

**REDESAIN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
PUSKESMAS MEURAXA KOTA BANDA ACEH
TUGAS AKHIR**

Diajukan oleh :

DINUL RAIZA RIANSYAH

NIM. 200702034

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



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM-BANDA ACEH**

2026 M/1447 H

LEMBAR PERSETUJUAN

REDESAIN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PUSKESMAS MEURAXA KOTA BANDA ACEH

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

DINUL RAIZA RIANSYAH

NIM. 200702034

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

Disetujui untuk dimunaqasyahkan oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr. Ir. Juliansyah Harahap, S.T., M.Sc. IPM.

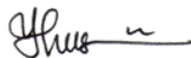
NIP. 198207312014031001

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

NIP. 199502252025051003

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan



Husnawati Yahya, M.Sc.

NIP. 198311092014032002

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
REDESAIN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH
(IPAL) PUSKESMAS MEURAXA KOTA BANDA ACEH

TUGAS AKHIR


Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan


Pada Hari/Tanggal: Senin, 29 Desember 2025
09 Rajab 1447 H

di Darussalam, Banda Aceh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,

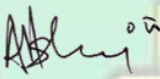
Sekretaris,



Dr. Ir. Juliansyah Harahap, S.T., M.Sc.
NIP. 198207312014031001


Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.
NUPTK. 4557773674130302

Penguji I,

Penguji II,

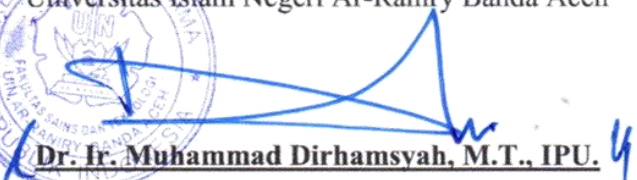

Teuku Muhammad Ashari, M.Sc.
NIDN. 2002028301


Muhammad Daudsyah, S.T., M. Ling
NIDN.

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh




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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dinul Raiza Riansyah

NIM : 200702034

Program Studi : Teknik Lingkungan

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Redesain Instalansi Pengolahan Air Limbah Puskesmas Meuraxa
Banda Aceh

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggung jawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;

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

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 20 April 2026

Yang Menyatakan,



Dinul Raiza Riansyah

ABSTRAK

Nama : Dinul Raiza Riansyah

Nim : 200702034

Program Studi : Teknik Lingkungan

Judul : Redesain Instalasi Pengolahan Air Limbah Puskesmas Meuraxa Banda Aceh

Tanggal Sidang : 29 Desember 2025

Jumlah Halaman :

Pembimbing 1 : Dr. Ir. Juliansyah Harahap, S.T., M.Sc., IPM.

Pembimbing II : Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.

Kata Kunci : Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), Puskesmas Meuraxa, Elektrokoagulasi, Biofilter Anaerobik-Aerobik, Teknologi Hibrida

Studi ini mengevaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang ada di Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas) Meuraxa di Kota Banda Aceh, yang menggunakan sistem lumpur aktif dengan elektrokoagulasi, di mana mesin utamanya telah rusak sejak tahun 2021. Berdasarkan uji kualitas air limbah (air keluar) pada Februari 2025, WWTP Pusat Kesehatan Masyarakat Meuraxa dinilai kurang optimal karena tingkat Kebutuhan Oksigen Kimia (COD) mencapai 130,61 mg/L dan Total Padatan Terlarut (TSS) mencapai 64,5 mg/L, keduanya melebihi standar kualitas yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2025 (maksimum 100 mg/L untuk COD dan 50 mg/L untuk TSS). Sebagai solusi, penelitian ini mengusulkan perancangan ulang dengan menerapkan Teknologi Hibrida, di mana teknologi yang ada (Elektrokoagulasi) dikembangkan bersama teknologi lain. Hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa teknologi yang ada dapat beroperasi secara optimal. Teknologi hibrida yang dipilih adalah biofilter anaerobik-aerobik dan teknologi elektrokoagulasi. Teknologi biofilter anaerobik-aerobik elektrokoagulasi dipilih karena efisiensinya yang tinggi dalam mengurangi polutan, biaya operasional dan pemeliharaan yang rendah, serta kemudahan pengoperasiannya di fasilitas kesehatan skala kecil dan menengah.

ABSTRACT

Name : Dinul Raiza Riansyah

Nim : 200702034

Study Program : Environmental Engineering

Title : Redesain Wastewater Treatment Plant (WWTP) at the Meuraxa
Community Health Center in Banda Aceh City

Session Date :

Number of Pages :

Supervisor I : Dr. Ir. Juliansyah Harahap, S.T., M.Sc., IPM.

Supervisor II : Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.

Keywords : Wastewater Treatment Plant (WWTP), Meuraxa Community Health
Center, Electrocoagulation, Anaerobic-Aerobic Biofilter, Redesign,

This study evaluates the performance of the existing Wastewater Treatment Plant (WWTP) at the Meuraxa Community Health Center in Banda Aceh City, which uses an activated sludge system with electrocoagulation, where the main machine has been damaged since 2021. Based on effluent quality tests (outflow water) in February 2025, the Meuraxa Health Center WWTP was deemed suboptimal because the Chemical Oxygen Demand (COD) level reached 130.61 mg/L and Total Suspended Solids (TSS) reached 64.5 mg/L, both exceeding the quality standards of Ministry of Environment and Forestry Regulation No. 11 of 2025 (maximum 100 mg/L for COD and 50 mg/L for TSS). As a solution, this study proposes a redesign by applying Hybrid Technology, where the existing technology (Electrocoagulation) is developed with other technologies. This aims to ensure that the existing technology can operate optimally. Selected hybrid technology is anaerobic aerobic biofilter and electrocoagulation technology. Anaerobic-aerobic biofilter electrocoagulation technology was chosen due to its high efficiency in reducing pollutants, low operational and maintenance costs, and ease of operation in small and medium-scale health care facilities

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, segala puji dan syukur penulis panjatkan atas ke hadirat Allah Swt, yang telah memberikan Rahmat, karunia dan hidayah-Nya. Yang mana penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “Redesain Instalansi Pengolahan Air Limbah Puskesmas Meuraxa Banda Aceh”. Tidak lupa pula shalawat kepada baginda Nabi Muhammad Saw. Yang telah membawa kita dari alam jahiliyah kepada alam islamiah, yang penuh dengan rahmat dan ilmu pengetahuan. Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan, doa, dan dukungan dari berbagai pihak, khususnya dari ibunda saya Dahliani, S.Pd, dan almarhum ayah saya Parlin Pane selaku orang tua yang senantiasa memberikan kasih sayang, motivasi, nasehat, serta dorongan penuh selama proses penyusunan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini. Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc. selaku Kepala Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry dan Pembimbing Akademik Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry dan Pembimbing Akademik Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
4. Bapak Dr. Ir. Juliansyah Harahap S.T., M.Sc., IPM selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
5. Bapak Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Kedua yang juga telah banyak membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini

6. Seluruh staf Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry yang telah membantu dalam pengurusan administrasi.
7. Ibu kepala UPTD Puskesmas Meuraxa yang telah mengizinkan peneliti melakukan penelitian
8. Ibu dr, Putri Kartika Listia selaku dokter di UPTD Puskesmas Meuraxa yang telah membantu selama penelitian
9. Ibu Maidiana Hanum selaku Kesling dari Puskesmas Meuraxa yang telah membantu selama penelitian dan staf Puskesmas Meuraxa yang tidak bisa saya sebutkan nama satu persatu.
10. Teman-teman seangkatan dan seperjuangan Teknik Lingkungan .

Akhir kata, penulis berharap Allah Swt. membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah meluangkan waktu dan membantu penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya perkembangan ilmu pengetahuan dan Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan tugas akhir ini.

Banda Aceh, 08 Januari 2026

Penulis,

Dinul Raiza Riansyah

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Air Limbah	6
2.1.1 Air Limbah Rumah sakit dan Puskesmas.....	7
2.1.2 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit dan Puskesmas	8
2.1.3 Dampak Pencemaran Air Limbah Rumah Sakit dan Puskesmas..	8
2.1.4 Standar Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit dan Puskesmas.....	9
2.2 Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dan Puskesmas	9
2.2.1 Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dan Puskesmas	11
2.3 Penelitian Terdahulu	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Metode Penelitian.....	20
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	20
3.2.1 Waktu Penelitian	20
3.2.2 Lokasi Penelitian.....	22
3.3 Instrumen Penelitian	24

3.4 Alat dan Bahan Penelitian	24
3.4.1 Pengujian Air Limbah Puskesmas	24
3.5 Metode Pengumpulan Data	25
3.5.1 Prosedur Penelitian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Proyeksi Jumlah Pengunjung Puskesmas Meuraxa	29
4.1.1 Metode Aritmatika	30
4.1.2 Metode Logaritma	31
4.1.3 Metode Geometri	31
4.1.4 Perbandingan Proyeksi Jumlah Pengunjung	32
4.2 Gambaran Kinerja IPAL Puskesmas Meuraxa	33
4.2.1 Sistem Pengolahan IPAL Puskesmas Meuraxa.....	33
4.2.2 Operasional dan Pemeliharaan IPAL Puskesmas	36
4.2.3 Dimensi Pengolahan Air Limbah.....	37
4.2.4 Hasil Analisis Parameter Limbah Cair Puskesmas Meuraxa.....	39
4.2.5 Efisiensi <i>Removal</i> IPAL <i>electrocoagulation</i> dalam Mengolah Air Limbah Puskesmas Meuraxa.....	40
4.2.6 Perhitungan Neraca Massa.....	41
4.2.7 Metode Hibrida dalam Elektrokoagulasi	43
4.3 Redesain Instalasi Pengolahan Air Limbah Puskesmas Meuraxa	48
4.3.1 Alternatif Kombinasi Teknologi IPAL Puskesmas Meuraxa	48
4.3.2 Desain IPAL Kombinasi Hibrida Biofilter Elektrokoagulasi Puskesmas Meuraxa.....	48
4.3.3 Efisiensi <i>Removal</i> Kombinasi Biofilter dan Elektrokoagulasi ...	53
BAB V KESIMPULAN.....	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Proses Pengolahan Biofilter "Up Flow"	12
Gambar 2. 2 Diagram Pengolahan air limbah medis skala kecil menggunakan proses filtrasi biologis aerobik anaerobik	14
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian.....	23
Gambar 3.2 Puskesmas Meuraxa Banda Aceh.....	24
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 4. 1 Grafik Pertumbuhan Pengunjung dengan Metode Aritmatika	30
Gambar 4. 2 Grafik Pertumbuhan Pengunjung dengan Metode Logaritma.....	31
Gambar 4. 3 Grafik Pertumbuhan Pengunjung dengan Metode Geometri.....	32
Gambar 4. 4 diagram aliran electrocoagulasi	34
Gambar 4. 5 Diagram proses Hibrida Elektrokoagulasi	44
Gambar 4. 6 Denah Kombinasi Biofilter dan Elektrokoagulasi	49
Gambar 4. 7 Denah IPAL Kombinasi Biofilter dan Elektrokoagulasi	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah	9
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu.....	17
Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan Penelitian	21
Tabel 3.2 Hasil Pengujian Awal.....	25
Tabel 4. 1 Jumlah Pengunjung 5 Tahun terakhir.....	29
Tabel 4. 2 Proyeksi Pengunjung dengan Metode Aritmatika.....	30
Tabel 4. 3 Proyeksi Pengunjung dengan Metode Logaritma	31
Tabel 4. 4 Proyeksi Pengunjung dengan Metode Logaritma	31
Tabel 4. 5 Perbandingan nilai korelasi (R) dan Standar deviasi (S) proyeksi Pengunjung Puskesmas Meuraxa.....	32
Tabel 4. 6 aliran penyaluran limbah puskesmas.....	35
Tabel 4. 7 Perhitungan Volume dan Kapasitas Pengolahan Puskesmas Meuraxa	36
Tabel 4. 8 Perkiraan biaya pergantian alat IPAL Puskesmas Meuraxa.....	37
Tabel 4. 9 Hasil Uji Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan.....	40
Tabel 4. 10 Efektivitas removals Inlet dan outlet Air Limbah pada IPAL Puskesmas Meuraxa	41
Tabel 4. 11 Efisiensi IPAL Elektrokoagulasi	42
Tabel 4. 12 Kombinasi Pengolahan Elektrokoagulasi Hibrida	46
Tabel 4. 13 Rekapitulasi Dimensi Ukuran Tiap Bak	51
Tabel 4. 14 Efisiensi Kombinasi Biofilter dan Elektrokoagulasi	54
Tabel 4. 15 Diagram Massa kombinasi Biofilter dan Elektrokoagulasi.....	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.

Puskesmas merupakan salah satu bentuk pelayanan masyarakat yang mudah diakses dan dapat digunakan oleh masyarakat umum. Salah satu kegiatan utama yang dapat dilakukan di sana adalah pelayanan kesehatan yang memberikan bantuan dalam menanggulangi penyakit, yaitu pengobatan rawat jalan dan rawat inap sebagai pelayanan kesehatan yaitu pembelajaran, adalah upaya meningkatkan kesehatan, pencegahan penyakit, penyembuhan dan pemulihan kesehatan (Wowor dkk., 2016). Puskesmas adalah fasilitas kesehatan primer yang diwajibkan untuk memberikan pelayanan kesehatan sesuai dengan undang-undang yang mengatur situasi bahaya yang sedang berlangsung dan hasil mempromosikan kesehatan masyarakat dengan tetap memperhatikan kebutuhan dan tujuan masyarakat umum. Jenis kesehatan yang harus dipahami dan dimanfaatkan secara maksimal oleh masyarakat umum sebagai salah satu alat utama untuk memudahkan akses masyarakat terhadap pelayanan kesehatan yang diperlukan (Permenkes No. 46 Tahun 2015). Puskesmas, sesuai dengan amanat Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 75 Tahun 2014, merupakan ujung tombak pelayanan kesehatan dasar di masyarakat. Sebagai institusi kesehatan tingkat pertama, puskesmas tidak hanya memberikan layanan kuratif, namun lebih memprioritaskan upaya pencegahan penyakit dan promosi kesehatan agar masyarakat dapat mencapai derajat kesehatan yang optimal. Hal ini sejalan dengan visi pemerintah untuk mewujudkan masyarakat Indonesia yang sehat. (Depkes RI, 2014).

Berdasarkan laporan Kementerian Kesehatan dan Badan Pusat Statistik (BPS) 2023, Indonesia memiliki 3.213 rumah sakit yang mencakup fasilitas pemerintah dan swasta. Selain itu, ada 10.545 Puskesmas yang tersebar di berbagai daerah, baik perkotaan maupun pedesaan, yang memainkan peran penting dalam pembangunan kesehatan serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat (BPS, 2023).

Pada tahun 2023, Kota Banda Aceh terdapat 11 unit Rumah Sakit Umum, 4 unit Rumah Sakit Khusus, 11 unit Puskesmas Non Rawat Inap (BPS Kota Banda Aceh, 2023). Air limbah medis dari puskesmas meliputi semua jenis limbah yang dihasilkan dari berbagai kegiatan di puskesmas, termasuk limbah domestik seperti buangan dari toilet yang berpotensi mengandung mikroorganisme, zat berbahaya, serta bahan radioaktif (Anindya dan Zamroni, 2021). Pembuangan air limbah secara sembarangan dapat merusak lingkungan dan mengganggu keseimbangan ekosistem. Oleh karena itu, pengelolaan limbah yang tepat, seperti pengolahan atau pembuangan ke tempat pembuangan akhir yang sesuai, menjadi sangat penting. (Efrinaldi, 2023). Penyelenggaraan pengelolaan air limbah, khususnya bagi institusi seperti rumah sakit, wajib memenuhi ketentuan yang ditetapkan, seperti keberadaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sebagaimana dijelaskan dalam penelitian Pratanda dkk. (2021).

Pengelolaan limbah rumah sakit telah menjadi isu strategis dalam administrasi sebuah rumah sakit. Rumah sakit yang mengabaikan standarisasi dalam mengolah limbahnya berisiko menghadapi berbagai permasalahan teknis, prosedural, dan sistemik. Hal ini berdampak pada pelanggaran regulasi lingkungan hidup serta keberatan masyarakat terhadap potensi pencemaran akibat pembuangan limbah (Imamuddin,2016.) Studi Universitas Indonesia tahun 2007 mengungkap masalah serius dalam pengelolaan air limbah rumah sakit di Indonesia. Data menunjukkan bahwa lebih dari setengah rumah sakit tidak memiliki sistem pengolahan air limbah yang memadai. Bahkan, dari rumah sakit yang melakukan pemeriksaan kualitas air limbah, masih banyak yang hasil pemeriksaannya belum memenuhi baku mutu yang ditetapkan (Susanti dkk., 2020).

Instalasi pengolahan air limbah mempunyai dampak yang besar terhadap puskesmas karena diharapkan dapat meminimalkan risiko yang ditimbulkan dan memastikan kualitas air limbah memenuhi standar yang diharapkan. Apabila kualitas air limbah tidak memenuhi baku mutu maka akan menyebabkan penurunan kandungan oksigen terlarut dalam air limbah (Susanti dkk., 2020).

Pengoperasian ipal memerlukan biaya pada berjalannya sebuah ipal mencakup, biaya perawatan, operasional, perbaikan, serta lain lain. Biaya yg digunakan sedikit serta biaya tersebut harus direncanakan serta difikirkan secara sempurna sang pihak puskesmas mengingat sistem ipal bekerja dalam tiap hari buat memproses air limbah yang dikeluarkan(nabilah dkk., 2021).

Pertimbangan secara ekonomi dan ekologi dalam proses yang sistematis ketika ditetapkan untuk proses pembuatan pilihan dalam pemilihan berbagai teknologi alternatif teknik pengelolaan air limbah di negara-negara berkembang baik di kota maupun di daerah pedesaan. Tujuannya adalah untuk membantu atau mempermudah pengambilan keputusan dalam pengelolaan limbah (Made S dan Sugito, 2013). Instalasi pengolahan air limbah harus memiliki teknologi yang tepat dan kapasitas pengolahan air limbah yang dirancang sesuai dengan volume air limbah yang dihasilkan. Instalasi ini juga harus dilengkapi dengan fasilitas pendukung yang sesuai dengan hukum, mengambil sampel air limbah setiap bulan, dan memenuhi persyaratan hukum dan peraturan untuk kualitas air limbah (Permenkes No. 7 Tahun 2019).

Berdasarkan wawancara dan pengamatan langsung di Puskesmas Meuraxa, Banda Aceh, diketahui bahwa IPAL puskesmas meuraxa menggunakan sistem lumpur aktif dengan proses elektrokoagulasi. Pada tahun 2021 mesin IPAL di Puskesmas Meuraxa mengalami kerusakan. Adapun data hasil pengujian kualitas air limbah dari outlet Puskesmas Meuraxa pada bulan Februari 2023 menunjukkan pH 6,55, BOD 3 mg/L, COD 8 mg/L, dan TSS 4 mg/L. Apabila mesin elektrokoagulatornya bermasalah, ini bisa membuat kualitas air limbah menjadi terganggu. Kerusakan pada mesin membuat BOD, COD, dan TSS jadi kurang efektif. Sehingga IPAL yang beroperasi menjadi tidak optimal dalam mengolah air limbah puskesmas

Untuk mengetahui apakah IPAL Puskesmas yang beroperasi masih dapat mengolah air limbah Puskesmas mengikuti dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2025, maka diperlukan evaluasi. Pada IPAL Puskesmas ini Kualitas influen dan efluen tidak diuji secara berkala, Pengujian diperlukan untuk menjamin bahwa parameter yang ada dalam air

limbah tidak melampaui batas ambang yang ditetapkan untuk air limbah di fasilitas pelayanan kesehatan. Pada penelitian ini berfokus pada kinerja dari sistem IPAL dan kualitas efluen yang dihasilkan dari IPAL Puskesmas dengan pengujian sampel influen dan efluen serta membandingkan hasil dari influen dan efluen yang diperoleh dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2025. Selanjutnya memberikan opsi teknologi dalam bentuk desain alternatif pada IPAL Puskesmas Meuraxa dalam mengolah air limbah, sehingga dapat mengatasi air limbah yang dihasilkan tidak mencemari lingkungan serta memberikan opsi teknologi pengolahan air limbah yang sederhana, perawatannya yang mudah serta rendah biaya operasinya, khususnya untuk puskesmas dan rumah sakit dengan kapasitas kecil sampai sedang. penelitian ini juga dapat menjadi rujukan bagi fasilitas instalasi kesehatan yang terkait dalam pengelolaan IPAL. Berdasarkan penjelasan di atas, peneliti memilih judul 'Redesain Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Puskesmas Meuraxa, Kota Banda Aceh'.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang dan hasil pengamatan di atas adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana kinerja sistem pengolahan IPAL Puskesmas Meuraxa Kota Banda Aceh berlandaskan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 11 Tahun 2025?
- 2) Bagaimana desain alternatif yang dapat meningkatkan performa sistem pengolahan IPAL di Puskesmas Meuraxa kota Banda Aceh?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuannya atas pelaksanaan penelitian ini yakni mencakup:

- 1) Menentukan kondisi tingkat kinerja sistem pengolahan IPAL Puskesmas yang telah berjalan di Puskesmas Meuraxa berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025; dan.
- 2) Untuk memberikan alternatif teknologi dalam bentuk desain sehingga dapat meningkatkan performa sistem pengolahan IPAL di Puskesmas Meuraxa Banda Aceh

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat. Adapun manfaat dari penelitian ini antara lain:

- 1) Data mengenai performa sistem pengolahan air limbah yang telah beroperasi di Puskesmas Meuraxa diperoleh berdasarkan parameter yang sesuai dengan standar kualitas air limbah fasilitas pelayanan kesehatan, sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025, dan.
- 2) Memberikan solusi dan alternatif teknologi untuk meningkatkan performa dari sistem pengolahan IPAL yang sudah ada di Puskesmas Meuraxa.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dan tujuan penelitian penelitian maka penelitian ini perlu dibatasi. Batasan- batasan pada penelitian ini antara lain:

- 1) Penelitian ini memfokuskan pada analisis mutu efluen dilakukan dengan melakukan pengujian pada area masuk dan keluar dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Puskesmas Meuraxa serta kinerja dari IPAL Puskesmas Meuraxa berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025.
- 2) Parameter yang diujikan pada air limbah Puskesmas Meuraxa adalah TSS, BOD, COD.
- 3) Desain alternatif IPAL akan difokuskan pada peningkatan efisiensi pengolahan air limbah yang dihasilkan oleh Puskesmas Meuraxa. Desain akan mempertimbangkan teknologi yang tersedia, biaya implementasi, dan ruang yang tersedia di lokasi Puskesmas Meuraxa

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah

Limbah adalah sisa hasil dari proses produksi, baik dari industri maupun rumah tangga. Limbah ini bisa berdampak buruk bagi lingkungan. Limbah rumah tangga meliputi air bekas cucian (deterjen), kantong plastik, dan kaleng bekas. Sementara itu, limbah industri dapat berupa lumpur, air bekas pencucian, atau gas yang mengandung partikel padat seperti limbah zat warna dari industri tekstil. Limbah zat warna ini umumnya merupakan senyawa organik yang dapat mencemari lingkungan, terutama lingkungan perairan. (Rozaq dkk., 2020). Air limbah terdiri dari polutan yang berasal dari daerah perumahan dan lingkungan rumah tangga, selain kontribusi dari sumber industri, air tanah, air permukaan, dan berbagai bentuk air limbah lainnya; akibatnya, air limbah ini dianggap sebagai kontaminan di mana-mana. Air limbah mencakup semua limbah cair yang dilepaskan, yang meliputi limbah manusia, produk sampingan hewani, sisa-sisa bahan tumbuhan, serta bahan yang terkait dengan residu proses manufaktur (Trisnawati, 2021).

Air limbah domestik merupakan air bekas pakai yang berasal dari kegiatan rumah tangga atau permukiman. Sumbernya mencakup air dari kamar mandi, toilet, dapur, serta tempat cuci. Kualitas air limbah diukur menggunakan beberapa parameter, di antaranya adalah Kebutuhan Oksigen Biologis (BOD), Kebutuhan Oksigen Kimiawi (COD), Total Zat Padat Tersuspensi (TSS), dan tingkat keasaman (pH) (Kholif, 2020). Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 4 Tahun 2017, Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik merupakan serangkaian proses yang berfokus pada pengelolaan air limbah domestik dengan menggunakan infrastruktur dan fasilitas pengolahan yang terintegrasi secara pusat. Sistem ini mengumpulkan air limbah dari berbagai sumber secara kolektif dan mengalirkannya ke sub-sistem pengolahan yang terpusat, di mana air tersebut diolah sebelum akhirnya dibuang ke badan air yang telah ditentukan

2.1.1 Air Limbah Rumah sakit dan Puskesmas

Menurut Batubara (2017), dalam Peraturan Menteri Kesehatan No. 56 Tahun 2014, fasilitas pelayanan kesehatan, seperti rumah sakit dan puskesmas, memainkan peran krusial dalam memenuhi kebutuhan kesehatan masyarakat melalui dukungan tenaga kesehatan, peralatan, dan infrastruktur yang memadai. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 92 Tahun 1986, fasilitas ini dibagi menjadi empat klasifikasi pelayanan:

- a. Fasilitas Pelayanan Kelas A: Lebih dari 1000 tempat tidur, dengan cakupan layanan nasional.
- b. Fasilitas Pelayanan Kelas B: Kapasitas 600–800 tempat tidur, dengan cakupan layanan provinsi.
- c. Fasilitas Pelayanan Kelas C: Kapasitas 100–300 tempat tidur, melayani tingkat kabupaten/kota.
- d. Fasilitas Pelayanan Kelas D: Kapasitas 25–100 tempat tidur, melayani tingkat kecamatan

Limbah yang dihasilkan rumah sakit berasal dari berbagai kegiatan pelayanan kesehatan dan penunjang medis. Limbah tersebut dapat memuat mikroorganisme yang jenis dan jumlahnya tergantung pada tipe rumah sakit dan sistem pengolahan sebelum dibuang. Parameter BOD, COD, dan TSS biasa digunakan untuk mengukur kadar bahan organik dan anorganik dalam limbah cair. Limbah padat mencakup sampah mudah membusuk, sampah infeksius, dan sebagainya, yang berpotensi memuat patogen atau zat kimia berbahaya penyebab penyakit infeksi. Menurut Syaid NI (1999), penyebaran pencemaran ini disebabkan teknik pelayanan kesehatan, penanganan limbah, dan sanitasi yang tidak memadai.

Pada umumnya, limbah rumah sakit dikelompokkan menjadi tiga, yaitu padat, cair, dan gas. Limbah-limbah tersebut seringkali diasumsikan sebagai limbah infeksius sehingga diperlukan pemisahan yang ketat berdasarkan jenis, meski hal ini sangat bergantung pada jumlah dan macam mikroorganisme serta karakteristik masing-masing limbah (Ratna, 2019). Air limbah rumah sakit merujuk pada semua buangan cair yang berasal dari keseluruhan kegiatan di

rumah sakit, termasuk limbah domestik yang berpotensi mengandung mikroba, bahan kimia berbahaya, dan radioaktif (Said, 1999).

Menurut Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, limbah didefinisikan sebagai sisa dari suatu kegiatan atau usaha. Kementerian Kesehatan (2018) menyebutkan limbah mencakup bahan yang tidak lagi bermanfaat dan terbuang. Limbah rumah sakit sendiri meliputi semua buangan padat maupun cair yang berasal dari seluruh aktivitas medis dan non-medis rumah sakit, yang berpotensi mengandung mikroorganisme, bahan kimia berbahaya, dan radioaktif (Riska O, 2019).

2.1.2 Karakteristik Air Limbah Rumah Sakit dan Puskesmas

Menurut Said (1999), air limbah rumah sakit dan puskesmas mencakup semua buangan dari seluruh proses kegiatan rumah sakit dan puskesmas, meliputi: limbah domestik (pembuangan kamar mandi, dapur, air cucian), limbah klinis (kegiatan medis), dan limbah laboratorium.

Karakteristik air limbah rumah sakit dan puskesmas dikelompokkan menjadi 3 (Kusnoputranto, 1985):

1. Karakteristik fisika: terdiri dari 99,9% air dan sedikit padatan tersuspensi. Parameter fisika meliputi total padatan, kekeruhan, bau, suhu, dan warna.
2. Karakteristik kimia: mengandung beragam senyawa kimia anorganik dari air bersih dan senyawa organik dari pembusukan tinja, urin, dan limbah lain, umumnya bersifat basa jika masih segar dan asam jika mulai membusuk.
3. Karakteristik bakteriologi: terkandung berbagai bakteri patogen dan organisme seperti golongan Koliform, meski tidak berperan dalam proses pengolahan itu sendiri.

2.1.3 Dampak Pencemaran Air Limbah Rumah Sakit dan Puskesmas

Aktivitas di rumah sakit dan puskesmas yang sangat kompleks tidak hanya memberikan manfaat positif bagi masyarakat sekitar, tetapi juga berpotensi menimbulkan dampak negatif. Salah satu dampak negatifnya adalah pencemaran yang disebabkan oleh aktivitas operasional serta pembuangan limbah yang tidak

dikelola dengan baik. Jika limbah rumah sakit dan puskesmas tidak dikelola dengan benar, hal ini dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja dan penyebaran penyakit, baik dari pasien ke pekerja, pasien ke pasien lain, pekerja ke pasien, maupun dari dan ke masyarakat yang berkunjung (Ariyanto, 2007).

Air buangan rumah sakit berisi sifat fisika, kimia, biologi pemicu polusi. Maka perlu diolah dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah seperti saringan, pencacah, kolam pasir, lemak, penyetaraan, kemudian pengendapan, pengapungan pada IPAL awal. Dilanjutkan saingan tetes, lumpur aktif, kolam stabilisasi aerob-anaerob, dan koagulan akhir (Azwari dkk., 2023). Limbah diolah IPAL wajib ketahui kualitas sebelum dilepas, cegah dampak polusi tanah, air, udara serta makhluk hidup sekitar (Azwari dkk., 2023).

2.1.4 Standar Baku Mutu Air Limbah Rumah Sakit dan Puskesmas

Peraturan terkait kualitas air limbah dari rumah sakit dan puskesmas, yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2025, tercantum dalam Tabel 2.1..

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Kadar maksimum	Satuan
pH	6-9	mg/L
COD	100	mg/L
BOD	50	mg/L
TSS	50	mg/L
Minyak & Lemak	10	mg/L
Amonia	20	mg/L
Deterjen Total	10	mg/L

(Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2025)

2.2 Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dan Puskesmas

Menurut Asmadi dan Suharno (2012), tujuan pengolahan limbah cair adalah memperbaiki kualitas dengan mengurangi BOD, COD, partikel, nutrien berbahaya, suspensi, bahan organik, dan mikroorganisme patogen. Konfigurasi unit operasi dan proses dapat diatur secara fleksibel bergantung pada kesesuaian dan fungsi masing-masing (Tchobanoglous, 2002).

1) Metode Pengolahan Fisika

Pengolahan fisik air limbah dilakukan untuk memisahkan bahan buangan yang bisa diolah secara mekanis tanpa memerlukan bahan kimia tambahan, atau dengan cara alami melalui proses penghancuran. Secara umum, sebelum pengolahan air limbah yang lebih jauh dilakukan, sebaiknya peralatan besar yang tersuspensi dan yang mengendap dengan lancar atau peralatan yang mengambang disingkirkan terlebih dahulu.

Filtrasi pada pengolahan air limbah umumnya dilakukan sebagai tahap awal sebelum adsorpsi atau reverse osmosis. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menghilangkan sebanyak mungkin partikel tersuspensi dari air agar tidak mengganggu efisiensi proses adsorpsi maupun mencegah penyumbatan pada membran yang digunakan dalam reverse osmosis. Adsorpsi sendiri umumnya menggunakan karbon aktif dan bertujuan untuk menghilangkan senyawa-senyawa seperti fenol serta senyawa organik terlarut lainnya. Hal ini sangat penting terutama ketika air limbah memerlukan pengolahan yang lebih lanjut. Teknologi membran juga banyak diterapkan dalam proses ini untuk memastikan kualitas air hasil pengolahan.

2) Metode Pengolahan Kimia

Metode Pengolahan Kimia (*Chemical Treatment*) digunakan dalam pengelolaan limbah, termasuk limbah rumah sakit, untuk menghilangkan zat-zat berbahaya dan mencemari. Proses ini melibatkan penggunaan bahan kimia tertentu untuk mengubah sifat fisik atau kimia dari limbah, sehingga lebih aman untuk dibuang. Dalam konteks IPAL Rumah Sakit, metode pengolahan kimia umumnya melibatkan langkah-langkah seperti koagulasi, flokulasi, dan penambahan senyawa kimia tertentu. Proses ini penting untuk memastikan air limbah rumah sakit memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke saluran umum. Dalam konteks perencanaan ulang IPAL Rumah Sakit, metode pengolahan kimia menjadi bagian penting untuk memastikan air limbah yang dihasilkan oleh rumah sakit telah diolah dengan baik sebelum dibuang. Proses ini melibatkan beberapa tahapan, seperti koagulasi, flokulasi, dan penambahan senyawa kimia tertentu. Langkah-langkah ini bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel yang sulit

mengendap, logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun dari limbah rumah sakit. Hal ini sesuai dengan peraturan yang mengharuskan rumah sakit untuk menyediakan fasilitas pengolahan limbah agar limbah yang dibuang ke saluran umum memenuhi baku mutu air limbah yang telah ditetapkan

3) Metode Pengolahan Biologis

Metode pengolahan biologis adalah teknik yang memanfaatkan mikroorganisme untuk membantu mengurai bahan organik yang terkandung dalam air limbah. Dalam proses ini, mikroorganisme bekerja dengan cara memecah senyawa organik menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga dapat mengurangi kandungan polutan. Prinsip dasar dari metode ini adalah menciptakan lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan mikroorganisme tertentu, terutama bakteri, yang mampu mendegradasi atau menghancurkan senyawa organik dalam air limbah. Ada beberapa jenis proses pengolahan biologis yang biasa digunakan, yaitu proses lumpur aktif, biofilter aerobik, dan kolam stabilisasi.

2.2.1 Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit dan Puskesmas

Teknologi pengolahan air limbah melibatkan pengolahan limbah air pada berbagai tingkat pengolahan. Tingkat-tingkat pengolahan ini umumnya dapat berupa diklasifikasikan ke dalam empat tingkatan, yaitu tingkat awal, primer, sekunder dan tingkat tersier (Von Sperling, 2007). Kompleksitas pengolahan yang diperlukan untuk tingkat-tingkat ini tergantung pada sumber, jenis, aliran, karakteristik karakteristik, dan tujuan penggunaan air limbah. Setiap tingkat pengolahan dapat menghilangkan kontaminan yang berbeda (Von Sperling, 2007; Crini dan Lichtfouse, 2019), Air limbah yang diperoleh dari pengolahan awal mungkin mengandung zat padat dan zat padatan yang dapat mengendap dan tidak dapat mengendap bersama dengan beberapa bagian organik materi. teknologi pengolahan air limbah rumah sakit melibatkan beberapa proses dan metode untuk menghilangkan kontaminasi dari air limbah yang dihasilkan di rumah sakit.

Dalam menentukan teknologi proses pengolahan air limbah Puskesmas, didasarkan pada beberapa kriteria, antara lain (Imamuddin, 2016)

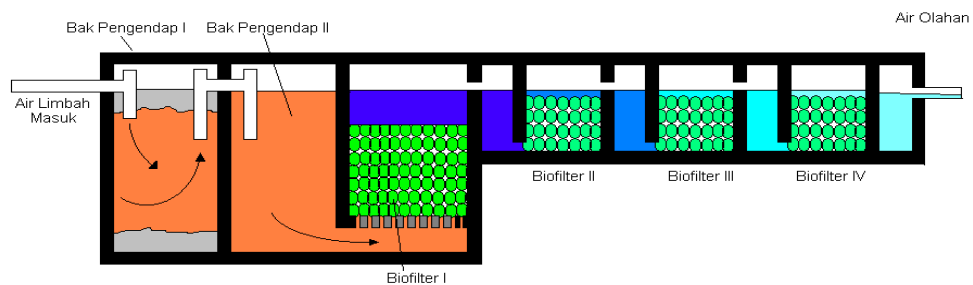
- a. Efektivitas pengolahan dapat mencapai kriteria baku mutu lingkungan,
- b. pengoperasiannya harus mudah,

- c. Lahan yang dibutuhkan tidak terlalu luas,
- d. Pemakaian energi harus serendah mungkin,
- e. Biaya operasional rendah,
- f. Lumpur yang dihasilkan sekecil mungkin,
- g. Dapat digunakan untuk air limbah dengan muatan becek yang cukup besar,
- h. Mampu menyisihkan padatan tersuspensi (SS) dengan baik,
- i. Pemeliharannya yang mudah dan sederhana.

Berikut ini adalah beberapa metode dan proses yang digunakan dalam pengolahan air limbah rumah sakit dan puskesmas:

1. Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilter "*Up Flow*"

Proses pengolahan air limbah dengan menggunakan biofilter "*upflow*" terdiri dari satu settling tank dan beberapa tangki biofilter yang diisi dengan kerikil atau kerikil, plastik atau media lainnya. Penguraian zat organik dalam air limbah terjadi oleh bakteri anaerobik atau aerobik fakultatif. Tangki sedimentasi terdiri dari dua ruangan. Tangki sedimentasi 1 berfungsi sebagai tangki sedimentasi 1, tangki pencerna lumpur (alat pengurai lumpur), dan penampung lumpur, dan tangki sedimentasi 2 berfungsi sebagai tangki sedimentasi 2. Mengumpulkan lumpur yang tidak terpakai. Air luapan dari tangki pengendapan kedua mengalir dari bawah ke atas dengan arah aliran menuju tangki biofilter. Air luapan dari tangki biofilter ditambahkan klorin atau klorin untuk membunuh mikroorganisme patogen dan kemudian dibuang langsung ke sungai atau saluran air umum. (Eckenfelder, 2003).



Gambar 2.1 Diagram Proses Pengolahan Biofilter "*Up Flow*"

Sumber: Said, 2013

2. Pengolahan air limbah dengan Proses Elektrokoagulasi

Elektrokoagulasi merupakan metode pengolahan limbah cair anorganik yang mengadopsi prinsip dasar elektrokimia, yaitu fenomena reaksi kimia yang berkaitan erat dengan arus listrik. Mekanisme utama dalam teknik ini didasarkan pada reaksi reduksi dan oksidasi (redoks) yang berlangsung di dalam sebuah sistem sel elektrokimia. Secara umum, sel elektrokimia diklasifikasikan menjadi dua jenis, yakni sel galvanis dan sel elektrolisis (Joning dkk., 2021).

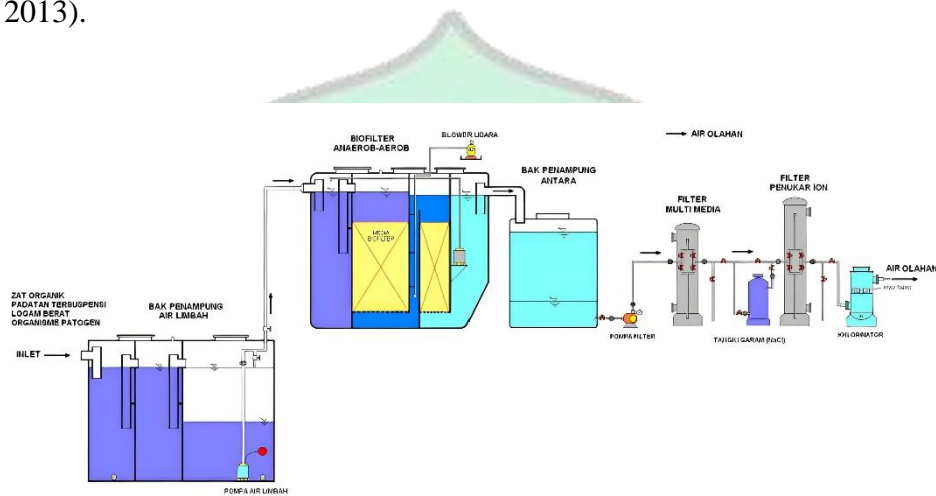
Elektrokoagulasi didefinisikan sebagai teknik pengolahan air berbasis elektrokimia yang memanfaatkan energi listrik untuk memicu pembentukan gumpalan (koagulasi) dan pengendapan partikel polutan. Secara fundamental, proses ini melibatkan transformasi kimia melalui mekanisme transfer elektron, yang mencakup tahapan oksidasi, reduksi, serta deposisi. Sistem ini menggunakan sepasang elektroda logam yang berfungsi sebagai penghantar arus. Di dalam sel ini, terjadi dua reaksi utama yang berlangsung secara simultan: pada sisi anoda, material logam mengalami oksidasi sehingga melepaskan ion logam aktif ke dalam larutan yang berperan sebagai koagulan. Sementara itu, pada sisi katoda, terjadi reaksi elektrolisis air yang menghasilkan gas hidrogen (Nur, 2014; Kamal, 2018; Ridantami, 2021).

Peningkatan konduktivitas sering kali dilakukan dengan penambahan elektrolit seperti NaCl, sebagaimana dilakukan dalam penelitian penyisihan diesel dan COD. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kondisi optimal pada pH 7, tegangan 10,5 V, dan penambahan NaCl 0,5 g/L mampu mereduksi kandungan diesel hingga mencapai 98,8% (Safari et al., 2016). Lebih lanjut, penggunaan variasi elektroda Fe dan Al dengan rentang waktu operasional 5 hingga 50 menit juga telah teruji efektif dalam mereduksi kontaminan pada air limbah pencucian mobil (Gönder et al., 2017).

3. Proses Pengolahan Menggunakan Proses Filtrasi Biologis Aerobik Anaerobik

Air limbah dari instalasi pelayanan kesehatan skala kecil lainnya yang sejenis seperti laboratorium medis dan lain-lain, selain mengandung komposit kontaminan organik (lemak, karbohidrat dan protein), komposit amoniak, padatan

tersuspensi, juga dapat mengandung esensi berat dan mikroorganisme patogen. dengan demikian, air limbah dari hasil pengolahan tersebut harus diolah secara khusus (Said, 2013). Untuk mengolah limbah dari fasilitas kesehatan kecil, digunakan metode yang menggabungkan penguraian biologis dalam biofilter anaerob-aerob, penyaringan menggunakan kombinasi silika, mangan zeolit, dan karbon aktif, serta proses pertukaran ion untuk menghilangkan ion-ion berbahaya (Said, 2013).



Gambar 2. 2 Diagram Pengolahan air limbah medis skala kecil menggunakan proses filtrasi biologis aerobik anaerobik (Sumber: Said 2013)

Efluen dari reaktor biologi dikumpulkan dalam reservoir sementara sebelum dipompa menuju unit filtrasi multi-media. Di sini, padatan, besi, dan mangan disingkirkan, sekaligus menghilangkan bau yang tidak sedap. Cairan hasil filtrasi kemudian dialirkan ke unit pertukaran ion untuk menghilangkan logam berat. Tahap akhir, cairan didisinfeksi dengan klorin sebelum dibuang.

Keunggulan yang dimiliki sistem ini mampu menurunkan kadar bahan organik, partikel tersuspensi, serta logam berat secara signifikan. Keunggulan utama dari teknologi ini terletak pada kemampuannya dalam mengolah air limbah dengan beban organik yang tinggi, namun tetap mudah dioperasikan dan memiliki biaya perawatan yang rendah. Selain itu, sistem ini juga dirancang untuk fleksibel sehingga dapat mengakomodasi fluktuasi beban organik yang terjadi. Dengan

demikian, teknologi ini tidak hanya memberikan hasil pengolahan yang optimal, tetapi juga ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Berdasarkan pertimbangan terhadap efisiensi, biaya operasional, dan dampak lingkungan, biofilter anaerob-aerob dinilai sebagai teknologi yang paling optimal untuk mengolah air limbah pada fasilitas kesehatan berskala kecil dan menengah. Teknologi ini mampu menguraikan bahan organik secara efektif, menghasilkan sludge yang lebih sedikit, dan memiliki biaya operasional yang relatif rendah. Selain itu, biofilter anaerob-aerob juga lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan teknologi sedangkannya fasilitas kesehatan berskala besar, teknologi *activated sludge* umumnya dipilih sebagai metode pengolahan air limbah, sementara untuk skala kecil dan menengah, biofilter anaerob-aerob menjadi alternatif yang lebih cocok.

2.3 Penelitian Terdahulu

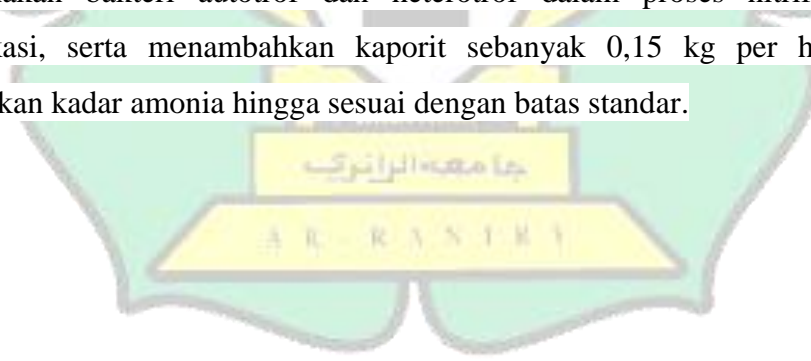
Penelitian pendahuluan merupakan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya oleh peneliti lain. Penelitian terdahulu dapat dijadikan acuan dan sebagai pembanding antara penelitian yang dilakukan dan penelitian yang pada bidang yang sama lainnya. Penelitian terdahulu terkait pengolahan air limbah rumah sakit tidak berfungsi, ada berbagai faktor untuk mengidentifikasi penyebab ipal tidak berfungsi secara optimal atau tidak berfungsi sama sekali. Adapun beberapa penelitian sejenis yang pernah dilakukan diantaranya, Kancitra dan Ghifari (2024), Gusvadillah,dkk (2022), Preisi Goni,dkk (2021), Gloria Palar,dkk (2023).

Kancitra dan Ghifari (2024) melakukan evaluasi terhadap kinerja instalasi pengolahan air limbah di Rumah Sakit X dengan membandingkan kualitas air masuk dan keluar dengan regulasi yang berlaku. Studi ini mengungkap adanya beberapa ketidaksesuaian desain pada beberapa unit pengolahan, namun secara keseluruhan, sistem berhasil menurunkan kadar polutan hingga mencapai standar yang ditetapkan.

Penelitian Gusvadillah dkk (2022), mengevaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di sebuah rumah sakit di Kayu Putih Raya, Jakarta Timur. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pH pada IPAL lama dan baru memenuhi

baku mutu sesuai Permen LHK P.68 Tahun 2016 yaitu antara 6-9. Namun, debit air limbah pada IPAL lama telah melebihi batas yang diizinkan sementara IPAL baru masih di bawah batas. Evaluasi lebih lanjut mengungkapkan bahwa parameter COD pada IPAL lama melampaui batas yang diizinkan. Rata-rata efisiensi pengolahan IPAL lama sebesar 51,28% dan IPAL baru 46,74%, lebih rendah dibandingkan standar efisiensi untuk sistem Biofilter Anaerob-Aerob (90-95%) dan *Extended Aeration* (85-87%). Penelitian ini menyimpulkan bahwa kinerja kedua IPAL tersebut belum maksimal dan perlu perbaikan.

Studi yang dilakukan oleh Gloria Palar dan rekan-rekannya pada tahun 2023 mengevaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Rumah Sakit Robert Wolter Mongisidi, Manado. Hasil studi menunjukkan bahwa IPAL di rumah sakit tersebut cukup efektif dalam mengurangi zat pencemar air limbah sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No.68 Tahun 2016, namun ada pengecualian untuk parameter amonia. Efisiensi pengurangan zat pencemar di IPAL meliputi BOD sebesar 67,8%, COD 60%, TSS 82%, serta Minyak & Lemak 75%, sedangkan kadar amonia yang mencapai 15 mg/L masih melebihi batas standar 10 mg/L. Solusi yang disarankan adalah menggunakan bakteri autotrof dan heterotrof dalam proses nitrifikasi dan denitrifikasi, serta menambahkan kaporit sebanyak 0,15 kg per hari untuk menurunkan kadar amonia hingga sesuai dengan batas standar.



Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

Hal	Penelitian 1	Penelitian 2	Penelitian 3	Penelitian 4	Penelitian 5	Penelitian 6	Penelitian ini
Judul	Efektivitas Sistem Pengolahan Limbah Terhadap Kualitas Limbah Cair Puskesmas Kota Pekanbaru	Uji Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit di Kayu Putih Raya Jakarta Timur	Desain Unit Instalasi Pengelolaan Air Limbah Rumah Sakit Perguruan Tinggi Negeri UNSRAT Manado Menggunakan Metode Biofilter Anaerobic-Aerobic	Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) UPT Laboratorium Kesehatan dan Kalibrasi Dinas Kesehatan Provinsi Kalimantan Tengah	Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit <i>Robert Wolter Mongisidi</i>	Evaluasi Pengolahan air Limbah rumah sakit x	Optimalisasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Puskesmas Meuraxa Kota Banda Aceh
Tahun	2018	2022	2022	2023	2023	2024	2024
Nama Peneliti	Khamidah, Saam, Z. dan Anita, S.	Gusvadillah Syarifudin, Ai Silmi Moh-Abdul Azis,	Hunayah Izmi Azifah, Hendra Riogilang,	Muhammad Iqbal Maulana, Hendro Suyanto,	Gloria Palar, Hendra Riogilan dan Revo L.	Kancitra dan Ghifari	Dinul Raiza Riansyah

Hal	Penelitian 1	Penelitian 2	Penelitian 3	Penelitian 4	Penelitian 5	Penelitian 6	Penelitian ini
		Elvianto Zagoto, dan Calvin Ronaldo Lekatompessy		dan Allan Restu Jaya	Inkiriwang		
Limbah yang diolah	Limbah cair dari ipal puskesmas	Limbah rumah sakit	Limbah rumah sakit UNSRAT	Limbah laboratorium dinas kesehatan	Limbah rumah sakit <i>robert wolter mongisidi</i>	air limbah rumah sakit	air limbah puskesmas
Metode Pengolahan yang digunakan	IPAL dengan pengolahan <i>bakterologi</i> dicampur dengan klorin dan sebagian IPAL menggunakan metode redoks	Biofilter Anaerob-aerob dan extended aeration	Biofilter Anaerob-aerobic	Biofilter Anaerob-aerobic	Biofilter Anaerob-aerob	Pengolahan sistem bio oksidasi	
Hasil	Parameter COD melebihi baku mutu yang ditetapkan yaitu 80 mg/L. Untuk 7 Puskesmas lainnya, pengolahan	pH memenuhi standar, namun efisiensi pengolahan kedua IPAL masih di bawah standar yang diharapkan. IPAL Lama mencapai	Mendesain IPAL Rumah Sakit UNSRAT Manado menggunakan	perencanaan IPAL dengan kapasitas 3 m ³ /hari menggunakan	Efisiensi penurunan kadar limbah oleh IPAL adalah BOD	RS X temukan rata-rata debit air limbah 406 m ³ /bulan. Awalnya, melebihi baku	

Hal	Penelitian 1	Penelitian 2	Penelitian 3	Penelitian 4	Penelitian 5	Penelitian 6	Penelitian ini
	limbah cair sudah tidak beroperasi lagi karena beberapa kendala seperti kerusakan mesin IPAL, kabel mesin rusak, dan saluran pembuangan tersumbat.	efisiensi 51,28% (standar 90-95%), sedangkan IPAL Baru 46,74% (standar 85-87%). Sehingga kinerja kedua IPAL kurang optimal sehingga memerlukan perbaikan.	metode biofilter anaerobic-aerobic. Desain mencakup berbagai unit pengolahan dengan kapasitas 89 m ³ /hari, dirancang memenuhi baku mutu air limbah.	sistem biofilter anaerob-aerob. Desain mencakup berbagai bak pengolahan dan memerlukan anggaran sebesar Rp.88.680.000,00 untuk pembangunannya	67,8%, COD 60%, TSS 82%, dan Minyak & Lemak 75% Solusi yang direkomendasikan untuk menurunkan Amoniak adalah menggunakan bakteri autotrof dan heterotrof pada proses nitrifikasi dan denitrifikasi	mutu (BOD, COD, TSS, & minyak & lemak). Tapi, IPAL mengolahnya hingga aman dibuang, sesuai baku mutu.	

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Mixed method merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini. menggabungkan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk menganalisis kinerja dari instalasi pengolahan air limbah yang berjalan di Puskesmas Meuraxa dan merencanakan opsi teknologi dalam bentuk desain alternatif pada Puskesmas Meuraxa. Aspek kuantitatif meliputi pengujian kualitas air limbah puskesmas meuraxa dan kinerja dari IPAL Puskesmas Meuraxa serta merencanakan alternatif desain pada IPAL Puskesmas sehingga efluen yang dihasilkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025, sedangkan aspek kualitatif mencakup pengamatan terhadap proses kegiatan dan wawancara secara mendalam menggunakan pertanyaan yang telah disiapkan. Pada wawancara mendalam narasumber yang dipilih ditentukan melalui *purposive sampling*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

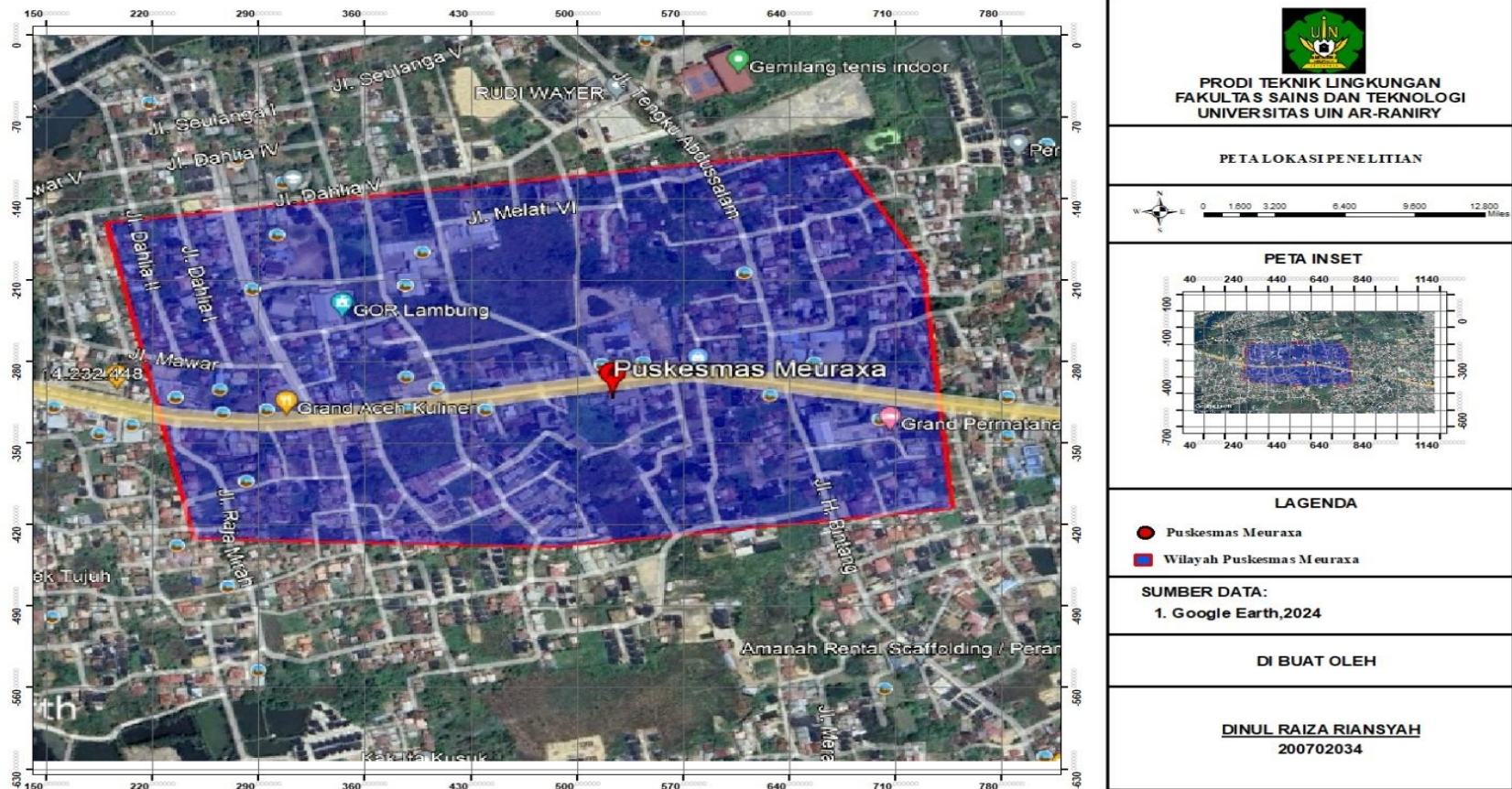
3.2.1 Waktu Penelitian



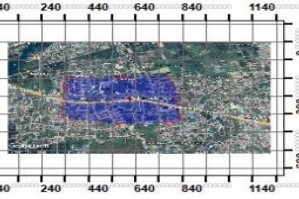
Penelitian ini berlangsung dari bulan Juli hingga Februari 2024. Lokasi pengambilan data dilakukan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Puskesmas Meuraxa, Kota Banda Aceh. Sampel penelitian diambil di IPAL Puskesmas Meuraxa, dan pengujian parameter pH, TSS, serta COD dilaksanakan di Laboratorium UIN Ar-Raniry Darussalam Banda Aceh. Sementara itu, pengujian parameter BOD dilakukan di laboratorium Balai Pengujian Penelitian dan Pengembangan Lingkungan (BPPPL) Banda Aceh. Jadwal pelaksanaan penelitian tercantum dalam tabel 3.1.

3.2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Puskesmas Meuraxa, Blang Oi, Kecamatan Meuraxa, Kota Banda Aceh. Berdasarkan pengamatan langsung dilapangan, IPAL yang beroperasi mengalami kerusakan pada mesin elektrokoagulasi dari tahun 2021 sehingga mesin elektrokoagulasi tidak berkerja dengan baik. Akibatnya IPAL yang digunakan untuk mengolah air limbah menjadi tidak optimal dalam mengolah air limbah. Lokasi penelitian dan pengambilan sampel IPAL Puskesmas Meuraxa Banda Aceh ditunjukkan pada Gambar 3.1 sedangkan kondisi Puskesmas Meuraxa pada Gambar 3.2.





 <p>PRODI TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UNIVERSITAS UIN AR-RANIRY</p>
<p>PETA LOKASI PENELITIAN</p>

<p>PETA INSET</p> 
<p>LEGENDA</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Puskesmas Meuraxa Wilayah Puskesmas Meuraxa
<p>SUMBER DATA: 1. Google Earth, 2024</p>
<p>DI BUAT OLEH</p>
<p><u>DINUL RAIZA RIANSYAH</u> 200702034</p>

Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian



Gambar 3.2 Puskesmas Meuraxa Banda Aceh
Sumber: Dokumentasi Pribadi

3.3 Instrumen Penelitian

Sebagai instrumen kunci, peneliti secara langsung terlibat dalam proses pengumpulan data. Hal ini menyebabkan faktor-faktor personal peneliti dapat memengaruhi kualitas data yang diperoleh:

1. Gambar desain IPAL yang beroperasi di Puskesmas
2. Dokumen Peraturan dan SNI terkait air limbah Rumah Sakit dan Puskesmas

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, alat dan bahan berikut ini digunakan:

Alat pengumpulan dan pengolahan data, antara lain:

- a) Laptop
- b) Buku catatan dan alat tulis
- c) Alat Ukur
- d) *Handphone* (HP)
- e) *Microsoft Excel*
- f) *AutoCad*

3.4.1 Pengujian Air Limbah Puskesmas

Sampel air limbah IPAL Puskesmas Meuraxa diuji kualitasnya di laboratorium Multifungsi UIN Ar-Raniry, parameter air limbah yang diuji pada penelitian ini adalah pH, *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended*

Solid (TSS), dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sesuai peraturan baku mutu air limbah rumah sakit Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu air limbah bagi fasilitas pelayanan kesehatan.

Hasil uji pendahuluan dari air limbah IPAL di Puskesmas Meuraxa dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Awal

Parameter	Satuan	Hasil pengujian	Baku mutu	Keterangan
pH	-	4,4	6-9	Tidak Memenuhi
TSS	mg/l	142	30	Tidak Memenuhi
COD	mg/l	338	80	Tidak Memenuhi
BOD	mg/l	-	12	-

Sumber: Hasil Uji Laboratorium, 2024

3.5 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data yang berasal dari dua sumber utama, yaitu data primer yang dikumpulkan secara langsung dan data sekunder yang diperoleh dari sumber-sumber yang telah ada. Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

1. Data primer

Data primer dalam penelitian ini diperoleh melalui; pengujian sampel air limbah yang diambil dari IPAL Puskesmas yang selanjutnya dilakukan pengujian di laboratorium, kondisi eksisting IPAL Puskesmas Meuraxa

2. Data Sekunder

Data Sekunder dalam penelitian ini diperoleh melalui; dokumen hasil pengujian tahun 2023, baku mutu permen lhk no 11 tahun 2025. data *Detail Engineering Design* (DED) IPAL Puskesmas.

3.5.1 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menganalisa kualitas efluen air limbah IPAL Puskesmas Meuraxa yang beroperasi dan kinerja dari sistem

pengolahan IPAL yang telah berjalan serta memberikan opsi teknologi berupa desain alternatif pada IPAL Puskesmas Meuraxa sehingga air limbah yang dihasilkan sejalan dengan ketentuan yang tertuang dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025. Penelitian ini dilakukan secara bertahap melalui sejumlah prosedur penelitian (lihat Gambar 3.3).

Adapun penjelasan tahapan dari proses penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tahapan awal

Langkah-langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi tahapan persiapan sebagai berikut:

- 1) Melakukan identifikasi permasalahan yang terjadi di Puskesmas Meuraxa terkait pokok permasalahan penelitian (air limbah, puskesmas atau rumah sakit dan teknologi pengolahan air limbah)
- 2) Mempersiapkan pengurusan izin administrasi.
- 3) Melakukan pengamatan langsung kondisi eksisting IPAL yang telah berjalan
- 4) Menyiapkan instrumen penelitian, sebagai upaya untuk mempermudah saat proses penelitian

2. Tahap Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian ini telah dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

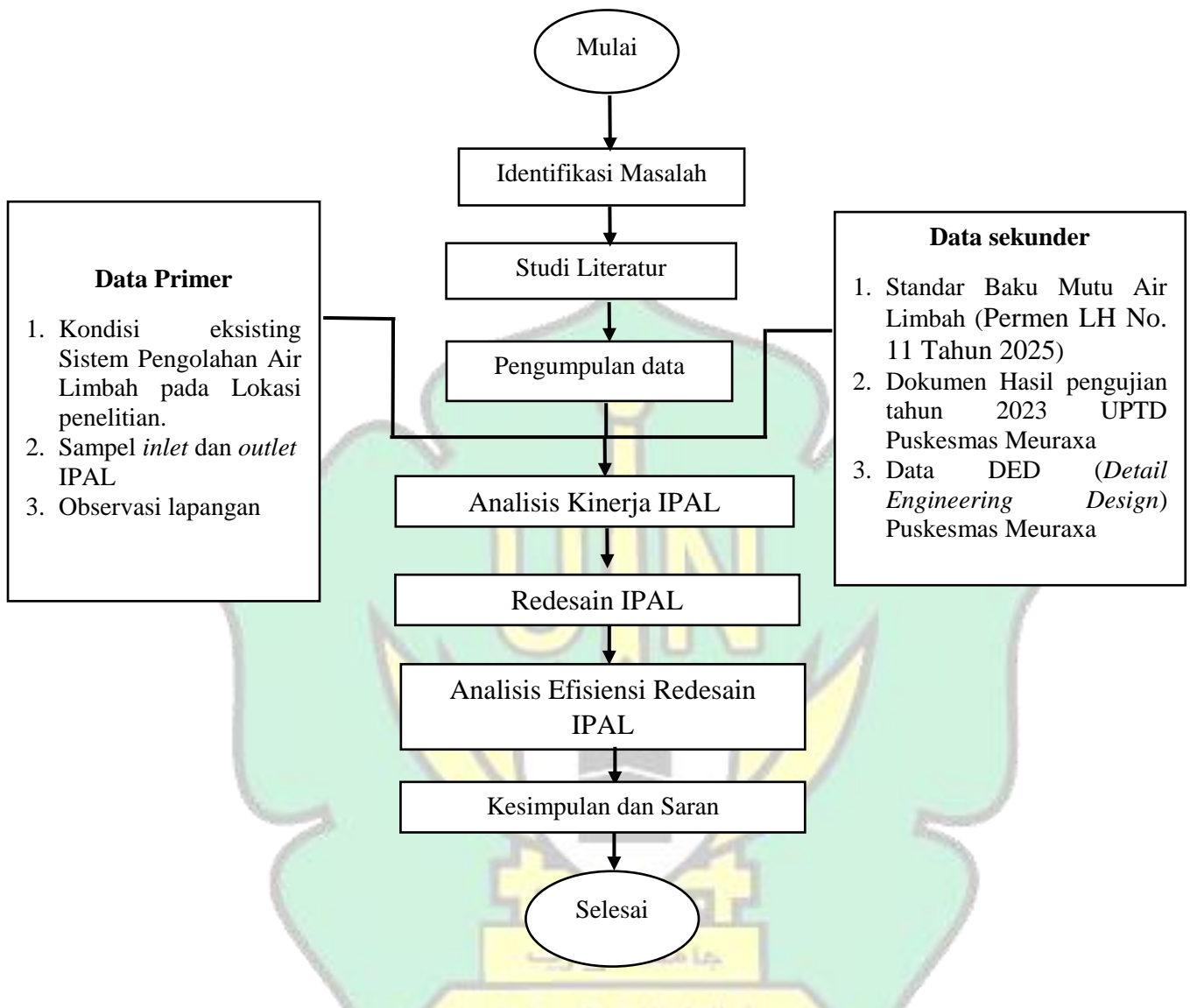
- 1) Pengumpulan data dengan tujuan memperoleh data yang akurat dan relevan, penelitian ini mengumpulkan data primer melalui pengujian laboratorium terhadap sampel limbah dari IPAL Puskesmas Meuraxa. Selain itu, peneliti juga melakukan kajian mendalam terhadap kondisi fisik IPAL dan praktik pengelolaannya melalui observasi langsung dan wawancara. Adapun Selain data primer, penelitian ini juga mengacu pada data sekunder yang berasal dari data pengujian *outlet* dan *inlet* air limbah Puskesmas Meuraxa pada tahun 2023 dan seluruh aspek penelitian ini, termasuk karakteristik fisik lokasi seperti topografi, telah dipertimbangkan secara mendalam dan data desain IPAL Puskesmas Meuraxa.

- 2) Penelitian ini mengadopsi pendekatan evaluasi dan perencanaan. Penelitian ini dilakukan dengan menguji sampel inlet dan outlet IPAL Puskesmas Meuraxa dan mengevaluasi kinerja sistem pengolahan IPAL yang sudah ada di Puskesmas Meuraxa berdasarkan peraturan yang berlaku, serta merencanakan dan memberikan opsi teknologi dalam bentuk desain alternatif agar air limbah yang dihasilkan oleh Puskesmas dapat memenuhi baku mutu dan tidak mencemari lingkungan
- 3) Hasil penelitian ini mengungkap secara detail sistem pengolahan IPAL di Puskesmas Meuraxa Banda Aceh. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan pilihan teknologi yang inovatif untuk meningkatkan kualitas efluen IPAL Puskesmas.

3. Proses pembuatan laporan

Proses pembuatan laporan penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu

- 1) Analisis kinerja dan Kualitas efluen sistem pengolahan IPAL Puskesmas Meuraxa Sesuai dengan ketentuan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025 serta Mengusulkan teknologi untuk IPAL Puskesmas Meuraxa agar dapat optimal dalam mengolah air limbah.
- 2) Analisis dan interpretasi data
- 3) Pelaporan hasil penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proyeksi Jumlah Pengunjung Puskesmas Meuraxa

Pada Perencanaan ini, periode yang digunakan untuk perencanaan Pengolahan Air Limbah pada Puskesmas Meuraxa adalah 15 tahun dari 2025-2040.

Tabel 4. 1 Jumlah Pengunjung 5 Tahun terakhir

Tahun	Jumlah Pengunjung (Ribu Orang)
2020	25.118
2021	33.179
2022	70.607
2023	63.789
2024	81.757

Sumber: Dinas kesehatan Kota Banda Aceh

Proyeksi jumlah pengunjung merupakan salah satu faktor paling besar yang menentukan kapasitas bangunan pengolahan air limbah yang akan direncanakan. Maka perlu diproyeksi pengunjung Puskesmas sebagai perkiraan jumlah pengunjung dimasa yang akan datang sesuai dengan jangka waktu perencanaan yaitu selama 15 tahun yang akan datang. Untuk melakukan perencanaan proyeksi penduduk diperlukan jumlah data penduduk selama 10 tahun terakhir yang selanjutnya digunakan untuk mencari laju pertumbuhan pengunjung. Dalam menghitung proyeksi pengunjung terdapat beberapa metode yaitu metode aritmatika, metode logaritma, dan metode geometri. Dari setiap metode dihitung nilai korelasi (R) dan Standar deviasi (SD) untuk menentukan metode yang paling cocok untuk menghitung proyeksi pengunjung. Nilai korelasi yang mendekati angka 1 dan standar deviasi (SD) terkecil akan digunakan untuk menghitung proyeksi pengunjung. Proyeksi jumlah pengunjung merupakan salah satu faktor paling besar yang menentukan kapasitas bangunan air limbah yang akan direncanakan. Maka perlu diproyeksi pengunjung Puskesmas sebagai perkiraan jumlah pengunjung dimasa yang akan datang sesuai dengan jangka waktu perencanaan yaitu selama 15 tahun yang akan datang. Untuk melakukan

perencanaan proyeksi penduduk diperlukan jumlah data penduduk selama 10 tahun terakhir yang selanjutnya digunakan untuk mencari laju pertumbuhan pengunjung. Dalam menghitung proyeksi pengunjung terdapat beberapa metode yaitu metode aritmatika, metode logaritma, dan metode geometri. Dari setiap metode dihitung nilai korelasi (R) dan Standar deviasi (SD) untuk menentukan metode yang paling cocok untuk menghitung proyeksi pengunjung. Nilai korelasi yang mendekati angka 1 dan standar deviasi (SD) terkecil akan digunakan untuk menghitung proyeksi pengunjung.

4.1.1 Metode Aritmatika

Metode aritmatika berlandaskan bahwa pada asumsi bahwa laju dari pertumbuhan populasi bersifat konstan dengan anggapan bahwa jumlah peningkatan pengunjung Puskesmas setiap tahunnya tetaplah sama. Untuk menghitung proyeksi pengunjung dengan menggunakan metode aritmatika dapat menggunakan data 5 tahun terakhir yaitu mulai dari tahun 2021 sampai 2025. Perhitungan proyeksi pengunjung dengan menggunakan metode aritmatika dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 2 Proyeksi Pengunjung dengan Metode Aritmatika

No (Xi)	Tahun	Pengunjung (Yi)	Yrata-rata	X_i^2	$X_i \cdot Y_i$	Y_i	$(Y_i - Y)$	$(Y_i - Y)^2$	$(Y_i - Yrata)$	$(Y_i - Yrata)^2$	S	R
1	2020	25.118	27.445	1	25.118	-20.193	45.311	2.053.086.721	-2.327	5.414.929	102.446,0	0,6
2	2021	33.179		4	66.358	-8.865	42.044	1.767.697.936	33.179	1.100.846.041		
3	2022	70.607		9	211.821	2.462	68.145	4.643.741.025	70.607	4.985.348.449		
4	2023	63.789		16	255.156	13.790	49.999	2.499.900.001	63.789	4.069.036.521		
10	2024	81.757		100	817.570	81.757	0	0	81.757	6.684.207.049		
Total		274.450		130	1.376.023	68.951	205.499	10.964.425.683	247.005	16.844.852.989	102.446,0	



Gambar 4. 1 Grafik Pertumbuhan Pengunjung dengan Metode Aritmatika

4.1.2 Metode Logaritma

Perhitungan proyeksi pengunjung dengan metode logaritma, menggunakan data jumlah pengunjung 15 tahun terakhir dari tahun 2021 sampai 2025 untuk memproyeksikan jumlah pengunjung 10 tahun yang akan datang yaitu pada tahun 2026 sampai 2040 metode logaritma salah satu metode yang digunakan untuk menghitung proyeksi pengunjung.

Tabel 4. 3 Proyeksi Pengunjung dengan Metode Logaritma

No (Xi)	Tahun	Pengunjung (Yi)	ln Xi	ln Xi ²	ln Xi.Yi	Y'	(Yi-Y')	(Yi-Y') ²	(Yi-Yrata)	(Yi-Yrata) ²	S	R
1	2021	25.118	0	0	0	4.278	20.840,00	434.305.600,00	-29.772,00	886371984	26.101	0,8
2	2022	33.179	0,69	0,4761	22.894	37.650	-4.471,00	19.989.841,00	-21.711,00	471367521		
3	2023	70.607	1,10	1,2100	77.668	57.479	13.128,00	172.344.384,00	15.717,00	247024089		
4	2024	63.789	1,39	1,9321	88.667	71.505	-7.716,00	59.536.656,00	8.899,00	79192201		
5	2025	81.757	1,61	2,5921	131.629	82.145	-388,00	150.544,00	26.867,00	721835689		
15		274.450	4,79	6,21	320.858,00	253.057	21.393	686.327.025		2.405.791.484,00		



Gambar 4. 2 Grafik Pertumbuhan Pengunjung dengan Metode Logaritma

4.1.3 Metode Geometri

Proyeksi penduduk dengan metode geometri menggunakan asumsi bahwa jumlah pengunjung akan bertambah secara geometri dengan menggunakan dasar perhitungan majemuk. Untuk perhitungan nilai korelasi (R) dan standar deviasi (S) menggunakan metode geometri dapat dilihat dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 4. 4 Proyeksi Pengunjung dengan Metode Logaritma

No (Xi)	Tahun	Pengunjung (Yi)	Yi rata-rata	Pertumbuhan	Pertumbuhan (%)	r	Y'	(Yi-Y')	(Yi-Y') ²	(Yi-Yrata)	(Yi-Yrata) ²	S	R
1	2020	25.118	27.445,0	0	0	0,26	34.287	-9.169	84.070.561	-2.327,00	5.414.929	66.410	0,3
2	2021	33.179		8.061	32,09		34.287	-1.108	1.227.664	5.734,00	32.878.756		
3	2022	70.607		45.489	137,10		34.287	36.320	1.319.142.400	43.162,00	1.862.958.244		
4	2023	63.789		30.610	43,35		34.287	29.502	870.368.004	36.344,00	1.320.886.336		
5	2024	81.757		11.150	17,48		34.287	47.470	2.253.400.900	54.312,00	2.949.793.344		
Jumlah		274.450		95310,00	230,02		171.435	103.015	4.528.209.529	247.005,0	6.171.931.609		



Gambar 4.3 Grafik Pertumbuhan Pengunjung dengan Metode Geometri

4.1.4 Perbandingan Proyeksi Jumlah Pengunjung

Dari perhitungan proyeksi pengunjung menggunakan tiga metode seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka dari setiap metode dihitung nilai korelasi (R) dan Standar deviasi (SD) untuk menentukan metode yang paling cocok untuk menghitung proyeksi pengunjung. Nilai korelasi (R) yang mendekati angka 1 dan standar deviasi (SD) terkecil akan digunakan untuk menghitung proyeksi pengunjung dapat dilihat perbandingan nilai korelasi (R) dan standar deviasi (SD) pada tabel 4.15.

Tabel 4.5 Perbandingan nilai korelasi (R) dan Standar deviasi (S) proyeksi Pengunjung Puskesmas Meuraxa

Metode	S	R
Aritmatika	120.446	0,6
Geometri	66.410	0,3
Logaritma	26.101	0,8

Adapun untuk proyeksi pengunjung selama 15 tahun kedepan, yaitu:

Tahun	Proyeksi Pengunjung (ribu jiwa)
2026	124.223
2027	128.092
2028	131.961
2029	135.347
2030	138.248
2031	141.150
2032	144.052
2033	146.470
2034	149.372

2035	151.307
2036	153.725
2037	156.143
2038	158.078
2039	160.013
2040	161.947

Berdasarkan perbandingan nilai korelasi (R) pada tabel di atas, dapat diketahui bahwa metode dengan nilai korelasi yang paling mendekati angka 1 adalah metode logaritma. Oleh karena itu, metode logaritma digunakan untuk menghitung proyeksi jumlah pengunjung Puskesmas Meuraxa selama 15 tahun ke depan:

$$\begin{aligned}
 k_a &= \frac{P_n - P_o}{T_n - T_o} \\
 &= \frac{P_{2024} - P_{2020}}{2024 - 2020} \\
 &= \frac{81.757 - 25.118}{2025 - 2020} \\
 &= \frac{56.639}{4} \\
 &= 14.160 \text{ jiwa/tahun.} \\
 &= 1.179 \text{ jiwa/bulan.}
 \end{aligned}$$

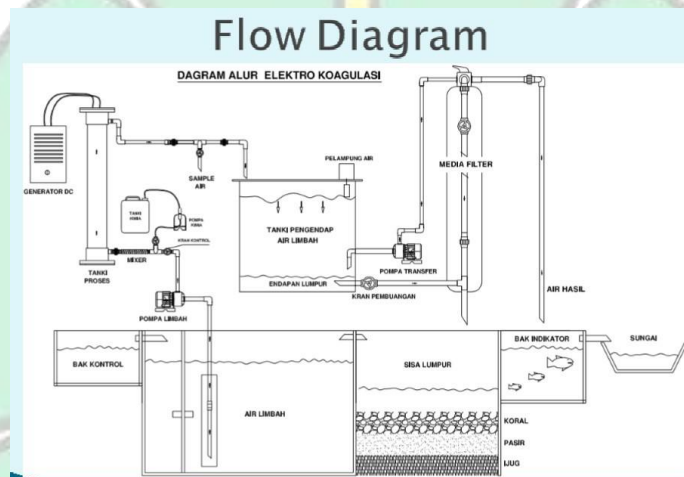
4.2 Gambaran Kinerja IPAL Puskesmas Meuraxa

4.2.1 Sistem Pengolahan IPAL Puskesmas Meuraxa

Puskesmas Meuraxa merupakan fasilitas pelayanan kesehatan rawa inap yang berada di blang oi kecamatan meuraxa. Kegiatan Puskesmas Meuraxa tentunya menghasilkan limbah yang dapat membahayakan lingkungan, salah satu kegiatan dari Puskesmas yang dapat membahayakan lingkungan adalah air limbah medis. Air limbah medis bersumber dari ruang pasien, air limbah laboratorium, air limbah laundry serta limbah buangan dari kegiatan yang ada di puskesmas meuraxa. Berdasarkan data pusat standardisasi lingkungan dan kehutanan kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang teknologi ramah lingkungan terverifikasi dengan nomor register 032/TRL/Reg-1/KLHK, teknologi

dengan sistem elektrokoagulasi diklaim merupakan pengolahan air limbah yang efisien untuk pengolahan air limbah baik industri kecil maupun rumah sakit skala kecil.

Sistem pengolahan air limbah pada puskesmas meuraxa menggunakan sistem elektrokoagulasi. Sistem ini merupakan salah satu pengolahan air limbah dengan memanfaatkan teknologi koagulasi dan flokulasi dimana air limbah puskesmas akan naik dari pipa menuju ke mesin electrogenerator dan akan diproses oleh mesin dan akan turun kembali ke bak penampung air limbah puskesmas, pada sistem *electrokoagulasi* terdapat beberapa pengolahan seperti pada gambar 4.4.

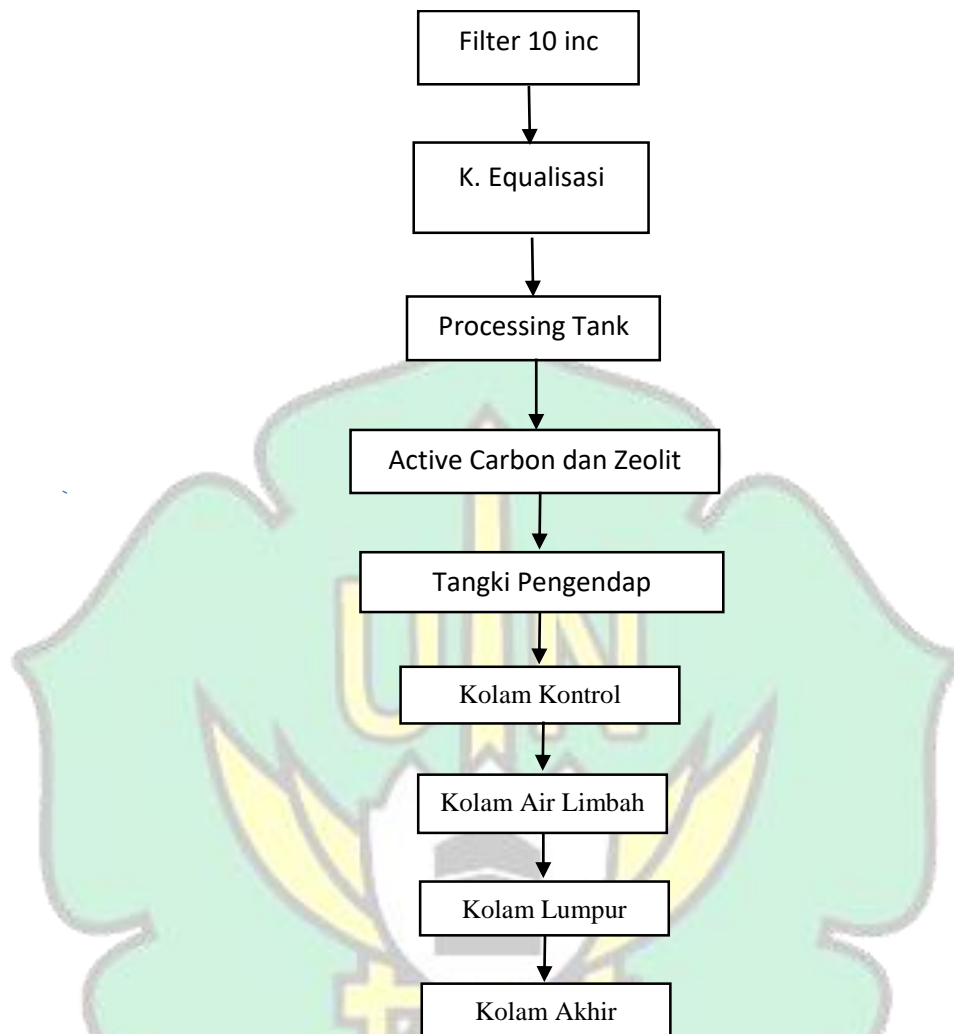


Gambar 4. 4 diagram aliran electrocoagulasi

Sumber: Dokumen register 032/TRL/Reg-1/KLHK

Air limbah yang dihasilkan dari kegiatan puskesmas meuraxa diolah pada Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan metode pengolahan *electrocoagulation* dilengkapi bak penampung aliran unit pengolahan air limbah di Puskesmas Meuraxa dapat di lihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 6 aliran penyaluran limbah puskesmas



Sumber: Hasil Dokumentasi Pribadi

Berdasarkan pengamatan dan pengecekan aliran pengolahan sistem elektrokoagulasi Puskesmas Meuraxa, proses dimulai ketika mesin dihidupkan. Air limbah akan masuk dan diproses pada filter ukuran 10 inci. Filter ini akan menghilangkan partikel kasar pada air limbah sebelum masuk ke kolam ekualisasi. Dari kolam ekualisasi, air akan mengalir secara upflow menuju *Generator DC*. *Generator* berfungsi mengontrol arus aliran listrik pada elektrokoagulasi sebelum air masuk ke tangki pengendap. Pada tahap ini, aliran di dalam tangki pengendap akan mengendapkan partikel tersuspensi dalam air limbah selama proses. Zat kimia seperti garam dibantu oleh mixer agar tercampur merata sehingga mempermudah flok partikel kotoran untuk mengendap. Setelah

proses elektrokoagulasi, air limbah mengalir ke dalam tangki pengendap. dalam tangki pengendap, partikel berat akan mengendap di dasar tangki sebagai endapan lumpur, sementara bagian atas tangki berisi air yang sudah jernih.

Air dari tangki pengendap dipindahkan menggunakan pompa menuju media filter yang terdiri dari *Active Carbon* dan *Zeolit*. Media *active carbon* berperan menyaring dan menghilangkan zat organik pada air limbah sebelum air mengalir ke *zeolit*. Media *zeolit* berfungsi menghilangkan zat amonia dan logam berat serta membantu mengurangi padatan tersuspensi melalui penyaringan mekanik dan pertukaran ion. Air hasil penyaringan dari media filter *active carbon* dan *zeolit* dialirkan menuju kolam indikator untuk memastikan kualitas air yang telah diolah memenuhi standar sebelum dialirkan ke drainase. Sedangkan kolam lumpur mengendapkan sisa lumpur ke dasar kolam, dan sebagian lumpur akan menuju kolam akhir sebelum mengalir ke drainase.

Evaluasi kinerja dari Instalasi Pengolahan Air Limbah yang berlokasi di Puskesmas Meuraxa Banda Aceh merupakan aspek teknis yang memberikan gambaran eksisting sistem atau teknologi yang sudah berjalan di Puskesmas Meuraxa

Tabel 4. 7 Perhitungan Volume dan Kapasitas Pengolahan Puskesmas Meuraxa

No	Unit Pengolahan	Kriteria		
		Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman (m)
1	Bak control	55	48	123
2	Bak Limbah	135	110	123
3	Bak Lumpur	55	48	198
4	Bak akhir	55	48	198
5	Total Keseluruhan	245	206	321

Sumber: Hasil Dokumentasi Pribadi

4.2.2 Operasional dan Pemeliharaan IPAL Puskesmas

Operasional Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Puskesmas Meuraxa berfokus pada pelaksanaan prosedur pengelolaan limbah medis dan domestik yang dihasilkan dari aktivitas puskesmas. Operasional IPAL ini

dijalankan oleh bagian Kesehatan Lingkungan (Kesling) puskesmas, yang bertanggung jawab untuk mengelola dan memastikan bahwa setiap tahap pengolahan air limbah berjalan sesuai standar yang ditetapkan.

Berikut ini perkiraan biaya kebutuhan perawatan dan pergantian alat pada Instalasi Pengolahan Air Limbah di Puskesmas Meuraxa dengan sistem teknologi *electrocoagulasi* :

Tabel 4. 8 Perkiraan biaya pergantian alat IPAL Puskesmas Meuraxa

No	Kebutuhan	Jumlah	Harga Satuan	Total
1	Active Carbon	25kg	339.625	339.625
2	Ziolit	25kg	165.000	165.000
3	Filter 10 inc	1 unit	127.000	127.000
4	Mesin pompa	1 unit	459.000	459.000
5	Water flow meter dn 25	1 unit	460.000	460.000
6	Dosing pump ailipu	1 unit	2.800.000	2.800.000
7	Larutan HCL	1 liter	12.000	12.000
Total Biaya per Tahun				4.362.625

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.1 dapat diketahui perkiraan biaya pergantian alat Instalasi Pengolahan Air Limbah Puskesmas Meuraxa sebesar Rp 4.362.625. Biaya ini mencakup berbagai peralatan yang diperlukan dalam perawatan Instalasi Pengolahan Air Limbah Puskesmas Meuraxa agar sistem dapat beroperasi dengan baik dan mampu mengolah air limbah sesuai dengan standar yang berlaku. Penggantian alat-alat tersebut menjadi hal yang krusial guna menjaga kinerja IPAL tetap optimal, mencegah terjadinya pencemaran lingkungan, serta memastikan bahwa air limbah yang dihasilkan aman sebelum dibuang ke lingkungan sekitar.

4.2.3 Dimensi Pengolahan Air Limbah

1. Perhitungan debit air limbah Puskesmas

Dalam redesain IPAL Puskesmas Meuraxa, penentuan debit limbah cair didasarkan pada estimasi jumlah pasien yang dilayani setiap harinya. Perhitungan ini mempertimbangkan jumlah pasien yang datang serta kebutuhan air bersih yang digunakan dalam berbagai aktivitas puskesmas, seperti pemeriksaan, perawatan, sterilisasi alat medis, hingga kebutuhan sanitasi. Sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Dinas Lingkungan Hidup (2019), diasumsikan bahwa sekitar 80%

dari total penggunaan air bersih akan menjadi limbah cair. Dengan pendekatan ini, debit limbah cair dapat diperkirakan secara lebih akurat untuk memastikan kapasitas IPAL yang optimal dalam mengolah air limbah sebelum dibuang ke lingkungan.

Diketahui :

Jumlah Tenaga Kesehatan = 30 orang (BPS Kota Banda Aceh,2024).

Asumsi Q air bersih = 15–20 liter/pasien/hari (kepmenkes no 1428 tahun 2006).

Koefisiensi Puncak = 1,2 (Metcalf & Eddy, 2014)

Koefisiensi Minimum = 0,2 (Permen PUPR No. 4 Tahun 2017)

Potensi air limbah = 80% dari penggunaan air bersih (said,2017)

Jumlah Pengunjung 15 Tahun = 161.947 jiwa/Tahun

- Debit Rata-rata Air Limbah

$$\begin{aligned}
 Q_{ave} &= \text{Jumlah pengunjung} \times 15 \text{ Liter/orang/hari} \times 80\% \\
 &= 161.947 \text{ jiwa/Tahun} \times 0,015 \text{ m}^3/\text{orang/hari} \times 80\% \\
 &= \frac{161.947 \text{ jiwa}}{365 \text{ hari}} \times 0,015 \text{ m}^3/\text{orang/hari} \times 80\% \\
 &= 444 \text{ pasien/hari} \times 0,015 \text{ m}^3/\text{orang/hari} \times 0,8 \\
 &= 5,33 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,22 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

- Debit Puncak Q_{peak} = $f_{peak} \times Q_{ave}$
 $= 1,2 \times 0,22 \text{ m}^3/\text{jam}$
 $= 0,264 \text{ m}^3/\text{jam}$

- Debit air bersih = jumlah pasien x jumlah konsumsi air pasien (liter/orang/hari)

$$= 161.947 \text{ jiwa/Tahun} \times 15 \text{ liter/orang/hari}$$

$$= \frac{161.947 \text{ jiwa}}{365 \text{ hari}} \times 0,015 \text{ m}^3/\text{orang/hari}$$

$$= 444 \text{ jiwa/hari} \times 0,015 \text{ m}^3/\text{orang/hari}$$

$$= 6,66 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 6,660 \text{ lt/hari}$$

- Debit air limbah dari Laboratorium

- Debit air bersih staff = $30 \text{ staff} \times 15 \text{ lt/orang/hari}$
= 450 lt/hari
= $0,45 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Q limbah = $6,660 \text{ lt/hari} \times 80\%$
= $6,660 \text{ lt/hari} \times 0,8$
= 5.330 lt/hari

$$\begin{aligned} \text{Total debit air bersih} &= Q_{\text{staff}} + Q_{\text{pengunjung}} \\ &= 0,45 \text{ m}^3/\text{hari} + 6,66 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 7,11 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total debit air limbah} &= 80\% \times \text{Total debit air bersih} \\ &= 80\% \times 7,11 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,8 \times 7,11 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 5,69 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{min}} &= Q_{\text{rata}} \times 20\% \\ &= 5,69 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,2 \\ &= 1,14 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{peak}} &= Q_{\text{rata-rata}} \times 1,5 \\ &= 5,69 \times 1,5 \\ &= 8,53 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

4.2.4 Hasil Analisis Parameter Air Limbah Puskesmas Meuraxa

Air limbah yang dihasilkan dari Puskesmas Meuraxa berasal dari berbagai kegiatan pelayanan, seperti Unit Gawat Darurat (UGD), Instalasi Gawat Darurat (IGD), serta laboratorium. Jenis limbah cair tersebut umumnya memiliki kandungan bahan organik yang cukup tinggi. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis kualitas air limbah untuk memastikan kesesuaiannya dengan ketentuan yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2025 mengenai Baku Mutu Air Limbah bagi Fasilitas Pelayanan Kesehatan.

Pengambilan sampel air limbah dari IPAL Puskesmas Meuraxa dilakukan pada tanggal 6 Februari 2025. Sampel yang diambil terdiri dari air limbah pada bagian inlet dan outlet, pengambilan sampel menggunakan jirigen 5 Liter dan

dilakukan pada kisaran jam 10:00 s.d 11:00. Pengujian parameter TSS, BOD, dan COD dilakukan di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Kota Banda Aceh. Hasil uji kualitas air limbah pada bagian inlet dan outlet tersebut selanjutnya dibandingkan dengan baku mutu air limbah domestik yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2025.

Tabel 4. 9 Hasil Uji Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan

No	Parameter Uji	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	
				Inlet	Oulet
1	COD	mg/l	80	169,50	130,61
2	BOD	mg/l	12	22,42	18,08
3	TSS	mg/l	30	67	64,5

Sumber: Hasil Pemeriksaan di Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Berdasarkan tabel tersebut, diketahui bahwa kadar TSS, BOD, dan COD pada inlet serta outlet IPAL Puskesmas Meuraxa menunjukkan bahwa parameter COD telah melampaui baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2025, dengan metode uji SNI 6989.2:2009, yaitu batas kadar COD sebesar 80 mg/l. Kadar BOD pada outlet IPAL Puskesmas tercatat sebesar 18,08 mg/l, sedangkan kadar TSS tertinggi mencapai 64,5 mg/l. Penurunan kadar COD dalam air limbah dapat terjadi apabila konsentrasi zat organik di dalamnya berkurang. Tingginya kadar COD yang tinggi dapat berpengaruh pada keseimbangan ekosistem perairan, COD yang ada di dalam perairan akan menyerap oksigen yang ada di dalam air sehingga jumlah oksigen di dalam air pun jumlahnya akan semakin sedikit.

4.2.5 Efisiensi *Removal* IPAL *electrocoagulation* dalam Mengolah Air Limbah Puskesmas Meuraxa

Hasil akhir yang didapatkan dari laboratorium Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Banda Aceh, menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan antara hasil pengujian inlet dan outlet pada air limbah Puskesmas. Dari tiga parameter yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 11 Tahun 2025, dua parameter masih memenuhi standar baku

mutu, sedangkan nilai COD belum memenuhi ketentuan karena melebihi batas yang diperbolehkan. Efisiensi pengolahan air limbah dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 4. 10 Efektivitas removals Inlet dan outlet Air Limbah pada IPAL Puskesmas Meuraxa

Parameter	Inlet (mg/L)	Outlet (mg/L)	Efisiensi
TSS	67	64,5	$\frac{67-64,5}{67} \times 100\% = 3\%$
COD	169,50	130,61	$\frac{169,50 - 130,61}{169,50} \times 100\% = 22,9\%$
BOD	22,42	18,08	$\frac{22,42 - 18,08}{22,42} \times 100\% = 19,3\%$

Berdasarkan tabel diatas, nilai efisiensi menunjukkan bahwa tingkat efektivitas sistem pengolahan limbah di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Puskesmas Meuraxa belum mencapai hasil optimal secara menyeluruh. Permasalahan utama teridentifikasi pada nilai parameter Chemical Oxygen Demand (COD) yang terukur melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan sebesar 80 mg/L. Kondisi ini mengindikasikan perlunya penyempurnaan dan penambahan metode pengolahan untuk meningkatkan performa sistem IPAL yang telah terpasang, sehingga kualitas air hasil olahan dapat memenuhi seluruh kriteria yang dipersyaratkan. Sebagai tindak lanjut, diperlukan suatu treatment tambahan yang bertujuan menstabilkan nilai COD agar tetap berada dibawah baku mutu yang ditetapkan oleh regulasi yang berlaku.

4.2.6 Perhitungan Neraca Massa

1. Debit air masuk = 8,53 m³/hari
 $= 8,53 \text{ m}^3/\text{orang}/\text{hari} \times 1000$
 $= 8.530 \text{ l}/\text{hari}$
2. Massa COD masuk
 $= 8.530 \text{ l}/\text{hari} \times 169,50 \text{ mg}/\text{l}$
 $= 1.445,835 \text{ mg}/\text{hari}$
3. Massa COD keluar
 $= 8.530 \text{ l}/\text{hari} \times 130,61 \text{ mg}/\text{l}$
 $= 1.114,103 \text{ mg}/\text{hari}$

$$4. \text{ Massa Hilang} = 1.445,835 - 1.114,103 \text{ mg/l} \\ = 331.732 \text{ mg/l}$$

5. Persentase Hilang

$$= \frac{331.732}{1.445,835} \times 100\% = 22,9\%$$

Tabel 4. 11 Efisiensi IPAL Elektrokoagulasi

Parameter	Massa Masuk (mg/hari)	Massa Keluar (mg/hari)	Massa Hilang (mg/hari)	% Hilang
COD	1.445,835	1.114,103	331.732	22,9%
BOD	191,243	154,222	37,021	19,3%
TSS	571,510	550,325	21.325	3%

Berdasarkan data di atas yang menggambarkan persentase penyisihan setiap unit pengolahan air limbah Puskesmas Meuraxa, dapat dilihat bahwa sistem ini dirancang secara bertahap untuk mengurangi parameter polutan utama, yaitu COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solids*). Data ini mencerminkan efisiensi removal relatif sederhana, dengan total penyisihan kumulatif sebesar 23% untuk COD, 19% untuk BOD, dan hanya 4% untuk TSS. Pendekatan ini menunjukkan bahwa proses pengolahan lebih berfokus pada unit mekanis dan adsorpsi awal, seperti filtrasi dan sedimentasi, yang umum pada instalasi skala kecil seperti di fasilitas kesehatan primer (puskesmas). Namun, efisiensi keseluruhan masih di bawah target ideal untuk *Wastewater Treatment Plant (WWTP)* domestik-medis, yang biasanya menargetkan removal >70-90% agar effluent memenuhi standar baku mutu limbah cair (misalnya, sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No. 5 Tahun 2014). Untuk memahami dinamika proses, mari kita bedah kontribusi setiap unit secara berurutan.

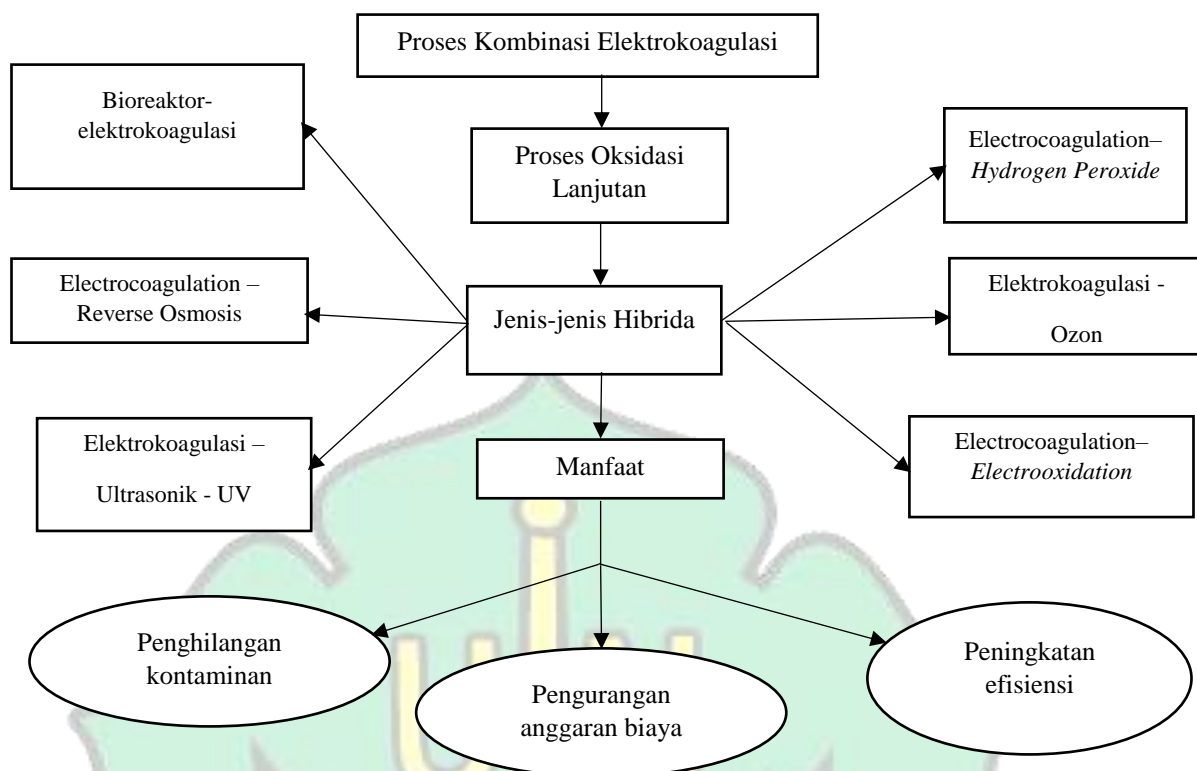
Menurut Sangyeol Jo dkk. (2024), teknologi electrocoagulation (EC) merupakan alternatif unggul dibanding koagulasi kimia konvensional karena mampu menghasilkan koagulan secara elektrokimia tanpa bahan kimia tambahan, sehingga mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi pengolahan air limbah. Namun, mereka menyoroti tantangan utama seperti biaya awal tinggi, pasivasi

elektroda, dan konsumsi energi yang belum stabil, sehingga penerapan skala industrinya masih memerlukan optimalisasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Munawwarah dkk tahun 2023 membahas pengolahan air limbah hasil pengolahan ikan menggunakan metode elektrokoagulasi dengan kombinasi elektroda aluminium dan besi. Limbah dari industri pengolahan ikan diketahui mengandung polutan organik yang sangat tinggi sehingga berpotensi mencemari badan air. Hasil dari proses elektrokoagulasi menggunakan elektroda Al dan Fe menunjukkan efektivitas penurunan konsentrasi nilai COD, BOD dan TSS sebesar 96,34%, 95,2%, dan 73,22% dengan kemampuan optimum tegangan sebesar 5V dan waktu kontak 120 menit.

4.2.7 Metode Hibrida dalam Elektrokoagulasi

Metode elektrokoagulasi hibrida merupakan teknologi yang menggabungkan elektrokoagulasi dengan proses pengolahan air limbah lainnya untuk meningkatkan efektivitas pengolahan. Pendekatan gabungan ini dapat lebih efisien dalam menghilangkan berbagai jenis pencemaran dan dapat disesuaikan dengan lebih baik untuk berbagai jenis air limbah dan kondisi pengolahan spesifik. Beberapa peneliti telah bekerja pada pengembangan proses elektrokoagulasi hibrida ini sebagai teknik pengolahan air limbah.



Gambar 4. 5 Diagram proses Hibrida Elektrokoagulasi

Menurut wang et.al. mengembangkan sistem biorektor dengan tipe *anoxic-anaerobic-aerobic (A2O)* yang dikombinasikan dengan elektrokoagulasi sebagai tahap akhir pengolahan air limbah domestik. Kombinasi ini mampu meningkatkan efisiensi menghilangkan COD 95%, total fosfor hingga 95% dan total nitrogen 68% yang menarik, proses elektrokoagulasi mampu meningkat efisiensi sekitar 12-42% pada pembersihan polutan secara keseluruhan (wang et al., 2017). Secara keseluruhan, penelitian kombinasi antara proses biologis dan elektrokoagulasi mampu meningkatkan efisiensi penghilang COD hingga 98%, TSS hingga 95, dan BOD hingga 99%. Kombinasi ini efektif untuk air limbah dengan beban organik. Meskipun demikian, ada beberapa tantangan yang perlu diperhatikan diantaranya konsumsi energi listrik yang tinggi tinggi serta potensi pasivasi elektroda, yang dapat memengaruhi efisiensi jangka panjang sistem elektrokoagulasi (Al-Qodah et al., 2019).

Penambahan *hydrogen peroxide* (H_2O_2) ke dalam proses elektrokoagulasi (EC) secara signifikan meningkatkan kemampuan pembersihan senyawa beracun melalui sebuah mekanisme yang dikenal sebagai elektro-Fenton (EF). Dalam proses EF ini, *hydrogen peroxide* bereaksi dengan ion besi Fe^{2+} yang terus dihasilkan oleh EC, yang pada akhirnya memproduksi radikal hidroksil yang sangat oksidatif. Radikal hidroksil yang dihasilkan melalui Elektro-Fenton ini memiliki potensi oksidasi yang sangat tinggi dan mampu mengurangi senyawa organik yang pecah (Gong et al., 2017). Meskipun demikian, secara umum, proses Elektro-Fenton lebih unggul dan memiliki efisiensi penghilangan yang lebih tinggi untuk kontaminan organik, seperti Chemical Oxygen Demand (COD), dibandingkan hanya dengan EC biasa (Varank et al., 2018).

Pada dasarnya, prinsip kerja teknologi suara (sonikasi), sinar UV (ultraviolet), dan elektrokoagulasi (EC) semuanya sama: memanfaatkan energi untuk membersihkan air dari kontaminan. Dalam teknik sonikasi, suara digunakan untuk menciptakan gelombang berfrekuensi tinggi yang kemudian membentuk gelembung-gelembung di dalam air. Gelembung ini sangat membantu dalam memecah partikel polutan dan menghilangkan kontaminan. Sementara itu, sinar UV dipakai dalam proses fotokatalisis untuk menghasilkan radikal hidroksil yang berfungsi sebagai pengoksidasi kuat, menghancurkan kontaminan yang ada di air (Asaithambi et al., 2022).

Sistem penggabungan elektrokoagulasi (EC) dengan ozon (*ozonation*) adalah strategi yang terbukti sangat efektif dalam pengolahan air limbah. Secara mekanisme, ozon (O_3) bereaksi langsung dengan ion besi Fe yang kemudian melepaskan radikal hidroksil (OH). Inilah yang membuat EC yang dibantu ozon sangat cepat dalam menghilangkan warna dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Asaithambi et al., 2012). Ozon sendiri dikenal sebagai oksidator super kuat yang penting karena mampu mendegradasi banyak jenis polutan organik dan pewarna dalam air (Song et al., 2008). Ketika keduanya digabungkan, terjadi sinergi luar biasa dimana ozon tidak hanya meningkatkan pembentukan dan flokulasi gumpalan kotoran, tetapi juga memperkuat produksi radikal (\cdot) yang sangat reaktif menyerang polutan (Al-Qodah & Al-Shannag, 2019). Desain hibrida

elektrokoagulasi dan ozonasi ini memberikan kontaminan tinggi seperti Sianida, COD, BOD, dan Klorida, bahkan mencapai efisiensi penghilangan hingga 99,8% untuk ion Sianida (Das et al., 2021).

Proses hibrida elektrokoagulasi dan elektrooksidasi dan *Electrooxidation* terbukti sangat efektif karena dapat meningkatkan kemampuan sistem dalam menghilangkan berbagai polutan seperti COD, TOC, amonium (NH_4^+), nitrat, fenol (Asfaha et al., 2021). Dalam sistem gabungan ini, setelah dosis listrik yang dibutuhkan tercapai, proses pembersihan dilakukan berurutan: elektrokoagulasi diikuti dengan oksidasi sisa-sisa bahan organik melalui elektrokoagulasi (Turan, 2020). Cara kerjanya dengan mengalirkan arus listrik, yang menyebabkan terbentuknya oksidator kuat dan di permukaan anoda seperti klorin, hipoklorit, hidrogen peroksida, atau oksigen aktif, Oksidator inilah yang bertugas memecahkan ikatan kimia dan mengoksidasi molekul organik menjadi produk yang lebih sederhana seperti karbon dioksida dan air (Chen et al., 2022). Sebagai contoh nyata, proses EC-EO hibrida ini yang sarat akan klorida, TSS, lemak minyak, dan COD. Hasilnya efisiensi penghilangan COD mencapai 98,9%. TSS 98,2% dan minyak lemak mencapai 99,8%, meskipun konsumsi energinya tergolong tinggi, yakni 37,4 KWh per kilogram COD yang dihilangkan (Guvenc et al., 2022).

Metode hibrida elektrokoagulasi dengan osmosis merupakan kombinasi dari dua teknologi untuk pengolahan air limbah. Dalam osmosis terbalik, tekanan diterapkan untuk menghasilkan pergerakan larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang lebih tinggi melalui membran semipermeabel guna memperoleh larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang lebih rendah (Gong et al., 2017). studi terkini menunjukkan efektivitas proses EC sebagai pretreatment sebelum RO, karena mengurangi jumlah kandungan organik dan karakteristik air limbah.

Tabel 4. 12 Kombinasi Pengolahan Elektrokoagulasi Hibrida

Kombinasi Teknologi	Prinsip / Mekanisme Tambahan	Efisiensi dan Hasil
Bioreaktor + Elektrokoagulasi	Bioreaktor menyaring padatan dan mikroba dari efluen, sedangkan EC menurunkan	COD menurun 85–95%, BOD 80–90%, dan TSS >95%.

	kandungan bahan organik terlarut dan mencegah fouling membran melalui reduksi koloid dan partikel halus.	
EC + Ozon	O ₃ menghasilkan radikal untuk oksidasi senyawa organik membantu pembentukan flok.	Efisiensi penurunan COD 94,7 %, BOD 90 %, TSS 88 %
Electrocoagulation–Hydrogen Peroxide	Elektrokoagulasi (EC) (Elektroda Besi) Ozonasi (O ₃ / AOP) (Oksidasi Lanjut) Waktu Reaksi 240 menit	Efisiensi penurunan COD: 94%, BOD: 92% dan Warna: 100%
EC + Reverse Osmosis	Pembentukan oksidan (mis. Cl ₂ , H ₂ O ₂ , O*) dielektroda untuk oksidasi.	Efisiensi penurunan COD 98,9 %, BOD 96 %, TSS 98,2 %
EC + Ultrasound + UV	Gelombang ultrasonik memecah partikel dan UV menghasilkan radikal atau efek fotokatalitik.	Efisiensi penurunan COD 90 %, BOD 88 %, TSS 92 %
EC + <i>Elektrooxidation</i>	Setelah EC, cairan dialirkan ke sistem membran ion selektif untuk menghilangkan ion terlarut.	Efisiensi penurunan COD 85 %, BOD 83 %, TSS 80 %

Sumber: Processes Coupled to Electrocoagulation for the Treatment of Distillery Wastewaters

Berdasarkan tabel di atas, Tabel 4.12 memperlihatkan berbagai penerapan proses elektrokoagulasi hibrida dalam pengolahan air limbah. Berdasarkan hasil pengamatan, sebagian besar kombinasi proses tersebut mampu mencapai efisiensi penghilangan kebutuhan oksigen kimia (COD) lebih dari 90%. Selain itu, tingkat penurunan warna juga hampir mencapai 100%. Berdasarkan pertimbangan dari segi biaya operasional, luas lahan puskesmas dan aspek lingkungan dari berbagai penerapan proses elektrokoagulasi hibrida, proses pengolahan hibrida biofilter dan elektrokoagulasi menjadi alternatif yang sesuai untuk pengolahan pada puskesmas, pengolahan hibrida biofilter dan elektrokoagulasi menjadi alternatif paling realistis untuk pengolahan air limbah di Puskesmas karena menggabungkan keunggulan proses biologis dan elektrokimia. Sistem ini memberikan efisiensi tinggi dalam menurunkan COD, BOD, TSS serta mudah dioperasikan, membutuhkan biaya perawatan rendah, serta efluen aman dan memenuhi baku mutu lingkungan.

4.3 Redesain Instalasi Pengolahan Air Limbah Puskesmas Meuraxa

4.3.1 Alternatif Kombinasi Teknologi IPAL Puskesmas Meuraxa

Berdasarkan keadaan eksisting desain IPAL Puskesmas Meuraxa, berikut konsep desain yang disarankan dalam upaya menurunkan kadar COD di dalam sistem pengolahan IPAL Puskesmas Meuraxa Kota Banda Aceh. Hasil pengujian parameter kualitas air limbah di Puskesmas Meuraxa menunjukkan bahwa nilai COD (Chemical Oxygen Demand) melebihi batas baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2025. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pengolahan air limbah yang dilakukan melalui metode elektrokoagulasi belum berjalan secara optimal dalam mengurangi polutan yang ada. Salah satu penyebab utama dari masalah ini adalah kurangnya efisiensi dalam kinerja sistem pengolahan air limbah yang ada. Untuk itu, sangat penting untuk melakukan redesain terhadap Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Puskesmas Meuraxa.

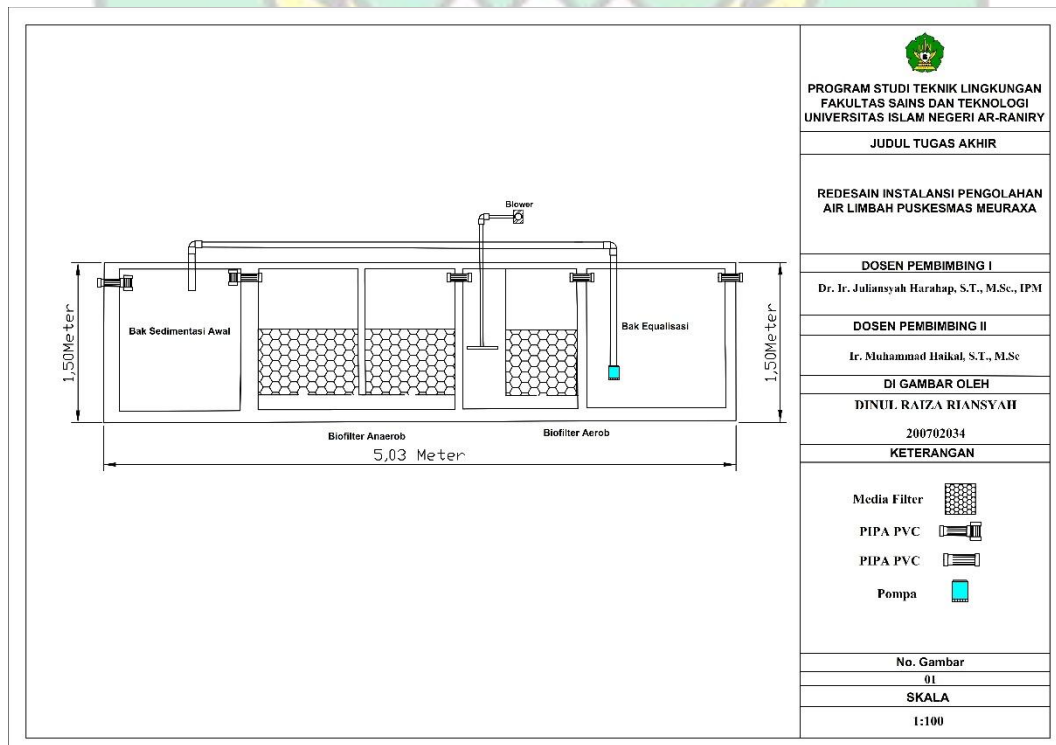
Redesain kombinasi hibrida pada sistem pengolahan elektrokoagulasi diharapkan dapat memenuhi standar kualitas air limbah yang ditetapkan. Beberapa kendala yang dihadapi dalam desain IPAL saat ini antara lain adalah tidak adanya spesifikasi teknis yang jelas mengenai sistem yang telah ada. Selain itu, desain bak penampung yang diterapkan di lapangan tidak sama dengan terdaftar pada teknologi ramah lingkungan (TRL) di Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), yang dapat mengakibatkan ketidaksesuaian dalam proses pengolahan. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis mendalam dan perencanaan yang lebih baik untuk memastikan bahwa sistem pengolahan air limbah dapat berfungsi secara optimal dan memenuhi regulasi yang berlaku.

4.3.2 Desain IPAL Kombinasi Hibrida Biofilter Elektrokoagulasi Puskesmas Meuraxa

Desain kombinasi sistem biofilter dan elektrokoagulasi pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Puskesmas Meuraxa dirancang sebagai upaya untuk meningkatkan efisiensi penyisihan bahan pencemar yang tidak dapat diolah secara optimal oleh sistem eksisting. Sistem sebelumnya yang hanya menggunakan metode elektrokoagulasi menunjukkan penurunan kinerja akibat

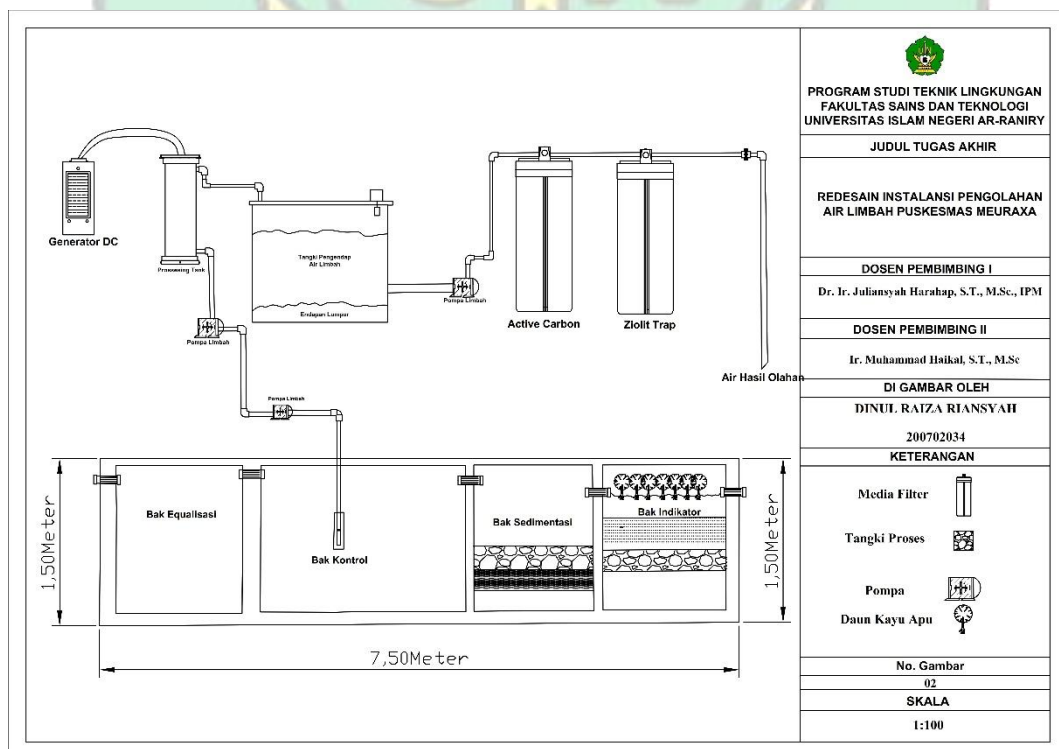
kerusakan pada mesin dan terbatasnya proses biologis dalam menguraikan senyawa organik. Oleh karena itu, penggabungan dua proses biofilter dan elektrokoagulasi diharapkan dapat menghasilkan pengolahan yang lebih stabil, efisien, serta memenuhi baku mutu air limbah fasilitas pelayanan kesehatan.

Pada rancangan sistem ini, proses pengolahan diawali pada bak sedimentasi awal yang bertujuan penyaring dan memisahkan padatan besar sebelum kemudian memasuki Biofilter Anaerob, dimana mikroorganisme bekerja tanpa oksigen untuk mengurangi senyawa organik kompleks. Setelah itu, air bergerak menuju Biofilter Aerob, dimana suplai oksigen memungkinkan mikroorganisme mengurangi sisa bahan organik secara dratis, sekaligus menghilangkan nitrogen. Efluen dari proses biologis ini kemudian dialirkan ke Bak Equalisasi yang bertujuan meredam fluktuasi debit dan kualitas air agar stabil, sehingga air yang masuk ke tahap berikutnya memiliki karakteristik yang seragam dan optimal untuk proses elektrokoagulasi yang sifatnya lebih sensitif.



Gambar 4. 6 Denah Kombinasi Biofilter dan Elektrokoagulasi

Setelah melalui stabilisasi, air olahan biologis memasuki unit Elektrokoagulasi (EC). Pada unit ini, elektroda melepaskan ion logam ke dalam air, yang berfungsi sebagai koagulan untuk mengikat dan membentuk gumpalan padatan (flok) dari polutan yang sulit dihilangkan secara biologis, seperti koloid, warna, dan logam berat. Setelah EC, air akan melewati bak sedimentasi akhir. Tahap ini wajib karena bertugas mengendapkan semua flok lumpur kimiawi yang baru terbentuk, sehingga menghasilkan air yang jernih dan melindungi unit berikutnya. Lumpur dari dasar sedimentasi akhir ini kemudian dialirkan ke jalur pendukung untuk dikeringkan. Air yang telah jernih akan memasuki filter Active Carbon dan Ziolit, dimana terjadi proses adsorpsi menghilangkan partikel jejak polutan organik, bau, dan sisa warna. Dan sebagai langkah akhir air dari olahan Active Carbon dan Ziolit akan mengalir menuju bak Indikator yang berisi ikan sensitif. Jika ikan tetap hidup, maka air olahan tersebut dipastikan telah memenuhi baku mutu dan siap dibuang ke sungai.



Gambar 4. 7 Denah IPAL Kombinasi Biofilter dan Elektrokoagulasi

Desain IPAL kombinasi ini dipilih karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain kemampuannya dalam menurunkan beban organik dan anorganik secara bersamaan, menghasilkan lumpur dalam jumlah yang lebih sedikit, serta memiliki biaya operasi dan perawatan yang relatif rendah. Selain itu, teknologi ini bersifat modular, sehingga dapat diterapkan pada skala kecil hingga menengah dengan penyesuaian kapasitas sesuai debit air limbah yang dihasilkan oleh Puskesmas Meuraxa. Dengan penerapan sistem hibrida ini, diharapkan IPAL Puskesmas Meuraxa mampu beroperasi secara optimal dan menghasilkan efluen yang memenuhi Peraturan Menteri LHK Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah Fasilitas Pelayanan Kesehatan.

Tabel 4. 13 Rekapitulasi Dimensi Ukuran Tiap Bak

Unit Pengolahan	Parameter Desain	Kriteria Standar	Hasil Perhitungan
Bak Pengendap Awal	Demensi (PxLx h)	-	1,68 x 0,84 x 1,0m
	Volume	1,42 m ³	1,42m ³
	Waktu tinggal	4 jam	4 jam
	Beban permukaan	20–50 m ³ /m ² .hari	6,0 m ³ /m ² .hari
Biofilter Anaerob	Demensi (PxLx h)	-	0,95 x 0,48 x 1,2m
	Volume	1,084m ³ (media)	2,84 m ³
	Waktu tinggal	0,5–5 kg/m ³ .hari	0,99 kg/m ³ .hari
	Beban permukaan	-	4,1 jam
Biofilter Aerob	Demensi (PxLx h)	-	1,80 x 0,90 x 1,4m
	Volume	2,275m ³	2,275m ³
	Waktu tinggal	0,5–4 kg/m ³ .hari	0,5 kg/m ³ .hari

	Beban permukaan	-	6,4 jam
Bak Ekualisasi	Dimensi	-	2,4 x 1,2 x 1,0m
	Volume	2,84 m ³	2,84 m ³
	Waktu Tinggal	8 jam	8 jam
Bak Kontrol	Dimensi	-	0,5 x 0,5 x 0,35 m
	Volume	0,089 m ³	0,0875 m ³
	Waktu Tinggal	10–15 menit	15 menit
Elektrokoagulasi	Dimensi	-	(menyesuaikan)
	Volume	-	-
	Waktu Tinggal	-	-
	COD keluar	-	9,14 mg/l
Bak Sedimentasi Akhir	Dimensi	-	1,40 x 0,70 x 1,6m
	Volume	1,,066 m ³	1,176 m ³
	Waktu Tinggal	2-4 jam	3,31 jam
	COD keluar	-	5,9 mg/l
Bak Bio Indikator	Dimensi	1,46 x 0,73 x 1,0 m (Teoritis)	1,0×1,0×0,6 m
	Volume	1,07 m ³ (Teoritis)	0,6 m ³
	Waktu Tinggal	3 jam(Teoritis)	1,69 jam

Berdasarkan hasil perhitungan desain, sistem IPAL kombinasi Biofilter dan Elektrokoagulasi di Puskesmas Meuraxa ini dirancang dengan mempertimbangkan aspek fungsionalitas dan kemudahan operasional. Tabel di atas merangkum rincian dimensi setiap unit pengolahan, mulai dari tahap awal

hingga tahap akhir. Secara konstruktif, penetapan ukuran bak dilakukan dengan memperhatikan kriteria hidrolis standar, namun tetap memberikan kelonggaran dimensi untuk memudahkan akses pemeliharaan, seperti pengerukan endapan lumpur secara berkala. total panjang instalasi pengolahan yang direncanakan mencapai $12\pm$ meter dari akumulasi panjang efektif unit-unit utama. Untuk menjamin keleluasaan operasional dan pemeliharaan IPAL Puskesmas dilengkapi dengan ruang bebas (clearance area) atau jalur inspeksi disekeliling bak dengan lebar minimal 0,50 meter, dengan mempertimbangkan dimensi total unit pengolahan dan tambahan ruang bebas, maka total luas lahan minimal yang diperlukan untuk pembangunan Instalasi IPAL kombinasi ini adalah sekitar 14-20m².

4.3.3 Efisiensi Removal Kombinasi Biofilter dan Elektrokoagulasi

Teknologi elektrokoagulasi dapat meningkatkan efisiensi pengolahan air limbah karena mampu menghilangkan berbagai polutan seperti logam berat, zat warna, dan bahan organik. Namun, penggunaannya secara tunggal memiliki keterbatasan seperti pembentukan lumpur dan konsumsi energi yang tinggi. Oleh sebab itu, integrasi elektrokoagulasi dengan metode lain seperti filtrasi atau proses biologis dinilai lebih efektif untuk menghasilkan pengolahan yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan (AlJaberi dkk., 2022).

Menurut Sugito dkk. (2024), penerapan gabungan antara proses koagulasi - flokulasi dan biofilter anaerob dan aerob dengan media bioball terbukti mampu meningkatkan kinerja pengolahan air lindi di TPA Blandongan. Tahapan koagulasi-flokulasi yang menggunakan $Al_2(SO_4)_3$ dan $FeCl_3$ berperan mengurangi beban pencemar awal, sementara sistem biofilter berfungsi sebagai tempat tumbuh mikroorganisme yang menguraikan sisa bahan organik. Dari hasil pengujian, diperoleh tingkat penurunan COD sebesar 77,73%, BOD 79,40%, dan TSS 81,48%. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa integrasi proses kimia dan biologis menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibanding penggunaan satu metode saja. Oleh sebab itu, pendekatan sejenis dapat diadaptasi pada sistem biofilter dan elektrokoagulasi untuk memperoleh efisiensi penghilangan polutan yang lebih optimal.

Dari beberapa tinjauan penelitian diatas menunjukkan penerapan sistem kombinasi biofilter dan elektrokoagulasi pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Puskesmas Meuraxa memiliki tingkat efisiensi yang tinggi dalam mengolah air limbah domestik maupun medis. Kombinasi kedua metode ini memanfaatkan keunggulan proses biologis pada biofilter serta kekuatan proses kimia dan elektrolisis pada elektrokoagulasi. Biofilter berfungsi untuk menguraikan bahan organik melalui aktivitas mikroorganisme anaerob dan aerob yang menempel pada media, sehingga efektif menurunkan kadar BOD dan COD. Sementara itu, unit elektrokoagulasi berperan dalam mengikat dan mengendapkan partikel tersuspensi, ion logam, serta senyawa organik yang tidak terurai dalam proses biologis.

Dari sistem terintegrasi ini, kualitas efluen yang dihasilkan menjadi lebih dan memenuhi baku mutu air limbah fasilitas pelayanan kesehatan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2025. Proses filtrasi tambahan media Active Carbon dan zeolit juga membantu menghilangkan warna, bau, serta logam berat yang tersisa dalam air limbah.

Tabel 4. 14 Efisiensi Kombinasi Biofilter dan Elektrokoagulasi

No	Unit Pengolahan	COD (%)	BOD (%)	TSS (%)	Sumber
1.	Bak Pengendap Awal	25 – 30	25 – 35	50 – 70	Nusa Idaman Said (2017)
2.	Biofilter Anaerob	50 – 80	60 – 80	65 – 80	Metcalf & Eddy (2014)
3.	Biofilter Aerob	60 – 85	65 – 90	70 – 85	Nusa Idaman Said (2017)
4.	Elektrokoagulasi	60 – 90	50 – 70	80 – 95	Indira et al. (2024)
5.	Sedimentasi Akhir	20 – 35	30-30	70-85	Metcalf & Eddy, Inc. (2014)

Berdasarkan Tabel 4.14, referensi efisiensi dari kombinasi biofilter anaerob-aerob dan elektrokoagulasi menunjukkan bahwa kombinasi ini memberikan efisiensi peningkatan dibandingkan hanya dengan menggunakan proses elektrokoagulasi. Namun, untuk mengetahui kinerja optimal dari keseluruhan unit proses yang digunakan, yaitu sedimentasi awal, biofilter anaerob, biofilter aerob, elektrokoagulasi, dan sedimentasi akhir. Setiap unit proses memiliki kemampuan berbeda dalam menyisihkan polutan, sehingga diperlukan

suatu metode yang dapat menggambarkan pengaruh gabungan dari seluruh tahapan tersebut. Oleh karena itu, digunakan pendekatan efisiensi kumulatif yang memperhitungkan sisa polutan yang tidak terolah pada setiap proses sebelum masuk ke proses berikutnya.

Rumus Total efisiensi kombinasi:

$$\eta_{Total} = 1 - [(1 - f_1) \times (1 - f_2) \times (1 - f_3) \times (1 - f_4)]$$

Keterangan:

f_1 : Efisiensi polutan proses Sedimentasi Awal

f_2 : Efisiensi polutan proses Biofilter Anaerob

f_3 : Efisiensi polutan proses Biofilter Aerob

f_4 : Efisiensi polutan proses Elektrokoagulasi

f_5 : Efisiensi polutan proses Sedimentasi Akhir

1. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

$$\eta_{COD} = 1 - [(1 - f_1) \times (1 - f_2) \times (1 - f_3) \times (1 - f_4) \times (1 - f_5)]$$

$$\eta_{COD} = 1 - [(1 - 0,25) \times (1 - 0,40) \times (1 - 0,70) \times (1 - 0,60) \times (1 - 0,35)]$$

$$\eta_{COD} = 1 - [0,75 \times 0,60 \times 0,24 \times 0,30 \times 0,65]$$

$$\eta_{COD} = 1 - 0,02106$$

$$\eta_{COD} = 97,89\%$$

Konsentrasi akhir COD:

$$COD_{akhir} = 169,5 \times (1 - 0,9789) = 169,5 \times 0,0211 = 3,57 \text{ mg/l}$$

2. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

$$\eta_{BOD} = 1 - [(1 - 0,30) \times (1 - 0,70) \times (1 - 0,78) \times (1 - 0,75) \times (1 - 0,30)]$$

$$\eta_{BOD} = 1 - [0,70 \times 0,30 \times 0,22 \times 0,25 \times 0,70]$$

$$\eta_{BOD} = 1 - 0,008085$$

$$\eta_{BOD} = 99,19\%$$

Konsentrasi akhir BOD:

$$BOD_{akhir} = 22,42 \times (1 - 0,9919) = 22,42 \times 0,0081 = 0,18 \text{ mg/l}$$

3. TSS (*Total Suspended Solid*)

$$\eta_{TSS} = 1 - [(1 - 0,60) \times (1 - 0,72) \times (1 - 0,78) \times (1 - 0,88) \times (1 - 0,60)]$$

$$\eta_{TSS} = 1 - [0,40 \times 0,28 \times 0,22 \times 0,12 \times 0,40]$$

$$\eta_{TSS} = 1 - 0,00118272$$

$$\eta_{TSS} = 99,88\%$$

Konsentrasi akhir TSS:

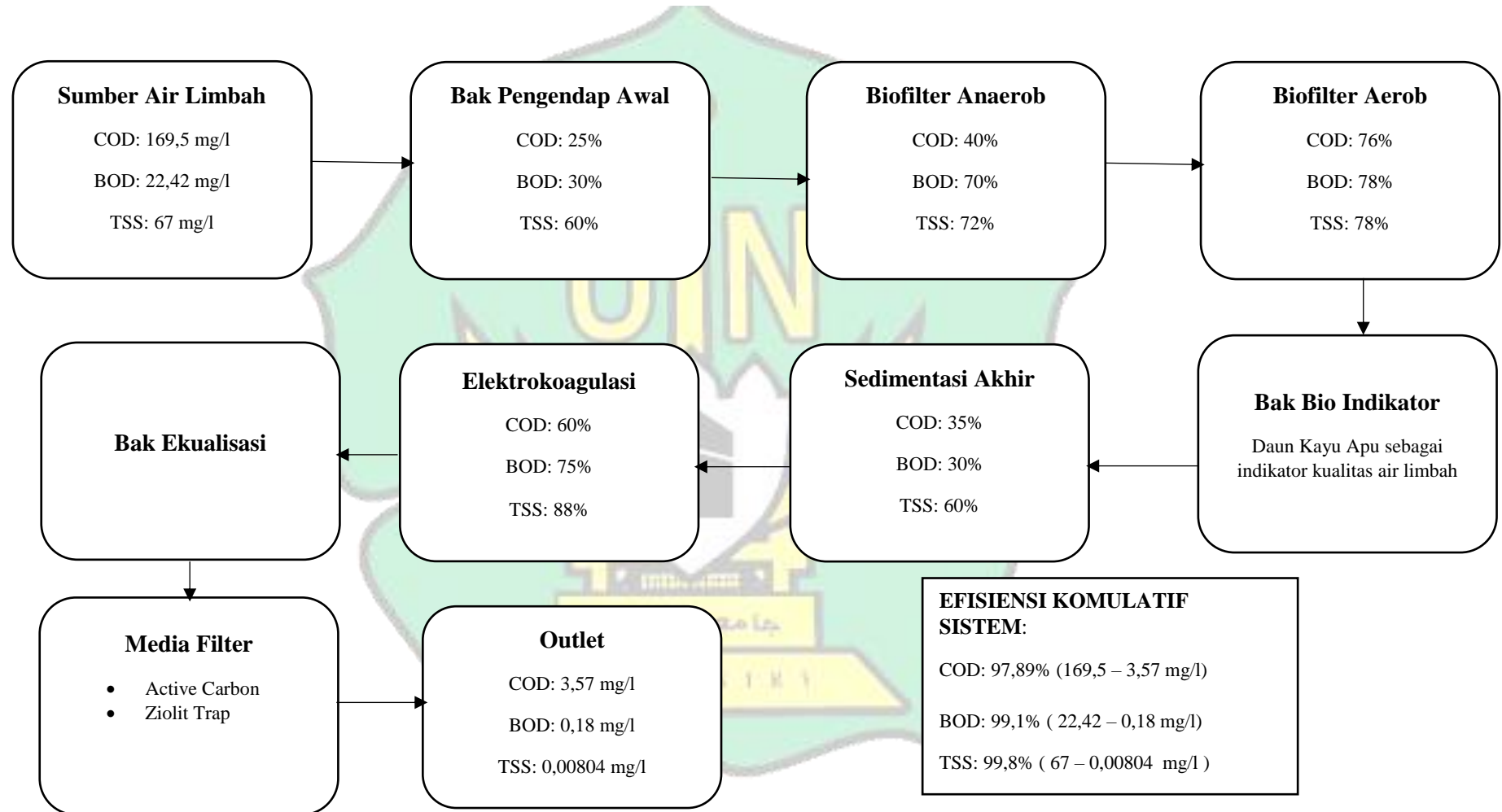
$$TSS_{akhir} = 67 \times (1 - 0,9988) = 67 \times 0,0012 = 0,00804 \text{ mg/l}$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, efisiensi total sistem pengolahan air limbah dihitung menggunakan pendekatan efisiensi kumulatif, yaitu dengan mempertimbangkan sisa polutan yang tidak terolah pada setiap unit proses. Metode ini menunjukkan bahwa setiap tahapan pengolahan, mulai dari sedimentasi awal, biofilter anaerob, biofilter aerob, elektrokoagulasi, hingga sedimentasi akhir, bekerja secara berurutan dalam mengurangi beban pencemar. Dengan demikian, efisiensi total tidak diperoleh dari penjumlahan masing-masing efisiensi, melainkan dari perkalian sisa fraksi polutan yang kemudian dikurangkan dari satu. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD (Chemical Oxygen Demand) mencapai 97,19%. Nilai ini mengindikasikan bahwa kombinasi teknologi yang digunakan sangat efektif dalam mengurangi kandungan bahan organik yang bersifat kimia dalam air limbah. Konsentrasi COD awal sebesar 169,5 mg/L berhasil diturunkan secara signifikan menjadi 3,57 mg/L, sehingga menunjukkan bahwa sistem pengolahan mampu menghasilkan efluen dengan kualitas yang jauh lebih baik. Selanjutnya, efisiensi penyisihan BOD (Biochemical Oxygen Demand) diperoleh sebesar 99,13%, yang menunjukkan kinerja sangat tinggi dalam menghilangkan bahan organik yang mudah terurai secara biologis. Tingginya efisiensi ini dipengaruhi oleh peran proses biofilter anaerob dan aerob yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik, serta didukung oleh proses lanjutan seperti elektrokoagulasi dan sedimentasi akhir. Akibatnya, konsentrasi BOD mengalami penurunan drastis dari 22,42 mg/L menjadi 0,18 mg/L.

Selanjutnya, efisiensi penyisihan BOD (Biochemical Oxygen Demand) diperoleh sebesar 99,13%, yang menunjukkan kinerja sangat tinggi dalam menghilangkan bahan organik yang mudah terurai secara biologis. Tingginya efisiensi ini dipengaruhi oleh peran proses biofilter anaerob dan aerob yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik, serta didukung oleh proses lanjutan seperti elektrokoagulasi dan sedimentasi akhir. Akibatnya, konsentrasi BOD mengalami penurunan drastis dari 22,42 mg/L menjadi 0,19 mg/l. Untuk parameter TSS (Total Suspended Solid), efisiensi yang dicapai bahkan lebih tinggi, yaitu sebesar 99,93%. Hal ini menunjukkan bahwa hampir seluruh padatan tersuspensi dalam air limbah berhasil dihilangkan melalui kombinasi proses pengolahan yang ada. Proses sedimentasi berperan dalam mengendapkan partikel-partikel kasar, sementara elektrokoagulasi membantu menggumpalkan partikel halus agar lebih mudah diendapkan. Selain itu, biofilter juga berkontribusi dalam menyaring padatan tersuspensi. Dengan demikian, konsentrasi TSS yang semula sebesar 67 mg/L dapat diturunkan menjadi sekitar 0,00804mg/l. Secara keseluruhan, hasil perhitungan menunjukkan bahwa kombinasi teknologi pengolahan yang digunakan mampu memberikan efisiensi yang sangat tinggi terhadap parameter COD, BOD, dan TSS. Nilai efisiensi yang mendekati 100% serta konsentrasi akhir yang sangat rendah mengindikasikan bahwa sistem ini efektif dalam meningkatkan kualitas air limbah, sehingga berpotensi memenuhi standar baku mutu sebelum dibuang ke lingkungan.

Dari keunggulan tersebut menjadikan teknologi kombinasi ini sangat sesuai diterapkan pada fasilitas pelayanan kesehatan skala kecil hingga menengah, termasuk Puskesmas Meuraxa, yang membutuhkan sistem pengolahan limbah sederhana dan efisien. Rangkaian redesain proses kombinasi biofilter dan elektrokoagulasi ini dapat dilihat pada Tabel 4.15, yang menggambarkan diagram tahapan proses kombinasi sistem pengolahan tersebut.

Tabel 4. 15 Diagram Massa kombinasi Biofilter dan Elektrokoagulasi



BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari rumusan masalah dan hasil pembahasan, maka didapatkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil uji parameter di laboratorium Tibang, hasil menunjukkan parameter BOD memenuhi baku mutu sedangkan parameter COD dan TSS belum memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Kehutanan No. 11 Tahun 2025 tentang baku mutu fasilitas pelayanan kesehatan, hasil ini menunjukkan bahwa IPAL Puskesmas Meuraxa belum optimal dalam mengolah air limbah. Sehingga perencanaan IPAL ini diperlukan sebagai bentuk untuk mengatasi permasalahan yang terjadi pada studi kasus ini.
2. Teknologi Hibrida adalah teknologi dengan menggabungkan teknologi pengolahan elektrokoagulasi dengan pengolahan air limbah lainnya dengan tujuan meningkatkan efektivitas pengolahan sehingga teknologi menjadi efisien dalam menghilangkan parameter dengan lebih baik.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, wawancara dan mendapatkan hasil evaluasi, peneliti juga memberikan saran ataupun masukan setelah menarik kesimpulan sebagai berikut:

1. IPAL Puskesmas Meuraxa disarankan melakukan pengecekan rutin terhadap seluruh unit pengolahan serta melakukan pengecekan hasil outlet setiap enam bulan sekali guna mengetahui hasil pengolahan IPAL masih sesuai Standar Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 11 Tahun 2025.
2. Dinas Kesehatan Kota Banda Aceh bersama pihak puskesmas diharapkan dapat mempertimbangkan penerapan desain kombinasi biofilter– elektrokoagulasi sebagai sistem pengolahan yang lebih efisien, mudah

dioperasikan, serta ramah lingkungan bagi fasilitas pelayanan kesehatan dengan kapasitas skala kecil hingga menengah.



DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, Y. (2007). Limbah rumah sakit perlu pengendalian dan monitoring. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*.
- Anindya Dwita, & Mohammad Zamroni. (2021). Tanggung jawab hukum jasa pengangkut limbah dalam pengelolaan limbah medis padat rumah sakit. *Jurnal Hukum dan Etika Kesehatan*, 1(1), 45-63.
- Azwari, F., Hadidjah, K., Benedicta, C. E., & Wahyuni, R. (2023). Analisis parameter pH, BOD, TSS, minyak dan lemak serta total coliform pada limbah cair rumah sakit Gerbang Sehat Long Bagun Mahakam Ulu. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 5(1), 45-49.
- Al-Qodah, Z., Al-Qudah, Y., & Assirey, E. (2020). Combined biological wastewater treatment with electrocoagulation as a post-polishing process: A review. *Separation Science and Technology*, 55, 2334-2352.
- Al-Qodah, Z., & Al-Shannag, M. (2019). On the Performance of Free Radicals Combined Electrocoagulation Treatment Processes. *Separation and Purification Reviews*, 48(2), 143–158.
- Asmadi, & Suharno. (2012). *Dasar-dasar teknologi pengolahan air limbah*. Gosyen Publishing.
- Asaithambi, P., Susree, M., Saravanathamizhan, R., & Matheswaran, M. (2012). Ozone assisted electrocoagulation for the treatment of distillery effluent. *Desalination*, 297, 1–7.
- Asaithambi, P., Yesuf, M. B., Govindarajan, R., Hariharan, N. M., Thangavelu, P., & Alemayehu, E. (2022). Distillery industrial wastewater (DIW) treatment by the combination of sono (US), photo (UV) and electrocoagulation (EC) process. *Journal of Environmental Management*, 320, 115926.
- Asfaha, Y. G., Tekile, A. K., & Zewge, F. (2021). Hybrid process of electrocoagulation and electrooxidation system for wastewater treatment: A review. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100261.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Profil Statistik Kesehatan 2023 (Vol. 7)*. Badan Pusat Statistik.

- Batubara, G. O. (2017). *Perencanaan instalasi pengolahan air limbah medis dan daur ulang efluen IPAL di rumah sakit kelas C*. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.
- Bani-Melhem, K., & Elektorowicz, M. (2019). Combined biological wastewater treatment with electrocoagulation as a post-polishing process: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 14, 100325.
- BPS Kota Banda Aceh. (2023). *Kota Banda Aceh dalam angka 2023*. Badan Pusat Statistik. ISBN: 978-602-435-722-5.
- Bhattacharya, P. K., Jayan, R., & Bhattacharjee, C. (2005). A combined biological and membrane-based treatment of prehydrolysis liquor from pulp mill. *Separation and Purification Technology*, 45(2), 119–130.
- Crini, G., Lichtfouse, E., Wilson, L.D. and Morin-Crini, N. (2019) Conventional and Non- Conventional Adsorbents for Wastewater Treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17, 195-213.
- Chen, L., Li, F., He, F., Mao, Y., Chen, Z., Wang, Y., & Cai, Z. (2022). Membrane distillation combined with electrocoagulation and electrooxidation for the treatment of landfill leachate concentrate. *Separation and Purification Technology*, 291, 120936.
- Droste, R. (1997). *Theory and practice of water and wastewater treatment*. John Wiley & Sons.
- Das, P. P., Mondal, P., Sinha, A., Biswas, P., Sarkar, S., & Purkait, M. K. (2021). Integrated ozonation assisted electrocoagulation process for the removal of cyanide from steel industry wastewater. *Chemosphere*, 263, 128370.
- Efrinaldi (2023) Analisa Produksi Air Limbah Di Rumah Sakit Umum Daerah Solok Solok Selatan Tahun 2022. Skripsi thesis, Universitas Ekasakti Padang.
- Goni, P., Mangangka, I. R., & Sompie, O. B. A. (2021). Evaluasi kinerja instalasi pengolahan air limbah (IPAL) Rumah Sakit Umum Pusat Prof. Dr. R. D. Kandou Manado. *Tekno*, 19(77), 35-40.
- Gong, C., Zhang, Z., Zhang, J., & Li, S. (2017). The addition of hydrogen peroxide in the electrocoagulation treatment for improving toxic organic

- matters removal: A comparative study. *Separation Science and Technology*, 52(8), 1404–1411.
- Guvenc, S. Y., Varank, G., Can-Güven, E., Ercan, H., Yaman, D., Saricam, E., & Türk, O. K. (2022). Application of the hybrid electrocoagulation–electrooxidation process for the degradation of contaminants in acidified biodiesel wastewater. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 926, 116933.
- Hasyiyati, L., Hartati, E., & Djaenudin. (2020). Penyisihan krom pada pengolahan air limbah penyamakan kulit menggunakan metode elektrokoagulasi. *Serambi Teknik*, 5(2020), 1313-1320.
- Hairunnisa, S. F. (2022). Analisis sistem pengolahan limbah cair di RSUD Siti Fatimah Provinsi Sumatera Selatan (Skripsi). Universitas Sriwijaya.
- Imamuddin, M. (2016). Re-use air pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL) guna mengurangi daya rusak air di UPT Puskesmas Rawat Inap Ajibata Sumatera Utara. *Konstruksia*, 7(2), 35-40.
- Khamidah, Z. S., & Anita, S. (2020). Efektivitas sistem pengolahan limbah terhadap kualitas limbah cair puskesmas di Kota Pekanbaru.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 75 Tahun 2014 tentang Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas)*. Depkes RI
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2015). *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 46 Tahun 2015 tentang Akreditasi Puskesmas, Klinik Pratama, Tempat Praktik Mandiri Dokter, dan Tempat Praktik Mandiri Dokter Gigi*
- Kusnoputranto, H. (1985). Air limbah dan ekskreta manusia. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan RI.
- Made S, D., & Sugito, S. (2013). Penurunan TSS dan Phospat Air Limbah Puskesmas Janti Kota Malang dengan Wetland. *Jurnal Teknik UNIPA*; Vol. 11 No. 1 (2013): Waktu: *Jurnal Teknik UNIPA*; 93-101

- Mulyati, M., & Narhadi, J. M. S. (2016). Evaluasi instalasi pengolahan air limbah Rumah Sakit RK Charitas Palembang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 12(2), 66-71.
- Medina Collana, J. T., Ayllon Ormeño, M., Julca Meza, C., Moreyra Cuadros, G., Carrasco Venegas, L. A., Ancieta Dextre, C. A., Rodríguez Taranco, O. J., Avelino Carhuaricra, C., Diaz Bravo, P., & Montaña Pisfil, J. A. (2024). Processes Coupled to Electrocoagulation for the Treatment of Distillery Wastewaters. *Sustainability*, 16(15), 6383.
- Nabilah, F., Rhomadhoni, M. N., & Syafiuddin, A. (2021). Evaluasi kinerja dan ekonomi dari instalasi pengolahan air limbah di Puskesmas. *Jurnal Ilmiah Permas: Jurnal Ilmiah STIKES Kendal*, 11(4), 739-746.
- Nurjanah, I., Chang, T.-T., You, S.-J., Huang, C.-Y., & Sean, W.-Y. (2024). Reverse osmosis integrated with renewable energy as sustainable technology: A review. *Desalination*, 581, 117590.
- Palar, G., Riogilang, H., & Inkiriwang, R. L. (2023). Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Rumah Sakit Robert Wolter Mongisidi. *TEKNO*, 21(86), 1857-1865.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 44.
- Permenkes, 2019 (2019) Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2019. tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit. RI.Jakarta.Indonesia.
- Pratanda, H. et al. (2021) 'Analisis Pengelolaan Limbah Cair Di Puskesmas Perawatan Beringin Raya Kota Bengkulu Analysis', *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Miracle Kesehatan*, 1(2), pp. 55–63.
- Prayitno. (2011). Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit. *J-PAL*, 1(2), 72- 139
- Rahmawati, S., Iqbal, M., Hanurawati, N. Y., & Irianto, R. Y. (2024). Variasi Lama Waktu Elektrokoagulasi dan Filtrasi Terhadap Degradasi Kadar

- COD pada Limbah Cair Rumah Sakit. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL)*, 6(1), 45-52.
- Rahmi, R., Rawdhotul, H., Herniwanti, H., & Susanto, Y. (2024). Analisis pengelolaan limbah medis cair di Puskesmas Bangkinang Kota. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 5(1), 615-626.
- Riska, O, P, B, K. (2019). Analisis Pengelolaan Limbah Medis Padat Di RSUP H. Adam Malik Medan Tahun 2019. Skripsi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Rozaq, Y. A., & Hanifah, N. A. (2020). TA: Teknologi ozon/UV dalam pengolahan limbah cair industri tekstil (Skripsi). Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Said, N. I. (1999). Kesehatan masyarakat dan teknologi peningkatan kualitas air. Jakarta: Direktorat Teknologi Lingkungan, Deputi Bidang Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Said, N.I. (1999). Kesehatan Masyarakat dan Teknologi Peningkatan, Kualitas Air. Jakarta: Direktorat Teknologi Lingkungan
- Susanti, A. R., dkk. (2020). Evaluasi Pengelolaan Instalasi Pengolahan Air Limbah Puskesmas. *Jurnal Kesehatan*, 11(2), 204.
- Sugito, S., Ratnawati, R., & Laba, V. F. (2024). Combined treatment of landfill leachate using coagulation-flocculation and anaerobic-aerobic biofilter with bioball. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia*, 11(2), 366–375.
- Susanti, A. R. et al. (2020) 'Evaluation of Community Health Center Wastewater Installation Management', *Jurnal Kesehatan*, 11(2), pp. 204–214.
- Sharma, P., Joshi, H., Srivastava, V. C., Singh, S., & Lo, S. L. (2022). Treatment of biologically treated distillery spent wash employing electrocoagulation and reverse-osmosis treatment train. *Environmental Technology*, 43(26), 4257–4268
- Trisnawati, N. (2021). Pengaruh penggunaan moving bed biofilm reactor (MBBR) terhadap kualitas air limbah pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL)

Pondok Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Lamongan (Skripsi).
Universitas Islam Lamongan.

Turan, N. B. (2020). The application of hybrid electrocoagulation–electrooxidation system for the treatment of dairy wastewater using different electrode connections. *Separation Science and Technology*, 56(10), 1788–1801.





Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of solid waste management* (2nd ed.). McGraw-Hill Handbooks.




Tahreen, A., Jami, M. S., & Ali, F. (2020). Role of electrocoagulation in wastewater treatment: A developmental review. *Journal of Water Process Engineering*, 37, 101440.




Von Sperling, M. (2007) *Biological Wastewater Treatment Series*. Vol. 5: Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors. IWA Publishing, London. Wowor, H., Liando, D.M., & Rares, J. (2016). Pelayanan Kesehatan di Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas) Amurang Timur Kabupaten Minahasa Selatan. *Jurnal Ilmu Sosial & Pengelolaan Sumberdaya Pembangunan*, 3(XX), 103-121. ISSN: 2337-4004.



Lampiran Dokumentasi Penelitian

No	Dokumentasi	Keterangan
1.		Sampel air limbah dari IPAL Puskesmas
2.		IPAL Lama
3.		IPAL Baru
4.		Kolam Air Limbah

No	Dokumentasi	Keterangan
5.		Bak Lumpur
6.		Bak Akhir
7.		Mesin Elektrokoagulasi

No	Dokumentasi	Keterangan
8.		Pengukuran COD
9.		Pengukuran pH
10.		Pengujian sampel
11.		Pengambilan Sampel

No	Dokumentasi	Keterangan
12.		Pengukuran TSS
13.		Wawancara dengan Dinas Kesehatan Kota Banda Aceh bidang Sumber daya Kesehatan



Lampiran

Perhitungan Beban COD, Beban TTS, dan Beban BOD

Digunakan konsentrasi COD sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dan Standar Teknologi Air Limbah

Diketahui:

Debit rata-rata (Q) = $1,14 \text{ m}^3/\text{hari} = 1.140 \text{ l/hari}$

Debit maksimum (Qmax) = $8,53 \text{ m}^3/\text{hari} = 8530 \text{ l/hari}$

COD masuk aktual = $169,5 \text{ mg/L}$ (Hasil Uji Parameter)

COD baku mutu = 80 mg/L (Peraturan MenLH No. 11 Tahun 2025)

TSS baku mutu = 50 mg/L

BOD baku mutu = 12 mg/L

- Beban COD

COD masuk = $169,5 \text{ mg/l}$
 $= 0,1695 \text{ kg/m}^3$

Beban COD rata-rata = $1,14 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,1695 \text{ kg/m}^3$
 $= 0,1932 \text{ kg/hari}$

Beban COD maksimum = $8,53 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,1695 \text{ kg/m}^3$
 $= 1,445 \text{ kg/hari}$

Beban COD baku mutu rata-rata = $1,14 \times 0,08$
 $= 0,091 \text{ kg/hari}$

Beban COD baku mutu maksimum = $8,53 \times 0,08$
 $= 0,682 \text{ kg/hari}$

- Beban TSS

TSS baku mutu = 50 mg/L
 $= 0,05 \text{ kg/m}^3$

TSS rata-rata = $1,14 \times 0,05$

$$= 0,057 \text{ kg/hari}$$

$$\text{TSS maksimum} = 8,53 \times 0,05$$

$$= 0,426 \text{ kg/hari}$$

- Beban BOD

$$\text{BOD baku mutu} = 12 \text{ mg/l}$$

$$= 0,012 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{BOD rata-rata} = 1,14 \times 0,012$$

$$= 0,013 \text{ kg/hari}$$

$$\text{BOD maksimum} = 8,53 \times 0,012$$

$$= 0,102 \text{ kg/hari}$$

Perhitungan Desain IPAL kombinasi hibrida biofilter Elektrokoagulasi

Puskesmas Meuraxa

1) Bak Pengendap Awal

$$\text{Debit air limbah} = 8,53 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{COD masuk} = 169,5 \text{ mg/l}$$

$$\text{Efisiensi} = 25\% \text{ (Nusa Idaman Said, 2017)}$$

$$\text{Beban permukaan} = 20 - 50 \text{ (JWWA)}$$

$$\text{Tinggi ruang bebas} = 40 - 60 \text{ cm (Gesuidou Kougaku Enshu, 1988)}$$

$$\text{COD keluar} = 169,5 \times (1 - 0,25)$$

$$= 127,1 \text{ mg/l}$$

$$\text{Waktu tinggal didalam bak (HRT)} = 4 \text{ jam (Said dkk, 2011)}$$

$$\text{Volume bak diperlukan} = 4/24 \text{ hari} \times 8,53 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 0,1667 \text{ hari} \times 8,53 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 1,42 \text{ m}^3$$

$$\text{Kedalaman} = 1 \text{ m}$$

$$\text{V pengendap awal} = A \times h$$

$$A = 1,42 / 1$$

$$= 1,42 \text{ m}^2$$

$$\text{Rasio P : L} = 2 : 1$$

$$\text{Lebar (L)} = (\text{luas} / 2)^{0,5}$$

$$= (1,42/2)^{0,5}$$

$$= 0,84 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 2 \times \text{lebar} \\
 &= 2 \times 0,84\text{m} \\
 &= 1,68\text{m} \\
 \text{Ruang bebas} &= 0,5 \text{ m} \\
 \text{Volume efektif} \\
 &= 1,68\text{m} \times 0,84 \times 1\text{m} \\
 &= 1,42\text{m}^3
 \end{aligned}$$

Check:

Waktu tinggal di dalam bak

$$\begin{aligned}
 \text{Retention rata-rata } T_d &= \frac{1,42}{8,53\text{m}^3} \times 24 \\
 &= 4 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Retention max } T_d &= 8,53/0,19 \times 24 \\
 &= 29,9 = 30 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Beban permukaan (surface loading)
(Debit air limbah)/(Luas permukaan bak)

$$= 1,14/1,42$$

$$= 0,8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{Hari}$$

$$= 8,53 / 1,42$$

$$= 6,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{Hari}$$

$$\text{Waktu pengurasan: } 1,42 \times 0,3 / 0,043 = 10 \text{ hari}$$

Berdasarkan desain yang akan diterapkan disarankan waktu pengurasan lumpur 1 atau 2 minggu sekali

2) Biofilter Anaerob

$$\text{Debit air limbah} = 8,53 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{COD masuk} = 127,1 \text{ mg/l} = 0,1271 \text{ kg/ m}^3$$

$$\text{Efisiensi} = 40 \%$$

$$\text{COD keluar} = \text{COD masuk} \times (1 - \text{efisiensi})$$

$$= 127,1 \text{ mg/l} \times (1 - 0,40)$$

$$= 76,2 \text{ mg/l}$$

$$\text{Beban COD/satuan/media} = 0,5\text{-}5\text{kg COD/m}^3$$

$$\text{Tinggi ruang bebas} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{H bed media pembiakan mikroba} = 0,9 - 1,5 \text{ m}$$

H air diatas bed media = 40 cm

Ditetapkan beban COD yang digunakan = 1 kg

Tinggi air di atas bed media = 40 - 60 cm

Beban COD = Debit air limbah x COD masuk

$$= 8,53 \text{ m}^3/\text{hari} \times 127,1 \text{ mg/l}$$

$$= 1,084 \text{ kg/hari}$$

Volume media = Beban COD Total x Loading Rate Desain

$$\text{Volume media} = \frac{1,084 \text{ kg/hari}}{1 \text{ kg/m}^3/\text{hari}}$$

$$= 1,084 \text{ m}^3$$

Asumsi tinggi bed media = 1,2 m

$$\text{Volume total efektif} = 8/24 \times 8,53 = 2,84 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume per Ruang} = 2,84 \times 2 = 1,42 \text{ m}^3$$

$$\text{Luas per Ruang} = 1,42 \times 1,6 = 0,89 \text{ m}^3$$

Volume efektif per ruang = $P \times L \times \text{Kedalaman air}$

$$= 0,95 \text{ m} \times 0,48 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$$

$$= 0,55 \text{ m}^3$$

Waktu tinggal = Volume total / Q

$$= 1,46/8,53 \times 24 \text{ jam}$$

$$= 4,1 \text{ jam}$$

$$= \text{hari}$$

$$= \times 24$$

COD Loading = $1,084/1,10 \text{ kg/hari} / \text{m}^3$

$$= 0,99 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

3) Biofilter Aerob

Debit air limbah = $8,53 \text{ m}^3/\text{hari}$

COD masuk = $76,2 \text{ mg/L}$

Efisiensi 70% (Nusa Idaman Said, 2017)

Temperature udara rata-rata 28°C

Berat udara 28°C = 1,1725 kg/m³

Jumlah O₂/gr di dalam udara = 23%

Beban COD/Media = 0,5 – 4 kg/m³.hari (Said, 2017)

Tinggi ruang lumpur = 0,5 m

Tinggi ruang bebas = 0,5 m

H bed media pembiakan mikroba = 1,2 m

H air diatas bed media 0,2 m (20 cm)

Volume media 40% dari volume reaktor (Said, 2017)

Efisiensi diffuser = 25% (Metcalf & Eddy, 2014)

COD keluar = COD masuk × (1 - efisiensi)

$$= 76,2 \text{ mg/L} \times (1 - 0,70)$$

$$= 76,2 \times 0,30$$

$$= 22,86 \text{ mg/L}$$

Beban COD didalam air limbah

= Debit x COD masuk

$$= 8,53 \text{ m}^3/\text{hari} \times 76,2 \text{ mg/l}$$

$$= 650 \text{ gram/hari}$$

Jumlah COD yang hilang = Efisiensi × Beban COD

$$= 70\% \times 0,65 \text{ kg/hari}$$

$$= 0,70 \times 0,65 \text{ kg/hari}$$

$$= 0,455 \text{ kg/hari}$$

Ditetapkan beban COD yang digunakan = 0,5 kg/m³.hari

Volume media = Beban COD yang hilang / Loading rate

$$= 0,455 \text{ kg/hari} / 0,5 \text{ kg/m}^3.\text{hari}$$

$$= 0,91 \text{ m}^3$$

Volume reaktor = Volume media / 40%

$$= 0,91 \text{ m}^3 / 0,40$$

$$= 2,275 \text{ m}^3$$

Kedalaman air efektif = Tinggi bed media + Tinggi air di atas media

$$= 1,2\text{m} + 0,2\text{m}$$

$$= 1,4\text{m}$$

Luas (A) = Volume reaktor / Kedalaman air efektif

$$= 2,275\text{m}^3 / 1,4\text{m}$$

$$= 1,625\text{m}^2$$

Rasio P : L = 2 : 1

Lebar (L) = $\sqrt{\text{Luas} / 2}$

$$= \sqrt{1,625 / 2}$$

$$= \sqrt{0,8125}$$

$$= 0,90 \text{ m}$$

Panjang (P) = 2 × Lebar

$$= 2 \times 0,90\text{m}$$

$$= 1,80\text{m}$$

Waktu tinggal reaktor = (Volume reaktor / Q) × 24 jam

$$= (2,275\text{m}^3 / 8,53 \text{ m}^3/\text{hari}) \times 24 \text{ jam}$$

$$= 6,4 \text{ jam}$$

Waktu tinggal saat beban puncak = Waktu tinggal / 2

$$= 6,4 / 2$$

$$= 3,2\text{jam}$$

- Ruang Aerasi

Direncanakan:

Suhu operasi = 28–30°C

Efisiensi diffuser = 25%

Faktor keamanan desain = 1,5

O₂ teoritis = COD yang terurai

$$= 0,455 \text{ kg O}_2/\text{hari}$$

O₂ desain = Faktor keamanan × O₂ teoritis

$$= 2,0 \times 0,455$$

$$= 0,91 \text{ kg O}_2/\text{hari}$$

$$\text{Berat O}_2 \text{ per m}^3 \text{ udara} = 1,1725 \text{ kg/m}^3 \times 0,23$$

$$= 0,2697 \text{ kg O}_2/\text{m}^3 \text{ udara}$$

$$\text{Udara teoritis} = \text{O}_2 \text{ desain} / \text{Berat O}_2 \text{ per m}^3 \text{ udara}$$

$$= 0,91 / 0,2697$$

$$= 3,37 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Udara aktual (dengan efisiensi diffuser 25\%)} = \text{Udara teoritis} / \text{Efisiensi}$$

$$= 3,37 / 0,25$$

$$= 13,5 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 0,56 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Nilai kebutuhan udara hasil perhitungan tersebut merupakan nilai teoritis yang bersifat konservatif. Dalam penerapan operasional, suplai udara dapat disesuaikan dengan kapasitas blower 1,5-2,0 m³/jam dengan flow control.

4) Bak Ekualisasi

$$\text{Debit air limbah} = 8,53 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu tinggal (HRT)} = 8 \text{ jam (Said dkk, 2011)}$$

$$\text{Kedalaman efektif (h)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard} = 0,5 \text{ m (asumsi)}$$

$$Q = 8,53 \text{ m}^3/\text{hari} \div 24 \text{ jam}$$

$$= 0,355 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Volume bak} = \text{HRT} \times Q$$

$$= 8 \text{ jam} \times 0,355 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 2,84 \text{ m}^3$$

$$\text{Luas (A)} = \text{Volume} / \text{Kedalaman}$$

$$= 2,84 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}$$

$$= 2,84 \text{ m}^2$$

$$\text{Rasio P : L} = 2 : 1$$

$$\text{Luas} = P \times L = 2L \times L = 2L^2$$

$$2L^2 = 1,42$$

$$L^2 = 1,42$$

$$L = \sqrt{1,42} = 1,19 \text{ m} \approx 1,2 \text{ m}$$

$$P = 2 \times L = 2 \times 1,2 = 2,4 \text{ m}$$

$$\text{Volume efektif} = 2,4\text{m} \times 1,2\text{m} \times 1 \text{ m} = 2,88 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu tinggal} = \text{Volume} / Q$$

$$= 2,88 \text{ m}^3 / 0,355 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 8,1\text{jam} \approx 8 \text{ jam}$$

- Perhitungan kebutuhan pompa:

$$Q = 8,53\text{m}^3/\text{hari} \div 24 \times 3600\text{detik} = 0,0000987 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Asumsi kecepatan (v)} = 0,5 \text{ m/detik}$$

$$\text{Luas (A)} = Q / v$$

$$= 0,0000987 / 0,5$$

$$= 0,000197 \text{ m}^2$$

$$A = \pi/4 \times D^2$$

$$D^2 = (4 \times A) / \pi$$

$$= (4 \times 0,000197) / 3,14$$

$$= 0,000251$$

$$D = \sqrt{0,000251} = 0,0159\text{m} \approx 16 \text{ mm}$$

- Kecepatan pipa

$$A = \pi/4 \times (0,02)^2 = 0,000314\text{m}^2$$

$$v = 0,0000987 / 0,000314 = 0,31\text{m/detik}$$

Nilai volume bak ekualisasi hasil perhitungan tersebut merupakan nilai teoritis berdasarkan waktu tinggal hidrolis. Dalam penerapan operasional, dimensi bak dapat disesuaikan dengan ketersediaan lahan, kondisi topografi, dan kebutuhan modulasi aliran aktual di lapangan.

5) Bak Kontrol

Bak Kontrol direncanakan berukuran sebagai berikut :

$$\text{Debit air limbah (Q)} \quad 8,53 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,355\text{m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0000987\text{m}^3/\text{detik}$$

Waktu tinggal (HRT) 10 – 15 menit (Standar bak kontrol)

Kedalaman efektif = 0,35 m

Freeboard = 0,3 m

waktu tinggal yang digunakan = 15 menit = 0,25 jam

Volume bak = HRT \times Q

$$= 0,25 \text{ jam} \times 0,355 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,089 \text{ m}^3$$

Luas (A) = Volume / Kedalaman

$$= 0,089 \text{ m}^3 / 0,35 \text{ m}$$

$$= 0,254 \text{ m}^2$$

Rasio P : L = 1 : 1

Panjang (P) = 0,50 m

Lebar (L) = 0,50 m

Volume efektif = 0,50m \times 0,50m \times 0,35m = 0,0875m³

Waktu tinggal = Volume / Q

$$= 0,0875 \text{ m}^3 / 0,355 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,246 \text{ jam}$$

$$= 15 \text{ menit}$$

Dimensi bak kontrol ditetapkan 0,50 m \times 0,50 m \times 0,35 m dengan pertimbangan kemudahan konstruksi dan pemeliharaan. Waktu tinggal 15 menit lebih panjang dari standar 10–15 menit, namun tetap dapat diterima karena bak ini berfungsi ganda sebagai penampung sementara saat gangguan operasional.

6) Elektrokoagulasi

Diketahui:

Debit (Q) = 8,53m³/hari

COD masuk (dari Biofilter Aerob) = 22,86 mg/l

Efisiensi = 60% (Indira et al., 2024)

CODkeluar = 22,86 x (1-0,6)

$$= 22,86 \times 0,4$$

$$= 9,144 \text{ mg/l}$$

7) Bak Sedimentasi Akhir

Debit air limbah = 8,53 m³/hari

COD masuk = 9,144 mg/l

COD efisiensi = 35%

COD keluar = COD masuk x (1- efisiensi)

$$= 9,14 \times (1-0,35)$$

$$= 5,9 \text{ mg/l}$$

Dimensi yang akan ditetapkan:

Standar waktu tinggal = 2- 4 jam

Beban permukaan = 20- 50 m²/m³ (JWWA)

Waktu tinggal di dalam bak = 2-4 jam

Tinggi ruang bebas = 0,4m

Kedalaman total = 1,6m

Kedalaman (h) = 1,2m

$$= (\text{waktu tinggal} / 24) \times \text{debit}$$

$$= (3 \text{ jam} / 24) \times 8,53 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 1,066 \text{ m}^3$$

Rasio P : L = 2 : 1

Lebar (L) = (luas/2)

$$= (0,888/2)$$

$$= \sqrt{0,444}$$

$$= 0,70 \text{ m}$$

$$P = 2 \times L$$

$$P = 2 \times 0,70$$

$$= 1,40 \text{ m}$$

$$\text{Volume aktual} = 1,40 \times 0,70 = 0,98 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu tinggal aktual} = \frac{\text{volume aktual}}{\text{debit per jam}} = \frac{0,98 \text{ m}^3}{0,355} = 2,76 \text{ jam}$$

$$\text{Beban permukaan} = \frac{\text{debit}}{\text{luas}} = \frac{8,53}{0,98} = 8,70 \text{ m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{hari}$$

Desain bak sedimentasi akhir dengan dimensi $1,40 \text{ m} \times 0,70 \text{ m} \times 1,60 \text{ m}$ dan volume efektif $1,176 \text{ m}^3$ dinyatakan secara teknis layak meskipun beban permukaannya ($4,35\text{--}8,70 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$) berada di bawah standar JWVA. Hal ini dikarenakan debit air limbah yang sangat kecil ($8,53 \text{ m}^3/\text{hari}$) membuat parameter waktu tinggal hidrolis (HRT) menjadi lebih krusial. Dengan HRT selama 3,31 jam yang telah memenuhi rentang ideal 2–4 jam, proses pengendapan justru menjadi lebih optimal karena minimnya turbulensi dan lambatnya aliran air. Sesuai prinsip Crites dan Tchobanoglous (1998) untuk sistem skala kecil di bawah $10 \text{ m}^3/\text{hari}$, prioritas pada waktu tinggal minimum 2 jam menjamin efisiensi penyisihan partikel tersuspensi yang lebih tinggi dibandingkan mengejar standar beban permukaan skala perkotaan.

8) Bak Bio Indikator

Bak bio-indikator berfungsi sebagai unit pemantauan awal untuk mengetahui secara cepat kondisi kualitas air hasil olahan IPAL. Pada unit ini digunakan tumbuhan air sebagai indikator biologis. Apabila tumbuhan yang ditempatkan di dalam bak bio-indikator dapat tumbuh dan bertahan hidup dengan baik, maka air hasil olahan IPAL dapat dikategorikan relatif baik. Sebaliknya, apabila tumbuhan menunjukkan gejala layu, menguning, atau mati, hal tersebut mengindikasikan bahwa kualitas air olahan IPAL masih buruk atau mengandung senyawa yang bersifat toksik.

Dimensi perencanaan.

Diketahui:

Debit (Q) = $8,53 \text{ m}^3/\text{hari}$

Waktu tinggal = 3 jam

Kedalaman efektif = 1,0 m

Freeboard = 0,3 m

Volume teoritis = $(3 / 24) \times 8,53$

= $1,07 \text{ m}^3$

Luas permukaan = Volume / Kedalaman

= $1,07 / 1,0$

$$= 1,07 \text{ m}^2$$

Dengan rasio P : L = 2 : 1:

$$2L^2 = 1,07$$

$$L^2 = 0,535$$

$$L = \sqrt{0,535}$$

$$L = 0,73 \text{ m}$$

$$P = 2 \times 0,73$$

$$= 1,46 \text{ m}$$

berdasarkan pertimbangan konstruksi dan operasional, dimensi pada bak Bio-indikator diperkecil menjadi Panjang 1,0m, lebar 1,0m, kedalaman 0,6m, Freeboard 0,3m dan Tinggi Total 0,9 dikarenakan fungsinya sebagai indikator biologis, bukan unit pengolahan utama

Dimensi bak ditetapkan:

$$\text{Panjang} = 1,0 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 1,0 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman efektif} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total} = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Volume efektif} = 1,0 \times 1,0 \times 0,6 = 0,6 \text{ m}^3$$

Check:

$$\text{Waktu tinggal aktual} = (0,6 / 0,355)$$

$$= 1,69 \text{ jam}$$

$$= 101 \text{ menit}$$



PEMERINTAH KOTA BANDA ACEH
DINAS KESEHATAN
BLOWER - KOTA BANDA ACEH

GAMBAR RENCANA

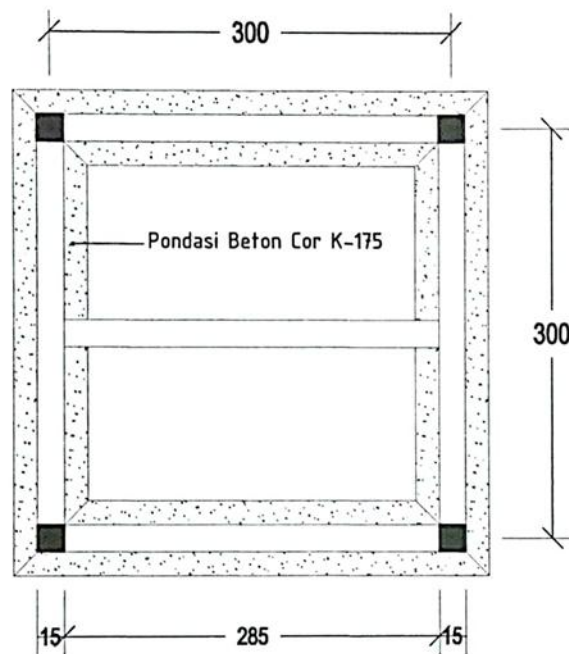
PEKERJAAN :
PEMBANGUNAN INSTALASI PENGELOHAN AIR LIMBAH (IPAL) PUSKESMAS BATOH

LOKASI :
KOTA BNADA ACEH

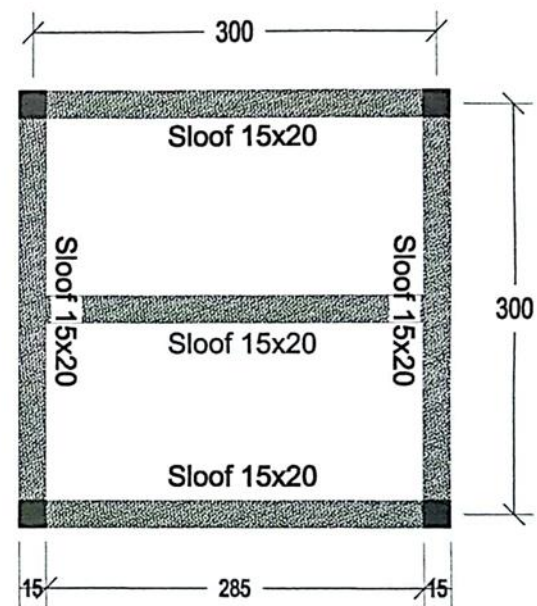
Konsultant Perencana :



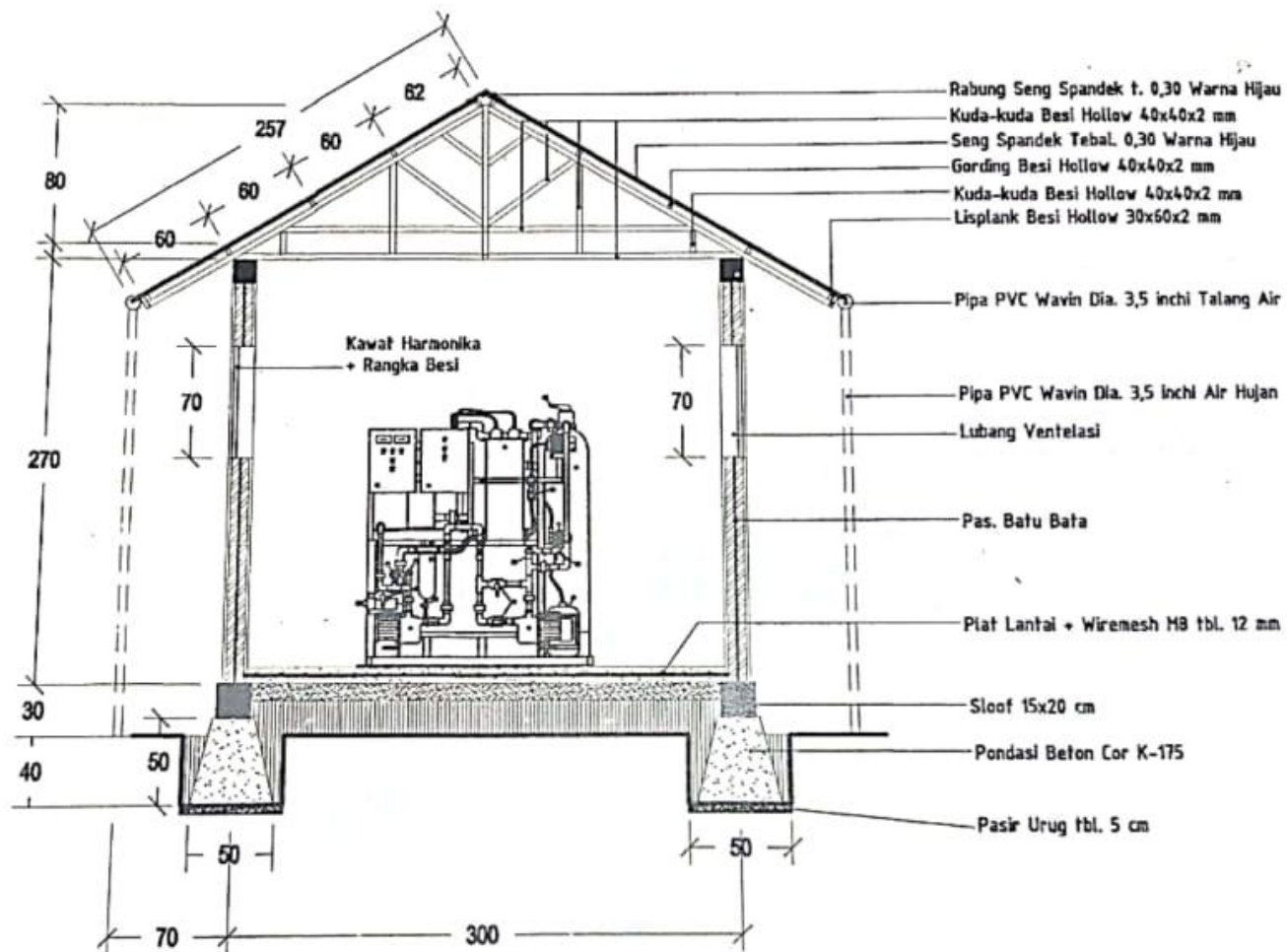
KONSULTAN TEKNIK PEMBANGUNAN
CV. AXIAL HIGHWAY ENGINEERING CONSULTANT
Architect, Structure, Transportation, Civil Survey, Ingation, Mapping



DENAH PONDASI
SKALA 1 : 25

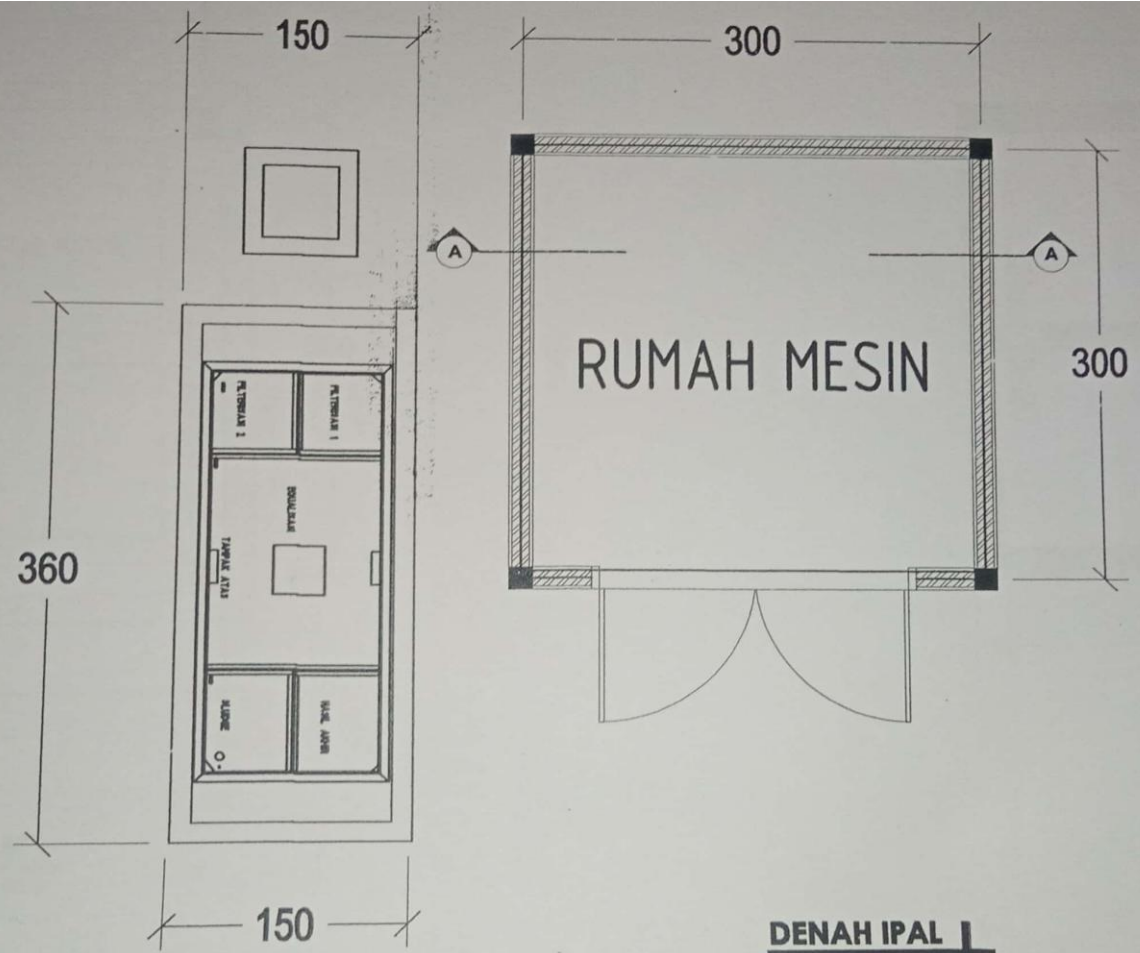


DENAH SLOOF
SKALA 1 : 25



POTONGAN A - A

SKALA 1 : 50



DENAH IPAL
SKALA 1 : 25



PEMERINTAH ACEH
DINAS KESEHATAN
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN DAN
PENGUJIAN ALAT KESEHATAN

Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureuh No. 168 Telp.(0651) 23834 Fax (0651) 23834 Banda Aceh
 E-mail: labkes_aceh@yahoo.com Website: http //labkes-aceh.blogspot.com



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

No Order : 122
 No. Sampel : 115 / 1 / II / 2023
 Nama Pengirim : Puskesmas Meuraxa
 Alamat : -
 Petugas Pengambil : Staf UPTD BLK & PAK (Chairin Mirni, A.Md.AK)
 Tanggal Ambil : 20 Februari 2023 Jam : 10.57 Wib
 Tanggal Terima : 20 Februari 2023 Jam : 14.00 Wib
 Tanggal Analisa : 20 s/d 27 Februari 2023
 Jenis sampel : Air Limbah Outlet
 Lokasi : Puskesmas Meuraxa - Banda Aceh
 Pengawet : Tidak ada

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	MDL	Acuan Metode	Keterangan
Fisika							
1	Suhu/Temperatur	°C	-	-	-	SNI 06-6989.23-2006	PerMenLHK RI No 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah
2	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/l	2000	-	-	Manual Book	
3	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/l	30	4	-	Manual Book	PerMenLHK RI : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
Kimia							
1	pH*	-	6 - 9	6,55	-	SNI 6989.11-2019	PerMenLHK RI : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
2	BOD ₅	mg/l	30	3	-	Manual Book	
3	COD	mg/l	100	8	-	SNI 6989.15:2019	
4	Amonia Bebas (NH ₃ -N)	mg/l	10	-	-	Merck 1.14752.0002	

FR.IV/AD.38/Rev: 0

Ket : - * Parameter terakreditasi
 - Lembar hasil Pengujian tidak boleh digandakan & disebarluaskan tanpa persetujuan dari UPTD BLK & PAK
 - Parameter pengujian ini sesuai dengan PerMenLHK RI No . P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 dan PermenLHK RI No 5 tahun 2014

Banda Aceh, 28 Februari 2023
 Penanggung Jawab Teknis

Rekha Melani, A.Md.AK, SKM
 Nip. 19730602 199403 2 003



PEMERINTAH ACEH
DINAS KESEHATAN
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN DAN PENGUJIAN ALAT KESEHATAN
 Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureueh No. 168 Telp. (0651) 23834 Fax. (0651) 23834 Banda Aceh
 E-mail: labkes_aceh@yahoo.com Website: http://labkes-aceh.blogspot.com





No. Lab	Lokasi dan jenis sample	HASIL PEMERIKSAAN MIKROBIOLOGI				HASIL PEMERIKSAAN			Keterangan
		Diambil tgl / Jam Diperiksa tgl / jam	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan PerMenLHK RI No : /Setjen/ Kum.1/8/2016	MPN	MPN	TPC /	
						Coliform / 100 ml	E.Coli / 100 ml	ml	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
122	Air Limbah Sumber : Outlet Puskesmas Meuraxa - Banda Aceh	20/2/2023 Jam 10.57 ^{Wib} 20/2/2023 Jam 12.15 ^{Wib}	Coliform	Jumlah per 100 ml sampel	Coliform 3.000	1.700	-		Memenuhi Syarat sesuai Baku Mutu PerMenLHK RI No : P.68/ Menlhk/Setjen/Kum.1/8/ 2016

FR.IV/HP.B.01/Rev:0

Petugas : Staf UPTD BLK&PAK (Chairni Mirni, A.Md.Ak)

Banda Aceh, 27 Februari 2023
 Validator

Roni Adhar, S.Farm.APT.M.M
 NIP. 19941026 201003 1 001

	PEMERINTAH ACEH DINAS KESEHATAN		 Kantor Akreditasi Nasional LM-012-IDN
	UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN DAN PENGUJIAN ALAT KESEHATAN		
JLN. TGK. H. MOHD. DAUD BEUREUEH NO. 166 TELP. (0651) 23834 FAX. (0651) 23834 BANDA ACEH			
TANDA PENERIMAAN			NO : 00123
Sudah terima dari	:	PSK Meuraxa (Inlet)	
Uang banyaknya	:	Dua Ratus Tiga Ribu Rupiah	
Yaitu	:	Biaya Pemeriksaan Laboratorium Kesehatan	
Terbilang Rp	:	203.000	
Banda Aceh, 21 February 2023			
Yang Menerima,			
(Fitri Afriani)			
Nip. : 19800401 200904 2 003			
FR.IV/AD.17 / Rev : 0			

Pengawas

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	MDL	Acuan Metode	Keterangan
Fisika							
1	Suhu/Temperatur	°C	-	-	-	SNI 06-6989.23-2006	PerMenLHK RI No 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah
2	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/l	2000	-	-	Manual Book	
3	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/l	30	1	-	Manual Book	PerMenLHK RI : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
Kimia							
1	pH*	-	6 - 9	6,74	-	SNI 6989.11-2019	PerMenLHK RI : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
2	BOD ₅	mg/l	30	4,1	-	Manual Book	
3	COD	mg/l	100	9,6	-	SNI 6989.15:2019	
4	Amonia Bebas (NH ₃ -N)	mg/l	10	-	-	Merck 1.14752.0002	

FR.IV/AD.38/Rev: 0

Ket: - * Parameter terakreditasi
- Lembar hasil Pengujian tidak boleh digandakan & disebarluaskan tanpa persetujuan dari UPTD BLK & PAK
- Parameter pengujian ini sesuai dengan PerMenLHK RI No : P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 dan PermenLHK RI No 5 tahun 2014

Banda Aceh, 28 Februari 2023
Penanggung Jawab Teknis


UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN DAN PENGUJIAN ALAT KESEHATAN
Rekha Melati, AMd.AK, SKM
Nip. 19720602-199403 2 003

DINAS KESEHATAN



PEMERINTAH ACEH
DINAS KESEHATAN
UPTD BALAI LABORATORIUM KESEHATAN DAN PENGUJIAN ALAT KESEHATAN
 Jl. Tgk. H. Mohd. Daud Beureuch No. 168 Telp. (0651) 23834 Fax. (0651) 23834 Banda Aceh
 E-mail: labkes_aceh@yahoo.com Website: http://labkes-aceh.blogspot.com



No. Lab	Lokasi dan jenis sample	Diambil tgl / Jam Diperiksa tgl / jam	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan PerMenLHK RI No : /Setjen/ Kum.1/8/2016	HASIL PEMERIKSAAN			Keterangan
						MPN Coliform / 100 ml	MPN E.Coli / 100 ml	TPC / ml	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
123	Air Limbah Sumber : Inlet Puskesmas Meuraxa - Banda Aceh	20/2/2023 Jam 10.58 ^{wb} 20/2/2023 Jam 12.00 ^{wb}	Coliform	Jumlah per 100 ml sampel	Coliform 3.000	1.300	-		Memenuhi Syarat sesuai Baku Mutu PerMenLHK RI No : P.68/ Meninh/Setjen/Kum.1/S/ 2016

FR.IV/HP.B.01/Rev:0

Petugas : Staf UPTD BLK&PAK (Chaiin Mirni, A.Md.Ak)

Banda Aceh, 27 Februari 2023
 Validator

Roni Adhar, S.Farm.APT.M.M
 NIP. 19841026 201003 1 001



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



SERTIFIKAT HASIL UJI

Hal 1 dari 1

No. 018/SHU/BPPPL/II/2025

Tanggal Penerbitan : 26 Februari 2025

K e p a d a : Dinul Raiza Riansyah
 di – Aceh Besar

Yang bertanda tangan dibawah ini menerangkan bahwa :

Jenis Sampel	: Air Limbah	Tanggal Sampling	: 06 Februari 2025
Kode Sampel	: Inlet	Tanggal Diterima	: 06 Februari 2025
L o k a s i	: Puskesmas Meuraxa Banda Aceh	Tanggal Uji	: 06 Februari 2025
Koordinat	: N : - E : -	Selesai Uji	: 25 Februari 2025
Hasil Uji	:	Sampel diterima dari	: Dinul Raiza Riansyah

No.	Parameter Uji	Metoda Uji	Acuan	Satuan	Batas deteksi Metode	Hasil Uji
1	TSS	Gravimetri	SNI 6989. 3 - 2019	mg/L	2	67
2	BOD	Winkler	SNI 6989. 72. 2009	mg/L	2	22,42
3	COD	Spectrofotometri	SNI 6989. 2: 2019	mg/L	14,46	169,50

Catatan

- Hasil analisis hanya berhubungan dengan sampel yang diuji
- Sampel Abnormal
- ***) Batas Deteksi Metode
- ****) Parameter luar lingkup Akreditasi

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


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



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



SERTIFIKAT HASIL UJI

No. 019/SHU/BPPPL/II/2025

Hal 1 dari 1

Tanggal Penerbitan : 26 Februari 2025

K e p a d a : Dinul Raiza Riansyah
di – Aceh Besar

Yang bertanda tangan dibawah ini menerangkan bahwa :

Jenis Sampel : Air Limbah
Kode Sampel : Outlet
L o k a s i : Puskesmas Meuraxa
Banda Aceh

Koordinat : N : -
E : -

Hasil Uji :

Tanggal Sampling : 06 Februari 2025
Tanggal Diterima : 06 Februari 2025
Tanggal Uji : 06 Februari 2025
Selesai Uji : 25 Februari 2025
Sampel diterima dari : Dinul Raiza Riansyah

No.	Parameter Uji	Metoda Uji	Acuan	Satuan	Batas deteksi Metode	Hasil Uji
1	TSS	Gravimetri	SNI 6989. 3 - 2019	mg/L	2	64,5
2	BOD	Winkler	SNI 6989. 72. 2009	mg/L	2	18,08
3	COD	Spectrofotometri	SNI 6989. 2: 2019	mg/L	14,46	130,61

Catatan

- Hasil analisis hanya berhubungan dengan sampel yang diuji
- Sampel Abnormal
- ***) Batas Deteksi Metoda
- ****) Parameter luar lingkup Akreditasi

KOP
 7
 KEPALA UPTD BALAI
 PENGUJIAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN LINGKUNGAN
 DINAS LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN ACEH



Ir. AKMAL HUSEN, MM

Pembina Utama Muda (IV/c)
 NIP. 10681207 199503 1 005