

**ANALISIS EFEKTIVITAS SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) : STUDI KASUS PLTU
TARAHAN**

(Skripsi)

Oleh

MELISA BITHA

2117041044



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF WASTEWATER TREATMENT SISTEM INI COAL POWER PLANT (CPP): CASE STUDY OF TARAHAH CPP

By

MELISA BITHA

Coal Power Plant (CPP) is a power plant that has a major impact on the environment including water because its wastewater can disrupt the balance of nature such as water pollution. Therefore, CPP of Tarahan carries out a series of wastewater treatment processes including using the WWTP installation. This study aims to determine the source of wastewater, the wastewater treatment process and the content and quality of wastewater in accordance with the Regulation of the Minister of Environment No. 08 of 2009. This type of research is cross-sectional and observational. The tests that have been carried out, it is known that the sources of wastewater come from the drainage of the boiler unit, condenser unit, WTP unit, and chlorination plant unit. Wastewater is processed through the stages of primary treatment, secondary treatment and tertiary treatment. Data was obtained through purified wastewater samples as output data and storage ponds #3 and #4 as input data. The content obtained was in the form of pH, conductivity, TDS, TSS, turbidity, total hardness, total iron, and free res chlorine. The quality obtained was expressed as a percentage where the results of pH were 80.36%, conductivity 74.09%, TDS 75.38%, turbidity 55.53%, total iron 66.66%, free res chlorine 60%. TSS was not calculation because the analysis results were quite low but still met the established quality standards, total hardness and silica were not calculation because they were in the form of minerals whose accurate data can only be obtained on RO products.

Keywords: *Wastewater, CPP, CPP Of Tarahan, WWTP*

ABSTRAK

ANALISIS EFEKTIVITAS SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU): STUDI KASUS PLTU TARAHAN

Oleh

MELISA BITHA

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menjadi pembangkit listrik yang memberi pengaruh besar terhadap lingkungan hidup termasuk perairan karena air limbahnya memungkinkan untuk mengganggu keseimbangan alam seperti pencemaran air. Oleh karena itu PLTU Tarahan melakukan serangkaian proses pengolahan air limbahnya termasuk menggunakan instalasi WWTP. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sumber-sumber air limbah, proses pengolahan air limbah serta kandungan dan kualitas air limbah sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 08 Tahun 2009. Jenis penelitian ini termasuk penelitian *cross sectional* dan bersifat observasional. Pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa sumber-sumber air limbah berasal dari drainase unit boiler, unit kondensor, unit WTP, dan unit *chlorination plant*. Air limbah di proses melalui tahap *primary treatment*, *secondary treatment* serta *tertiary treatment*. Data diperoleh melalui sampel *purified waste water* sebagai data *output* serta *storage pond #3* dan *#4* sebagai data *input*. Kandungan yang diperoleh berupa pH, *conductivity*, TDS, TSS, *turbidity*, *total hardness*, *total iron*, dan *free res chlorine*. Kualitas yang diperoleh dinyatakan dengan persentase dimana hasil pH 80,36%, *conductivity* 74,09%, TDS 75,38%, *turbidity* 55,53%, *total iron* 66,66%, *free res chlorine* 60%. TSS tidak dilakukan perhitungan karena hasil analisisnya yang cukup rendah tetapi masih memenuhi baku mutu yang ditetapkan, *total hardness* dan silika tidak dilakukan perhitungan karena berbentuk mineral yang data akuratnya hanya dapat diperoleh pada produk RO .

Kata kunci: Air Limbah, PLTU, PLTU Tarahan, WWTP

**ANALISIS EFEKTIVITAS SISTEM PENGOLAHAN AIR LIMBAH DI
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) : STUDI KASUS PLTU
TARAHAN**

Oleh

MELISA BITHA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar

SARJANA SAINS

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

Judul Penelitian : Analisis Efektivitas Sistem Pengolahan
**Air Limbah di Pembangkit Listrik
Tenaga Uap (PLTU) : Studi Kasus
PLTU Tarahan**
Nama Mahasiswa : Melisa Bitha
Nomor Pokok Mahasiswa : 2117041044
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.
NIP. 196107231986031003

Antonius Wahyu Nugroho, S.T., M.M.
NIK. 8108059Z

2. **Ketua Jurusan Fisika**

Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP.19710909200012100

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

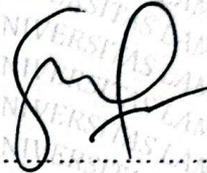
Ketua : **Drs. Pulung Karo-Karo, M.Si.**



Sekretaris : **Antonius Wahyu Nugroho,
S.T., M.M.**



Penguji Bukan Pembimbing : **Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 19 Maret 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis mengacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi dan bertanggung jawab sebatas dengan pemaparan dari skripsi ini.

Bandar lampung, 19 Maret 2025

Yang Menyatakan



Melisa Bitha
NPM. 2117041044

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Melisa Bitha, lahir di Tangerang, Kec. Tangerang, Kota Tangerang, Banten. pada tanggal 31 Juli 2003. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara oleh pasangan Bapak Rakutta Sitepu dan Ibu Asnah br Sembiring. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 034818 Butar pada tahun 2015, SMPN 1 Tigabinanga pada tahun 2018 dan SMAS Katolik 2 Kabanjahe pada tahun 2021. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Lampung melalui SBMPTN tahun 2021

Selama masa perkuliahan, penulis aktif tergabung pada organisasi kemahasiswaan. Pada tahun 2021, penulis menjadi anggota Paduan Suara Mahasiswa Unila (PSM Unila) dan anggota pada Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen (UKM Kristen) Universitas Lampung dan menjadi pengurus bidang Sains dan Teknologi (Saintek) Himpunan Mahasiswa Fisika FMIPA Unila serta bertanggungjawab menjadi pengajar pada kegiatan Kelompok Belajar (KOPJAR), dan menjadi Sekretaris Bidang Saintek Himafi FMIPA Unila tahun 2023, menjadi koordinator kegiatan Olimpiade Fisika Expo 2023 oleh Himafi FMIPA Unila serta ONMIPA 2023 oleh Jurusan Fisika. Kemudian, penulis juga berpartisipasi pada organisasi keagamaan Kristen POM MIPA Unila pada tahun 2022.

Penulis juga memiliki pengalaman kerja, antara lain Praktik Kerja Lapangan di PLTU Tarahan dari 8 Januari hingga 8 Februari 2024 dengan judul “Analisis Efisiensi Generator Dipengaruhi Oleh Rugi-Rugi Daya Generator Pada PLTU

Tarahan Unit 3”. Penulis juga melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode II tahun 2024 di Desa Labuhan Ratu IX, Kecamatan Labuhan Ratu, Kabupaten Lampung Timur. Selain itu, penulis pernah menjadi anggota peneliti pada penelitian Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) dengan judul **“Produksi Prototype Pembangkit Energi Listrik Elektrokimia Air Laut Dengan Sistem Otomatisasi Pengisian Air Laut, dan Charging untuk Regenerasi Anoda”** pada 24 April-30 Juni 2024.

Selanjutnya, penulis berdedikasi terhadap jurusan Fisika sebagai asisten Praktikum Fisika Dasar I serta Praktikum Fisika Dasar II untuk Mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Unila tahun 2023. Penulis juga aktif dalam berbagai perlombaan seperti PKM dan ONMIPA Tingkat Universitas tahun 2023 dan 2024, Penulis menjadi peraih medali emas dalam Olimpiade Sumpah Pemuda Fisika jenjang mahasiswa dalam tahun 2024.

Saat ini, penulis melakukan penelitian bidang Energi dan Lingkungan sebagai topik skripsi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung dengan judul “Analisis Efektivitas Penolahan Air Limbah Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) : Studi Kasus PLTU Tarahan. Penulisa melakukan penelitian kembali di PLTU Tarahan lebih tepatnya pada Laboratorium Air PLTU Tarahan.

MOTTO

*“Sebab Engkaulah yang membentuk buah pinggangku,
menenun aku dalam kandungan ibuku
Aku bersyukur Kepada-Mu oleh karena kejadianku dahsyat
dan ajaib; ajaib apa yang Kau buat, dan jiwaku benar-benar
menyadarinya”*
(Mazmur 139: 13-14)

*“Apakah kekuatanku, sehingga aku sanggup bertahan,
Dan apakah masa depanku, sehingga aku harus bersabar?”*
(Ayub 6:11)

*“Sebab Engkaulah harapanku, ya Tuhan, kepercayaanku
sejak masa muda ya Allah”*
(Mazmur 75:5)

“Doa ibuku seluas langit, dan aku berteduh dibawahnya”
(Melisa Bitha)

PERSEMBAHAN

Soli Deo Gloria

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan penyertaanNya, kupersembahkan karya ini untuk

Keluargaku tercinta dan tersayang

Bapak Rakutta Sitepu

Terimakasih atas segala perjuangan sang pemilik tulang punggung terkuat yang tidak bisa dijelaskan dengan kata-kata, terlepas dari segala yang telah terjadi tetap tidak ada yang memberikan kasih sebesar ini, semoga Tuhan selalu memberkati

Ibu Asnah br Sembiring

Terimakasih sudah bertahan sejauh ini sang pemilih hati terlapang dan terluas, yang memberkatiku dengan doa sebagai tempatku berteduh, Allah itu bagi kita tempat perlindungan dan kekuatan, sebagai penolong dalam kesesakan sangat terbukti, semoga Tuhan selalu menyertai

Adita Jeremi Sitepu

Terimakasih telah menjadi saudara sekaligus sahabat untuk seumur hidup, masa depan kita sungguh ada dan harapan kita tidak akan hilang

Para Dosen dan Segenap Civitas Akademika Jurusan Fisika

Almamaterku Tercinta

Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, senantiasa memberkati dan menyertai sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Efektivitas Sistem Pengolahan Air Limbah Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) : Studi Kasus PLTU Tarahan**”. Tujuan dari penulisan skripsi ini yaitu sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) pada bidang Energi dan Lingkungan Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung serta sebagai dasar dalam melatih penulisan karya ilmiah.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai salah satu upaya perbaikan kepada penulis dan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini bermanfaat sebagai referensi terhadap riset mengenai sistem pengolahan air limbah pada PLTU.

Bandar Lampung, 19 Maret 2025

Penulis,

Melisa Bitha

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan penyertaanNya yang selalu dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Analisis Efektivitas Sistem Pengolahan Air Limbah Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) : Studi Kasus PLTU Tarahan”**. Penulis menyadari penulisan skripsi ini dapat terselesaikan karena adanya dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. selaku Pembimbing Pertama yang telah memberikan bimbingan, arahan, nasihat serta ilmunya selama masa kuliah dan proses penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Antonius Wahyu Nugroho, S.T., M.M. selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan banyak dukungan, bimbingan,serta arahan dalam penelitian serta penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si., selaku Penguji yang telah memberikan koreksi dan saran selama penulisan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si., selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng, selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak dan Ibu Dosen serta staff Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu dan nasihat selama masa perkuliahan di Jurusan Fisika.
7. Bapak Rakutta Sitepu, Ibu Asnah br Sembiring dan Adita Jeremi Sitepu yang selalu mendukung dan memberikan semangat kepada penulis.

8. PT. PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Tarahan (PLTU Tarahan) yang telah memfasilitasi penulis selama proses penelitian berlangsung.
9. Manajer PLTU Tarahan, Bapak Dwi Suprianto dan segenap karyawan PLTU Tarahan, Bapak Ikhsan Mulia Hardi, Ibu Dewi Teja Rukmi, Bapak Deddy Ferdiansyah, Bapak Agus Soleh, Ibu Kartika Purwaningrum, Ibu Sari Liza Azura Nasution, Ibu Gelistari Putri Sundana, dan seluruh staff analisis laboratorium air PLTU Tarahan yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberikan dukungan selama proses penelitian dan pengerjaan skripsi ini.
10. Partner perkuliahan dan penelitian yaitu Nur Fajar Sidik, Onesimus Putry Philia dan Dameria Simamora yang telah menjadi rumah untuk berdiskusi, bertukar pikiran, berkembang selama menjalani perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.
11. Teman-teman "Cemungut Ea" yang senantiasa mengisi cerita selama perkuliahan ini.
12. Segenap keluarga GPdI Kasih Karunia Kidupen yang memberikan doa, dukungan, motivasi dalam Tuhan serta menjadi wadah penulis untuk bertumbuh di masa muda dalam rohani dan pelayanan.
13. Teman – teman "Trash Talk" dan "Ga Gibah Ga Kece" yang menjadi dorongan penulis.
14. Teman-teman pimpinan Himafi Unila Periode 2023 yang senantiasa memberikan semangat dalam penyusunan skripsi ini.
15. Teman-teman Jurusan Fisika Angkatan 2021 yang saling membantu dalam penyusunan skripsi masing-masing.
16. Tim musik Symphony Worship, JPCC Worship, NDC Worship dan lainnya yang memberikan penulis kekuatan secara rohani melalui pujian penyembahan saat keadaan sedang kurang baik.
17. K-Pop Grup ENHYPEN yaitu OT-7 yang selalu memberikan semangat baru kepada penulis saat mendengar musik atau menonton konten mereka, terutama untuk Jay ENHYPEN yang benar-benar mendorong penulis melalui kata-kata motivasi, yang memberi kenyamanan serta kekuatan dalam segala keadaan pasang surut penulis.

18. Seluruh pihak yang telah ikut serta membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga kiranya Tuhan Yesus Kristus senantiasa memberikan berkat dan balasan atas segala kebaikan yang telah dilakukan berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Bandar lampung, 19 Maret 2025

Penulis,

Melisa Bitha

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	ii
ABSTRAK	iii
HALAMAN JUDUL	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	x
PERSEMBAHAN	xi
KATA PENGANTAR	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	8
2.2.2 Siklus Uap dan Air	10
2.2.3 Limbah Cair	11
2.2.4 Karakteristik Limbah Cair	13
2.2.5 Teknik Pengolahan Limbah Cair	17
2.2.6 Baku Mutu Lingkungan dan Limbah Cair	19

2.2.7 Sumber Air Limbah PLTU	22
2.2.8 Pemantauan Kualitas Air Limbah	24
2.2.8.1 Pengukuran Kandungan Mineral	24
2.2.8.2 Pengukuran Derajat Keasaman.....	27
2.2.8.3 Pengukuran Nilai Konduktivitas Listrik.....	29
2.2.8.4 Pengukuran Jumlah Total Padatan Terlarut	30
2.2.8.5 Pengukuran Kekkeruhan Air	31
2.2.9 Reverse Osmosis.....	32

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	34
3.2 Alat dan Bahan	34
3.2.1 Alat Penelitian	34
3.2.2 Bahan Penelitian	35
3.3 Prosedur Penelitian	35
3.3.1 Studi Literatur	36
3.3.2 Wawancara.....	36
3.3.3 Observasi.....	36
3.3.4 Pengolahan Data	36

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sumber-Sumber Air Limbah	40
4.1.1 Drainase Area Unit Boiler	41
4.1.2 Drainase Area Unit Kondensor.....	42
4.1.3 Drainase Area Unit Turbin	44
4.1.4 Drainase Area Unit WTP.....	45
4.1.5 Drainase Area Unit <i>Chlorination Plant</i>	47
4.2 Komponen Pengolahan Air Limbah	48
4.2.1 Komponen Pengolahan Sebelum Memasuki WWTP.....	48
4.2.1.1 <i>Boiler Sump Pit</i> 3 dan 4.....	48
4.2.1.2 Kondensor <i>Sump Pit</i> 3 dan 4	49
4.2.1.3 <i>Oil dan Turbin Sump Pit</i> 3 dan 4.....	50
4.2.1.4 WTP <i>Sump Pit</i>	51
4.2.1.5 <i>Chlorination Plant Sump Pit</i>	51
4.2.1.6 NPU dan <i>Oil Skimmer</i>	52
4.2.1.7 <i>Check Pit</i> 2 dan 3.....	53
4.2.2 Komponen Pengolahan Sesudah Memasuki WWTP	53
4.2.2.1 <i>Storage Pond</i> 3 dan 4	53
4.2.2.2 Area Oksidasi pH	54
4.2.2.3 <i>Coagulant Sedimentation Tank</i>	55
4.2.2.4 <i>Clear Water Pit</i>	55
4.2.2.5 <i>Dual Media Filter</i>	55
4.2.2.6 <i>Neutralitation Pit</i>	56
4.2.2.7 <i>Purified Waste Water</i>	57
4.2.2.8 <i>Sludge Enrichment Tank</i>	57
4.2.2.9 <i>Filter Press</i>	57

4.3 Proses Pengolahan Air Limbah	57
4.3.1 WWTP	58
4.3.2 RO	61
4.4 Pengambilan Sampel Air Limbah.....	65
4.4.1 Analisa Parameter Tanpa Penggunaan Bahan Kimia	66
4.4.2 Analisa Parameter Dengan Penggunaan Bahan Kimia	71
4.5 Kandungan dan Kualitas Air Limbah.....	76

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan.....	81
5.2 Saran	82

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Prinsip Kerja PLTU	9
Gambar 2.2 Spektrofotometer <i>Single Beam</i>	26
Gambar 2.3 Spektrofotometer <i>Double Beam</i>	26
Gambar 2.4 Diagram Blok Spektrofotometer <i>Single Beam</i>	26
Gambar 2.5 Diagram Blok Spektrofotometer <i>Double Beam</i>	27
Gambar 2.6 pH Meter Genggam	28
Gambar 2.7 Bagian-Bagian Pada Elektroda Kombinasi	29
Gambar 2.8 <i>Conductivity</i> Meter	30
Gambar 2.9 TDS Meter	31
Gambar 2.10 Turbiditimeter	31
Gambar 3.1 Diagram Analisa Parameter Tanpa Penggunaan Bahan Kimia	38
Gambar 3.2 Diagram Analisa Parameter Dengan Penggunaan Bahan Kimia	39
Gambar 4.1 Diagram Perjalanan Air Limbah Sebelum Pengolahan WWTP.....	40
Gambar 4.2 <i>Boiler Sump Pit</i> 3 dan 4	48
Gambar 4.3 Kondensor <i>Sump Pit</i> 3 dan 4	50
Gambar 4.4 <i>Oil</i> dan Turbin <i>Sump Pit</i> 3 dan 4	50
Gambar 4.5 WTP <i>Sump Pit</i>	51
Gambar 4.6 <i>Chlorination Sump Pit</i>	52
Gambar 4.7 NPU dan <i>Oil Skimmer</i>	52
Gambar 4.8 <i>Check Pit</i> 2 dan 3	53
Gambar 4.9 Proses Sedimentasi	56
Gambar 4.10 Diagram Alir Proses WWTP PLTU Tarahan	60
Gambar 4.11 Skema RO	64
Gambar 4.12 Sampel Air Limbah.....	66
Gambar 4.13 Proses Analisa Nilai TSS.....	67
Gambar 4.14 Proses Analisa Nilai pH.....	68

Gambar 4.15 Proses Analisa Nilai <i>Conductivity</i>	68
Gambar 4.16 Proses Analisa Nilai TDS	69
Gambar 4.17 Proses Analisa Nilai <i>Turbidity</i>	70
Gambar 4.18 Memasukkan Nilai Magnesium Kalsium Indikator dan Uji.....	71
Gambar 4.19 Proses Memasukkan EGTA dan EDTA	72
Gambar 4.20 Proses Analisa Nilai Total <i>Iron</i>	73
Gambar 4.21 Proses Analisa Nilai <i>Free Res Chlorine</i>	74
Gambar 4.22 Proses Memasukkan <i>Reagent Silika</i>	75
Gambar 4.23 Proses Memasukkan <i>Citric Acid</i> dan <i>Amino Acid</i>	76

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Sumber Proses Utama	21
Tabel 2.2 Sumber <i>Blowdown Boiler</i>	21
Tabel 2.3 <i>Blowdown Cooling Water</i>	22
Tabel 2.4 Sumber Demineralisasi/WTP	22
Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	34
Tabel 3.2 Peralatan Untuk Pengambilan Sampel Air Limbah	35
Tabel 3.3 Peralatan Untuk Menganalisa Kandungan Air Limbah	35
Tabel 3.4 Bahan Kimia Untuk Menganalisa Kandungan Air Limbah	37
Tabel 4.1 Sumber Air Limbah dan Kontaminannya	41
Tabel 4.2 Komponen Pengolahan Sebelum Memasuki WWTP	49
Tabel 4.3 Komponen Pengolahan Utama WWTP	54
Tabel 4.4 Proses Pengolahan Air Limbah	58
Tabel 4.5 Data <i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i> Beserta Nilai Efektivitas	77

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring kemajuan zaman dan teknologi, kita tahu bahwa kebutuhan akan energi listrik untuk keperluan industri dan rumah tangga juga semakin meningkat. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2020), Indonesia memiliki target Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebesar 23% pada bauran energi nasional pada tahun 2025. Hal tersebut disampaikan Direktur Pembinaan Program Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Jisman Hutajulu mewakili Direktur Jenderal Rida Mulyana pada *The 9th INDONESIA EBTKE Virtual Conference and Exhibiton 2020* (EBTKE Conex, 2020). Jisman menyampaikan sampai dengan semester 1 tahun 2020, total kapasitas pembangkit listrik terpasang nasional sudah mencapai 71 GW. Pembangkit listrik berbahan bakar batubara masih mendominasi suplai energi listrik di Indonesia sedangkan pembangkit listrik EBT mengambil porsi 14,69% dari total kapasitas pembangkit listrik terpasang nasional.

PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) adalah pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar batubara dan biomassa dan beberapa macam bahan bakar lain dalam pengoperasiannya. Dalam PLTU, menggunakan beberapa komponen utama yang menyusun PLTU tersebut seperti *boiler*, turbin, kondensor, generator dan lain lain. *Boiler* merupakan salah satu komponen utama pada PLTU yang berfungsi untuk merubah fasa yaitu dari fasa cair menjadi fasa gas sehingga menghasilkan uap kering yang akan digunakan untuk menggerakkan turbin uap (Rosyid dan Jamal, 2019).

Oleh karena itu untuk menghasilkan uap, ada air laut yang menjadi bahan dasar pembakaran. Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari ketel uap PLTU. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam pipa ketel untuk menghasilkan uap yang dikumpulkan dalam drum dari ketel. Uap dari drum ketel

dialirkan ke turbin uap. Dalam turbin uap, energi (*enthalpy*) uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator, dan akhirnya energi mekanik dari turbin uap ini dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator (Sahlan dan Abdul, 2019).

Pembangunan PLTU selain membawa dampak positif juga akan menimbulkan dampak negatif terutama terhadap lingkungan. Melalui proses kerja PLTU tersebut menghasilkan sisa hasil produksi dalam bentuk limbah termasuk limbah cair. PLTU umumnya dibangun di dekat pantai atau sungai besar karena kemudahan untuk memperoleh air sebagai bahan utama sistem pendinginan mesin selain untuk air proses (air umpan boiler) (Wibowo dan Velly, 2018). Tapi begitupun untuk pembuangannya yang biasanya juga dibuang ke laut lepas. Seperti diketahui, air limbah PLTU umumnya mengandung bahan atau zat yang dapat membahayakan bagi kesehatan manusia serta berpotensi mengganggu lingkungan hidup apabila terlepas ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu. Volume air limbah yang dihasilkannya dan dibuang ke lingkungan perairan sekitarnya relatif cukup banyak, yaitu hampir 80% dari air bersih yang digunakannya (Sahlan dan Abdul, 2019).

Menurut Agyemang *et al* (2013), pembuangan air limbah tanpa pengolahan dapat membahayakan lingkungan hidup seperti ikan dan biota air serta manusia yang mungkin bergantung dari sumber air tersebut. Secara garis besar, menurut Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 berisikan tentang upaya sistematis dan terpadu untuk melestarikan lingkungan serta sebagai upaya pencegahan terjadinya pencemaran dan atau kerusakan lingkungan hidup yang mengatakan bahwa kualitas lingkungan hidup yang semakin menurun telah mengancam kelangsungan perikehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya sehingga perlu dilakukan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup yang sungguh- sungguh dan konsisten oleh semua pemangku kepentingan. Jadi setiap industri, instansi, atau badan usaha harus bertanggung jawab terhadap pengelolaan limbah yang dihasilkan.

Salah satu solusi efektif untuk mengolah limbah yaitu dengan menggunakan *Wastewater Treatment Plant* (WWTP) atau sering disebut sebagai Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). *Wastewater Treatment Plant* (WWTP) adalah

sebuah struktur yang dirancang untuk membuang limbah biologis dan kimiawi dari air sehingga memungkinkan air tersebut untuk dapat digunakan kembali pada aktivitas yang lain. Tujuan utama pengolahan air limbah ialah untuk mengurangi kandungan bahan pencemar di dalam air terutama senyawa organik, padatan tersuspensi, mikroba patogen, dan senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang terdapat di alam (Wulandari, 2014).

PLTU Tarahan berlokasi di Lampung Selatan, mempunyai 2 unit operasional pembangkit listrik berkapasitas 2 x 100 MW. Komponen operasional utamanya yaitu *boiler*, turbin, kondensor dan generator, termasuk instalasi sistem pengolahan air limbah pada PLTU Tarahan. Menurut Sahlan dan Abdul (2019), selama proses produksi digunakan sejumlah air tawar sebagai media kerja dan diperoleh dari hasil pengolahan air laut melalui peralatan *water treatment plant* (WTP) yang diharapkan air tersebut memenuhi syarat untuk pengisian boiler. Selanjutnya air dialirkan ke boiler dan dipanaskan menggunakan bahan bakar batubara, biomassa, atau keduanya. Uap hasil produksi boiler dialirkan ke turbin guna menghasilkan tenaga mekanis untuk memutar generator dan menghasilkan tenaga listrik.

Begitupun pada PLTU Tarahan menggunakan bahan bakar batubara dan biomassa serta melakukan pembakaran untuk menghasilkan uap, dan melalui proses pembakaran itu akan menghasilkan limbah cair juga. Pada PLTU Tarahan, pengolahan air limbahnya sudah tergolong baik dimana air limbah diolah kembali melalui proses *Reverse Osmosis* (RO) dengan melewati serangkaian proses sesuai baku mutu lingkungan hidup yang pastinya tidak menimbulkan kerugian pada lingkungan. Air yang telah di steril dan masih memiliki kualitas yang baik digunakan kembali untuk keperluan instansi seperti Mandi Cuci Kakus (MCK), menyiram debu hasil produksi batubara, menyiram tanaman, dan sebagainya.

PLTU Tarahan merupakan pembangkit listrik besar yang juga memberi pengaruh besar terhadap lingkungan hidup termasuk perairan karena air limbah PLTU memungkinkan untuk mengganggu keseimbangan alam seperti pencemaran air. Jadi untuk menganalisis sistem pengolahan air limbah ini, maka penulis melakukan

penelitian dan mengambil judul "Analisis Efektivitas Sistem Pengolahan Air Limbah di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) : Studi Kasus PLTU Tarahan" untuk mengetahui efektivitas sistem pengolahan air limbah di PLTU Tarahan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Apa saja sumber-sumber air limbah pada PLTU Tarahan?
2. Bagaimana proses pengolahan air limbah PLTU Tarahan?
3. Bagaimana kandungan dan kualitas air limbah PLTU Tarahan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui sumber-sumber air limbah pada PLTU Tarahan.
2. Memahami proses pengolahan air limbah PLTU Tarahan.
3. Menganalisa kandungan dan kualitas air limbah pada PLTU Tarahan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membantu menilai efektivitas sistem pengolahan air limbah yang digunakan, sehingga dapat dilakukan peningkatan jika ditemukan kelemahan.
2. Dengan menganalisa kandungan dan kualitas air limbah diharapkan mampu menambah pengetahuan seputar proses pengolahan air limbah.
3. Hasil penelitian dapat dijadikan acuan atau bahan kajian untuk penelitian yang lebih lanjut pada pengolahan limbah di PLTU atau sektor industri lainnya.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Parameter PLTU Tarahan yaitu pH, *Conductivity*, TDS, TSS, *Turbidity*, Total *Hardness*, Total *Iron*, dan *Free Res Chlorine* yang menyesuaikan BML menurut PerMen Lingkungan Hidup No. 08 Tahun 2009.
2. Nilai yang dicari hanya nilai efektivitas sistem pengolahan air limbah.

3. Pembahasan hanya mencakup sumber-sumber air limbah, komponen pengolahan air limbah, proses pengolahan air limbah, serta kandungan dan kualitas air limbah yang berakhir di WWTP PLTU Tarahan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya dengan subjek penelitian pada PLTU Tarahan. Beberapa penelitian terkait sistem pengelolaan air limbah PLTU digunakan sebagai acuan agar dapat dikembangkan kembali untuk penelitian selanjutnya. Sebelumnya, penelitian dilakukan oleh Sahlan dan Abdul (2019) mengenai sistem pengolahan air limbah pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan subjek penelitian pada PLTU Muara Karang. Air limbah yang berasal dari kegiatan operasional pembangkit jika dilepaskan ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu dapat membahayakan organisme yang hidup pada air dan berbahaya bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu penelitian ini mempelajari proses *Wastewater Treatment Plant* (WWTP). Ada beberapa parameter hasil pengukuran yang didapatkan yaitu *output* dari WWTP Muara Karang memenuhi baku mutu yaitu BOD5 3 mg / l, kromium total 0 mg / l, tembaga 0,05 mg / l, besi 0,16 mg / l, seng 0,16 mg / l, pH 7,32, minyak dan lemak 0,668 mg / l. Efisiensi produk olahan untuk besi adalah 87,2%, seng 46,67%, serta minyak dan lemak 21,41%.

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Munawaroh *et al* (2019) mengenai proses pengolahan air dan pengendalian limbah di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Desa Tubanan. PLTU ini berada pada tepi laut dan menggunakan air laut sebagai sumber airnya. Proses pengolahan airnya dengan cara destilasi, demineralisasi, kondensasi dan instalasi pengolahan air.

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Theresia *et al* (2023) mengenai pengolahan air limbah proses utama menggunakan WWTP dengan subjek penelitian pada PT. Indonesia Power Grati POMU.

Pengelolaan limbah disesuaikan dengan baku mutu lingkungan yang ditetapkan dalam undang-undang yang berlaku. Melalui proses produksi, terdapat 10 tahap yang digunakan dalam proses pengolahan dengan WWTP dan hasilnya dikatakan sudah baik ditandai dengan hasil pengolahan WWTP pada tahun 2021-Januari 2022 dengan hasil dibawah standar baku mutu sehingga layak dibuang ke laut.

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Ardiansyah dan Margana (2013) mengenai pengolahan air limpasan batubara dengan subjek penelitian pada PLTU Tanjung Jati B Unit 3 dan 4. Pengolahan air limpasan batubara ini digunakan untuk mendapatkan parameter baku mutu air limbah yang sudah ditetapkan kementerian lingkungan hidup. Hal ini dilakukan dengan cara pemasangan sistem pipa apung pada kolam limpasan batubara dimana pipa apung ini terhubung dengan pompa yang berada pada lubang pompa. Pipa apung dimasukkan dan diatur ketinggiannya sesuai dengan level air limpasan batubara pada kolam limpasan batubara sehingga air yang dihisap lubang pompa adalah air kolam limpasan batubara dengan kandungan *Total Suspended Solid (TSS)* kecil. Sebelum pipa apung kandungan TSS dipasang pada WWTP, kolam retensi adalah 6000 mg/liter dan setelah dipasang nilainya 475 mg/liter. Jadi hasilnya dengan pemasangan pipa apung pada kolam limpasan batubara dapat mengurangi kandungan TSS pada WWTP kolam retensi.

Penelitian terkait yang dilakukan oleh Suyasa *et al* (2012) mengenai pengolahan air limbah pembangkit listrik PT. Indonesia Power dengan metode flotasi dan biofiltrasi saringan pasir tanaman. Pada penelitian ini yaitu menentukan waktu optimal perlakuan aerasi pada proses flotasi terhadap konsentrasi minyak yang terflotasi pada permukaan bak pengolahan menentukan waktu tinggal optimal air limbah pada bak pengolahan saringan pasir-tanaman terhadap penurunan konsentrasi minyak dan nilai *Chemical Oxygen Demand (COD)* dari sampel air limbah, menentukan kapasitas pengolahan saringan pasir tanaman terhadap penurunan konsentrasi minyak dan nilai COD pada sampel air limbah selama waktu tinggal air limbah pada bak pengolahan dan volume dari bak pengolahan. Hasil pengukuran yang diperoleh bahwa waktu optimal aerasi pada proses flotasi adalah 20 menit dengan menurunkan konsentrasi minyak sebanyak 20.433,33 mg/l

(94,60%), sedangkan waktu untuk menurunkan konsentrasi minyak menjadi 450 mg/l adalah 60 menit. Waktu tinggal optimal air limbah pada bak pengolahan saringan pasir tanaman adalah 6 jam dengan menurunkan konsentrasi minyak sebanyak 366,67 mg/l (81,48%) dan COD sebanyak 50,456 mg/l (51,08%), sedangkan waktu untuk menurunkan konsentrasi minyak menjadi 0 mg/l adalah 36 jam dan COD menjadi 28,084 mg/l adalah 48 jam. Konsentrasi minyak dan nilai COD yang diperoleh dari pengolahan limbah dengan rangkaian cara flotasi dan biofiltrasi saringan pasir tanaman ini telah berada di bawah Baku Mutu Air Kelas III PerGub Bali No. 8 Tahun 2007 yang nilainya sebesar 1 mg/l dan 50 mg/l. Kapasitas pengolahan saringan pasir tanaman untuk menurunkan konsentrasi minyak yaitu sebesar 8333,33 ppm/m³ jam, sedangkan untuk menurunkan COD kapasitas dari pengolahan saringan pasir tanaman yaitu sebesar 1295,78 ppm/m³ jam.

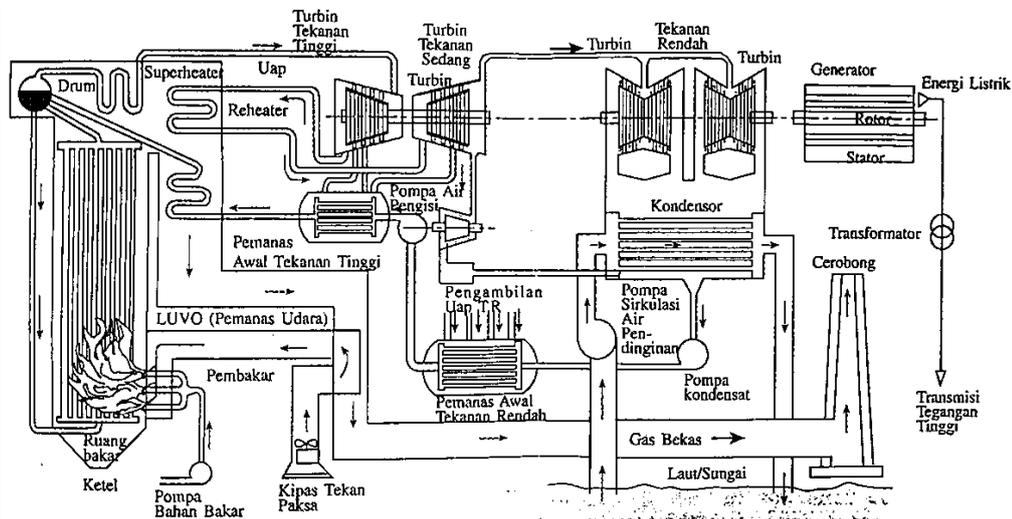
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. PLTU menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu bara dan minyak bakar serta *Marine Fuel Oil* (MFO) untuk permulaan (Wibowo, 2018).

PLTU menggunakan uap sebagai penggerak utama. Untuk menghasilkan uap, maka haruslah ada proses pembakaran. PLTU merupakan suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan poros turbin, untuk selanjutnya poros turbin menggerakkan generator yang kemudian dibangkitkannya energi listrik. Uap bisa dihasilkan dari pembakaran air, sinar radioaktif, maupun panas bumi seperti di PLTU Geodipa Dieng, Wonosobo.

Prinsip kerja dari PLTU adalah dengan menggunakan siklus air-uap-air yang merupakan sistem tertutup air dari kondensat atau air dari hasil proses pengkondensasian di kondensator dan air yang dimurnikan dipompa oleh pompa kondensat ke pemanas tekanan rendah.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja PLTU (Marsudi, 2011)

Disini air dipanasi kemudian dimasukkan oleh daerator untuk menghilangkan oksigen, kemudian air ini dipompa oleh pompa air umpan boiler masuk ke economizer. Dari economizer selanjutnya dialirkan ke pipa untuk dipanaskan kembali pada drum uap, kemudian dipanaskan lebih lanjut pada pemanas tekanan tinggi dan berubah menjadi uap kering yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi, dan selanjutnya uap ini digunakan untuk menggerakkan turbin tekanan tinggi, untuk turbin menggerakkan poros turbin. Hasil dari putaran poros turbin kemudian memutar poros generator yang dihubungkan dengan coupling, dari putaran ini dihasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan dari generator disalurkan dan di distribusikan lebih lanjut ke pelanggan. Uap bebas dari turbin selanjutnya di kondensasikan dari kondensator dan bersama air dari make up water pump, dipompa lagi oleh pompa kondensat masuk ke pemanas tekanan rendah, daerator, pompa air umpan boiler, pemanas tekanan tinggi, economizer, dan akhirnya menuju boiler untuk dipanaskan menjadi uap lagi. Proses ini akan terjadi berulang-ulang (Jumini *et al.*, 2022).

Berikut adalah komponen utama PLTU.

1. *Boiler* berfungsi sebagai tempat pemanasan air menjadi uap yang bertekanan untuk selanjutnya memutar turbin uap
2. Turbin ialah mesin yang dijalankan oleh aliran air, uap atau angin yang dihubungkan dengan sebuah generator untuk menghasilkan energi listrik. Turbin uap ialah turbin yang menggunakan uap sebagai fluida kerja dimana uap yang digunakan dihasilkan dari *boiler*
3. Generator uap ialah suatu kombinasi antara sistem-sistem dan peralatan yang dipakai untuk perubahan energi kimia dari bahan bakar fosil menjadi energi termal dan pemindahan energi termal yang dihasilkan itu ke fluida kerja, biasanya air untuk dipakai pada proses-proses bertemperatur tinggi ataupun untuk perubahan parsial menjadi energi mekanis di dalam sebuah turbin
4. Kondensor adalah tempat yang berfungsi untuk mengembunkan uap dengan jalan mendinginkannya. Air pengembunan yang terjadi dalam kondensor disebut air kondensat yang kemudian disalurkan Kembali ke dalam ketel uap dengan menggunakan sebuah pompa
5. Pompa berfungsi untuk mengalirkan air dari kondensor menuju ke boiler
6. Cerobong berfungsi sebagai tempat pelepasan uap terbuang ke udara

Selain komponen tersebut masih banyak komponen tambahan yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi kerja dari pembangkit tersebut seperti pemanas tekanan tinggi, *reheater*, dan sebagainya (Patoding dan Matius, 2019).

2.2.2 Siklus Uap dan Air

Jika memperhatikan siklus air yang terjadi di bumi, air yang ada relatif tetap. Semua makhluk hidup memerlukan air untuk hidup. Manusia dan tumbuhan adalah makhluk hidup yang paling banyak memanfaatkan air dalam kehidupan. Air di dunia ini menutupi kurang lebih 70% dari permukaan bumi (Effendi, 2018).

Siklus air merupakan sebuah proses dimana air yang berasal dari lautan akan kembali menuju ke laut. Air yang kita temui di daratan saat ini sebagian besar merupakan air yang berasal dari uapan air laut yang kemudian menjadi hujan yang

turun di daratan. Kemudian air yang turun dari hujan ada yang mengalir disungai, menguap kembali melalui tumbuhan dan ada yang masuk kedalam tanah. Siklus air merupakan sebuah konsep yang mendasar mengenai keseimbangan air di bumi. Siklus ini menunjukkan segala hal yang berhubungan dengan air. Dalam proses perjalanannya, sumber daya air dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan. (Kodoatie dan Syarief, 2010).

Siklus air dan uap adalah siklus yang dilalui oleh air umpan dari laut sampai menjadi uap dan akan dikembalikan lagi menjadi air umpan. Menurut Fitra (2023), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan sistem pembangkit termal yang memanfaatkan uap air sebagai fluida kerjanya. PLTU mengandalkan uap air untuk membangkitkan energi listrik. Jenis pembangkit ini banyak digunakan oleh masyarakat karena efisiensi yang tinggi serta menghasilkan energi listrik yang ekonomis. Tapi pada setiap tindakan untuk memperoleh efisiensi dan kemudahan, ada dampak negatif yang harus diperhatikan agar tidak berdampak buruk di kemudian hari. Pada PLTU sendiri, ada beberapa jenis limbah yang dihasilkan seperti limbah padat, limbah cair, dan limbah gas. Terlebih pada limbah cair karena biasanya PLTU dibangun di sekitar daerah yang memiliki banyak pasokan air seperti laut. Limbah cair PLTU tidak jarang dibuang langsung ke laut sehingga berdampak pada kehidupan masyarakat di sekitar air laut. Selain itu keadaan air laut juga berubah sehingga mempengaruhi habitat di dalamnya yang dapat merusak ekosistem di laut. Oleh karena itu, limbah cair ini harus ditangani agar tidak menimbulkan permasalahan lebih lanjut.

2.2.3 Limbah Cair

Limbah cair adalah limbah yang berwujud cair. Limbah cair terlarut dalam air, selalu berpindah, dan tidak pernah diam. Contoh limbah cair adalah air bekas mencuci pakaian, air bekas pencelupan warna pakaian, dan sebagainya. Limbah cair ini juga dikenal sebagai entitas pencemar air. Sesuai dengan namanya, yang disebut sebagai limbah cair adalah limbah yang mempunyai bentuk cair. Biasanya limbah industri cair ini akan dibuang langsung ke saluran air seperti selokan.

Limbah cair ini sifatnya ada yang berbahaya dan ada pula yang dapat dinetralkan secara cepat. Limbah industri yang berbahaya yang dibuang langsung ke saluran seperti sungai laut, maupun selokan tanpa dinetralkan terlebih dahulu pada akhirnya akan mencemari saluran- saluran tersebut sehingga akan menyebabkan ekosistem air menjadi rusak, bahkan banyak makhluk hidup yang akan mati dibuatnya. Contoh limbah cair dari industri ini antara lain adalah sisa pewarna pakaian cair, sisa pengawet cair, limbah tempe, limbah tahu, kandungan besi pada air, kebocoran minyak di laut, serta sisa-sisa bahan kimia lainnya (Pinontoan *et al.*, 2019).

Menurut Hidayat (2016), limbah cair pada dasarnya adalah air yang mengandung banyak polutan. Polutan inilah yang menjadikan air tersebut dapat atau tidak digunakan untuk berbagai keperluan. Polutan dalam air limbah dapat dikelompokkan dalam:

1. Substansi terlarut yang mencakup bahan organik mudah dirombak dan sulit dirombak serta bahan anorganik.
2. Koloid banyak yang berupa bahan organik ataupun anorganik yang membentuk partikel kecil ataupun minyak yang berupa tetesan dan tidak terendapkan.
3. Padatan tersuspensi mencakup partikel organik dan anorganik. Partikel organik misalnya mikroorganisme dan sisa-sisa makanan sedangkan partikel anorganik misalnya pasir, lempung, mineral, dan sebagainya.

Sumber utama limbah cair domestik di suatu komunitas adalah area pemukiman dan distrik komersial. Sumber penting lainnya termasuk kelembagaan dan fasilitas rekreasi dan air hujan (limpasan) dan air tanah (infiltrasi). Setiap sumber menghasilkan limbah cair dengan karakteristik tertentu (Yunike *et al.*, 2023). Menurut Soemantri (2010), limbah cair berasal dari berbagai jenis kegiatan seperti perumahan, industri, pertanian, dan perkebunan. Khusus untuk industri, jenis polutan yang dihasilkan oleh industri tergantung pada jenis industrinya sendiri, bahan baku, proses industri, bahan bakar dan system pengelolaan limbah cair yang digunakan.

Menurut Yunike *et al* (2023), limbah cair dihasilkan oleh 5 sumber utama, sebagai berikut:

1. Kotoran manusia dan hewan, mengandung kotoran padat dan cair dari manusia dan hewan dan dianggap oleh banyak orang sebagai yang paling berbahaya dari sudut pandang kesehatan manusia. Bahaya kesehatan disebabkan oleh jutaan bakteri, virus, dan mikroorganisme lainnya (beberapa di antaranya mungkin bersifat patogen) yang ada di aliran limbah.
2. Limbah rumah tangga, terdiri dari limbah diluar kotoran manusia dan hewan, yang dibuang dari rumah. Limbah rumah tangga biasanya mengandung kertas, pembersih rumah tangga, deterjen, sampah, dan zat lain yang dibuang ke sistem saluran pembuangan.
3. Limbah industri, meliputi bahan khusus industri yang dapat dibuang dari proses industri ke dalam sistem pengumpulan, biasanya mengandung bahan kimia, pewarna, asam, alkali, pasir halus, detergen, dan bahan yang sangat beracun.
4. Limpasan air hujan, sistem pengumpulan dirancang untuk membawa baik limbah dari masyarakat maupun limpasan air hujan, aliran limbah dapat mengandung pasir, kerikil, dan pasir lainnya dalam jumlah besar serta air dalam jumlah yang berlebihan.
5. Infiltrasi air tanah, air tanah akan masuk ke dalam sistem pengumpulan yang berusia lebih tua melalui retakan atau sambungan pipa yang tidak rapat. Hal ini tidak hanya dapat menambahkan sejumlah besar air ke aliran limbah cair, tetapi juga padatan halus lainnya.

2.2.4 Karakteristik Limbah Cair

Menurut Rezania *et al* (2019), pembuangan air limbah ke lingkungan atau badan air tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu menjadi penyebab pencemaran air yang sering terjadi. Limbah cair tersebut berasal dari pembuangan aktivitas manusia seperti limbah cair yang dibuang dari pemukiman, perkantoran, perdagangan, dan industri.

Secara khusus, karakteristik limbah adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik limbah ditentukan berdasarkan jumlah padatan terlarut, tersuspensi dan total padatan, alkalinitas, kekeruhan, warna, salinitas, dan daya

hantar listrik, bau dan temperatur. Karakteristik fisik air limbah dapat dilihat dan diidentifikasi secara langsung. Karakteristik fisik air limbah meliputi:

a. Padatan total (*Total Solid/TS*)

Padatan total adalah semua materi yang tersisa setelah proses evaporasi pada suhu 103-105°C. Terdiri dari padatan tidak terlarut atau jumlah padatan yang dapat mengendap dalam waktu tertentu dan padatan terlarut atau padatan yang sangat halus sehingga tidak mengendap dan dapat lolos melalui saringan kertas.

b. Bau

Penyebab munculnya bau pada limbah disebabkan adanya gas-gas hasil dekomposisi zat atau penambahan substansi pada limbah. Bau dapat menjadi petunjuk adanya pembusukan air limbah. Contoh gas yang dapat menimbulkan bau pada limbah di antaranya yaitu Hidrogen Sulfida, Amonia, dan senyawa Organik Sulfida. Kandungan yang terdapat dalam limbah cair industri dapat menghasilkan bau selama proses pengolahan limbah cair.

c. Temperatur

Parameter yang dapat digunakan untuk menentukan adanya biologi dalam air adalah temperatur. Limbah cair mempunyai temperatur yang lebih tinggi dibanding air baku, limbah cair yang memiliki temperatur panas atau tinggi maka dapat mengganggu pertumbuhan biota dan mengurangi oksigen yang terlarut dalam air.

d. Warna

Warna dalam air disebabkan oleh adanya kandungan zat tertentu pada limbah, sehingga seringkali air limbah memiliki karakteristik warna tertentu. Selain itu warna juga dapat disebabkan oleh zat-zat terlarut dan zat tersuspensi. Limbah cair yang mempunyai warna kup beragam dan pekat sering ditemukan pada pembuangan limbah cair industri tekstil, limbah cair dari pembuatan alkohol, dan pabrik pembuatan cat.

e. Kekeruhan

Kekeruhan tersebut dikarenakan adanya zat tertentu, seperti koloid, zat organik, lumpur, jasad renik, dan zat lainnya yang berada pada air limbah. Kekeruhan

pada limbah cair tersebut disebabkan oleh adanya bermacam-macam padatan tersuspensi yang terdapat pada limbah.

2. Karakteristik Kimia

Limbah cair memiliki karakteristik kimia yang berbeda, sebagai contoh limbah cair dari rumah tangga memiliki kandungan zat organik sedangkan limbah cair industri memiliki kandungan zat organik dan anorganik, gas buang dan air panas. Karakteristik kimia air limbah ditentukan oleh *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand (COD)*, dan logam berat yang terkandung dalam air limbah. Kandungan kimia dalam air limbah tersebut dapat merugikan lingkungan.

a. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD)

BOD merupakan kebutuhan oksigen bagi mikroorganisme pada kondisi aerob untuk menguraikan semua zat organik yang terlarut maupun tersuspensi dalam air menjadi bahan organik yang lebih sederhana. Bakteri dalam menguraikan bahan organik akan menghabiskan oksigen dalam air sehingga akan mengganggu kelangsungan hidup biota yang ada di dalam air. BOD yang semakin tinggi akan berpengaruh terhadap biota dalam air untuk bertahan hidup karena kekurangan oksigen, hal tersebut menunjukkan bahwa limbah cair di dalamnya semakin besar.

b. *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Salah satu indikator menentukan zat organik dan oksigen dengan cara oksidasi kimia adalah COD. COD, merupakan angka yang menunjukkan adanya pencemaran air oleh zat anorganik, nilai COD biasanya lebih tinggi dari BOD karena perbandingan oksidasi kimia lebih besar dibandingkan oksidasi biologinya. Semakin tinggi nilai COD pada air limbah mengindikasikan bahwa derajat pencemaran air semakin tinggi.

c. pH (keasaman air)

Keasaman air menjadi indikator untuk menentukan kehidupan mikroorganisme air yang berfungsi untuk kebutuhan biota tertentu. Air yang netral dapat mencegah terjadinya pelarutan logam berat, pH yang tidak netral dapat melarutkan berbagai bahan kimia yang dilaluinya. Jika pH bersifat asam atau basa dapat menyebabkan pengkaratan pada pipa-pipa saluran air

yang terbuat dari logam sehingga menyebabkan perubahan senyawa kimia tertentu menjadi racun sehingga berdampak pada kesehatan manusia yang menggunakannya.

d. Oksigen terlarut (*Disolved Oxygen /DO*)

DO menjadi indikator untuk menentukan seberapa besar pengotoran pada air limbah. DO berkebalikan dengan BOD, semakin besar oksigen terlarut menunjukkan pengotoran relatif kecil. Kondisi oksigen terlarut dalam air dapat dijadikan indikator kehidupan ikan dan biota dalam perairan. Kehidupan ikan dan biota perairan tersebut bergantung dari kemampuan air untuk mempertahankan konsentrasi oksigen minimal yang dibutuhkan untuk kehidupannya.

e. Amonia

Amonia merupakan senyawa nitrogen yang menjadi NH_3 , pada pH rendah. Masuknya buangan ditandai dengan keberadaan amonia. Senyawa organik yang terdapat dalam limbah dan buangan, seperti protein, karbohidrat dan lemak dimanfaatkan oleh bakteri sebagai sumber makanan.

f. Nitrit

Nitrit merupakan bentuk nitrogen yang hanya sebagian teroksidasi. Keberadaan nitrit merupakan salah satu indikator proses pengolahan berlangsung tidak sempurna. Air limbah yang baru dihasilkan dari suatu proses kandungan nitritnya tidak ditemukan, kandungan nitrit tersebut ditemukan pada air limbah yang sudah beberapa hari tidak diolah atau tertampung. Sumber nitrit berasal dari bahan-bahan yang mempunyai sifat korosif yang biasa digunakan dipabrik.

g. Logam Berat

Logam berat dalam air limbah seperti tembaga, kadmium, air raksa, timah, kromium, besi dan nikel, arsen, selenium, kobalt, mangan dan aluminium. Mikroorganisme membutuhkan logam berat tersebut dalam konsentrasi yang rendah, akan tetapi dengan kadar konsentrasi yang tinggi dapat membahayakan kehidupan mikroorganisme.

3. Karakteristik Biologi

Keberadaan mikroorganisme dalam air limbah menjadi indikator untuk melanjutkan proses pengolahan, proses pengolahan air limbah membutuhkan mikroorganisme yang berperan untuk menguraikan limbah cair. Akan tetapi di dalam limbah cair juga terdapat bakteri berbahaya yang menyebabkan penyakit. Bakteri yang digunakan sebagai indikator untuk mengontrol timbulnya penyakit.

2.2.5 Teknik Pengolahan Limbah Cair

Pada sebuah instansi atau industri, ada fasilitas yang menjadi sarana untuk pengolahan air limbah. *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) atau Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), adalah fasilitas yang menjadi tempat pembuangan akhir dan pengolahan limbah biologi dan kimia dalam limbah sehingga limbah dapat digunakan kembali atau dibuang ke lingkungan, dengan memperhatikan baku mutu limbah yang telah ditetapkan pemerintah. Pengolahan limbah sebelum memasuki lingkungan sangat penting untuk menghindari pencemaran lingkungan yang berbahaya bagi kesehatan manusia (Theresia *et al.*, 2023).

Menurut Arief (2016) pengolahan limbah bertujuan untuk menetralkan air dari bahan-bahan tersuspensi dan terapung, menguraikan bahan organik *biodegradable*, meminimalkan bakteri patogen, serta memperhatikan estetika dan lingkungan. Pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara alami dan secara buatan.

1. Secara Alami

Pengolahan air limbah secara alami dapat dilakukan dengan membuat kolam stabilisasi. Dalam kolam stabilisasi, air limbah diolah secara alamiah untuk menetralkan zat-zat pencemar sebelum dialirkan ke sungai. Kolam stabilisasi yang umum digunakan adalah kolam anaerobik, kolam fakultatif (pengolahan air limbah yang tercemar bahan organik pekat), dan kolam maturasi (pemusnahan mikroorganisme patogen). Karena biaya yang dibutuhkan murah, cara ini direkomendasikan untuk daerah tropis dan sedang berkembang.

2. Secara Buatan

Pengolahan air limbah dengan buatan alat dilakukan pada WWTP. Pengolahan ini dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu sebagai berikut.

a. *Primary Treatment*

Primary Treatment merupakan pengolahan pertama yang bertujuan untuk memisahkan zat padat dan zat cair dengan menggunakan filter dan bak sedimentasi. Beberapa alat yang digunakan adalah saringan pasir lambat, saringan pasir cepat, saringan multimedia, *percoal filter*, *mikrostaining*, dan *vacum filter*.

b. *Secondary Treatment*

Secondary Treatment merupakan pengolahan kedua, bertujuan untuk mengkoagulasikan, menghilangkan koloid, dan menstabilisasikan zat organik dalam limbah. Sedangkan pengolahan limbah rumah tangga bertujuan untuk mengurangi kandungan bahan organik, nutrisi nitrogen, dan fosfor. Penguraian bahan organik ini dilakukan oleh makhluk hidup secara aerobik (menggunakan oksigen) dan anaerobik (tanpa oksigen). Secara aerobik, penguraian bahan organik dilakukan mikroorganisme dengan bantuan oksigen sebagai *electron acceptor* dalam air limbah. Selain itu, aktivitas aerobik ini dilakukan dengan bantuan lumpur aktif yang banyak mengandung bakteri pengurai. Hasil akhir aktivitas aerobik sempurna adalah CO₂, uap air, dan lumpur berlebih. Secara anaerobik, penguraian bahan organik dilakukan tanpa menggunakan oksigen. Hasil akhir aktivitas anaerobik adalah biogas, uap air, dan lumpur berlebih.

c. *Tertiary Treatment*

Tertiary Treatment merupakan lanjutan dari pengolahan kedua, yaitu penghilangan nutrisi atau unsur hara, khususnya nitrat dan fosfat, serta penambahan klor untuk memusnahkan mikroorganisme patogen. Pengolahan air limbah dapat dilakukan secara alami atau secara buatan, oleh karena itu perlu dilakukan berbagai cara pengendalian, antara lain menggunakan teknologi pengolahan limbah cair, teknologi proses produksi, daur ulang, dan juga penghematan bahan baku dan energi.

2.2.6 Baku Mutu Lingkungan dan Limbah Cair

Menurut Siahaan (2004) mengenai batasan yuridis BML, UUPH 1982 memberikan pengertian sebagai berikut. “Baku Mutu Lingkungan adalah batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang ditenggang adanya dalam suatu sumberdaya tertentu sebagai unsur lingkungan hidup”. Dari pengertian ini, jelaslah bahwa untuk mengetahui kemampuan lingkungan harus diketahui segala macam komponen, susunan, atau sistem lingkungan, kondisi dan segala sesuatu yang berkenaan dengan lingkungan hidup itu secara lengkap. Itu faktor pertama yang harus diketahui. Sedangkan faktor lainnya ialah sifat, corak, karakteristik, potensi atau kemampuan mempengaruhi mutu lingkungan yang diukur dengan satuan-satuan tertentu.

Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2011, baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan atau kegiatan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, air limbah adalah sisa dari suatu usaha atau kegiatan yang berwujud cair. Air limbah yang ditinjau dari berbagai sumber, terbagi atas tiga kelompok secara garis besar yaitu:

1. Air buangan industri
2. Air buangan yang berasal dari rumah tangga
3. Air buangan kotapraja.

Adanya proses pembuangan limbah cair yang terus-menerus ke lingkungan perairan dalam waktu yang lama, akan menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan. (Pungus et al., 2019). Termasuk di era industrialisasi ini, kegiatan industri juga menjadi salah satu hal yang menunjang pertumbuhan ekonomi negara. Selain berdampak positif, industri ini juga menimbulkan dampak negatif dikarenakan limbah yang dihasilkan. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu industri yang menyumbang limbah terbesar.

Menurut Sahlan dan Abdul (2019), PLTU adalah suatu sistem dari beberapa unit pembangkit yang mengandalkan energi mekanis dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Sebagai industri yang menggunakan air sebagai media utama untuk menghasilkan uap, maka PLTU juga menghasilkan limbah cair. Di samping itu ada pula bahan baku yang mengandung air sehingga dalam proses pengolahannya air tersebut harus dibuang, mencuci suatu komponen dengan menambahkan bahan kimia tertentu. Semua jenis perlakuan ini mengakibatkan adanya air buangan. Oleh karena itu, limbah cair tersebut harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang jika mengandung pencemar yang mengakibatkan rusaknya lingkungan, atau paling tidak berpotensi menciptakan pencemaran. Meskipun kebanyakan limbah cair perlu diolah sebelum dibuang, namun tidak selamanya limbah cair harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Ada limbah cair yang dapat langsung dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu dan ada limbah cair yang setelah diolah dapat dimanfaatkan kembali. Jadi, sebelum dibuang ke lingkungan, limbah cair tersebut diolah dan harus memenuhi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup tentang baku mutu air limbah untuk sebuah usaha.

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (2009), usaha dan/atau kegiatan pembangkit listrik tenaga termal merupakan salah satu usaha dan/atau kegiatan yang berpotensi menimbulkan pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup, oleh karena itu perlu dilakukan pengendalian terhadap pembuangan air limbah dari usaha dan/atau kegiatan pembangkit listrik tenaga termal. Secara umum menurut Peraturan Menteri ini yang dimaksud dengan baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Jadi, untuk semua jenis usaha yang diatur dalam Peraturan Menteri ini meliputi kegiatan:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)
2. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)
3. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)
4. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)
5. Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP).

Adapun parameter pertama yang diperhatikan dalam kegiatan Pembangkit Listrik Termal dapat diperhatikan pada **Tabel 2.1** yang membahas tentang baku mutu air limbah melalui Sumber Proses Utama. Ada ketentuan yang perlu diperhatikan yaitu Klorin Bebas (Cl_2) apabila *cooling tower blowdown* dialirkan ke IPAL dan Phospat (Po^{4-}) apabila melakukan injeksi Phospat.

Tabel 2.1 Sumber Proses Utama (PerMen Lingkungan Hidup, 2009).

Parameter	Kadar Maksimum
<i>Potential of Hydrogen</i> (pH)	6-9
<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	100 mg/L
Minyak dan Lemak	10 mg/L
Klorin Bebas (Cl_2)*	0,5 mg/L
Kromium Total (Cr)	0,5 mg/L
Tembaga (Cu)	1 mg/L
Besi (Fe)	3 mg/L
Seng (Zn)	1 mg/L
Phospat (Po^{4-})**	10

Parameter kedua yang diperhatikan dalam kegiatan Pembangkit Listrik Termal dapat diperhatikan pada **Tabel 2.2** berikut yang membahas tentang baku mutu air limbah melalui Sumber *Blowdown Boiler*. Ada ketentuan yang perlu diperhatikan dimana parameter ini berlaku apabila sumber air limbah *blowdown boiler* tidak dialirkan ke IPAL

Tabel 2.2 Sumber *Blowdown Boiler* (PerMen Lingkungan Hidup, 2009).

Parameter	Kadar Maksimum
<i>Potential of Hydrogen</i> (pH)	6-9
Tembaga (Cu)	1 mg/L
Besi (Fe)	3 mg/L

Parameter ketiga yang diperhatikan dalam kegiatan Pembangkit Listrik Termal dapat diperhatikan pada **Tabel 2.3** berikut yang membahas tentang baku mutu air limbah melalui *Blowdown Cooling Water*. Ada ketentuan yang perlu diperhatikan dimana parameter ini berlaku apabila sumber air limbah *blowdown cooling water* tidak dialirkan ke IPAL.

Tabel 2.3 *Blowdown Cooling Water* (PerMen Lingkungan Hidup, 2009).

Parameter	Kadar Maksimum
<i>Potential of Hydrogen</i> (pH)	6-9
Klorin Bebas (Cl ₂)	1 mg/L
Seng (Zn)	1 mg/L
Phospat (Po ⁴⁻)	10

Parameter keempat yang diperhatikan dalam kegiatan Pembangkit Listrik Termal dapat diperhatikan pada **Tabel 2.4** berikut yang membahas tentang baku mutu air limbah melalui Sumber Demineralisasi/WTP.

Tabel 2.4 Sumber Demineralisasi/WTP (PerMen Lingkungan Hidup, 2009).

Parameter	Kadar Maksimum
<i>Potential of Hydrogen</i> (pH)	6-9
<i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	100 mg/L

2.2.7 Sumber Air Limbah PLTU

Dalam proses pembangkitan PLTU, berbagai tahapan melibatkan penggunaan air dalam jumlah besar, baik untuk proses pendinginan, pembangkitan uap, maupun pembersihan yang mengakibatkan PLTU menghasilkan beragam jenis air limbah yang berasal dari berbagai sumber. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (2009), yang menjadi sumber air limbah dikawasan pembangkit listrik termal seperti PLTU sebagai berikut.

1. Sumber air limbah proses utama meliputi proses pencucian (dengan atau tanpa bahan kimia) dari semua peralatan logam, *blowdown cooling tower*, *blowdown boiler*, laboratorium, dan regenerasi resin *Water Treatment Plant* (WTP).
2. Sumber air limbah dari kegiatan pendukung meliputi kegiatan fasilitas air pendingin, kegiatan desalinasi, kegiatan fasilitas *stockpile* batubara, dan kegiatan air buangan fasilitas *flue gas desulphurization* (FGD) sistem *sea water scrubber*.
3. Sumber air limbah dari *oily water* meliputi drainase lantai kerja, kebocoran (*seepage*), kebocoran air limbah dari pencucian peralatan-peralatan dan tumpahan dari kegiatan operasional yang dibuang ke media lingkungan melalui kolam separator.

Air limbah yang dihasilkan dari operasi di area unit boiler memiliki potensi untuk mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Sebagai komponen penting dalam industri yang memerlukan pengolahan air dalam jumlah besar, unit boiler juga menghasilkan berbagai jenis limbah cair yang mengandung zat-zat kimia berbahaya. Menurut Tetsuo *et al* (1999), boiler dibagi 3 jenis berdasarkan tekanannya, yaitu tekanan rendah, tekanan sedang dan tekanan tinggi. Boiler tekanan rendah menggunakan air baku atau air lunak sebagai air umpan dan biasanya tidak menggunakan deaerator. Oleh karena itu, boiler tersebut mengalami masalah seperti adhesi kerak silika, korosi akibat oksigen terlarut dan karbon dioksida di saluran kondensat. Boiler tekanan sedang atau tinggi umumnya dipasok dengan air daerasi dan demineralisasi sebagai air umpan. Namun, karena dioperasikan pada suhu dan tekanan tinggi, keberadaan sejumlah kecil kotoran dapat menyebabkan masalah, seperti endapan oksida logam pada permukaan pemanas boiler, korosi pada peralatan bantu, dan adhesi kerak di *superheater* atau pada bilah turbin. Kandungan yang terdapat pada air-air tersebut meliputi:

1. Silika (SiO_2)
2. Oksigen terlarut (O_2)
3. Karbon dioksida (CO_2)
4. Bikarbonat (HCO_3^-)
5. Garam-garam mineral (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-})
6. Oksida logam (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , CuO)
7. Sisa mineral dan bahan kimia pengolahan air

Bahan tersebut jika dilepas sangat membahayakan lingkungan. Dengan memahami kandungan air limbah ini, kita dapat lebih baik merancang sistem pengolahan yang tepat untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Pada sistem pendingin berpendingin air, *cooling water* berperan krusial dalam kondensor. Menurut Hartanto dan Mastiadi (2019), kondensor berfungsi mengubah refrigeran dari gas menjadi cairan dengan melepaskan panas. *Cooling water* menyerap panas ini dari refrigeran di dalam kondensor, menyebabkan refrigeran mengembun. Akibat proses penyerapan panas di kondensor, temperatur air pendingin keluar kondensor akan naik. Karena air akan disirkulasikan kembali ke

kondensor, maka air pendingin ini harus didinginkan terlebih dahulu di menara pendingin (*cooling tower*). Menurut Tetsuo *et al* (1999), pemanfaatan air pada kondensor dan *cooling water* yang efektif tersebut menyebabkan konsentrasi padatan terlarut, yang mengakibatkan seringnya masalah korosi, kerak, dan lendir dalam sistem air pendingin. Berbagai bahan kimia pengolahan air pendingin digunakan untuk mencegah masalah ini. Bahan kimia pengolahan air pendingin memiliki kemungkinan menyebabkan pencemaran lingkungan karena dibuang bersama air *blowdown*.

Desalinasi atau Reverse Osmosis (RO) adalah proses pemurnian air yang menghasilkan air limbah berupa brine reject. *Flue Gas Desulphurization* (FGD) Sistem *sea water wet scrubber* adalah sistem penyerapan sulfur dari emisi gas buang dengan menggunakan air laut. *Stockpile batu bara* adalah timbunan batu bara yang menghasilkan air limbah berupa air limpasan. *Water Treatment Plant* (WTP) atau demineralisasi adalah proses pemurnian air baku untuk keperluan proses maupun domestic (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup, 2009).

2.2.8 Pemantauan Kualitas Air Limbah

Pemantauan kualitas air limbah merupakan aspek penting dalam menjaga kelestarian lingkungan. Seiring perkembangan teknologi, pemantauan juga memanfaatkan alat-alat canggih yang memungkinkan pengukuran parameter kualitas air secara berkelanjutan. Penggunaan alat-alat ini memberikan data yang cukup akurat, sehingga memungkinkan deteksi dini potensi pencemaran dan pengambilan tindakan yang tepat untuk mencegah dampak negatif terhadap lingkungan. Mekanisme pemantauan kualitas air limbah akan dijelaskan pada subbab berikut ini.

2.2.8.1 Pengukuran Kandungan Mineral dan Senyawa Kimia

Alat yang berguna untuk analisis mineral dan senyawa kimia karena kemampuannya untuk mengukur interaksi antara materi dan cahaya disebut spektrofotometer. Spektrofotometer terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrometer menghasilkan sinar dari spektrum dan panjang gelombang tertentu,

sedangkan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau yang diabsorpsi. Oleh karena itu, spektrofotometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur energi secara relatif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dengan mengukur serapan atau transmisi cahaya pada panjang gelombang tertentu, spektrofotometer dapat mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi berbagai zat dengan akurasi yang tinggi (Khopkar, 1990).

Berdasarkan *range* dari panjang gelombang dari sumber cahaya, dapat dibedakan menjadi :

1. Spektrofotometer *UV-Visible* adalah menggunakan cahaya dengan kisaran ultraviolet (185-400 nm) dan kisaran cahaya tampak (400-700 nm).
2. Spektrofotometer IR (*Infra Red*) adalah menggunakan cahaya pada kisaran (700-15000 nm).

Terdapat dua kelas spektrofotometer yaitu *single beam* dan *double beam*.

Single Beam

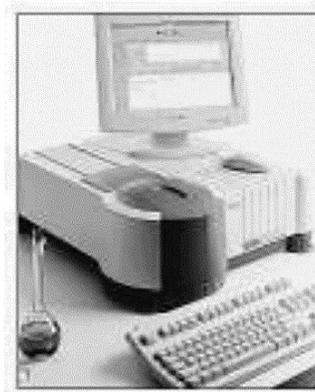
Pada spektrofotometer *single beam*, komponen disusun tunggal, pada jenis ini lebih murah dan lebih mudah pemeliharaannya. Pada spektrofotometer *single beam* dibutuhkan standar referensi untuk mengukur intensitas cahaya sebelum dan sesudah sampel dimasukkan.

1. *Double Beam*

Pada spektrofotometer *double beam*, sumber cahaya dibagi menjadi dua berkas cahaya setelah melewati monokromator. Berkas cahaya yang satu digunakan untuk sampel dan berkas cahaya lainnya digunakan untuk referensi standar. Konfigurasi *double beam* ini sangat menguntungkan karena pembacaan sampel dan standar dapat dilakukan simultan (bersamaan) sehingga pengukuran menjadi independen dari variasi intensitas sumber cahaya.

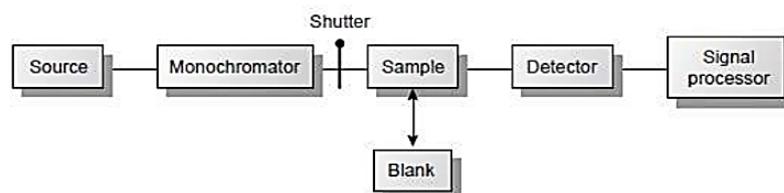


Gambar 2.2 Spektrofotometer *Single Beam* (Yudhono, 2017)



Gambar 2.3 Spektrofotometer *Double Beam* (Yudhono, 2017)

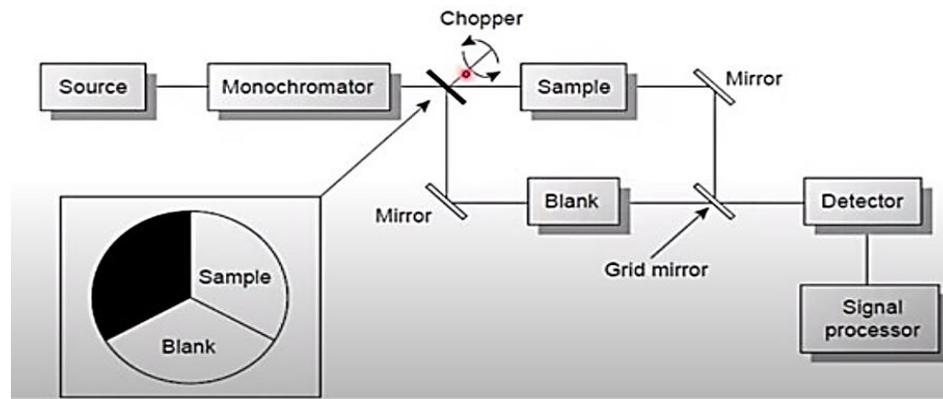
Spektrofotometri adalah pengukuran penyerapan energi cahaya suatu sistem kimia sebagai fungsi dari panjang gelombang dan radiasi. Absorpsi radiasi oleh suatu sampel diukur pada berbagai panjang gelombang dan dialirkan oleh suatu perekam untuk menghasilkan spektrum tertentu yang khas untuk komponen yang berbeda.



Gambar 2.4 Diagram Blok Spektrofotometer *Single Beam* (Yudhono, 2017)

Pada diagram blok untuk spektrofotometer *single beam* menggunakan satu berkas sinar yang digunakan secara bergantian untuk mengukur larutan standar (termasuk larutan blanko) dan larutan sampel. Dapat dilihat bahwa yang membedakan antara

spektrofotometer berkas tunggal dengan spektrofotometer berkas ganda adalah pada sinar hanya satu arah saja yang nantinya menyinari sampel dan blanko secara



Gambar 2.5 Diagram Blok Spektrofotometer *Double Beam* (Yudhono, 2017)

bergantian. Pada diagram blok untuk spektrofotometer *double beam* menggunakan dua berkas sinar yang nanti masing-masing akan mengukur larutan sampel dan juga larutan standar. Dapat dilihat pada sumber sinar setelah melalui monokromator akan dipecah oleh *chopper* sehingga nanti sinar yang terpecah ini yang satu akan masuk ke sampel dan yang satunya akan ke blanko atau bisa diilustrasikan ada dua jalur sinar. Secara bagian-bagian / skemanya yang membedakan antara *single beam* dan *double beam* adalah karena adanya *chopper*.

Penerapan Hukum *Beer* untuk analisis kuantitatif sampel sangat banyak dalam lingkungan kimia, kimia klinis, kimia industri dan kimia forensik. Cahaya yang diserap diukur sebagai absorbansi (A) sedangkan cahaya yang hamburkan diukur sebagai transmitansi (T), dinyatakan dengan Hukum *Lambert-Beer* atau Hukum *Beer*, berbunyi “Jumlah radiasi cahaya tampak (ultraviolet, inframerah, dsb) yang diserap atau ditransmisikan oleh suatu larutan merupakan suatu fungsi eksponen dari konsentrasi zat dan tebal larutan” (Yudhono, 2017).

2.2.8.2 Pengukuran Derajat Keasaman (pH)

Alat yang berfungsi untuk mengukur pH (derajat keasaman atau kebasaaan) suatu cairan (ada elektroda khusus yang berfungsi untuk mengukur pH bahan-bahan semi-padat) disebut pH meter. Sebuah pH meter terdiri dari sebuah elektroda (*probe*

pengukur) yang terhubung ke sebuah alat elektronik yang mengukur dan menampilkan nilai pH. Alat ini umumnya digunakan dalam pengelolaan air limbah adalah pH meter genggam dan dapat dibawa serta digunakan untuk pengukuran pH di lapangan karena dilengkapi dengan baterai. Alat ini memiliki elektroda yang terpisah dengan unit pH meter dan terhubung dengan voltmeter melalui kabel panjang. Kemampuan pembacaan pH meter genggam yaitu pembacaan pH dengan dua angka desimal dan cenderung lebih akurat.

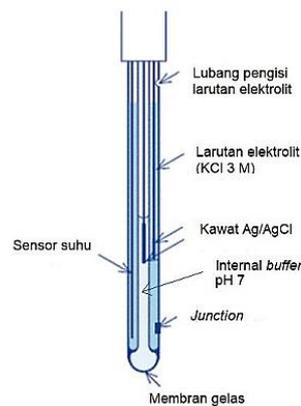


Gambar 2.6 pH Meter Genggam (Hidayani *et al.*, 2022)

Elektroda gelas pada pH meter terdiri dari membran gelas yang sensitif terhadap ion H^+ dengan kawat perak (Ag) yang dilapisi perak klorida (AgCl) yang terendam dalam larutan internal buffer pH 7. Sedangkan elektroda pembanding pada pH meter bersifat tidak sensitif terhadap ion H^+ , sehingga menghasilkan potensial yang tetap. Elektroda ini berisi kawat Ag/AgCl yang terendam dalam larutan elektrolit, umumnya larutan Kalium Klorida (KCl) 3 M. Lubang ditutup, maka larutan elektrolit pada elektroda pembanding tidak dapat mengalir keluar melalui junction. Sehingga potensial tidak dapat dijaga pada nilai konstan.

Jika elektroda pH meter dimasukkan dalam larutan yang kaya ion H^+ , maka ion H^+ dari larutan akan bergerak mendekati membran gelas dan ion H^+ dari larutan internal buffer pH 7 pada elektroda gelas yang jumlahnya tetap bergerak mendekati membran gelas dari arah dalam. Apabila jumlah ion H^+ di dalam membran gelas kurang dari jumlah ion H^+ di luar membran gelas, maka potensial akan meningkat dan menyebabkan penurunan pembacaan pH pada pH meter. Sehingga, larutan

yang diukur bersifat asam dengan nilai pH kurang dari 7. Begitu juga apabila elektroda pH meter dimasukkan ke dalam larutan yang sedikit jumlah ion H^+ nya, maka jumlah ion H^+ di dalam membran gelas akan lebih banyak dibandingkan jumlah ion H^+ di luar membran gelas. Dengan demikian, potensial akan menurun dan menyebabkan kenaikan pembacaan pH pada pH meter. Sehingga larutan sampel yang diukur bersifat basa dengan nilai pH lebih dari 7. Kemudian jika jumlah ion H^+ di dalam membran gelas sama dengan di luar membran gelas, maka tidak terdapat perbedaan potensial atau 0. Sehingga larutan yang diukur bersifat netral dengan nilai pH 7 (Hidayani *et al.*, 2022).



Gambar 2.7 Bagian-bagian pada Elektroda Kombinasi (Hidayani *et al.*, 2022)

2.2.8.2 Pengukuran Nilai Konduktivitas Listrik

Alat untuk mengukur nilai konduktivitas listrik suatu larutan atau cairan disebut *conductivity meter*. *Conductivity meter* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur daya hantar suatu larutan serta derajat ionisasi larutan elektrolit yang terlarut dalam air. Alat ini bekerja dengan cara menentukan hambatan pada sebuah cairan. Selain itu fungsi lainnya untuk mengukur daya hantar listrik yang dihasilkan oleh gerakan partikel di dalam larutan.

Prinsip kerja *conductivity meter* didasarkan pada pengukuran hambatan listrik pada larutan yang mengandung ion positif dan negatif. Sel hantaran dicelupkan ke dalam larutan, dan saat ion-ion tersebut berinteraksi dengan sel, terbentuklah sinyal listrik yang berupa hambatan listrik. Alat ini kemudian akan

mengkonversi hambatan listrik tersebut menjadi hantaran listrik larutan. Semakin tinggi konsentrasi, semakin banyak ion yang bersentuhan dengan konduktor, sehingga nilai daya hantarnya pun semakin besar. Selain itu, suhu larutan juga berperan penting dimana semakin tinggi suhu, semakin besar daya hantarnya. Hal ini disebabkan oleh peningkatan energi kinetik partikel-partikel dalam larutan ketika suhu meningkat, yang menyebabkan gerakan molekul menjadi lebih cepat. Dengan demikian, konduktor akan semakin sering menerima sentuhan dari ion-ion yang ada dalam larutan (Mujadin *et al.*, 2017).



Gambar 2.8 Conductivity Meter (Mujadin *et al.*, 2017)

2.2.8.3 Pengukuran Jumlah Total Padatan Terlarut

Alat untuk mengukur jumlah total padatan terlarut dalam air disebut TDS meter. Terdapat dua elektroda yang dapat mengukur konduktivitas pada cairan. Kandungan partikel ion dan sifat elektrolit dalam cairan dapat mempengaruhi hasil dari pengukuran dengan menggunakan sensor TDS.

Prinsip kerja sensor konduktivitas didasarkan pada pengaliran arus kedalam zat cair dengan menggunakan dua probe yang terbuat dari stainless dengan jarak 1 cm yang berfungsi untuk mendapatkan nilai konduktansi suatu larutan. Besarnya nilai konduktansi bergantung kepada ion organik, suhu dan konsentrasi ion. Semakin besar nilai konduktivitas maka semakin banyak mineral yang terkandung dalam air (Wirman *et al.*, 2019).



Gambar 2.9 TDS Meter (Wirman *et al.*, 2019)

2.2.8.4 Pengukuran Kekeruhan Air

Alat yang digunakan untuk mengukur kekeruhan air dan mengukur kejernihan air serta memantau kualitas air disebut turbidimeter. Kekeruhan merupakan ciri-ciri air yang menunjukkan betapa keruh atau buramnya air tersebut. Jadi, semakin banyak partikel yang dikandung air, semakin besar kekeruhannya.



Gambar 2.10 Turbidimeter (Khopkar, 1990)

Tingkat kekeruhan air biasa disebut Turbiditas. Turbiditas pada air disebabkan oleh adanya materi suspensi, seperti tanah liat/lempung, endapan lumpur, partikel organik yang koloid, plankton, dan organisme mikroskopis lainnya. Turbidimeter berprinsip pada spektroskopi absorpsi, dan yang diukur adalah absorpsi akibat partikel yang tercampur. Turbiditas juga biasa diukur dengan turbidimeter atau nephelometer yang berprinsip pada hamburan sinar dengan peletakan detektor pada sudut 90 dari sumber sinar dan yang diukur adalah hamburan cahaya oleh campurannya. Tingkat kekeruhan atau turbiditas ini ditunjukkan dengan satuan pengukuran yaitu *Nephelometric Turbidity Units* (NTU).

Prinsip kerja turbidimeter adalah memancarkan cahaya pada media atau sampel, dan cahaya tersebut akan diserap, dipantulkan atau menembus media tersebut. Cahaya yang menembus media pengukuran akan diukur dan ditransfer dalam bentuk angka. Jika seberkas cahaya dilewatkan melalui sampel keruh, intensitasnya dikurangi dengan hamburan dan jumlah cahaya yang tersebar tergantung pada konsentrasi dan distribusi ukuran partikel (Khopkar, 1990).

2.2.9 Reverse Osmosis (RO)

Meningkatnya kebutuhan industri akan air semakin bertambah belakangan ini. Selain dibutuhkan dalam proses industri, air juga sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari termasuk rumah tangga. Air umumnya banyak dipakai untuk proses produksi. Masalah yang timbul adalah ketersediaan sumber air yang terbatas. Salah satu solusi terbaik untuk permasalahan kebutuhan air ini adalah dengan mengoptimalkan air hasil daur ulang WWTP dan mempertahankan kapasitas air hasil olahan. Proses pengolahan daur ulang air limbah terbagi dalam dua tahap, yaitu proses instalasi pengolahan air limbah produksi dengan proses kimia dan filtrasi, serta proses pengolahan air daur ulang dengan proses *Reverse Osmosis* (RO) (Nugroho *et al.*, 2023).

Sistem RO awalnya dirancang untuk memenuhi kebutuhan air tawar yang dipakai untuk pelayaran jarak jauh kapal. RO menggunakan proses pemompaan bertekanan tinggi untuk mengalirkan air laut melewati membran yang berfungsi memisahkan atau menghilangkan zat terlarut dalam air. RO adalah proses difusi terkendali yang mengontrol perpindahan massa zat terlarut sehingga dapat melewati struktur berupa polimer membran. Difusi air tawar ke air laut melewati membran semipermeabel dipengaruhi oleh daya atau tekanan osmosis. Adanya pengaruh tekanan yang lebih besar dari tekanan osmosis menyebabkan aliran air tawar berbalik arah, yaitu dari air asin ke air tawar. Tekanan osmosis dipengaruhi oleh jenis membran, temperatur, konsentrasi garam (salinitas) dan TDS. RO efektif dalam mendegradasi konsentrasi TDS hingga 45.000 mg/L.

Karakteristik membran, sifat fisikokimia sistem, dan variabel operasi berpengaruh dalam kinerja RO. Pada RO, konfigurasi modul membran utama yang digunakan berupa spiral wound. Modul lainnya berupa *hollow fiber*, *tubular* dan *plate and frame*. Umumnya membran dalam RO dirancang secara seri atau sejajar menggunakan sistem satu tahap hingga multi tahap (Ragetsvara dan Harmin, 2021).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Air PLTU Tarahan. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan mulai dari studi literatur, wawancara, observasi, menganalisa sampel air limbah, pengambilan data dan analisa data. Waktu penelitian ini dilakukan pada Oktober sampai Desember 2024. Jadwal pelaksanaan kegiatan digambarkan dalam **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan

No.	Kegiatan	Pelaksanaan (Bulan Ke)		
		1	2	3
1.	Studi literatur dan pembuatan proposal	■		
2.	Penelitian dan Pengambilan Data	■		
3.	Analisa Data dan Perhitungan		■	
4.	Pembuatan Laporan Akhir			■

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam pengambilan sampel dan pengambilan data pada penelitian ini terdapat alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung berjalannya penelitian ini sebagai berikut.

3.2.1 Alat

Pada penelitian yang dilakukan, ada dua jenis alat yang digunakan yaitu alat yang diperlukan dalam pengambilan sampel air limbah dan alat yang digunakan untuk menganalisa kandungan limbah PLTU Tarahan. Adapun alat yang digunakan dalam pengambilan sampel air limbah dapat ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Peralatan Untuk Pengambilan Sampel Air Limbah

No.	Alat Penelitian	Fungsi
1.	Botol Sampel	Sebagai wadah untuk menampung sampel air limbah dari berbagai lokasi.

Setelah alat yang digunakan untuk mengambil sampel, maka selanjutnya adalah alat yang digunakan untuk menganalisa kandungan air limbah PLTU Tarahan. Adapun alat yang digunakan untuk menganalisa kandungan dan kualitas air limbah ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Peralatan Untuk Menganalisa Kandungan Air Limbah

No.	Alat Penelitian	Fungsi
1.	Spektrofotometer	Sebagai alat yang digunakan untuk mengetahui nilai absorbansi pada suatu sampel larutan.
2.	pH Meter	Sebagai alat yang digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan.
3.	<i>Conductivity</i> Meter	Sebagai alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekonduksian atau konduktivitas suatu larutan.
4.	TDS Meter	Sebagai alat yang digunakan untuk mengukur jumlah total zat terlarut dalam air.
5.	Turbidimeter	Sebagai alat ukur kualitas air yang digunakan untuk mengetahui kadar atau tingkat kekeruhan yang terjadi pada air atau suatu perairan.

3.2.2 Bahan

Pada penelitian ini sampel air limbah adalah objek utama yang akan dianalisis kandungannya sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan oleh PLTU Tarahan. Untuk menganalisa sampel tersebut, maka dibutuhkan bahan kimia untuk membantu proses analisa. Bahan kimia yang digunakan untuk menganalisa sampel air limbah yang ditunjukkan pada **Tabel 3.4**

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa prosedur kerja. Adapun prosedur kerja pada penelitian ini sebagai berikut:

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari informasi yang terkait dengan tema yang akan diambil. Dalam metode ini, hal yang dilakukan yaitu mencari sumber referensi lain dengan membaca buku-buku elektronik, jurnal-jurnal, artikel, dan *web* yang berhubungan dengan air limbah. Selain itu juga dengan mencari sumber lain melalui buku bacaan yang disediakan di perpustakaan PT. PLN NP UPK Tarahan, buku pedoman, dan laporan lain untuk melengkapi laporan.

3.3.2 Wawancara

Wawancara dilakukan dengan pihak-pihak yang berkaitan dengan objek yang akan dibahas. Adapun wawancara yang dilakukan yaitu kepada pihak yang menangani seputar air limbah PLTU Tarahan seperti pihak yang menangani di bagian Laboratorium Kimia Air dan operator WWTP serta pembimbing lapangan. Metode wawancara bertujuan menambah wawasan seputar proses menganalisa parameter air limbah, sistem pengolahan air limbah, dan sebagainya.

3.3.3 Observasi

Observasi merupakan metode pengamatan secara langsung terhadap objek yang akan dibahas atau kunjungan langsung ke lapangan. Tujuan observasi yaitu untuk memahami seputar air limbah pada PLTU Tarahan dan memperoleh data-data yang akan dianalisis. Data yang diperoleh berdasarkan survei lapangan dan analisis yang telah dilakukan.

Pengumpulan data tersebut meliputi data:

1. Sumber-sumber air limbah PLTU Tarahan,
2. Proses pengolahan air limbah PLTU Tarahan,
3. Hasil analisa air limbah PLTU Tarahan,
4. Spesifikasi sistem pengolahan air limbah PLTU Tarahan
5. Model diagram alir sistem pengolahan air limbah PLTU Tarahan

3.3.4 Pengolahan data

Pada metode ini, data yang telah diperoleh diolah untuk memperoleh hasil analisis yang dimaksud, meliputi karakteristik kimia air limbah sebelum (*inlet*) dan sesudah

Tabel 3.4 Bahan Kimia Untuk Menganalisa Kandungan Air Limbah

No.	Bahan Penelitian	Fungsi
1.	Magnesium dan Kalsium Indikator	Sebagai penentu kekerasan air dan memantau potensi pembentukan endapan.
2.	Magnesium dan Kalsium Uji	Sebagai pengukur kekerasan air, yang mempengaruhi kualitas dan proses pengolahan air.
3.	<i>Reagent Silica</i>	Sebagai pengukur kadar silika dalam sampel air dan memantau kualitas air serta proses industri.
4.	<i>Reagent Iron</i>	Sebagai pengukur kadar besi dalam sampel air dan mengidentifikasi kontaminasi besi.
5.	<i>Reagent Chlorine</i>	Sebagai pengukur kadar klorin dan menguji kualitas air, serta untuk disinfeksi.
6.	<i>Citric Acid</i>	Sebagai pengkelat logam, membantu melarutkan endapan logam, serta menjaga kestabilan pH selama analisis.
7.	<i>Amino Acid</i>	Sebagai penanda aktivitas biologis, identifikasi nutrisi, dan membantu proses bioremediasi.
8.	Ethyleneglycol-tetraacetic Acid (EGTA)	Sebagai pengkelat ion kalsium, mencegah pengaruh kalsium pada analisis, serta menghindari pembentukan endapan kalsium.
9.	Ethylenediamine-tetraacetic Acid (EDTA)	Sebagai pengkelat ion logam umum, digunakan untuk mengikat berbagai ion logam seperti kalsium, magnesium, besi, dan lainnya.

(*outlet*) diolah. Setekah dilakukan pemeriksaan di laboratorium, hasil analisis data digunakan untuk mencari nilai efektivitas sistem pengolahan air limbah dengan menggunakan rumus menurut Sahlan dan Abdul (2019) pada **Persamaan 3.1**.

$$\text{Efektivitas} = \frac{(\text{inlet} - \text{outlet})}{\text{inlet}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Pada persamaan ini, *inlet* adalah nilai kualitas parameter awal yang diperoleh dari data kualitas air sebelum air limbah melalui proses pengolahan, dan *outlet* adalah nilai kualitas parameter akhir yang diperoleh dari data kualitas air setelah air limbah melalui proses pengolahan.

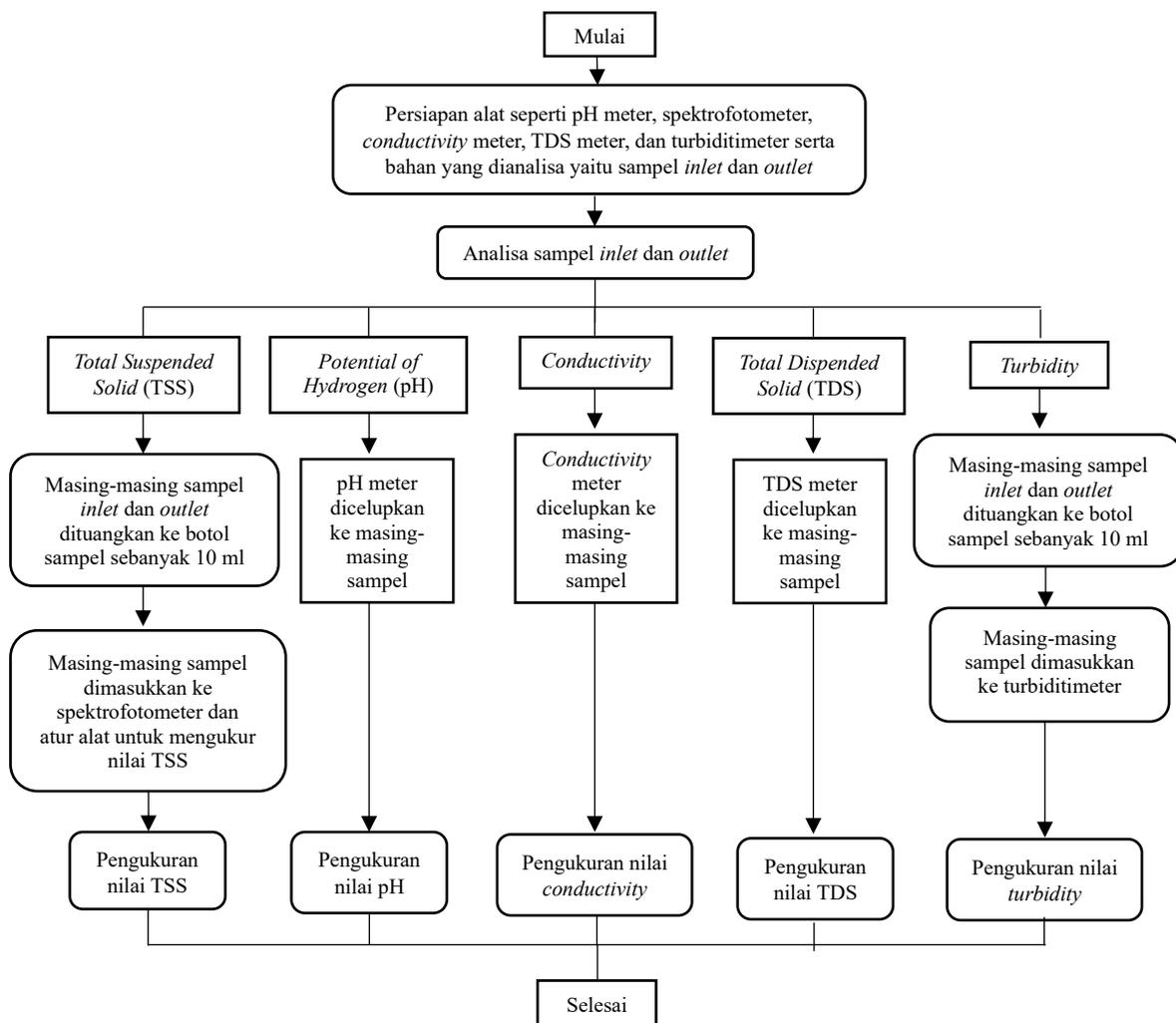
Diagram alir berdasarkan penelitian dibagi menjadi dua yaitu proses analisa parameter tanpa penggunaan bahan kimia yang ditunjukkan pada **Gambar 3.1** dan proses analisa parameter dengan penggunaan bahan kimia yang ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.

Hasil Analisa parameter tanpa penggunaan bahan kimia sebagai berikut:

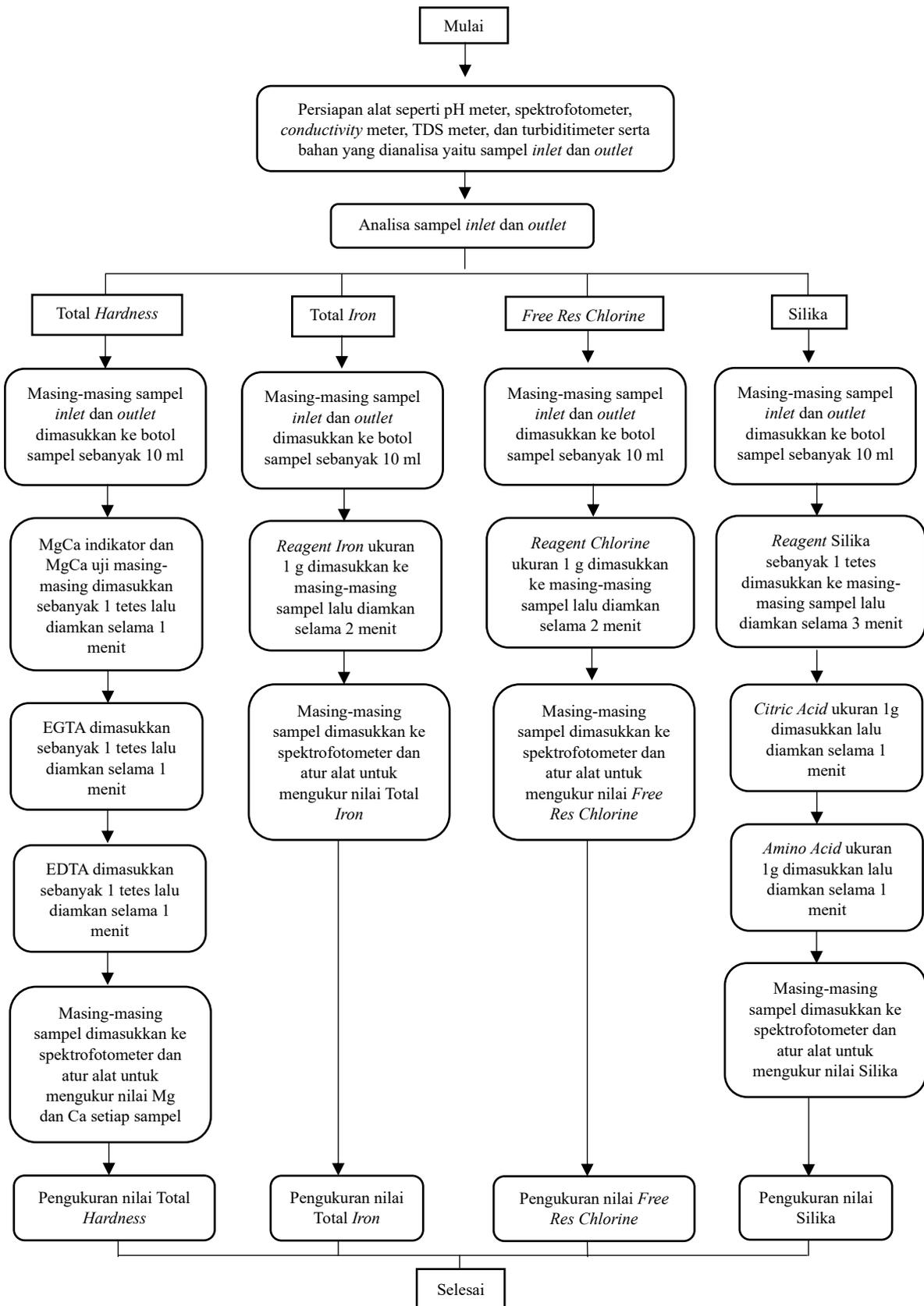
1. Nilai *Total Suspended Solid* (TSS)
2. Nilai Ph
3. Nilai *Conductivity*
4. Nilai *Total Dissolved Solid* (TDS)
5. Nilai *Turbidity*

Selain itu yaitu proses analisa parameter dengan penggunaan bahan kimia. Hasil yang akan diperoleh sebagai berikut:

1. Nilai *Total Hardness*
2. Nilai *Total Iron*
3. Nilai *Free Res Chlorine*
4. Nilai Silika



Gambar 3.1 Diagram Analisa Parameter tanpa Penggunaan Bahan Kimia



Gambar 3.2 Diagram Analisa Parameter dengan Penggunaan Bahan Kimia

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai efektivitas sistem pengolahan air limbah pada PLTU Tarahan, maka melalui penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sumber-sumber air limbah dalam pengolahannya terbagi menjadi 5 jenis yaitu drainase area unit *boiler*, drainase area unit kondensor, drainase area unit turbin, drainase area unit WTP dan drainase area unit *chlorination plant*.
2. Proses pengolahan air limbah pada PLTU Tarahan secara umum meliputi tiga tahapan, yaitu *primary treatment* dimana SL 1 yang mengandung kontaminan berat akan bermuara pada NPU sedangkan SL 2 langsung dialirkan di penampungan awal sebelum ke *storage pond* 3 dan 4. Pada *secondary treatment*, semua sumber air limbah akan bermuara pada *storage pond* 3 dan 4 dan akan secara berurutan melewati proses aerasi, kemudian pengontrolan pH, lalu mengalami proses koagulasi dan sedimentasi, dan terjadi pemisahan air murni dengan lumpur sisa endapan. Pada *tertiary treatment*, secara berurutan air murni akan melewati penampungan di *clean water pit*, pemantuan pada DMF, penyesuaian pH pada *neutralization pit* dan *mixing pit*, dan air baku ditampung pada *purified waste water*. Untuk lumpur endapan akan secara berurutan diolah pada *sludge enrichment tank*, *filter press*, dan jika mengandung zat berbahaya maka akan diproses pada pengolahan LB3. Air baku pada *purified waste water* akan digunakan pada proses RO.
3. Melalui serangkaian proses pengolahan dan analisa yang dilakukan, terdapat 9 parameter yang menjadi kandungan air limbah PLTU Tarahan yaitu pH, *conductivity*, TDS, TSS, *turbidity*, *total hardness*, *total iron*, *free res chlorine* dan silika. Adapun hasil persentase efektivitas kualitas air limbah yang diperoleh

dengan nilai pH sebesar 80,36%, *conductivity* 74,09%, TDS sebesar 75,38%, *turbidity* sebesar 55,53%, *total iron* sebesar 66,66%, dan *free res chlorine* sebesar 60%. Untuk TSS tidak dihitung nilai efektivitasnya dikarenakan data yang menunjukkan kesamaan antara nilai *inlet* dan nilai *outlet*. Hal ini disebabkan karena banyaknya perlakuan untuk mengikat flok dan menjernihkan air menggunakan koagulan PAC sehingga pada hasil akhir, nilai analisa TSS yang diperoleh cukup rendah dan bernilai sama tetapi masih berada pada rentang baku mutu yang ditetapkan. Untuk *total hardness* dan silika tidak diukur nilai efektivitasnya dikarenakan data menunjukkan penurunan antara nilai *inlet* terhadap nilai *outlet*. Hal ini dikarenakan pada WWTP PLTU Tarahan hanya mendukung pengolahan *sand filter* dan injeksi kimia yang berlaku dalam proses pembentukan flok hanya PAC. Sedangkan untuk *total hardness* dan silika merupakan bentuk mineral yang dimana untuk mendapatkan data yang lebih akurat, sampel sebaiknya diambil dari produk RO.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai efektivitas sistem pengolahan air limbah pada PLTU Tarahan, maka melalui penelitian ini dapat diambil beberapa saran sebagai berikut.

1. Perlu melakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengolahan air limbah terlebih dalam cara meningkatkan efektivitas air limbah pada PLTU Tarahan.
2. Melakukan penelitian lebih lanjut pada proses *Reverse Osmosis* yang merupakan terobosan terbaru dan bagian lanjutan proses pengolahan air limbah pada PLTU Tarahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agyemang, E. O., Esi, A., Lawrence, D., Richard, A., dan Osei. 2013. Water Quality Assesment of a Wastewater Treatment Plant in a Ghanaian Beverage Industry. *International Journal of Water Resources and Environment Engineering* 5(5):272-279.
- Ardiansyah, F., dan Margana. 2013. Pengolahan Air Limpasan Batubara pada PLTU Tanjung Jati B Unit 3 Dan 4. *Jurnal Teknik Energi* 9(3):93-96.
- Arief, L, M. 2016. *Pengolahan Limbah Industri*. Andi OFFSET. Yogyakarta.
- Effendi, H. 2018. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius Media. Yogyakarta.
- Fitra, G, S. 2023. Pengaruh Limbah Dari Pembangunan PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Terhadap Kualitas Lingkungan Di Desa Tubanan, Jepara. *Jurnal Mini Riset Humaniora* 9(4):12-19.
- Hartanto, J, E., dan Mastiadi, T. 2019. Analisa Pengoperasian 1 CWP dan 2 CWP pada Cooling Water System PLTU Asam Asam Unit 4. *Jurnal SJME Kinematika*. 4(2): 37-52.
- Hidayat, N. 2016. *Bioproses Limbah Cair*. Andi OFFSET. Yogyakarta.
- Hindayani, A., Fanny, I, P., dan Amila, S, P. 2022. *Pengukuran pH Dengan Teknik Kalibrasi Dua Titik*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta Selatan
- Jumini, S., Sutikno., Edy, C., dan Parmin. 2022. *IPA Terpadu Berbasis Sciencetechnopreneurship*. Penerbit Mangku Bumi Media. Jawa Tengah.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Alam. 2022. Jenderal Ketenagalistrikan. <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/>. Diakses 16 Mei 2024.
- Kodoatie, R.J., dan Syarief, R. 2010. *Tata Ruang Air*. Penerbit Andi Yogyakarta.
- Kopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Penerbit Universitas Indonesia. Jawa Barat.

- Marsudi, D. 2011. *Pembangkitan Energi Listrik Edisi Kedua*. PT. Gelora Aksara Pratama. Jakarta Barat.
- Mujadin, A., Dwi, A., Octarina, N, S. 2017. Prototipe Pengendalian pH dan Elektro Konduktivitas pada Cairan Nutrisi Tanaman Hidroponik. *Jurnal AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI* 4(1):1-6.
- Munawroh, N., Siti, S., dan Achmad, A, F. 2019. Sistem Pengolahan Air dan Pengendalian Limbah di PLTU Tanjung Jati-B Desa Tubanan Kembang Jepara. *Jurnal Bakti Saintek* 3(2):73-76.
- Nugroho, R., Satmoko, Y., Dinda, R, K, H., Setiyono., Ikb., dan Citra, A. 2023. Upaya Mempertahankan Kapasitas Membran Reverse Osmosis (RO) pada Instalasi Pengolahan Air Limbah di Industri Kaleng. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 24(2):264-272.
- Patoding, H, E., dan Matius, S. 2019. *Buku Ajar dan Operasi Tenaga Listrik Dengan Aplikasi ETAP*. Deepublish Publisher. Sleman.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup. 2009. <https://jdih.maritim.go.id/en/peraturan-menteri-negara-lingkungan-hidup-no-08-tahun-2009>. Diakses 30 Juni 2024
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup. 2011. <https://jdih.menlhk.go.id/new/uploads/files/1>. Diakses 20 Agustus 2024.
- Permadi. 2011. Utilitas Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit. *Nalars Journal* 10(2):173-184.
- Pinontoan, O, R., Oksfriani, J., Sumampouw., dan Jeini, E, N. 2019. *Epidemiologi Kesehatan Lingkungan*. Deepublish Publisher. Sleman.
- Pungus, M., Palilingan, S., dan Tumimomor, F. (2019). Penurunan Kadar BOD dan COD dalam Limbah Cair Laundry Menggunakan Kombinasi Adsorben Alam sebagai Media Filtrasi. *Fullerene Journal Of Chem* 4(2): 54–60.
- Ragetisvara, A, A., dan Harmin, S, T. 2021. Studi Kemampuan Desalinasi Air Laut Menggunakan Sistem Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) pada Kapal Pesiar. *Jurnal Teknik ITS* 10(2):68-75.
- Rezania, A., Windi, W., dan Mitoriana, P. 2019. *Konsep Dasar Kesehatan Lingkungan*. Muhammadiyah University Press. Surakarta.
- Rosyid, H, A., dan Jamal, F. 2019. Analisis Kegagalan Material *Waterwall* Tube Boiler PLTU Ubon Banten 3 Lontar Unit 3. *Jurnal Power Plant* 2(3):34-41.

- Sahlan., dan Abdul, R. 2019. Sistem Pengolahan Air Limbah Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU): Studi Kasus PLTU Muara Karang. *Jurnal Power Plant* 2(3):61-77.
- Siahaan, N, H, T. 2004. *Hukum Lingkungan dan Ekologi Pembangunan*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Suyasa, I, W, B., Iryanti, E, S., dan I Gusti, A, K, R,S. (2012). Pengolahan Air Limbah Pembangkit Listrik PT Indonesia Power dengan Metode Flotasi dan Biofiltrasi Saringan Pasir Tanaman. *Jurnal Kimia* 6(1): 62-71.
- Soemantri, A. 2010. *Kesehatan Lingkungan*. Penerbit Kencana Prenada Media Group. Jakarta.
- Tetsuo, H., Iwasaki, M., Komatsubara, H., Makino, Y., Matsubara, K., Morinaga, H., Suzuki, H., Suzuki, T., Takeda, S., Takemura, M., dan Takenaka, H. 1999. *Kurita Handbook Of Water Treatment Second English Edition*. Kurita Water Industries LTD. Tokyo.
- Theresia, A, E, D., Willy., dan Mukono, J. 2023. Pengolahan Air Limbah Proses Utama Menggunakan Wastewater Treatment Plant pada PT. Indonesia Power Grati POMU. *Jurnal Media Gizi Kemas* 12(1):66-74.
- Wibowo, S, S. 2018. *Analisa Sistem Tenaga*. Polinema Press. Malang.
- Wibowo, M., dan Velly, A. 2018. Kajian Dispersi Panas Akibat Air Limbah Rencana Pembangunan PLTU Kuala Tungkal. *Jurnal Teknologi Lingkungan* 19(1):1-12.
- Wirman, R, P., Indrawata, W., dan Vandri, A,I. 2019. Kajian Tingkat Akurasi Sensor pada Rancang Bangun Alat Ukur Total Dissolved Solids (TDS) dan Tingkat Kekeruhan Air. *Jurnal Fisika* 9(1):37-46.
- Wulandari, P, R. 2014. Perencanaan Pengolahan Air Limbah Sistem Terpusat (Studi Kasus di Perumahan PT. Pertamina Unit Pelayanan III Plaju-Sumatera Selatan). *Jurnal Teknil Sipil dan Lingkungan* 2(3):499-509.
- Yudhono, B. 2017. *Spektometri*. Penerbit Simetri. Palembang.
- Yunike., Rina., Jasman., Suryani., Mustafa., Daniel, R., Ridwan, R, J., Bongakaraeng., Yusni, A., Despita, P., Sugeng, N., Emilia, C., dan Bungawati. 2023. *Bunga Rampai Kesehatan Lingkungan*. Media Pustaka Indo. Cilacap.