tunggu Jama & Suryo Pambudi (2023), air limbah merupakan bahan atau sisa hasil kegiatan yang tidak terpakai yang dapat membawa dampak negatif terhadap lingkungan maupun masyarakat apabila tidak ditangani dengan baik atau dapat juga diartikan berdasarkan Andika dkk. (2020) sebagai air buangan yang dihasilkan dari pemakaian air dari berbagai aktivitas dan proses produksi yang berpotensi memberikan dampak pencemaran lingkungan. Salah satu jenis air limbah yang jika dikategorikan berdasarkan sumber kegiatannya adalah air limbah non domestik. Air limbah non domestik merupakan air limbah yang tidak berasal dari kegiatan rumah tangga atau kegiatan domestik seperti kegiatan perindustrian. Hal tersebut sesuai seperti yang dinyatakan oleh Aditia (2020) yang menyatakan bahwa air limbah non domestik atau industri berasal dari bahan bersifat cair, gas, padat atau bahan sisa atau kombinasi dari bahan tersebut yang dihasilkan dari proses kegiatan industri, manufaktur, perdagangan, pengembangan atau pemulihan sumber daya alam yang dapat menyebabkan sumber pencemar air. Meskipun secara umum, komposisi pencemar air limbah domestik dan air limbah non domestik tidak berbeda jauh, terdapat perbedaan signifikan dalam kandungannya, tergantung pada jenis kegiatan industri yang menjadi sumber air limbah non-domestik tersebut.

### 1.6.3 Air limbah industri

Berdasarkan (Said, 2017), air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis industrinya. Untuk mengetahui jumlah serta beban polutan yang ada di dalam air limbah industri dapat dilakukan dengan cara pengukuran langsung atau dapat juga diperkirakan berdasarkan pada jenis industri yang sejenis. Sejalan dengan kemajuan teknologi, industri kian hari kian berkembang pesat. Industri-industri tersebut selain menghasilkan produk yang bermanfaat, juga menghasilkan produk samping berupa limbah yang berbahaya dan beracun. Limbah beracun yang dihasilkan industri antara lain dapat berupa logam berat. Limbah logam berat (*heavy metal*) termasuk golongan limbah B3. Limbah yang mengandung logam berat adalah isu lingkungan yang menjadi perhatian banyak pihak, terutama bagi industri-industri di tanah air. Masalah limbah logam berat sangat serius diperhatikan mengingat dampak yang ditimbulkannya begitu nyata bagi kehidupan makhluk hidup, termasuk manusia.

Berdasarkan karakteristiknya, air limbah industri secara garis besar dapat dibagi menjadi beberapa kelompok.

- Air limbah industri yang mengandung zat organik berbahaya beracun, misalnya industri penyamakan kulit, industri barang dengan bahan baku kulit, industri besi baja, industri kimia insektisida, herbisida dll.
- Air limbah industri yang mengandung zat anorganik umum, misalnya industri kimia seperti industri pupuk anorganik, industri kimia anorganik, pencucian pada industri logam, industri keramik, dll.

- Air limbah industri yang mengandung zat anorganik berbahaya beracun, misalnya industri pelapisan logam (*elektroplating*), industri baterai, dll.
- Air limbah industri yang mengandung konsentrasi zat organik yang relatif tinggi, misalnya industri makanan, industri kimia, industri minyak nabati atau hewani, industri obat-obatan, industri lem atau perekat gelatin, industri tekstil, industri pulp dan kertas.
- Air limbah industri yang mengandung konsentrasi zat organik relatif rendah, misalnya industri pengemasan makanan, industri pemintalan, industri serat, industri kimia, industri minyak, industri batu bara, industri laundry, dll.

#### 1.6.4 Air limbah asam tambang

Pertambangan batubara adalah salah satu perindustrian yang masuk dalam kategori sebagai penghasil air limbah non domestik yang memiliki zat pencemar yang menjadi pembeda dari limbah domestik, umumnya seperti kandungan logam berat terlarut dengan tingkat keasaman tinggi yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas air (Suryani dkk., 2022). Sesuai dengan definisi dari kegiatan pertambangan sendiri, penggalian yang menyebabkan terbentuknya kubangan atau lubang yang memiliki ukuran maksimal 20% dari luas izin usaha pertambangan berdasarkan Peraturan Menteri Negeri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 04 Tahun 2012 dan menjadi salah satu penyebab terjadinya pencemaran di sekitar lingkungan tambang jika tidak dilakukan penutupan dan peninjauan kembali pada daerah yang dilakukan penggalian. Hal tersebut disebabkan karena potensi air asam tambang dapat berasal dari beberapa sumber yang merupakan hasil kegiatan penambangan, seperti penimbunan (*bijih/ore*, *medium/low-grade*, limbah batuan/*waste*), batuan sisa pemrosesan (*tailing*), dan daerah terbuka dan dinding tambang (*pitwall*) pada lubang galian tambang yang terdapat kandungan logam-logam berat dan berkadar sulfat yang tinggi menyebabkan batuan sekitarnya yang mengakibatkan defisiensi oksigen, sehingga ketika terjadi hujan, air hujan yang masuk akan terkumpul pada lubang galian tersebut dan menjadi penyebab terbentuknya air asam tambang (Mamede & Sennahati, 2023).

Dalam (Said, 2017), tipe air tambang merupakan hasil dari reaksi kimia yang menghasilkan berbagai macam spesies senyawa kimia yang mengalami degradasi secara alami dan mengakibatkan ditemukannya berbagai macam tipe atau bentuk senyawa air tambang tersebut. Air asam tambang adalah air bersifat asam dan mengandung zat besi dan sulfat, yang terbentuk pada kondisi alami pada saat strata geologi yang mengandung pirit terpapar ke atmosfer atau lingkungan yang bersifat oksidasi. Air asam tambang dapat terbentuk dari tambang batubara, baik pada pertambangan permukaan maupun pertambangan bawah tanah. Air tambang alkali (*alkaline mine drainage*) adalah air tambang yang mempunyai tingkat keasaman (pH) 6 atau lebih, mengandung alkalinitas tetapi masih mengandung logam terlarut yang dapat menghasilkan asam. Kualitas air tambang, asam atau alkali, bergantung pada ada atau tidaknya kandungan mineral asam (sulfida) dan material alkali (material karbonat) di dalam strata geologi. Umumnya material yang banyak mengandung

sulfida dan mengandung sedikit material alkali cenderung membentuk air asam tambang. Sebaliknya material yang banyak mengandung alkali, walaupun mengandung material sulfida dengan konsentrasi yang banyak, sering menghasilkan air alkali (*net alkaline water*). Air tambang dapat dikelompokkan ke dalam 5 tipe.

- Air tambang tipe 1, dikenal sebagai air asam tambang (*acid mine drainage* atau AMD), memiliki pH < 4.5, dengan kandungan Fe, Al, Mn, logam lainnya, asam (H<sup>+</sup>), dan oksigen tinggi. AMD juga merujuk pada air dengan pH < 6 yang memiliki keasaman bersih, di mana keasamannya melebihi alkalinitasnya.
- Air tambang tipe 2 memiliki kandungan zat padat terlarut tinggi, terutama besi ferro dan Mn, dengan sedikit atau tanpa oksigen, dan pH > 6. Jika teroksidasi, pH-nya bisa turun drastis, mengubahnya menjadi air tambang tipe 1.
- Air tambang tipe 3, disebut air tambang alkali, mengandung zat padat terlarut sedang hingga tinggi, dengan besi ferro dan Mn berkonstentrasi rendah hingga sedang, pH > 6, serta alkalinitas lebih besar dari keasaman. Oksidasi menghasilkan asam yang dinetralkan oleh senyawa alkali dalam air.
- Air tambang tipe 4 adalah air asam tambang yang dinetralkan hingga pH > 6 dengan partikel tersuspensi tinggi. Pengendapan hidroksida logam belum terjadi, namun partikel akan mengendap dengan waktu tinggal yang cukup di kolam.
- Air tambang tipe 5 adalah air asam tambang yang dinetralkan hingga pH > 6 dan mengandung zat padat terlarut tinggi. Setelah hidroksida logam mengendap, kation utama yang tersisa adalah kalsium (Ca) dan magnesium (Mg), serta anion seperti bikarbonat dan sulfat. Jika netralisasi kekurangan alkalinitas, air tambang tipe 5 tidak terbentuk.

### 1.6.5 Karakteristik air asam tambang

Air asam tambang batubara ditandai oleh pH rendah akibat tingginya konsentrasi asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dan ion sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), yang dihasilkan dari oksidasi mineral sulfida seperti pirit (FeS<sub>2</sub>) dalam lapisan batu bara. Selain itu, pH rendah ini menyebabkan pelepasan logam berat seperti besi (Fe), mangan (Mn), dan kadmium (Cd) ke dalam air, meningkatkan potensi toksisitasnya. Air asam tambang sering mengandung sedimen dan partikel tersuspensi yang menyebabkan kekeruhan dan pewarnaan pada air, yang mempengaruhi kualitas air serta ekosistem di sekitarnya ((Dyestiana dkk., 2023)). Logam berat yang ditemukan dalam air asam tambang terbagi dalam dua kategori utama: logam beracun dan logam vital. Logam beracun, seperti kadmium (Cd) dan timbal (Pb), bahkan dalam konsentrasi rendah, sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan ekosistem. Sementara itu, logam vital seperti besi (Fe) dan seng (Zn) diperlukan dalam jumlah kecil untuk proses biologis, tetapi pada konsentrasi tinggi juga dapat menjadi beracun ((Abdel-Rahman, 2022)). Dampak negatif dari logam berat ini mencakup kerusakan organisme perairan, degradasi habitat, dan potensi bioakumulasi di rantai makanan, yang dapat berdampak pada kesehatan manusia. Oleh karena itu, pengelolaan air asam tambang sangat penting untuk melindungi lingkungan dan kesehatan masyarakat.

### 1. Derajat keasaman

Derajat keasaman atau pH digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Yang dimaksudkan keasaman adalah konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ) dalam pelarut air. Nilai pH berkisar dari 0 hingga 14. Suatu larutan dikatakan netral apabila memiliki nilai  $pH=7$ . Nilai  $pH>7$  menunjukkan larutan memiliki sifat basa, sedangkan nilai  $pH<7$  memiliki sifat asam. Nilai pH 7 dinyatakan netral karena pada air murni ion  $H^+$  terlarut dan ion  $OH^-$  terlarut sebagai tanda kebasaan berada pada jumlah yang sama, yaitu  $10^{-7}$  pada kesetimbangan (Syahminan, 2020).

### 2. Logam berat fe

Besi adalah salah satu unsur paling melimpah di kerak bumi dan sering ditemukan dalam berbagai jenis batuan, termasuk batuan sedimen, metamorf, dan batuan beku. Dalam kegiatan penambangan, besi sering ditemukan dalam bentuk oksida seperti hematit ( $Fe_2O_3$ ) dan magnetit ( $Fe_3O_4$ ). Ketika batuan yang mengandung besi terekspos pada udara dan air selama proses penambangan, besi yang ada dalam batuan bisa teroksidasi dan larut ke dalam air, terutama jika air tersebut bersifat asam (misalnya, air asam tambang). Proses ini terjadi ketika batuan sulfida seperti pirit ( $FeS_2$ ) teroksidasi dan melepaskan besi dan asam sulfat ke lingkungan. Logam berat besi (Fe) dalam air asam tambang sering hadir dalam konsentrasi tinggi karena proses oksidasi mineral sulfida yang ada di dalam batuan tambang. Besi dapat berkontribusi pada keasaman air dan membentuk endapan ketika terjadi perubahan pH, menyebabkan air menjadi keruh dan berwarna merah-coklat (Imani dkk., 2021). Pada Tabel 1 terdapat sifat fisika dan pada Tabel 2 terdapat sifat kimia.

**Tabel 1. Sifat fisika logam besi**

Sifat Fisika	Besi (Fe)
Lambang	Fe
Nomor Atom	26
Golongan	8
Periode	4
Penampilan	Logam abu-abu keperakan
Massa Atom	55.845 u
Fasa (Keadaan)	Padat
Massa Jenis	7.87 g/cm <sup>3</sup>
Titik Lebur	1538°C
Titik Didih	2862°C
Kepadatan	7.87 g/cm <sup>3</sup>
Kapasitas Kalor	0.449 J/g·K

Sumber: Pradita (2018)

**Tabel 2. Sifat kimia logam besi**

Sifat Kimia	Besi (Fe)
Konfigurasi Elektron	[Ar] 3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup>
Isotop	54Fe, 56Fe, 57Fe, 58Fe
Energi Ionisasi Pertama	762.5 kJ/mol
Energi Ionisasi Kedua	1561.9 kJ/mol
Energi Ionisasi Ketiga	2957 kJ/mol
Reaktivitas	Reaktif terhadap air dan asam kuat
Kecenderungan Membentuk Oksida	Membentuk FeO dan Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Potensial Reduksi	-0.44 V (Fe <sup>2+</sup> /Fe)

Sumber: Pradita (2018)

### 3. Logam berat mn

Mangan adalah elemen yang umum di kerak bumi, sering ditemukan bersama besi. Mineral mangan yang banyak dijumpai meliputi pirolusit (MnO<sub>2</sub>) dan rhodochrosite (MnCO<sub>3</sub>), dengan keberadaan utama dalam batuan sedimen dan beberapa batuan beku, terkonsentrasi di lapisan tanah atas. Selama penambangan, seperti pada batubara dan bijih besi, mangan dari batuan atau tanah dapat larut ke dalam air tambang, khususnya dalam kondisi asam. Mangan (Mn) di air asam tambang umumnya berbentuk manganous (Mn<sup>2+</sup>), yang lebih stabil pada pH tinggi dibanding bentuk teroksidasi lainnya ((Prihatini dkk., 2020)). Selain itu, konsentrasi mangan yang tinggi dapat meningkatkan potensi toksisitas air, mempengaruhi kualitas lingkungan sekitar. Sifat fisika mangan tercantum di Tabel 3, sementara sifat kimia di Tabel 4.

**Tabel 3. Sifat fisika logam mangan**

Sifat Fisika	Mangan (Mn)
Lambang	Mn
Nomor Atom	25
Golongan	7
Periode	4
Penampilan	Logam abu-abu
Massa Atom	54.938 u
Fasa (Keadaan)	Padat
Massa Jenis	7.21 g/cm <sup>3</sup>
Titik Lebur	1246°C
Titik Didih	2061°C
Kepadatan	7.21 g/cm <sup>3</sup>
Kapasitas Kalor	0.479 J/g·K

Sumber: Pradita (2018)

**Tabel 4. Sifat kimia logam mangan**

Sifat Kimia	Mangan (Mn)
Konfigurasi Elektron	[Ar] 3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>
Isotop	53Mn, 55Mn
Energi Ionisasi Pertama	717.3 kJ/mol
Energi Ionisasi Kedua	1509 kJ/mol
Energi Ionisasi Ketiga	3248 kJ/mol
Reaktivitas	Reaktif dengan oksigen dan air
Kecenderungan Membentuk Oksida	Membentuk MnO <sub>2</sub> dan Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Potensial Reduksi	-1.18 V (Mn <sup>2+</sup> /Mn)

Sumber: Pradita (2018)

#### 4. Logam berat cd

Kadmium dapat terbentuk sebagai produk sampingan dari proses pelapukan mineral yang mengandung seng, tembaga, dan timah. Kadmium dapat muncul dalam air limbah tambang sebagai hasil dari pelapukan batuan yang mengandung mineral sulfida seperti sphalerit. Saat batuan ini digali dan terekspos pada lingkungan selama penambangan, kadmium yang terikat dalam mineral dapat larut dan terbawa ke dalam air tambang, terutama di lingkungan yang bersifat asam. Kadmium juga bisa ada sebagai kontaminan di dalam lapisan tanah atau batuan yang berada di dekat zona penambangan. Logam berat kadmium (Cd) adalah salah satu logam berat yang sangat beracun dan berbahaya bagi kesehatan manusia serta lingkungan. Dalam konteks air asam tambang, kadmium dapat larut ke dalam air akibat proses pelapukan mineral sulfida yang mengandung Cd (Imani dkk., 2021). Pada Tabel 5 terdapat sifat fisika dan pada Tabel 6 terdapat sifat kimia.

**Tabel 5. Sifat fisika logam kadmium**

Sifat Fisika	Kadmium (Cd)
Lambang	Cd
Nomor Atom	48
Golongan	12
Periode	5
Penampilan	Logam putih keperakan
Massa Atom	112.414 u
Fasa (Keadaan)	Padat
Massa Jenis	8.65 g/cm <sup>3</sup>
Titik Lebur	321°C
Titik Didih	767°C
Kepadatan	8.65 g/cm <sup>3</sup>
Kapasitas Kalor	0.232 J/g·K

Sumber: Pradita (2018)

**Tabel 6. Sifat kimia logam kadmium**

Sifat Kimia	Kadmium (Cd)
Konfigurasi Elektron	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>
Isotop	106Cd, 108Cd, 110Cd
Energi Ionisasi Pertama	867.8 kJ/mol
Energi Ionisasi Kedua	1631.4 kJ/mol
Energi Ionisasi Ketiga	3616 kJ/mol
Reaktivitas	Kurang reaktif, lebih mudah pasif
Kecenderungan Membentuk Oksida	Membentuk CdO saat dipanaskan
Potensial Reduksi	-0.40 V (Cd <sup>2+</sup> /Cd)

Sumber: Pradita (2018)

#### 5. Kebutuhan oksigen biologi

Kebutuhan oksigen biologi adalah jumlah oksigen yang terlarut dalam air (mg/l) yang diperlukan selama stabilisasi dari bahan organik yang dapat berdekomposisi (mengurai) oleh kegiatan bakteri aerob. Makin tinggi BOD makin tinggi pula oksigen yang diperlukan untuk merombak bahan organik secara biokimia (dalam suasana aerob), yang berarti menunjukkan banyaknya (tingginya konsentrasi) pencemar organik didalam air perlu diketahui bahwa tidak semua bahan organik dapat terurai oleh mikro (Sumangando dkk., 2022).

#### 6. Kebutuhan oksigen kimiawi

Kebutuhan oksigen kimiawi adalah jumlah oksigen yang digunakan untuk mendegradasi bahan organik yang terkandung di dalam air melalui proses kimiawi. Besarnya angka COD tersebut menunjukkan bahwa keberadaan zat organik di air berada dalam jumlah yang besar. Organik-organik tersebut mengubah oksigen menjadi karbondioksida dan air sehingga perairan akan mengalami kekurangan oksigen. Peningkatan COD akan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air (Saputri dkk., 2023).

#### 7. Padatan tersuspensi

Padatan tersuspensi adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat langsung mengendap, terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, dan sebagainya (Sumangando dkk., 2022).

#### 8. Kekeruhan

Kekeruhan adalah ukuran sejauh mana air kehilangan transparansinya karena adanya partikel tersuspensi. Kekeruhan tinggi biasanya menunjukkan adanya padatan tersuspensi seperti tanah liat, lumpur, mikroorganisme, atau partikel organik yang terlarut dalam air. Kekeruhan dalam air asam tambang sering dikaitkan dengan partikel logam dan sedimen yang tersuspensi akibat aktivitas penambangan (Imani dkk., 2021).

### 1.6.6 Baku mutu air asam tambang

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, mutu air didefinisikan sebagai ukuran kondisi air pada waktu dan tempat tertentu yang diukur dan/atau diuji menggunakan parameter dan metode yang sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Dengan demikian, baku mutu air menjadi batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada, serta unsur pencemar yang dapat ditoleransi keberadaannya dalam air. Secara khusus, baku mutu air limbah merujuk pada batas atau kadar unsur pencemar yang dapat diterima dan/atau jumlah unsur pencemar yang diperbolehkan ada dalam air limbah sebelum dibuang atau dilepas ke dalam media air dan tanah. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa kualitas air yang dibuang dari suatu usaha atau kegiatan tidak mencemari lingkungan secara berlebihan. Untuk sektor pertambangan, baku mutu air limbah yang digunakan diatur sesuai dengan peraturan yang berlaku, seperti yang tercantum dalam Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan Nomor 036 Tahun 2008, Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003, serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2022. Aturan-aturan tersebut menetapkan standar yang harus dipatuhi oleh industri pertambangan agar limbah yang dihasilkan tidak merusak kualitas air di sekitar area operasi. Penerapan baku mutu air limbah ini penting untuk melindungi ekosistem perairan, menjaga kesehatan manusia, serta mencegah kerusakan lingkungan yang lebih luas akibat polusi air.

**Tabel 7. Baku mutu air limbah kegiatan penambangan, pengolahan/pencucian batubara**

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	mg/L	6-9
Residu Tersuspensi	mg/L	200
Besi (Fe) Total	mg/L	7
Mangan (Mn) Total	mg/L	4
Kadmium (Cd)	mg/L	0.05

Sumber: Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan Nomor 036 Tahun 2008

**Tabel 8. Baku mutu air limbah pengolahan/pencucian batu bara**

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	mg/L	6-9
Residu Tersuspensi	mg/L	200
Besi (Fe) Total	mg/L	7
Mangan (Mn) Total	mg/L	4

Sumber: Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003

**Tabel 9. Baku mutu air limbah pertambangan batu bara dan lignit**

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum	
		Penambangan	Pengolahan
Derajat Keasaman (pH)	mg/L	6-9	6-9
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/L	400	200
Besi (Fe) Total	mg/L	7	7
Mangan (Mn) Total	mg/L	4	4
Kebutuhan Oksigen Biokimiawi (BOD)	mg/L	30	30
Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD)	mg/L	100	100

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2022

### 1.6.7 Pengolahan kolam lagoon

Dalam (Said, 2017) dijelaskan bahwa di dalam proses pengolahan air limbah secara biologis, selain proses dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*) dan proses dengan biakan melekat (*attached culture*), proses lain yang sering digunakan adalah *pond* (kolam) dan lagoon. Pond atau kolam air limbah sering juga disebut kolam stabilisasi (*stabilization pond*) atau kolam oksidasi (*oxidation pond*). Lagoon untuk air limbah biasanya terdiri dari kolam dari tanah yang luas, dangkal atau tidak terlalu dalam di mana air limbah dimasukkan ke dalam kolam tersebut dengan waktu tinggal yang cukup lama agar terjadi pemurnian secara biologis alami sesuai dengan derajat pengolahan yang ditentukan. Terdapat empat jenis kolam lagoon yang dapat digunakan, yaitu.

1. Kolam dangkal, atau kolam aerobik, mempertahankan kondisi aerobik pada semua kedalaman air dan sering digunakan sebagai pengolahan tambahan atau tersier.
2. Kolam dalam, atau kolam anaerobik, memiliki kondisi anaerobik kecuali pada lapisan permukaan tipis dan digunakan untuk pengolahan awal limbah organik yang kuat, yang kemudian harus diikuti dengan proses aerobik.
3. Kolam fakultatif memiliki zona aerobik di lapisan atas dan zona anaerobik di dasar kolam, sering digunakan untuk pengolahan air limbah domestik.
4. Lagoon aerobik dicapai dengan pencampuran dan aerasi penuh sehingga seluruh air limbah dan padatan tersuspensi tercampur rata.
5. Lagoon fakultatif dicapai dengan pencampuran dan aerasi sebagian, dengan padatan yang mengendap di dasar untuk proses anaerobik.

### 1.6.8 Pengolahan lahan basah buatan

Lahan basah buatan adalah suatu sistem pengolahan air limbah yang murah, mudah dioperasikan dan dirawat serta berkelanjutan sehingga cocok untuk daerah tropis dan negara berkembang seperti Indonesia. Lahan basah buatan adalah sistem yang dikembangkan untuk mengolah limbah cair yang meniru proses alami lahan basah dengan melibatkan vegetasi, tanah, dan mikroorganisme (Prihatini dkk., 2020). Ada dua tipe utama dari sistem ini, yaitu sistem aliran permukaan (*Surface Flow*

*Constructed Wetland*) atau FWS dan sistem aliran bawah permukaan (*Sub-Surface Flow Constructed Wetland*) atau SSF. Pada sistem FWS, air limbah mengalir di atas permukaan media lahan basah, memungkinkan kontak langsung antara air, vegetasi, dan atmosfer. Sebaliknya, dalam sistem SSF, air limbah mengalir melalui media substrat di bawah permukaan, sehingga air tidak terlihat dan tidak bersentuhan langsung dengan atmosfer. Perbedaan utama antara keduanya terletak pada jalur aliran air dan tingkat kontak air dengan udara, yang mempengaruhi efisiensi pengolahan serta tipe polutan yang dapat diolah (Mardhiati dkk., 2021). Contoh vegetasi yang digunakan adalah dengan menggunakan kangkung air (*Ipomoea aquatica*) dan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) yang masing-masing dapat menurunkan kadar Fe mencapai 90% dan Mn mencapai 70% (Hasani dkk., 2021 dan Hanafiah dkk., 2020)

### 1.6.9 Kriteria desain lahan basah buatan

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2022, kriteria desain yang digunakan adalah kriteria desain untuk sistem lahan basah buatan terdiri dari waktu tinggal hidrolis, kedalaman kolam, geometri kolam (panjang dan lebar), BOD *loading rate* dan *hydraulic loading rate* dan luas area.

**Tabel 10. Kriteria desain lahan basah buatan**

Parameter Desain	Satuan	Nilai
Waktu Tinggal	Hari	5-14
Kedalaman Air	m	0,1-0,5
BOD <i>Loading Rate</i>	g/m <sup>2</sup> .hari	< 8
<i>Hydraulic Loading Rate</i>	mm/hari	7-60
<i>Metal Loading Rate</i> (Fe)	g/m <sup>2</sup> .hari	< 10
<i>Metal Loading Rate</i> (Mn)	g/m <sup>2</sup> .hari	< 0,5
<i>Metal Loading Rate</i> (Cd)	g/m <sup>2</sup> .hari	< 0,01
<i>Solid Loading Rate</i>	g/m <sup>2</sup> .hari	< 200
Rasio (Pj : Lb)		2:1 – 10:1
Frekuensi Panen	Tahun	3-5

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2022

Dalam melakukan pengecekan kesesuaian digunakan rumus atau persamaan perhitungan setiap parameter desain.

#### 1. Beban Hidrolik

Beban hidrolik atau *hydraulic loading* adalah jumlah air limbah yang diolah per satuan luas permukaan media per hari.

$$HLR = \frac{Q}{A_s} \dots\dots\dots \text{Persamaan 1}$$

Keterangan:

HLR = Beban hidrolik (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari)      A<sub>s</sub> = Luas permukaan kolam (m<sup>2</sup>)

Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

## 2. Beban Logam

Beban logam atau *metal loading* digunakan untuk mendesain luas permukaan kolam yang didasarkan pada banyaknya beban logam yang masuk setiap hari ke dalam kolam tersebut setiap hari.

$$MLR = Q \times \frac{\text{Logam}}{A_s} \dots\dots\dots \text{Persamaan 2}$$

Keterangan:

MLR = Beban logam (kgSS/m<sup>2</sup>.hari)

Logam = Beban logam (kgLogam/m<sup>3</sup>)

Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

As = Luas permukaan kolam (m<sup>2</sup>)

## 3. Beban Organik

Beban organik atau *organic loading* digunakan untuk mendesain luas permukaan kolam yang didasarkan pada banyaknya beban pencemar organik yang masuk setiap hari ke dalam kolam tersebut setiap hari.

$$OLR = Q \times \frac{BOD}{A_s} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3}$$

Keterangan:

OLR = Beban organik (gBOD/m<sup>2</sup>.hari)

BOD = Beban organik (gBOD/m<sup>3</sup>)

Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

As = Luas permukaan kolam (m<sup>2</sup>)

## 4. Beban Solid

Beban solid atau *solid loading* digunakan untuk mendesain luasan bak pengendap yang didasarkan pada kecepatan digunakan untuk mendesain luas permukaan bak pengendap yg didasarkan pada kecepatan pengendapan partikel flokulen.

$$SLR = Q \times \frac{SS}{A_s} \dots\dots\dots \text{Persamaan 4}$$

Keterangan:

SLR = Beban solid (gSS/m<sup>2</sup>.hari)

SS = Beban solid (gSS/m<sup>3</sup>)

Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

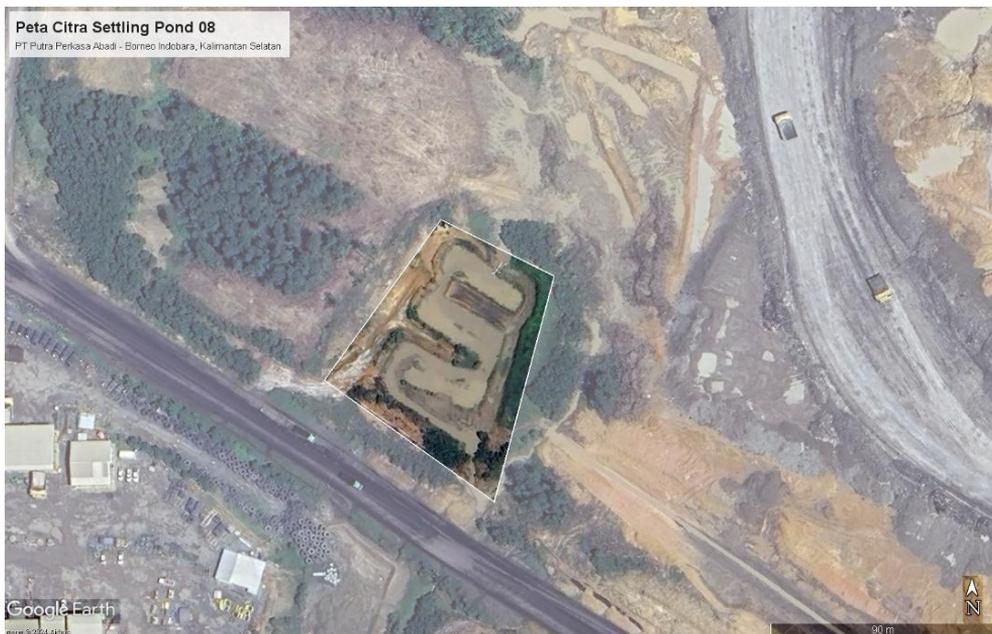
As = Luas permukaan kolam (m<sup>2</sup>)

## BAB II METODE PENELITIAN

### 2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian yang dilakukan dengan jangka waktu empat bulan yang dimulai dari bulan Mei hingga Agustus 2024. Penelitian diawali dengan observasi dan penentuan lokasi, pengambilan data dengan melakukan *sampling* dan pengujian, hingga melakukan perbandingan dengan regulasi atau peraturan yang berlaku terkait pengolahan air limbah tambang.

Pengambilan sampel dilakukan di salah satu pengolahan air limbah tambang dengan kode *Settling Pond* 08 pada PT X yang berlokasi di Provinsi Kalimantan Selatan. Setelah dilakukan pengambilan sampel, dilakukan pengujian parameter pH, TSS, dan kekeruhan secara langsung pada PT X Kalimantan Selatan, sedangkan pengujian parameter Fe, Mn, dan Cd dilakukan pada pihak ketiga melalui Balai Besar Laboratorium Kesehatan Masyarakat Makassar.



**Gambar 1. Lokasi penelitian pada *settling pond* 08 PT X**

Sumber: *Google Earth*, 2024

### 2.2 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah parameter derajat keasaman atau *power of hydrogen* (pH), parameter total padatan tersuspensi atau *total suspended solid* (TSS), kadar kandungan besi (Fe), kadar kandungan mangan (Mn), kadar kandungan kadmium (Cd), parameter kebutuhan oksigen biologis (KOB) atau

*biological oxygen demand* (BOD), parameter kebutuhan oksigen kimia (KOK) atau *chemical oxygen demand* (COD), dan parameter kekeruhan. Pemilihan variabel penelitian untuk logam berat didasarkan pada jenis batuan yang masing-masing mengandung jenis logam terkait seperti pada Said (2017) dan Solihin & Wibawa (2018) untuk unsur besi seperti pirit ( $\text{FeS}_2$ ) dan markasit ( $\text{FeS}_2$ ) dan jenis batuan yang mengandung mangan seperti pirolusit ( $\text{MnO}_2$ ) dan rhodochrosite ( $\text{MnCO}_3$ ). Sedangkan untuk kadmium, karena kadmium jarang muncul sebagai batuan murni, dalam Istarani & Pandebesie (2014) kadmium dapat hadir sebagai pengotor atau terikat dengan batuan mineral lain karena kondisi geologis dan terperangkap pada mineral seperti pada otavite ( $\text{CdCO}_3$ ) dan xanthochroite ( $\text{CdS}$ ). Selain itu, diperkuat juga oleh baku mutu pertambangan batubara yang berlaku dan disesuaikan dengan Peraturan Gubernur Kalimantan Selatan Nomor 036 Tahun 2008, Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003, dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2022.

Sumber air limbah yang masuk ke dalam unit pengolahan atau dalam hal ini adalah sebagai sampel penelitian yang dianalisis dalam penelitian ini berasal dari air hujan yang telah berinteraksi dengan batuan mineral hasil kegiatan pertambangan berupa kegiatan penggalian dan kegiatan pengangkutan. Air limbah tersebut terdiri dari air hujan yang terakumulasi dan menggenang di area lubang galian yang sebagian telah meluap akibat kapasitas tampung lubang galian yang sudah penuh serta air hujan yang langsung bereaksi dengan material hasil galian yang diangkut oleh kendaraan operasional. Kedua jenis air limbah ini mengalir menuju unit pengolahan, sehingga menjadi sampel utama dalam penelitian ini.

### 2.3 Bahan Uji dan Alat

Penelitian yang dilakukan disesuaikan dengan standar pengujian yang berlaku baik berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), regulasi, maupun acuan referensi.

#### 1. Pengujian parameter derajat keasaman (pH)

Acuan : SNI 6989.11:2019 Tentang Air Dan Air Limbah – Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (pH) Dengan Menggunakan pH Meter

Alat : 1. pH meter  
2. Pengaduk  
3. Gelas piala 250 ml  
4. Labu ukur 1.000 ml  
5. Labu semprot  
6. Timbangan analitik

Bahan : 1. Air bebas mineral  
2. Larutan penyangga, pH 4,004 (25 °C)  
3. Larutan penyangga, pH 6,863 (25 °C)  
4. Larutan penyangga, pH 10,014 (25 °C)  
5. Sampel penelitian

2. Pengujian parameter total padatan tersuspensi (TSS)
  - Acuan : 1. Penelitian Meiramkulova dkk., 2020  
2. Penelitian Jacqueline, 2023
  - Alat : 1. Spektrofotometer Hach Model DR900  
2. Kuvet
  - Bahan : 1. Air bebas mineral  
2. Sampel penelitian
  
3. Pengujian parameter besi (Fe)
  - Acuan : *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 3111 B (APHA, 2017)
  - Alat : 1. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala
  - Bahan : 1. Udara tekan  
2. Asetilen  
3. Aquades  
4. Calcium Solution  
5. HCl (*Hydrochloric acid*)  
6. Lanthanum solution  
7. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (*Hydrogen peroxide*)  
8. HNO<sub>3</sub> (*Nitric acid*)  
9. *Aqua regia*  
10. Larutan standar metal  
11. Sampel penelitian
  
4. Pengujian parameter mangan (Mn)
  - Acuan : *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 3111 B (APHA, 2017)
  - Alat : 1. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala
  - Bahan : 1. Udara tekan  
2. Asetilen  
3. Aquades  
4. *Calcium Solution*  
5. HCl (*Hydrochloric acid*)  
6. *Lanthanum solution*  
7. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (*Hydrogen peroxide*)  
8. HNO<sub>3</sub> (*Nitric acid*)  
9. *Aqua regia*  
10. Larutan standar metal  
11. Sampel penelitian
  
5. Pengujian parameter kadmium (Cd)
  - Acuan : *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 3113 B (APHA, 2017)

- Alat : 1. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala  
 2. Sumber cahaya  
 3. *Graphite furnace*  
 4. *Readout*  
 5. Dispenser sampel  
 6. Ventilasi  
 7. *Cooling water supply*  
 8. *Membrane filter apparatus*
- Bahan : 1. Aquades  
 2. HCl (*Hydrochloric acid*)  
 3. HNO<sub>3</sub> (*Nitic acid*)  
 4. *Matrix modifier stock solutions*  
 5. *Stock modifier stock solutions*  
 6. *Chelating resin*  
 7. *Metal-free seawater*  
 8. Sampel penelitian

#### 6. Pengujian parameter kebutuhan oksigen biologi (BOD)

- Acuan : SNI 6989.72-2009 Tentang Air Dan Air Limbah - Bagian 72: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/BOD)
- Alat : 1. Botol winkler gelap  
 2. Botol winkler terang  
 3. Lemari inkubasi  
 4. Statif  
 5. Klem  
 6. Buret  
 7. Pipet volumetrik 1 mL  
 8. Pipet tetes  
 9. Labu ukur 100 mL  
 10. Gelas ukur 50 mL dan  
 11. Erlenmeyer
- Bahan : 1. Air bebas mineral (aquades)  
 2. Natrium thiosulfate, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
 3. Mangan sulfat, MnSO<sub>4</sub>  
 4. Larutan Alkali iodida azida, NaOH-KI  
 5. Indikator Amilum dan  
 6. Asam sulfat, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat  
 7. Sampel penelitian

#### 7. Pengujian parameter kebutuhan oksigen kimia (COD)

Acuan : SNI 6989.15-2019 Tentang Air Dan Air Limbah – Bagian 15: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) Dengan Refluks Terbuka Secara Titrimetri

Alat : 1. Pendingin Liebig 30 cm  
 2. *Hot plate*  
 3. Statif dan Klem  
 4. Buret 25 mL  
 5. Pipet volumetrik 5 mL 10 mL dan 15 mL  
 6. Pipet tetes  
 7. Erlenmeyer 250 mL dan  
 8. Timbangan analitik

Bahan : 1. Air bebas mineral (aquades)  
 2. Larutan Kalium dikromat,  $K_2Cr_2O_7$  0,25 N  
 3. Larutan Asam sulfat – perak sulfat  
 4. Larutan indikator Ferroin  
 5. Larutan Ferro Ammonium Sulfat, FAS 0,1 N  
 6. Serbuk Merkuri sulfat,  $HgSO_4$  dan  
 7. Batu didih  
 8. Sampel penelitian

#### 8. Pengujian parameter kekeruhan

Acuan : 1. Penelitian Harahap dkk. (2020)  
 2. Penelitian Lopez-Betancur dkk. (2022)

Alat : 1. Spektrofotometer Hach Model DR900  
 2. Kuvet

Bahan : 1. Air bebas mineral  
 2. Sampel penelitian

### 2.4 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan tahapan yang terbagi menjadi tahap pengambilan sampel dan tahap pengujian sampel.

#### 2.4.1 Pengambilan sampel

Pengambilan sampel dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu titik pengambilan sampelnya yang disesuaikan dengan tahapan dari proses pengolahan yang dilakukan di *settling pond* 08. Berdasarkan hal tersebut, maka akan terdapat 4 (empat) titik yang akan menjadi lokasi pengambilan sampel yaitu.

1. Saat air akan masuk ke *settling pond* 08 atau sebelum air masuk ke kompartemen 1 (satu)
2. Saat air keluar dari kompartemen 1 (satu) atau sebelum air masuk ke kompartemen 2 (dua)

3. Saat air keluar dari kompartemen 2 (dua) atau sebelum air masuk ke kompartemen 3 (tiga)
4. Saat air keluar dari kompartemen 3 (tiga) atau sebelum air dilepaskan ke badan air

#### 2.4.2 Pengujian sampel

Pengujian sampel dilakukan dengan menyesuaikan standar atau acuan pengujian setiap parameter yang telah disebutkan pada sub-judul 3.3 Bahan Uji dan Alat yaitu.

##### 1. Pengujian parameter derajat keasaman (pH)

Pengujian yang menggunakan SNI 6989.11:2019 sebagai acuan ini bertujuan untuk mengukur tingkat atau derajat keasaman dari sampel air yang diujikan. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- 1) Bilas elektroda dengan aquades
- 2) Lakukan kalibrasi alat pH meter
- 3) Keringkan elektroda
- 4) Bilas elektroda dengan aquades
- 5) Bilas elektroda dengan contoh uji
- 6) Celupkan elektroda ke dalam sampel sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap selama 1 menit
- 7) Catat hasil pembacaan pada tampilan dari pH meter

##### 2. Pengujian parameter total padatan tersuspensi (TSS)

Pengujian yang mengacu pada dua (2) penelitian yang menggunakan alat yang sama ini bertujuan untuk mengukur tingkat atau banyak padatan tersuspensi pada sampel air yang diujikan. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- 1) Bilas kuvet menggunakan aquades
- 2) Ubah mode pengujian dan lakukan kalibrasi pada alat
- 3) Masukkan sampel ke dalam kuvet
- 4) Lakukan pembacaan dan catat hasilnya

##### 3. Pengujian parameter besi (Fe)

Pengujian yang dilakukan oleh pihak ketiga atau dalam hal ini adalah oleh Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar menggunakan buku *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) bagian 3111 B dengan *Direct Air-Acetylene Flame Method* sebagai dasar pengujian.

- 1) Persiapan sampel
- 2) Pengoperasian alat atau instrument
- 3) Melakukan standarisasi kalibrasi
- 4) Pembacaan sampel
- 5) Lakukan perhitungan

#### 4. Pengujian parameter mangan (Mn)

Pengujian yang dilakukan oleh pihak ketiga atau dalam hal ini adalah oleh Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar menggunakan buku *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) bagian 3111 B dengan *Direct Air-Acetylene Flame Method* sebagai dasar pengujian.

- 1) Persiapan sampel
- 2) Pengoperasian alat atau instrument
- 3) Melakukan standarisasi kalibrasi
- 4) Pembacaan sampel
- 5) Lakukan perhitungan

#### 5. Pengujian parameter kadmium (Cd)

Pengujian yang dilakukan oleh pihak ketiga atau dalam hal ini adalah oleh Balai Besar Laboratorium Kesehatan Makassar menggunakan buku *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) bagian 3113 B dengan *Electrothermal Atomic Absorption Spectrometric Method*.

- 1) Persiapan sampel
- 2) Pengoperasian alat atau instrument
- 3) Melakukan standarisasi kalibrasi
- 4) Pembacaan sampel
- 5) Lakukan perhitungan

#### 6. Pengujian parameter BOD

Pengujian yang menggunakan SNI 6989.72-2009 sebagai acuan ini bertujuan untuk mengukur jumlah atau banyaknya kebutuhan oksigen biologi dari sampel air yang diujikan. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- 1) Encerkan sampel jika diperlukan
- 2) Aerasikan sampel selama 15 menit
- 3) Pindahkan sampel ke dalam botol winkler terang dan botol winkler gelas
- 4) Masukkan botol winkler gelap ke dalam *cooling box* dan diamkan selama 5 hari sebagai  $A_5$
- 5) Tambahkan  $MnSO_4$  dan  $NaOH-KI$  masing-masing 0,5 mL ke dalam botol winkler terang sebagai  $A_0$
- 6) Homogenkan dan diamkan hingga terbentuk endapan selama 5 menit
- 7) Tambahkan  $H_2SO_4$  pekat 0,5 mL
- 8) Homogenkan hingga endapan hilang
- 9) Pindahkan 50 mL sampel  $A_0$  ke dalam Erlenmeyer
- 10) Tambahkan 5 tetes indikator amilum
- 11) Lakukan titrasi menggunakan  $Na_2S_2O_3$  hingga sampel berubah warna menjadi transparan
- 12) Catat volume  $Na_2S_2O_3$  yang digunakan
- 13) Setelah 5 hari, lakukan tahapan 4) hingga 11) pada sampel  $A_5$
- 14) Lakukan perhitungan menggunakan Pers. 1 dan Pers. 2 untuk menentukan nilai BOD

$$DO = \frac{V \times N \times 8000 \times F}{50} \dots\dots\dots \text{Persamaan 5}$$

$$BOD = (DO_0 - DO_5) \times fp \dots\dots\dots \text{Persamaan 6}$$

Keterangan:

- |    |   |     |                              |
|----|---|-----|------------------------------|
| DO | = Oksigen terlarut (mg/L)                                       | DO0 | = Oksigen terlarut A0 (mg/L) |
| V  | = Volume Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (mL)     | DO5 | = Oksigen terlarut A5 (mg/L) |
| N  | = Narmalitas Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (N)  | Fp  | = Faktor pengenceran         |
| F  | = $\frac{\text{Volume}_{winkler}}{\text{Volume}_{winkler} - 2}$ |     |                              |

7. Pengujian parameter COD

Pengujian yang menggunakan SNI 6989.15-2004 sebagai acuan ini bertujuan untuk mengukur jumlah atau banyaknya kebutuhan oksigen biologi dari sampel air yang diujikan. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- 1) Encerkan sampel jika diperlukan
- 2) Tambahkan HgSO<sub>4</sub> 0,2 g dan beberapa batu didih
- 3) Tambahkan K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 5 mL
- 4) Tambahkan asam sulfat perak sulfat 15 mL
- 5) Hubungkan dengan pendingin liebigh dan panaskan di *hot plate* selama 1 jam
- 6) Setelah 1 jam diamkan 30 detik
- 7) Tambahkan aquades melalui pendingin liebigh hingga volume sampel menjadi 70 mL
- 8) Dinginkan pada desikator
- 9) Tambahkan indikator ferroin 3 tetes
- 10) Lakukan titrasi menggunakan FAS hingga sampel berubah warna menjadi merah bata
- 11) Catat volume FAS yang digunakan
- 12) Lakukan perhitungan menggunakan Pers. 3 untuk menentukan nilai COD

$$COD = \frac{(A-B) \times 8000 \times N}{V} \dots\dots\dots \text{Persamaan 7}$$

Keterangan:

- |   |                          |   |                      |
|---|--------------------------|---|----------------------|
| A | = Volume FAS blanko (mL) | N | = Normalitas FAS (N) |
| B | = Volume FAS sampel (mL) | V | = Volume sampel (mL) |

8. Pengujian parameter kekeruhan

Pengujian yang mengacu pada dua (2) penelitian yang menggunakan alat yang sama ini bertujuan untuk mengukur nilai kekeruhan pada sampel air yang diujikan. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

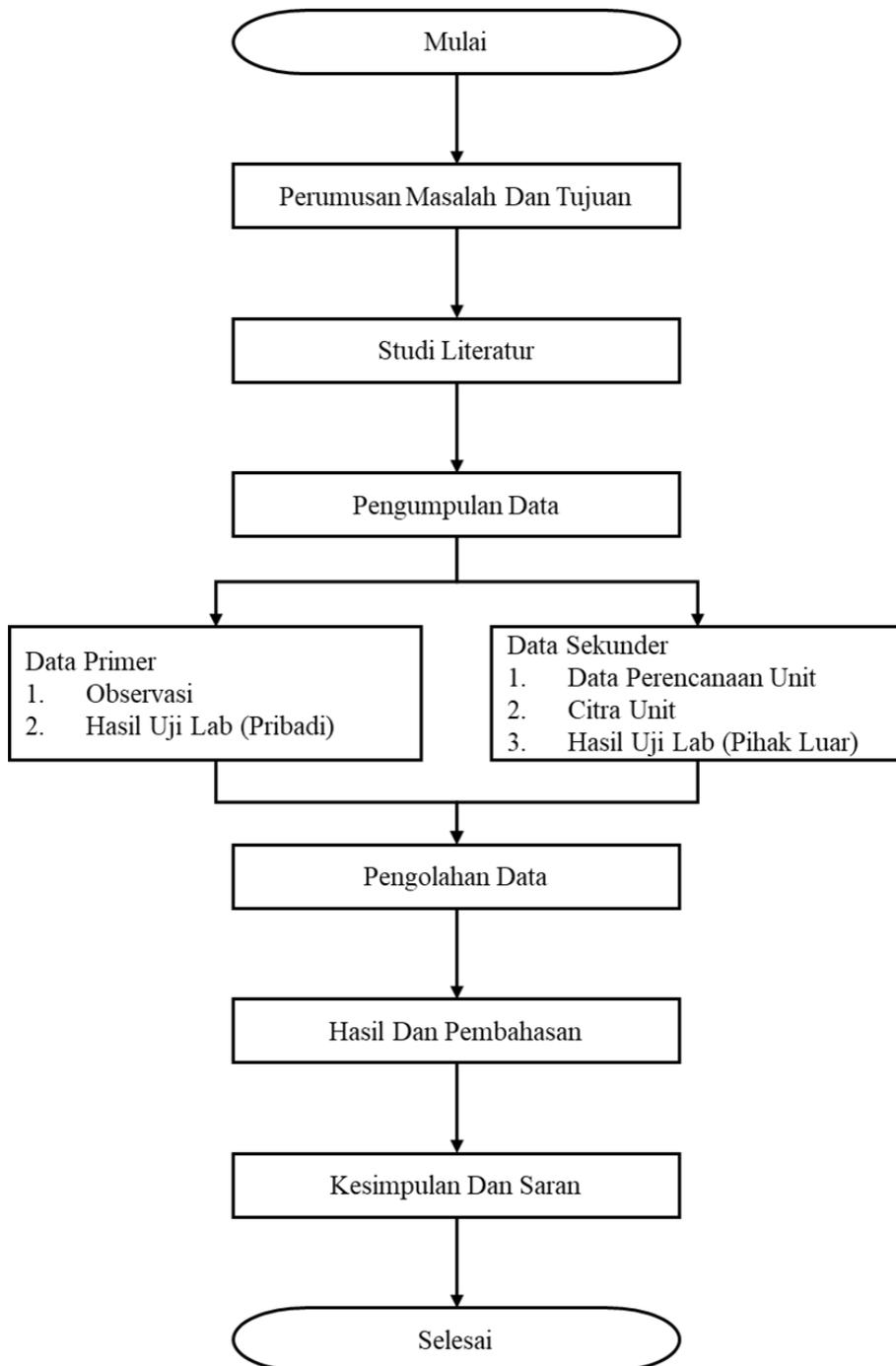
- 1) Bilas kuvet menggunakan aquades
- 2) Ubah mode pengujian dan lakukan kalibrasi pada alat
- 3) Masukkan sampel ke dalam kuvet
- 4) Lakukan pembacaan dan catat hasilnya

## 2.5 Teknik Analisis Data

Penelitian yang dilakukan menggunakan metode kuantitatif dan metode evaluatif. Kuantitatif adalah metode penelitian yang menghasilkan informasi berbasis data numerik yang terukur dan objektif. Metode ini fokus pada pengumpulan dan analisis data untuk mengidentifikasi pola atau hubungan yang dapat diukur secara statistik. Penelitian kuantitatif mengutamakan penggunaan instrumen dan variabel terukur, dan hasilnya lebih bergantung pada data yang dikumpulkan serta analisis statistik, tanpa terlalu mempermasalahkan hubungan emosional atau keterlibatan pribadi antara peneliti dan subjek (Firman, 2018). Sedangkan evaluatif yaitu penelitian untuk mengukur dan menentukan hasil program atau proyek sesuai dengan tujuan yang direncanakan, serta mengevaluasi keberhasilannya melalui pengumpulan dan analisis data secara objektif (Yuniarti dkk., 2021). Sehingga dapat disimpulkan menjadi metode yang menggabungkan pendekatan kuantitatif dengan tujuan untuk mengevaluasi program atau proyek.

Analisis data dilakukan dengan menggunakan metode analisis sederhana yaitu dengan membandingkan data hasil pengujian sampel dari unit yang telah diuji dan dikumpulkan dengan regulasi atau peraturan yang menjadi acuan baku mutu. Untuk data hasil pengujian yang digunakan dan dianalisis pada penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer berupa hasil analisis pengujian sampel mandiri dan data sekunder mencakupi hasil pengujian laboratorium. Selain itu, juga dilakukan perbandingan peraturan atau acuan terkait perencanaan unit dengan keadaan *existing* menggunakan hasil pencitraan lokasi unit dan data perencanaan awal unit.

## 2.6 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 2. Diagram alir penelitian**