

**EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
PABRIK KELAPA SAWIT (PKS) PT. X KABUPATEN NAGAN
RAYA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

**SAMSUL RIDA
NIM. 220702002**

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



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2026 M/1448 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PABRIK KELAPA SAWIT (PKS) PT. X KABUPATEN NAGAN RAYA

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

SAMSUL RIDA
NIM. 220702002

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Disetujui Untuk Dimunaqasyah kan Oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,


Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.
NIP. 199502252025051003


Ir. Syarifah Seicha Fathma, S.T., M.T.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan


Husnawati Yahya, M.Sc.
NIP. 198311092014032002

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

EVALUASI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PABRIK KELAPA SAWIT (PKS) PT. X KABUPATEN NAGAN RAYA

TUGAS AKHIR

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

Pada Hari/Tanggal : Kamis, 23 Juli 2026
Kamis, 8 Safar 1448 H
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir

Ketua,

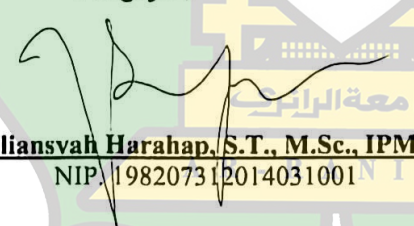
Sekretaris,

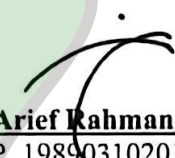

Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.
NIP. 199502252025051003


Ir. Svarifah Seicha Fathma, S.T., M.T.

Penguji I,

Penguji II,


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


Arief Rahman, M.T.
NIP. 198903102019031012

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh




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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Samsul Rida

NIM : 220702002

Program Studi : Teknik Lingkungan

Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Judul Skripsi : Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kelapa Sawit
(PKS) PT. X Kabupaten Nagan

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
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 bertanggungjawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan 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.

Banda Aceh, 3 Agustus 2026



Samsul Rida

KATA PENGANTAR



Puji syukur ke hadirat Allah Swt. Tuhan Semesta Alam, atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada bimbingan Nabi Muhammad saw. melalui penyelesaian penelitian tugas akhir ini, yang disusun sebagai salah satu persyaratan untuk Studi (S-1) Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Tugas Akhir ini, yang berjudul “Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. X Kabupaten Nagan Raya”, disusun sebagai persyaratan untuk memenuhi dan melengkapi kebutuhan penyelesaian pendidikan pada Program Studi Sarjana (S-1) Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan berkat dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak. Rasa hormat dan terima kasih yang tak terhingga penulis curahkan secara khusus kepada kedua orang tua penulis, yang senantiasa memberikan dukungan serta doa yang tulus. Selain itu, penulis juga menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara khusus, saya ucapkan terima kasih sedalam - dalamnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU. sebagai Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
2. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc., sebagai Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc., sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan.
4. Dr. Ir. Juliansyah Harahap, S.T., M.Sc., IPM, APEC Eng., sebagai Pembimbing Akademik, atas segala arahan, bimbingan, dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.

5. Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc., sebagai Dosen Pembimbing 1 penulis, yang telah banyak membantu, meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Ir. Syarifah Seicha Fathma S.T., M.T. sebagai Dosen Pembimbing 2 penulis, yang telah banyak membantu, memberikan pemahaman serta arahan dan membimbing penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Segenap Dosen Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh yang telah mendidik dan memberikan ilmu selama kuliah dan seluruh staf yang selalu sabar melayani segala administrasi selama proses penelitian ini.
8. Ibu Firda Elvisa, S.E., selaku staf administrasi prodi yang telah banyak membantu dalam hal administrasi.
9. Teman-teman Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh Angkatan 2022 yang juga memberikan masukan dan saran yang dapat membuka wawasan penulis, sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian ini.

Penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu penyusunan tugas akhir ini. Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga saran dan kritik yang konstruktif sangat diharapkan. Dengan penuh tawakal, penulis berharap agar tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Banda Aceh, 17 Juli 2026
Penulis,

Samsul Rida

ABSTRAK

Nama : Samsul Rida
NIM : 220702002
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. X Kabupaten Nagan Raya
Tanggal Sidang : 23 Juli 2026
Jumlah Halaman : 88 Halaman
Pembimbing I : Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc
Pembimbing II : Ir. Syarifah Seicha Fathma, S.T., M.T
Kata Kunci : POME, IPAL, Efektivitas Pengolahan, Baku Mutu, Evaluasi Teknis

Limbah cair kelapa sawit (POME) mengandung bahan organik, padatan tersuspensi, serta minyak dan lemak dalam konsentrasi tinggi yang berpotensi mencemari badan air apabila dibuang tanpa pengolahan memadai. Kondisi ini mendorong perlunya evaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. X di Kabupaten Nagan Raya. Penelitian ini bertujuan menganalisis kualitas air limbah pada inlet dan outlet, efektivitas pengolahan tiap unit, serta kesesuaian aspek teknis IPAL terhadap kriteria desain standar. Metode yang digunakan adalah kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-analitis melalui pengujian sampel inlet-outlet setiap unit untuk parameter BOD, COD, TSS, pH, minyak dan lemak, serta nitrogen total, yang dibandingkan dengan baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Lampiran III Tahun 2014, dilengkapi evaluasi dimensi dan *Hydraulic Retention Time* (HRT). Hasil penelitian menunjukkan efluen akhir belum sepenuhnya memenuhi baku mutu, hanya TSS dan pH yang sesuai, sedangkan BOD, COD, nitrogen total, serta minyak dan lemak masih melampaui ambang batas, meskipun efisiensi penyisihan BOD mencapai 90,44%. Hanya unit *fat pit* yang memenuhi kriteria desain, sementara *cooling pond*, unit anaerobik, dan sedimentasi tidak sesuai. disimpulkan bahwa kinerja IPAL belum optimal dan memerlukan perbaikan melalui *desludging* berkala, optimalisasi *fat pit* dan *cooling pond*, serta penambahan unit penyisihan nitrogen.

ABSTRACT

Name : Samsul Rida
Student ID Number : 220702002
Study Program : Environmental Engineering
*Title : Evaluation of the Wastewater Treatment Plant (IPAL) PT. X
Palm Oil Mill (PKS), Nagan Raya Regency*
Session Date : 23 July 2026
Number of Page : 88 Pages
Advisor I : Ir. Muhammad Haikal, S.T., M.Sc
Advisor II : Ir. Syarifah Seicha Fathma, S.T., M.T
*Keywords : POME, WWTP, Treatment Effectiveness, Quality
Standards, Technical Evaluation*

Palm Oil Mill Effluent (POME) contains high concentrations of organic matter, suspended solids, as well as oil and grease, which pose a potential risk of water body pollution if discharged without adequate treatment. This condition necessitates an evaluation of the performance of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) at the Palm Oil Mill of PT. X in Nagan Raya Regency. This study aims to analyze the wastewater quality at the inlet and outlet, the treatment effectiveness of each unit, and the compliance of the WWTP's technical aspects with standard design criteria. A quantitative method with a descriptive-analytical approach was employed through inlet-outlet sample testing of each unit for BOD, COD, TSS, pH, oil and grease, and total nitrogen parameters, which were compared against the quality standards of the Regulation of the Minister of Environment No. 5, Appendix III of 2014, complemented by a technical evaluation covering dimensions (length, width, depth) and Hydraulic Retention Time (HRT). The results show that the final effluent did not fully comply with the quality standards; only TSS and pH met the requirements, while BOD, COD, total nitrogen, and oil and grease still exceeded the threshold, although the cumulative BOD removal efficiency reached 90.44%. Only the fat pit unit met the design criteria, whereas the cooling pond, anaerobic unit, and sedimentation unit did not comply due to sludge accumulation, cooling failure, oil carryover to the subsequent unit, and the absence of a nitrogen removal unit. It is concluded that the WWTP performance of PT. X has not been optimal and requires improvement through periodic desludging, optimization of the fat pit and cooling pond, and the addition of a nitrogen removal unit to ensure the effluent meets the required quality standards.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
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 Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (POME).....	7
2.2 Sumber POME	7
2.3 Dampak Terhadap lingkungan.....	8
2.4 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).....	9
2.4.1 Bak Pemisah Minyak dan Lemak (<i>Fat pit</i>)	10
2.4.2 Kolam Pendingin (<i>Cooling Pond</i>).....	11
2.4.3 Kolam Anaerobik Primer 1-3 (<i>Primary Anaerobic</i>)	12
2.4.4 Kolam Anaerobik Sekunder 1-3 (<i>Secondary Anaerobic</i>)	13
2.4.5 Kolam Sedimentasi 1-2 (<i>Sedimentation Pond</i>)	14
2.5 Evaluasi Aspek Teknis	16
2.6 Konsep Efektivitas IPAL	16

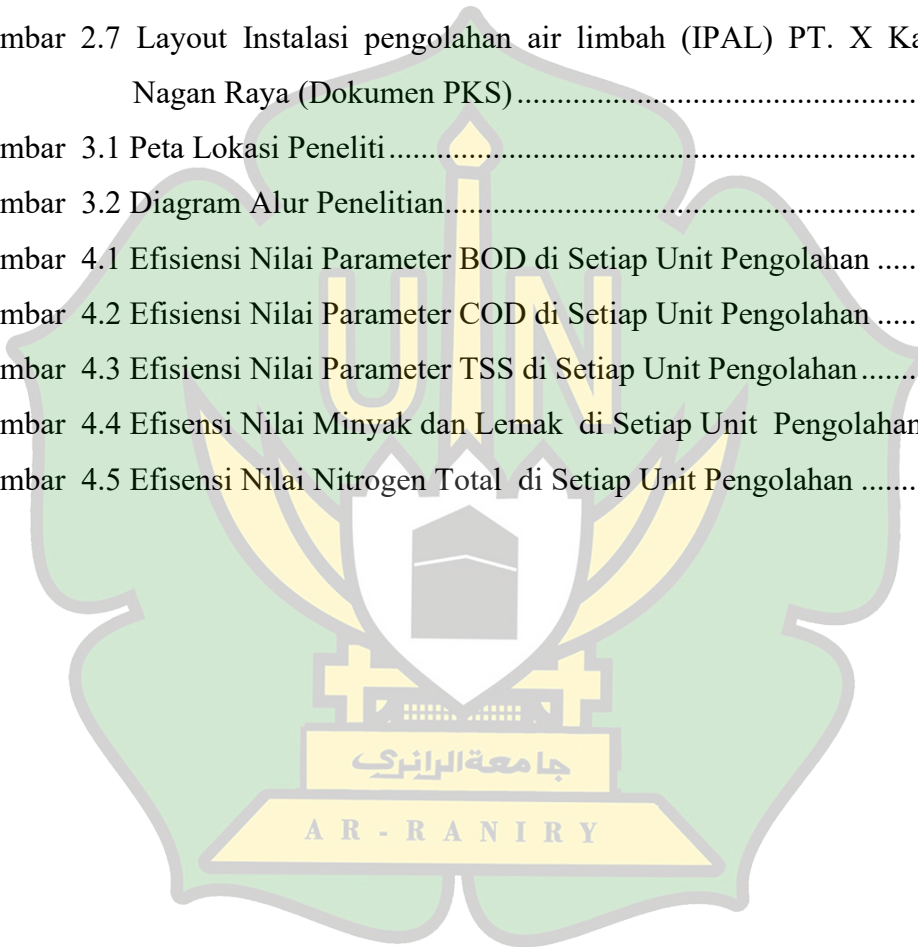
2.7	Penelitian Terdahulu.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		23
3.1	Metode Penelitian.....	23
3.1.1	Data Primer.....	24
3.1.2	Data Sekunder	24
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	24
3.2.1	Lokasi Pelaksanaan Penelitian.....	24
3.2.2	Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	26
3.3	Tahapan Penelitian	26
3.3.1	Tahapan Persiapan.....	26
3.3.2	Tahap Pengambilan Sampel	27
3.3.3	Tahap Uji Parameter.....	28
3.3.4	Tahap Pengolahan dan Analisis Data	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Analisis Kualitas Air Limbah	34
4.1.1	Karakteristik Limbah Cair Pada Unit Pengolahan	34
4.1.2	Perbandingan Hasil Uji Kualitas Air Limbah dengan PERMEN LH No 5 Tahun 2014.....	35
4.2	Efektivitas Unit Pengolahan Air Limbah (IPAL).....	37
4.4.1	Efisiensi Penyisihan Air Limbah Kolam Pendingin	40
4.4.2	Efisiensi Penyisihan Air Limbah Kolam Anaerobik Primer 3 ..	40
4.4.3	Efisiensi Penyisihan Air Limbah Kolam Anaerobik Sekunder 3..	41
4.4.4	Efisiensi Penyisihan Air Limbah Kolam Sedimentasi 2	41
4.4.5	Grafik Efisiensi Penyisihan Parameter Air Limbah pada Seluruh Unit Pengolahan.....	42
4.3	Evaluasi Aspek Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) ...	44
4.3.1	Kondisi Eksisting Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).....	44
4.3.2	Evaluasi Kolam <i>Fat Pit</i>	47

4.3.3	Evaluasi Kolam Pendingin (<i>Cooling Pond</i>).....	48
4.3.4	Evaluasi Kolam Anaerobik Primer (<i>Primary Anaerobic</i>).....	50
4.3.5	Evaluasi Kolam Anaerobik Sekunder (<i>Secondary Anaerobic</i>)....	52
4.3.6	Evaluasi Kolam Sedimentasi (<i>Sedimentation Pond</i>).....	55
4.4	Rekomendasi Perbaikan Kinerja IPAL	56
BAB V KESIMPULAN.....		58
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran	59
LAMPIRAN A PERHITUNGAN		64
LAMPIRAN B DOKUMENTASI PENELITIAN		67
LAMPIRAN C HASIL UJI LABORATORIUM		76
LAMPIRAN D SURAT KETERANGAN.....		81



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya	10
Gambar 2.2 Bak Pemisah Minyak dan lemak (<i>Fat pit</i>)	11
Gambar 2.3 Kolam Pendingin (<i>Cooling pond</i>)	12
Gambar 2.4 Kolam Anaerobik primer (<i>primary anaerobic</i>).....	13
Gambar 2.5 Kolam Anaerobik sekunder (<i>Secondary anaerobic</i>).....	14
Gambar 2.6 Kolam Sedimentasi	15
Gambar 2.7 Layout Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) PT. X Kabupaten Nagan Raya (Dokumen PKS).....	15
Gambar 3.1 Peta Lokasi Peneliti.....	25
Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian.....	33
Gambar 4.1 Efisiensi Nilai Parameter BOD di Setiap Unit Pengolahan	42
Gambar 4.2 Efisiensi Nilai Parameter COD di Setiap Unit Pengolahan	42
Gambar 4.3 Efisiensi Nilai Parameter TSS di Setiap Unit Pengolahan	43
Gambar 4.4 Efisiensi Nilai Minyak dan Lemak di Setiap Unit Pengolahan.....	43
Gambar 4.5 Efisiensi Nilai Nitrogen Total di Setiap Unit Pengolahan	44



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Minyak Sawit.....	7
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	17
Tabel 3.1 <i>Time Line</i> Perencanaan Penyusunan Tugas Akhir	26
Tabel 3.2 Matriks Pengambilan Sampel dan Parameter Uji Laboratorium	27
Tabel 3.3 Acuan Parameter Kriteria Desain (IPAL).....	30
Tabel 3.4 Pendekatan Penyelesaian Rumusan Masalah.....	31
Tabel 4.1 Dimensi Kolam Pengolahan IPAL.....	32
Tabel 4.2 Dimensi Kolam Pengolahan Aktual IPAL.....	34
Tabel 4.3 Hasil uji laboratorium kualitas air limbah IPAL PT. X Kabupaten Nagan Raya.....	35
Tabel 4.4 Perbandingan data kualitas air limbah aktual dengan Permen LH No 5 tahun 2014.....	36
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan efisiensi pada setiap titik pengambilan sampel	38
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan efisiensi pada inlet dan outlet IPAL	39
Tabel 4.7 Perbandingan kolam <i>fat pit</i> desain aktual dengan standar kriteria desain yang berlaku	47
Tabel 4.8 Perbandingan kolam <i>cooling pond</i> desain aktual dengan standar kriteria desain yang berlaku.....	49
Tabel 4.9 Perbandingan kolam Anaerobik Primer desain aktual dengan standar kriteria desain yang berlaku	51
Tabel 4.10 Perbandingan kolam Anaerobik Sekunder kriteria desain aktual dengan standar kriteria desain yang berlaku.....	53
Tabel 4.11 Perbandingan kolam Sedimentasi kriteria desain aktual dengan standar kriteria desain yang berlaku	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Perhitungan	59
Lampiran B Dokumentasi Penelitian	67
Lampiran C Hasil Uji Laboratorium	76
Lampiran D Surat Keterangan	81



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai negara agraris yang memiliki ketergantungan besar terhadap sektor pertanian, terutama sub sektor perkebunan yang memberikan kontribusi signifikan terhadap pembangunan ekonomi nasional. di antara komoditas unggulan, kelapa sawit merupakan salah satu komoditas strategis yang berperan penting dalam memperkuat devisa negara. Industri ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan pendapatan nasional, tetapi juga diharapkan mampu mendorong pertumbuhan ekonomi, membuka lapangan pekerjaan, serta berperan dalam mengurangi tingkat pengangguran dan kemiskinan di masyarakat (Barus dkk., 2025).

Perkembangan produktivitas kelapa sawit turut memberikan dampak positif bagi peningkatan kesejahteraan, baik pada perkebunan skala besar maupun perkebunan rakyat. Keberadaan perkebunan rakyat bahkan terbukti efektif dalam membantu mengurangi angka kemiskinan di berbagai daerah. Secara global, luas areal perkebunan kelapa sawit menunjukkan tren peningkatan yang signifikan, yakni lebih dari 150% dalam tiga dekade terakhir (Ritonga dkk., 2021).

Provinsi Aceh merupakan salah satu wilayah dengan potensi besar untuk pengembangan perkebunan kelapa sawit, dengan Kabupaten Nagan Raya sebagai salah satu pusat utama kegiatan perkebunan. Potensi ini didukung oleh kondisi iklim dan tanah yang menguntungkan, ketersediaan lahan yang memadai, serta pertumbuhan yang relatif cepat di sektor perkebunan, baik pada skala perusahaan swasta maupun perkebunan kecil (Kahani dkk., 2024).

Faktor-faktor tersebut menjadikan Nagan Raya sebagai daerah yang prospektif dalam pengembangan industri kelapa sawit secara berkelanjutan. Dengan tingginya potensi perkebunan di wilayah ini, pengolahan kelapa sawit menjadi tahap yang sangat penting untuk memastikan nilai ekonomi dari produk tersebut dapat dimaksimalkan. Salah satunya melalui Pabrik Kelapa Sawit (PKS), yaitu industri yang secara khusus mengolah Buah Kelapa Sawit menjadi *Crude Palm Oil*

(CPO) dan inti sawit sebagai output utama yang menjadi pondasi ekonomi sektor ini (Adiguna dkk., 2014).

Seiring dengan proses pengolahan yang berlangsung di pabrik kelapa sawit (PKS), tidak dapat diabaikan bahwa setiap tahapan produksi *Crude Palm Oil* (CPO) dan inti sawit, secara alami menghasilkan limbah sampingan (Supijatno dkk., 2015). Salah satu bentuk limbah yang paling signifikan adalah limbah cair, yang dikenal sebagai *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Limbah ini muncul sebagai konsekuensi langsung dari pengolahan sehingga kualitas dan kuantitasnya tidak hanya mencerminkan efisiensi operasional pabrik, tetapi juga menimbulkan tantangan lingkungan yang perlu dikelola secara tepat. Limbah cair dari pabrik kelapa sawit, yang dikenal sebagai POME, merupakan salah satu bentuk limbah organik utama dalam industri agroindustri. Limbah ini dihasilkan sebagai produk sampingan dari proses pengolahan minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil/CPO*) dan inti sawit (Dewi dkk., 2025).

Limbah POME memiliki karakteristik berwarna kecoklatan, yang memiliki kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang sangat tinggi, masing-masing mencapai 68.000 mg/L dan 50.000 mg/L, menandakan potensi polusi organik yang ekstrem. Selain itu, POME bersifat asam dengan rentang pH 3,5 yang memperburuk dampaknya terhadap ekosistem perairan. Dari segi komposisi, limbah ini didominasi oleh air sebanyak 95%, diikuti oleh 4–5% bahan terlarut dan terdispersi seperti selulosa, protein, serta lemak, serta 0,5–1% sisa minyak. Selain itu, kadar *Total Suspended Solid* (TSS) pada POME tergolong tinggi, berkisar 40.000 mg/L, disertai konsentrasi logam berat seperti tembaga (Cu) sebesar 0,89 mg/L, besi (Fe) 46,5 mg/L, seng (Zn) 2,3 mg/L, dan amonia 35 mg/L. Komposisi ini menekankan urgensi pengelolaan yang tepat untuk mencegah degradasi lingkungan (Yonas dkk., 2012).

Komposisi POME yang kaya akan bahan organik, padatan tersuspensi, sisa minyak, dan logam berat menunjukkan potensi polusi yang tinggi jika tidak dikelola dengan baik. Karakteristik ini menekankan bahwa pembuangan limbah cair secara langsung tanpa pengolahan yang memadai dapat menimbulkan pencemaran sungai dan perairan yang serius. Dengan demikian, pembuangan limbah cair dari pabrik minyak sawit yang tidak diatur secara tepat berpotensi menimbulkan kerusakan

lingkungan yang signifikan, termasuk penurunan kualitas air di sungai, yang selanjutnya mengancam keberlangsungan ekosistem akuatik serta kesejahteraan masyarakat setempat.

Dalam upaya menjaga kualitas lingkungan, pemerintah PT melalui Peraturan Menteri lingkungan Hidup Republik PT Nomor 5 Lampiran III Tahun 2014, tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan atau kegiatan industri minyak sawit. Regulasi ini menegaskan bahwa setiap industri harus melakukan pengolahan limbah cair sebelum membuangnya ke badan air penerima, sehingga potensi pencemaran dapat diminimalkan. Ketentuan tersebut juga menekankan peran strategis Instalasi Pengolahan air Limbah (IPAL), khususnya pada industri kelapa sawit, dalam mengendalikan limbah agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas perairan dan keseimbangan ekosistem sekitarnya.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap praktik pengolahan limbah, Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. X menarik perhatian publik karena diduga mencemari sungai X di Kabupaten Nagan Raya laporan yang dikeluarkan oleh Yayasan Green Aceh, serta tindak lanjut dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), menyoroti perlunya evaluasi menyeluruh terhadap kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) perusahaan. (Darmansyah, 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian tentang Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. X Kabupaten Nagan Raya, penting untuk dilakukan. Fokus Penelitian ini adalah mengevaluasi terhadap kinerja IPAL, meliputi kualitas air limbah setelah proses pengolahan tiap unit-unit pengolahan, kondisi terhadap aspek teknis dan efisiensi pengolahan IPAL PKS. Dengan demikian, hasil evaluasi ini diharapkan dapat menjadi dasar perumusan rekomendasi perbaikan yang komprehensif, guna memastikan kepatuhan terhadap standar kualitas lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kualitas air limbah yang dihasilkan sebelum proses pengolahan (inlet) dan setelah proses pengolahan (outlet) di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. X Kabupaten Nagan Raya, dan sejauh mana hasil tersebut memenuhi Baku Mutu air limbah sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik PT PT. 5 Lampiran III Tahun 2014?
2. Bagaimana efektivitas pengolahan dari unit-unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. X Kabupaten Nagan Raya dalam menurunkan beban pencemar air limbah?
3. Bagaimana hasil evaluasi aspek teknis dalam pengolahan Air Limbah di IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya?
4. Bagaimana rekomendasi yang dapat diberikan untuk memperbaiki kinerja IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya, agar memenuhi Baku Mutu air Limbah yang dipersyaratkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kualitas air limbah pada inlet dan outlet IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya, serta kesesuaiannya terhadap baku mutu air limbah menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Lampiran III Tahun 2014.
2. Menganalisis efektivitas tiap unit pengolahan dalam menurunkan beban pencemar untuk mengidentifikasi unit yang mengalami penurunan kinerja pada sistem IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya.
3. Mengevaluasi kesesuaian aspek teknis unit-unit pengolahan terhadap standar acuan guna mengungkap faktor penyebab ketidaksesuaian kinerja IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya.
4. Merumuskan rekomendasi perbaikan teknis berdasarkan faktor penyebab yang teridentifikasi, guna mendukung IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan

Raya dalam memenuhi baku mutu air limbah.

1.4 Manfaat Penelitian

Merujuk pada tujuan penelitian yang telah dipaparkan, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi serta manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran menyeluruh mengenai sistem IPAL yang diterapkan di PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya sebagai acuan dalam memahami alur pengolahan limbah cair yang berjalan saat ini.
2. Memberikan informasi kondisi eksisting IPAL sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan dalam menentukan prioritas perawatan pada unit-unit yang mengalami penurunan kinerja.
3. Memberikan data kualitas air limbah dan kinerja IPAL sebagai dasar penilaian kepatuhan perusahaan terhadap baku mutu air limbah yang berlaku.
4. Memberikan informasi kondisi aspek teknis IPAL sebagai acuan dalam merencanakan perbaikan unit pengolahan agar sesuai dengan kriteria desain yang direkomendasikan.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk menjaga fokus dan kedalaman analisis, penelitian ini dibatasi pada ruang lingkup sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. X yang terletak di Kabupaten Nagan Raya, Provinsi Aceh.
2. Parameter kualitas air limbah yang diuji dibatasi pada enam parameter yang dipersyaratkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Lampiran III Tahun 2014, yaitu BOD, COD, TSS, Nitrogen Total (sebagai N), pH, serta minyak dan lemak, dan tidak mencakup parameter di luar baku mutu tersebut, seperti kandungan logam berat (Cu, Fe, Zn) dan amonia.
3. Perhitungan efisiensi pengolahan dibatasi pada persentase penurunan konsentrasi keenam parameter tersebut di setiap unit pengolahan, tanpa mengkaji efisiensi dari sisi energi, biaya operasional, atau konsumsi bahan

kimia.

4. Evaluasi aspek teknis dibatasi pada kesesuaian kondisi eksisting unit-unit pengolahan (HRT, debit, kedalaman, volume, dan rasio panjang-lebar kolam) terhadap kriteria desain yang menjadi acuan, tanpa mencakup evaluasi struktural/konstruksi bangunan kolam.
5. Rekomendasi perbaikan yang dihasilkan bersifat teknis-konseptual berdasarkan faktor penyebab yang teridentifikasi, dan tidak mencakup kajian kelayakan investasi, analisis biaya, maupun perencanaan desain teknis terperinci (*detail engineering design*).
6. Penelitian ini difokuskan pada aspek teknis dan kualitas lingkungan dari proses pengolahan limbah cair, sehingga tidak mencakup kajian dampak sosial atau ekonomi terhadap masyarakat sekitar.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (POME)

Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (POME) merupakan limbah cair kental berwarna coklat yang biasanya dibuang pada suhu 80–90 °C dengan pH berkisar antara 3-5. Meskipun POME secara umum diklasifikasikan sebagai limbah cair non-toksik karena proses ekstraksi minyak kelapa sawit tidak menggunakan bahan kimia (Yunaningsih dkk., 2024), pembuangan langsung tanpa pengolahan dapat menimbulkan dampak lingkungan yang cukup signifikan, terutama terhadap ekosistem sungai, mengingat tingginya kadar bahan organik dan besarnya volume limbah yang dihasilkan oleh pabrik (Maulana dkk., 2025).

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Industri Minyak Sawit

Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/ton)
BOD	100	0,25
COD	350	0,88
TSS	250	0,63
Minyak dan Lemak	25	0,063
Nitrogen Total (sebagai N)	50	0,125
pH	6,0 – 9,0	
Debit limbah paling tinggi	2,5 m ³ per ton produk minyak sawit (CPO)	

(Peraturan Menteri lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014)

2.2 Sumber POME

Menurut (Rahardjo 2006), proses pengolahan minyak kelapa sawit mentah (CPO) dari tandan buah segar (TBS) menghasilkan limbah cair yang signifikan pada beberapa unit pengolahan, sebagai berikut:

1. Proses Sterilisasi

Proses ini menghentikan aktivitas enzim lipase, melepaskan buah dari spikelet, mempercepat ekstraksi minyak, mengurangi kadar air, memecah emulsi, serta memisahkan biji dari cangkang, menghasilkan air kondensat dengan BOD hingga 90.000 ppm atau sekitar 10% dari volume TBS.

2. Proses Perontokan Buah

Pada proses menggunakan *thresher* tidak menghasilkan limbah cair langsung, tetapi pencucian unit menghasilkan air bekas kaya minyak, serat, dan partikel halus.

3. Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi di digester dan *press* ulir, dengan penyemprotan air panas, tidak menghasilkan limbah cair langsung kecuali dari pencucian unit, disertai limbah padatan.

4. Proses Klarifikasi Minyak

Pada klarifikasi minyak, minyak keruh dari *press* dipanaskan, difiltrasi, disedimentasi, dan dievaporasi; lapisan atas menjadi CPO, sedangkan lumpur dialirkan ke *Fat pit*, menghasilkan limbah cair besar berupa lumpur.

5. Proses Pemisahan Lumpur

Proses pemisahan lumpur di *Fat pit/sludge* separator menghasilkan limbah cair mencapai 50% dari total TBS yang diolah.

6. Proses Pencucian Hydrocyclone

Proses pencucian hydrocyclone untuk biji sawit menghasilkan limbah cair relatif kecil, sedangkan demineralisasi untuk kebutuhan boiler hanya menyumbang limbah cair minimal, sehingga tidak signifikan terhadap beban limbah pabrik CPO.

2.3 Dampak Terhadap lingkungan

Limbah cair dari industri kelapa sawit dapat mencemari sungai dan badan air di sekitarnya, karena sebagian besar pabrik berada dekat aliran sungai. jika limbah ini tidak diolah dengan baik, bahan organik di dalamnya akan terurai dan menghasilkan amonia, yang dapat merusak kehidupan di air dan menimbulkan bau tidak sedap (Dewi dkk., 2025). Kontaminasi tersebut berpotensi mendegradasi kualitas lingkungan serta menimbulkan implikasi negatif terhadap kesehatan jangka panjang bagi masyarakat di kawasan sekitar industri (Maulana dkk., 2025).

Limbah cair dari industri kelapa sawit memiliki dampak yang cukup

signifikan terhadap kesehatan lingkungan. pengelolaan yang kurang tepat berpotensi menimbulkan pencemaran yang mengganggu keseimbangan alam, seperti kematian ikan dan kerusakan ekosistem air, yang terjadi akibat tingginya kadar zat berbahaya dalam POME yang tidak diolah sesuai dengan peraturan yang berlaku. (Rajagukguk dkk., 2026). Oleh karena itu, penerapan strategi pengelolaan limbah yang efektif, termasuk keterlibatan masyarakat dan pemanfaatan teknologi pengolahan modern, menjadi sangat penting untuk meminimalkan risiko tersebut (Dewi dkk., 2025).

Selain itu, limbah pabrik kelapa sawit (PKS) mengandung senyawa organik berbahaya yang dapat meningkatkan *Total Suspended Solids (TSS)* dan *Chemical Oxygen Demand (COD)*, memperburuk kondisi pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, pengolahan limbah yang tepat, seperti metode biologis bertahap, menjadi penting untuk menurunkan dampak negatif terhadap kualitas air sekaligus memenuhi ketentuan peraturan lingkungan (Rahardjo, 2006).

2.4 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan suatu fasilitas yang dirancang untuk mengolah air limbah agar kualitasnya memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dilepaskan ke badan air. keberadaan IPAL memiliki peran penting dalam menurunkan konsentrasi berbagai parameter pencemar, seperti *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Total Suspended Solids (TSS)*, pH, minyak dan lemak, serta unsur logam berat (Yudistira, 2022).

PKS di Kabupaten Nagan Raya, menerapkan sistem pengolahan dengan proses biologis secara bertahap, untuk memastikan mutu air limbah memenuhi standar lingkungan yang berlaku. sistem ini tersusun dari beberapa unit pengolahan, mulai dari unit pemisah minyak dan lemak (*Fat pit*), kolam pendingin (*cooling pond*), kolam anaerobik primer (*primary anaerobic*), kolam anaerobik sekunder (*secondary anaerobic*), dan kolam sedimentasi, yang secara bertahap menurunkan kandungan bahan organik, patogen, dan polutan lain sebelum air limbah dibuang ke badan air (Mohammad dkk., 2021).



Gambar 2.1 IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya

2.4.1 Bak Pemisah Minyak dan Lemak (*Fat pit*)

Fat pit merupakan unit penampungan yang berfungsi untuk memisahkan sisa minyak dari pengotornya (*sludge*), sebelum dialirkan ke sistem pengolahan limbah. Pada Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. X di Kabupaten Nagan Raya, unit ini terdiri dari dua bak penampungan yang dioperasikan secara terintegrasi. secara teknis, sistem ini dirancang untuk memulihkan kadar minyak dalam *sludge* melalui proses pemanasan (Metcalf dkk., 2014), hingga mencapai suhu 90–95°C. peningkatan suhu tersebut bertujuan untuk menurunkan viskositas sehingga minyak kotor akan terangkat ke lapisan atas untuk dialirkan kembali ke *Continuous Settling Tank* (CST), sementara fase cair di lapisan bawah dibuang menuju kolam limbah.

Namun, terdapat ketidaksesuaian operasional pada PKS PT. X terkait manajemen suhu tersebut. meskipun suhu 90–95°C sangat efektif untuk optimalisasi pemisahan minyak dan lemak di *fat pit*, kondisi ini menimbulkan kendala pada tahap berikutnya. suhu ideal limbah cair yang memasuki kolam pengolahan biologis seharusnya berada pada kisaran 35–38°C, angka tersebut merupakan standar bakteri mesofilik yang hidup dikolam anaerobik. tingginya temperatur limbah yang melebihi ambang batas 38°C berisiko menyebabkan denaturasi atau kerusakan populasi bakteri anaerobik primer pada kolam stabilisasi, yang pada gilirannya akan menghambat proses degradasi polutan (Lewar dkk., 2020).

Sebagai langkah mitigasi atas permasalahan tersebut, PKS PT. X mengimplementasikan unit kolam pendingin (*cooling pond*). kolam ini secara spesifik berfungsi untuk menurunkan suhu limbah cair dari *fat pit* sebelum memasuki tahap pengolahan biologis. penambahan unit ini krusial untuk menjamin efektivitas kinerja bakteri dalam merombak parameter polutan serta menjaga stabilitas ekosistem pada sistem pengolahan limbah (Melisa dkk., 2020).



Gambar 2.2 Bak Pemisah Minyak dan lemak (*Fat pit*)

2.4.2 Kolam Pendingin (*Cooling Pond*)

Limbah cair yang berasal dari unit *fat pit* selanjutnya dialirkan menuju kolam pendingin (*cooling pond*). Pada Instalasi Pengolahan air Limbah (IPAL) di PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya, *cooling pond* berfungsi untuk mereduksi temperatur limbah keluaran *fat pit* yang berada pada rentang ekstrem, yakni 90 – 95°C. penurunan suhu secara bertahap pada unit ini merupakan tahapan krusial, mengingat aktivitas biokimia pada fase anaerobik sangat bergantung pada kondisi lingkungan mesofilik dengan suhu optimal antara 35–38°C. temperatur yang melampaui ambang batas tersebut dapat mendenaturasi enzim dan menghambat metabolisme bakteri pengurai.

Tujuan utama dari pengoperasian *cooling pond* adalah mengondisikan temperatur limbah agar selaras dengan parameter biologis mikroorganisme pengurai dengan suhu optimal antara 35–38°C, sekaligus mencegah terjadinya kejutan panas (*thermal shock*). dengan tercapainya stabilitas termal dalam sistem IPAL, proses degradasi bahan organik oleh bakteri dapat berlangsung secara kontinu dan optimal. hal ini meminimalkan risiko mortalitas populasi mikroba akibat paparan suhu ekstrem, sehingga efisiensi pengolahan limbah tetap terjaga (Lewar dkk., 2020).



Gambar 2.3 Kolam pendingin (*Cooling Pond*)

2.4.3 Kolam Anaerobik Primer 1-3 (*Primary Anaerobic*)

Sistem pengolahan air limbah secara anaerobik pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. X di Kabupaten Nagan Raya menggunakan rangkaian enam (6) unit kolam, yang terdiri dari tiga (3) kolam anaerobik primer (*primary anaerobic*) dan tiga (3) kolam anaerobik sekunder (*secondary anaerobic*) (Rahardjo, 2006). Pada tahap primer, limbah cair pertama kali diuraikan oleh bakteri mesofilik, sebelum akhirnya dialirkan menuju kolam anaerobik sekunder. Secara keseluruhan, sistem ini mengandalkan aktivitas bakteri mesofilik dan metanogenik yang berkembang biak secara alami untuk mendegradasi zat organik dalam limbah menjadi senyawa yang lebih ramah lingkungan (Lewar dkk., 2020).

Proses pengolahan ini secara efektif mampu menurunkan nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) hingga sekitar 3.000 mg/L serta menjaga stabilitas derajat keasaman (pH) pada angka minimal 6,0 (Astuty dkk., 2025). Selama operasional berlangsung, pemantauan terhadap ketebalan lapisan scum pada permukaan kolam menjadi aspek krusial yang harus dijaga agar tidak melebihi 25 cm (Yonas dkk., 2012). Akumulasi scum yang melampaui batas tersebut merupakan indikator bahwa aktivitas biologis bakteri dalam mengurai limbah telah mengalami penurunan fungsi.



Gambar 2.4 Kolam Anaerobik primer (*primary anaerobic*)

2.4.4 Kolam Anaerobik Sekunder 1-3 (*Secondary Anaerobic*)

Limbah dari kolam anaerobik primer dialirkan selanjutnya ke kolam anaerobik sekunder, yang merupakan tahap pengolahan lanjutan dalam sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pada kolam ini, degradasi organik berlangsung secara anaerobik oleh bakteri metanogenik mesofilik, dengan proses metanogenesis sebagai tahap dominan. Senyawa organik kompleks dari kolam primer seperti asam lemak volatil (VFA), diubah menjadi metana (CH_4), karbon dioksida (CO_2), dan biomassa, sehingga menghasilkan pengurangan BOD dan COD tambahan hingga 50–70%, pH stabil pada kisaran 6,8–7,2, serta waktu hidrolis sekitar 20–30 hari (Rahardjo, 2006).

Tujuan utama proses ini adalah memaksimalkan reduksi beban organik tinggi yang tersisa dari kolam primer, sehingga *effluent* memenuhi standar baku mutu (misalnya $BOD < 5.000 \text{ mg/L}$) sebelum masuk ke tahap sedimentasi. Selain itu, manfaatnya meliputi potensi produksi biogas sebagai sumber energi, pengurangan volume lumpur, biaya operasional rendah tanpa kebutuhan aerasi, serta pencegahan emisi metana liar melalui sistem pengumpulan gas (Nabilah dkk., 2022).



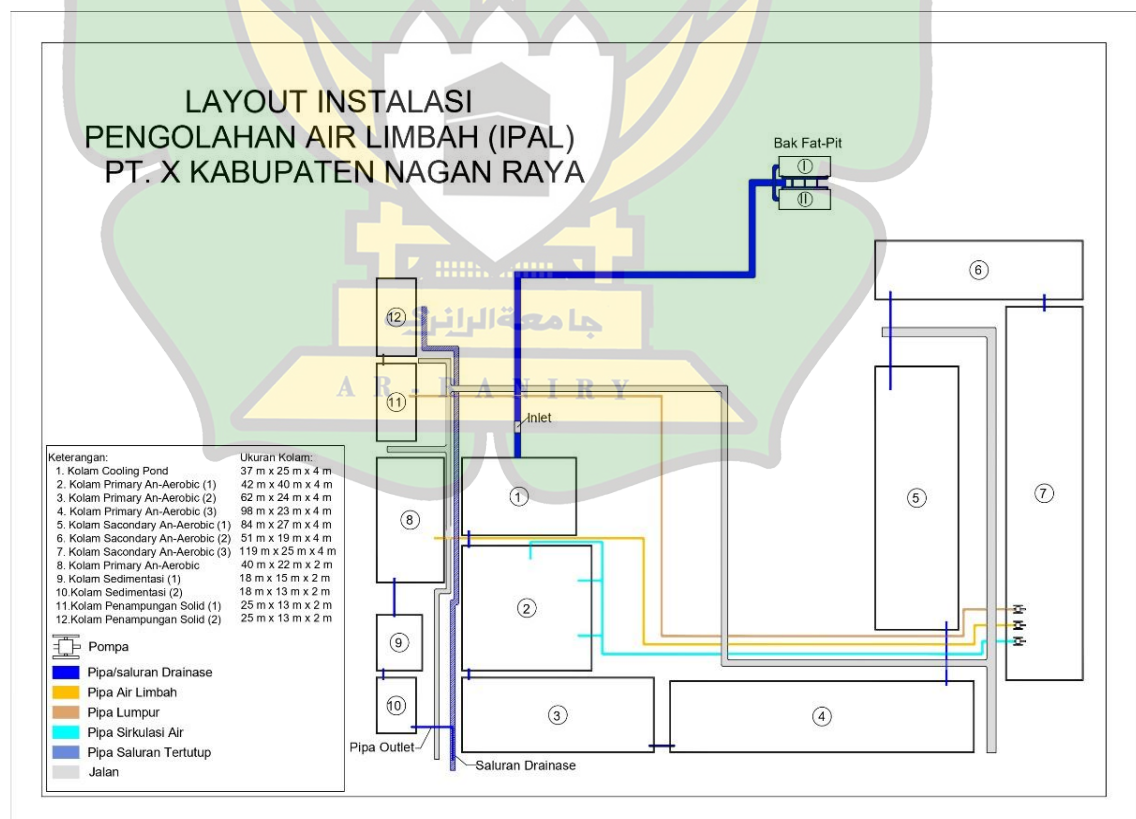
Gambar 2.5 Kolam Anaerobik sekunder (*Secondary anaerobic*)

2.4.5 Kolam Sedimentasi 1-2 (*Sedimentation Pond*)

Kolam pengendapan berperan sebagai unit separasi fase cair dan solid yang menerima aliran lumpur secara kontinu dari unit anaerobik sekunder. dengan rancangan *High Retention Time* (HRT) selama empat hari, kolam ini ditujukan untuk memisahkan padatan tersuspensi secara optimal. Namun, jika efisiensi penyisihan belum memenuhi standar yang ditetapkan, proses sedimentasi dapat dilanjutkan ke kolam sedimentasi ke 2 guna memastikan kualitas efluen akhir yang lebih stabil (Rahardjo, 2006).



Gambar 2.6 Kolam Sedimentasi



Gambar 2.7 Layout Instalasi pengolahan air limbah (IPAL) PT. X Kabupaten Nagan Raya
(Dokumen PKS)

2.5 Evaluasi Aspek Teknis

Evaluasi aspek teknis pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kelapa Sawit (PKS) merupakan penilaian kriteria desain idealnya. kemudian dibandingkan dengan pedoman teknis yang berlaku, untuk mengevaluasi kesesuaian desain IPAL. kesesuaiannya dinilai berdasarkan kondisi desain setiap unit pengolahan, seperti *Hydraulic Retention Time* (HRT), debit air limbah, kedalaman kolam, volume kolam, rasio panjang dan lebar. dan efektivitas unit-unit pengolahan, seperti bak *Fat pit*, kolam pendingin (*cooling pond*), kolam anaerobik primer (*primary anerobic*), kolam anaerobik sekunder (*secondary anaerobic*), dan kolam sedimentasi. dalam menurunkan kadar pencemar yaitu BOD, COD, TSS, pH, serta minyak dan lemak, dan hasil kualitas air limbah sesuai dengan baku mutu yang diterapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Lampiran III Tahun 2014 (Nabilah dkk., 2022).

Efisiensi pengolahan IPAL yang baik umumnya tercermin dalam pencapaian efisiensi di atas 90% untuk parameter BOD, COD, TSS,pH, Minyak dan Lemak. serta kesesuaian desain unit-unit pengolahan. Sementara itu, ketidaksesuaian pada aspek teknis dapat muncul dalam bentuk desain yang tidak sesuai, komponen yang sulit dioperasikan atau sering mengalami kerusakan, serta ketidakseimbangan antara kapasitas dan beban, yang pada akhirnya dapat menurunkan kinerja IPAL secara keseluruhan (Simbolon dkk., 2020).

2.6 Konsep Efektivitas IPAL

Efektifitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) didefinisikan sebagai rasio sistem dalam mereduksi beban polutan sebelum *efluen* dilepaskan ke badan air penerima. efektifitas ini umumnya dievaluasi berdasarkan pengurangan berbagai parameter kualitas air, seperti *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), Nitrogen Total (S.bg.N), Minyak dan Lemak. parameter ini mencerminkan kemampuan IPAL dalam mengurangi beban pencemar, sehingga memastikan air limbah yang diolah memenuhi standar lingkungan yang ditetapkan (Firdaus dkk., 2018).

2.7 Penelitian Terdahulu

Sebagai landasan teoretis dan komparasi yang relevan, ringkasan sejumlah penelitian terdahulu yang menjadi rujukan dalam studi ini disajikan pada Tabel berikut:

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No.	Judul Jurnal	Peneliti	Jurnal	Parameter yang di uji	Hasil	Optimalisasi
1.	Evaluasi dan Perencanaan Awal untuk Meningkatkan Efektivitas IPAL Sistem Anaerobik PKS PT. Deli Muda Perkasa	Petrus Nugro Rahardjo	Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 18, No. 1, Januari 2017, 19-28	Parameter minyak/gres, Nitrogen Total, BOD dan COD	Efektivitas pengolahan anaerobik rendah untuk pengurangan minyak/grease dan nitrogen total, tetapi sangat baik untuk BOD dan COD.	Pengurusan, modifikasi inlet-outlet, flowmeter, remining, rekonstruksi IPAL, dan pengerukan lumpur periodik untuk cegah pencemaran.
2.	Pengaruh Limbah Cair Kelapa Sawit Terhadap Kesehatan Lingkungan Di Pincasi Raya Group	Suci Sintia Dewi, Dan Asmeri Lamona	Jurnal Kesehatan Lentera Aisyiyah Vol. 8 No. 1, Juni 2025	Analisis pengaruh limbah cair kelapa sawit terhadap Kesehatan	Hasil analisis limbah menunjukkan BOD 2,89 mg/L, COD 24 mg/L, TSS 44,6 mg/L, dan pH 7,02, sesuai baku mutu. Dampaknya mencakup pencemaran air dan	Penelitian menekankan pengolahan limbah cair kelapa sawit secara terpadu dan berkelanjutan guna melindungi lingkungan dan kesehatan masyarakat.

				lingkungan pabrik menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif, meliputi analisis laboratorium sampel air dan tanah, observasi kondisi lingkungan, serta wawancara masyarakat setempat.	tanah, gangguan ekosistem, serta risiko kesehatan masyarakat seperti iritasi kulit, gangguan pernapasan, dan penyakit pencernaan.	
3.	Studi Banding Teknologi Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit	Pertus Nugro Rahardjo	Jurnal Peneliti di Pusat Teknologi Lingkungan Badan	Parameter digunakan untuk membandingkan WWTP tiga pabrik CPOF (PT. Kertajaya, PTP	PKS PTP Nusantara IV (Bah Jambi) dan VIII (Kabupaten Lebak) mengolah limbah cair melalui kolam luas, membutuhkan minimal 5	Penerapan reaktor anaerobik termofilik meningkatkan efisiensi penguraian bakteri, dengan suhu 40–50°C yang memerlukan desain

			Pengkajian dan Penerapan Teknologi	Nusantara IV Bah Jambi, PT. Smart Tbk) dengan RANUT dari Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan.	Ha untuk lahan perkebunansawit ≥ 30.000 Ha.	teknis baik untuk mencegah kehilangan panas.
4.	Biogasdari POME: Pengaruh Lingkungan Terhadap ProduksiEnergi Terbarukan di Industri Kelapa Sawit	Said Zul Amriani, Muhammad Aidila, Samuel Pati Sendab, Yunico Harefa, Syamsu Hermana	Chemical Engineering, Uni. Riau, Pekanbaru; BRIN, Puspitek Serpong; PTPN IV Palimo, Sei Pagar, Indonesia.	Pengujian suhu sampel (pH meter) per suhu lingkungan untuk analisis pengaruhnya terhadap laju alir gas biogas dan kandungan metana.	Temperatur lingkungan reaktor lebih rendah dari reaktor (Lingkungan < T reaktor), sehingga tidak memengaruhi laju alir gas biogas atau pembentukan metana (CH ₄), karena dikontrol oleh umpan masuk.	
5.	Analisis Pengolahan Air	Ronal HT. Simbolon,	Jurnal Program	Menganalisis penyebab limbah	LCPKS tinggi: separator 3 t/jam, pendangkalan 5	Optimalkan pemeliharaan air limbah

	Limbah Pabrik kelapa sawit PT. Hutabayu Marsanda. Kecamatan Hutabayu Raja, Kabupaten Simalungun	Rumilah Harahap, Radiansyah Simbolon	Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara	cair PMKS tinggi, TSS LCPKS, pendangkalan kolam, dan dampaknya.	m (76,28% kolam); sesuai Permen LH 5/2014.	dengan jadwal rutin per kolam dan pemeriksaan berkala kualitas sungai penerima.
6.	Pengaruh Waktu Retensi Hidraulik dan Waktu Retensi Padatan POME terhadap Efisiensi Penghilangan COD	M. S. Islam, R. Baini, S. J. Tanjong, M. A. M. Said, dan E. J. Joy	<i>urnal Internasional Teknik Otomotif dan Mesin (IJAME)</i>, Vol. 15, Edisi 2, hlm. 5347-5355, Juni 2018	Waktu Retensi Hidraulik (<i>Hydraulic Retention Time</i> / HRT) dan Waktu Retensi Padatan/Lumpur (<i>Solid Retention Time</i> / SRT) terhadap efluen COD pada POME.	Reaktor anaerobik mampu mengurangi COD POME. Tingkat penghilangan COD mencapai 40,4% pada HRT 12 hari dan 34,1% pada SRT 20 hari	Penggunaan HRT optimal selama 12 hari dan SRT optimal selama 20 hari, serta disarankan penelitian lanjutan mengenai pengaruh pH, OLR, kecepatan aliran naik, suhu, dan rasio C/N.

7.	Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (Studi Kasus pada PT. Tri Bakti Sarimas PKS 2 Ibul, Riau)	Melisa & Mulono Apriyanto	<i>Jurnal Teknologi Pertanian</i> , Vol. 9, No. 2, 2020, Hal. 81-89	Tahapan sistem kolam IPAL, COD, dan BOD	Air limbah diproses melalui 10 kolam bertahap. Hasil <i>outlet</i> mencatat COD 319 mg/L dan BOD 43 mg/L, aman dan sesuai baku mutu Permen LH No. 05/2014.	Pengawasan dan pemeliharaan retensi aliran air secara teratur pada tiap tahap 10 kolam (<i>cooling, anaerob, fakultatif, aerob, sedimentasi</i>).
8.	Pengaruh Temperatur Terhadap COD, BOD dan VFA pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dalam Bioreaktor Anaerobik	Yulius Sitama Lewar, Herawati, & Abdul Kahar	<i>Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Lingkungan (JRBAL)</i> , Vol. 4, No. 2, 2020, Hal. 59-67	Temperatur (<i>Ambient</i> , 35°C, 45°C), COD, BOD, dan VFA	Temperatur berpengaruh signifikan terhadap degradasi limbah. Penurunan terbaik terjadi pada 35°C dengan <i>removal rate</i> BOD 86,35% dan COD 86,11%	Pengontrolan temperatur bioreaktor anaerobik pada kondisi mesofilik (35°C) untuk memaksimalkan efisiensi penurunan kadar BOD dan COD.

9.	Pendekatan Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif serta Tahapan Penelitian	Muhajirin, Risnita, & Asrulla	<i>Jurnal Pendidikan Tambusai</i> , Vol. 8, No. 1, 2024, Hal. 13175-13183	Metodologi penelitian, paradigma (positivisme, konstruktivisme, pragmatik), dan tahapan analisis data	Menjelaskan secara detail tahapan penelitian kuantitatif, kualitatif, serta <i>mixed methods</i> . Penggabungan metode dapat memperkuat keshahihan data.	Penerapan kombinasi metode (<i>mixed methods</i>) untuk memperoleh data kuantitatif yang objektif sekaligus pemahaman mendalam secara kualitatif
10.	Analisa Pengolahan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit PT. Hutabayu Marsada Kecamatan Hutabayu Raja Kabupaten Simalungun	Ronal HT. Simbolon, Rumilla Harahap, & Radiansyah Simbolon	<i>Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil (JMTS)</i> , Vol. 1, No. 1, 2021	Debit limbah, TSS (Total Suspended Solid), volume/kapasitas kolam, baku mutu Inlet & Outlet	Outlet memenuhi Permen LH No. 05/2014. Rata-rata TSS 16.046,25 mg/L memicu pendangkalan kolam 5 m/tahun dan mereduksi volume kolam dari 5.273 m ³ menjadi 1.054 m ³ .	Pengerukan lumpur secara berkala pada kolam pendinginan (<i>cooling pond</i>) untuk menjaga kapasitas tampung dan menurunkan konsumsi air <i>separator</i> .

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah kuantitatif, yang diimplementasikan melalui metode deskriptif-analitis guna memberikan gambaran serta analisis data secara komprehensif. data penelitian kuantitatif yang dikumpulkan melalui kegiatan lapangan pada dasarnya masih berupa data mentah (raw data) (Muhajirin dkk., 2024). pendekatan kuantitatif sangat ideal ketika variabel-variabel yang diteliti dapat diukur secara jelas dan instrumen pengukurannya dapat dikembangkan dengan baik. variabel tersebut umumnya berupa data yang dikumpulkan melalui survei, eksperimen, atau instrumen. data kuantitatif diperoleh melalui pengujian hipotesis yang dideduksi dari landasan teoretis, untuk kemudian diverifikasi secara objektif berdasarkan data empiris. data tersebut dikumpulkan secara sistematis melalui prosedur pengambilan sampel limbah cair pada titik lokasi yang telah ditentukan, dari setiap unit-unit pengolahan di PKS PT. X diikuti dengan pengujian sampel di laboratorium, dengan parameter meliputi pH, COD, BOD, TSS, Nitrogen Total (Sbg.N) Minyak, dan Lemak (Unsrat, 2020).

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif-analitis. dari segi deskriptif, penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan kondisi eksisting instalasi pengolahan air limbah (IPAL), yang mencakup *Hydraulic Retention Time* (HRT), debit air limbah, kedalaman kolam, volume kolam, rasio panjang dan lebar. serta kualitas limbah pada setiap tahap pengolahan. sementara itu, secara analitis, penelitian ini melibatkan pengolahan lebih lanjut terhadap data yang diperoleh, seperti perhitungan efisiensi penurunan polutan air limbah, perbandingan kualitas efluen dengan baku mutu lingkungan yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 5 Lampiran III Tahun 2014, serta penilaian kesesuaian desain IPAL terhadap pedoman teknis, pendekatan yang memadukan metode deskriptif dan analitis ini sangat selaras dengan tujuan penelitian, sebab ia tidak sekadar menguraikan kondisi yang ada, melainkan juga menyediakan evaluasi mendalam terhadap performa serta kesesuaian operasional

instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di pabrik kelapa sawit (PKS).

3.1.1 Data Primer

Data primer merupakan sumber informasi utama yang dikumpulkan secara langsung oleh peneliti selama proses penelitian berlangsung (Muhajirin dkk., 2024). Dalam penelitian ini, data primer terdiri atas dua kelompok data. Pertama, data hasil pengujian laboratorium terhadap sampel air limbah, yang meliputi parameter COD, BOD, TSS, nitrogen total, pH, serta kadar minyak dan lemak. Kedua, data kriteria desain IPAL yang diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan, meliputi dimensi unit pengolahan (panjang, lebar, dan kedalaman), debit air limbah, *Hydraulic Retention Time* (HRT), serta volume kolam.

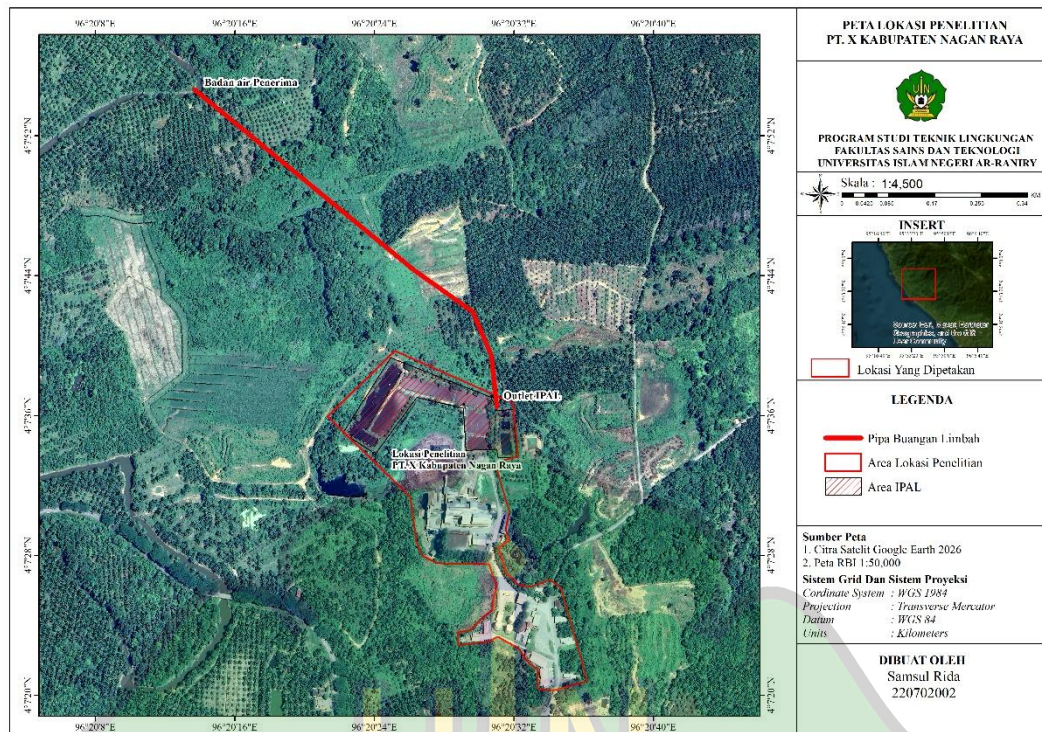
3.1.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan sumber data penelitian yang diperoleh secara tidak langsung melalui berbagai media, serta tidak dikumpulkan sendiri oleh peneliti, melainkan bersumber dari materi yang telah tersedia sebelumnya (Muhajirin dkk., 2024). Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi dokumen PKS PT. X terkait alur proses dan sistem pengolahan IPAL, jurnal yang membahas karakteristik air limbah PKS beserta dampaknya terhadap lingkungan, artikel terkait pengolahan air limbah secara biologis, serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.2.1 Lokasi Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT. X, sebuah Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang berlokasi di Kabupaten Nagan Raya, Provinsi Aceh. Fokus utama kegiatan operasional perusahaan ini adalah pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) menjadi *Crude Palm Oil* (CPO), dengan kapasitas pengolahan mencapai 30 ton TBS/jam dan output produksi hingga 6 ton CPO /jam. Operasional produksi di pabrik ini berlangsung selama 20 jam setiap harinya. Peta lokasi penelitian secara rinci dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Peneliti

3.2.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dimulai dari bulan Oktober 2025, penyusunan proposal hingga bulan Januari 2026, tahap akhir penyelesaian tugas akhir ini. dapat dilihat pada **Tabel 3.2**

Tabel 3.1 *Time Line* Perencanaan Penyusunan Tugas Akhir

No	Kegiatan	Time Line Perencanaan Penyusunan Proposal Tugas Akhir											
		2025			2026								
		Oktober	November	Desember	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September
1	Pengajuan Judul Proposal Tugas Akhir												
2	Studi Literatur												
3	Penyusunan Proposal Tugas Akhir												
4	Revisi Proposal Tugas Akhir												
5	Seminar Proposal Tugas Akhir												
6	Revisi Hasil Seminar Proposal												
7	Pengurusan izin Penelitian												
8	Penelitian di Lapangan												
9	Pengumpulan Data												
10	Pengolahan dan penyusunan Data												
11	Penyusunan Tugas Akhir												
12	Sidang Tugas Akhir												
13	Revisi Hasil Sidang												
14	Yudisium												
15	Wisuda												

3.3 Tahapan Penelitian

3.3.1 Tahapan Persiapan

Tahapan persiapan dalam penelitian ini dilaksanakan secara sistematis melalui langkah-langkah sebagai berikut:

1. Melakukan identifikasi serta perumusan masalah penelitian secara mendalam guna menentukan batasan studi yang relevan

2. Menyelesaikan prosedur administratif dan koordinasi perizinan kepada instansi terkait guna menjamin legalitas pelaksanaan penelitian
3. Melaksanakan peninjauan lokasi penelitian untuk memperoleh gambaran awal mengenai kondisi riil di lapangan
4. Menyiapkan seluruh instrumen serta material penelitian guna memastikan kelancaran operasional pada saat pengambilan data

3.3.2 Tahap Pengambilan Sampel

Tabel 3.2 Matriks Pengambilan Sampel dan Parameter Uji Laboratorium

No.	Parameter	<i>Fat Pit</i>		<i>Cooling Pond</i>		<i>Primary Anaerobic (3)</i>		<i>Secondary Anaerobic (3)</i>		<i>Sedimentasi (2)</i>	
		I	O	I	O	I	O	I	O	I	O
1.	Minyak dan Lemak		✓		✓						✓
2.	COD		✓		✓		✓		✓		✓
3.	BOD		✓		✓		✓		✓		✓
4.	TSS		✓				✓		✓		✓
5.	Total Nitrogen		✓				✓		✓		✓

Untuk memperoleh data yang akurat mengenai kinerja IPAL, dilakukan pengambilan sampel pada titik – titik krusial seperti tertera pada tabel di atas. Proses pengambilan sampel memerlukan persiapan instrumen dan bahan yang diperlukan, sampel limbah cair diperoleh melalui metode *grab sample*, yang melibatkan pengambilan sesaat dalam waktu yang ditentukan sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.59:2008.

3.3.3 Tahap Uji Parameter

Sampel yang telah di ambil pada titik outlet tiap unit kolam pengolahan, dengan Total 5 sampel yang telah dikumpulkan, kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian air limbah, jumlah parameter keseluruhan yang di uji adalah 21 Parameter, yaitu *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Total Suspended Solids (TSS)*, Nitrogen Total (Sbg.N), pH, Minyak dan Lemak.

3.3.4 Tahap Pengolahan dan Analisis Data

3.3.4.1 Analisis Kualitas Air Limbah

Data yang diperoleh dari hasil uji sampel di laboratorium kemudian, akan dianalisis secara mendalam. analisis ini bertujuan untuk membandingkan hasil uji laboratorium dengan baku mutu air limbah industri Pabrik Kelapa Sawit (PKS), sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014. tujuan utamanya adalah untuk menentukan apakah air limbah yang dihasilkan oleh Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PKS telah memenuhi Standar Baku Mutu yang ditetapkan. Selain itu, analisis ini juga untuk menilai efektivitas dan optimalitas masing-masing unit pengolahan, dalam menurunkan kadar polutan limbah cair. Selanjutnya, dilakukan pengujian efisiensi IPAL PKS secara keseluruhan untuk mengukur tingkat efisiensi penyisihan polutan selama proses penguraian limbah cair, dengan perhitungan sebagai berikut:

Rumus umum efisiensi pengolahan:

$$\eta = \frac{C_{\text{sebelum}} - C_{\text{sesudah}}}{C_{\text{sebelum}}} \times 100\%$$

Keterangan:

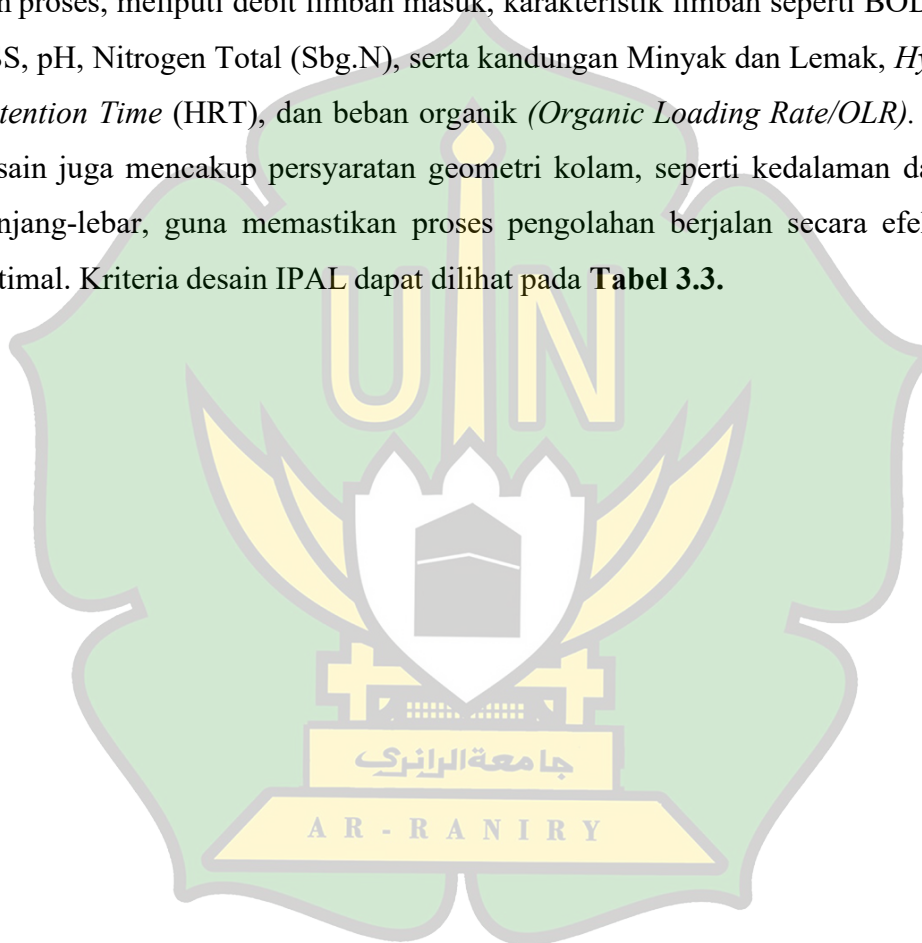
η = efisiensi penyisihan

C_{sebelum} = Konsentrasi sebelum pengolahan

C_{sesudah} = Konsentrasi sesudah pengolahan

3.3.4.2 Kriteria Desain Unit Pengolahan Air Limbah

Data hasil pengukuran di lapangan akan dibandingkan dengan standar desain atau pedoman teknis sebagai acuan dalam menilai serta mengevaluasi kesesuaian dimensi, kapasitas, dan kinerja masing-masing unit instalasi pengolahan air limbah (IPAL). penetapan kriteria tersebut didasarkan pada parameter hidrolis dan proses, meliputi debit limbah masuk, karakteristik limbah seperti BOD, COD, TSS, pH, Nitrogen Total (Sbg.N), serta kandungan Minyak dan Lemak, *Hydraulic Retention Time* (HRT), dan beban organik (*Organic Loading Rate/OLR*). Standar desain juga mencakup persyaratan geometri kolam, seperti kedalaman dan rasio panjang-lebar, guna memastikan proses pengolahan berjalan secara efektif dan optimal. Kriteria desain IPAL dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.



Tabel 3.3 Acuan Parameter Kriteria Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

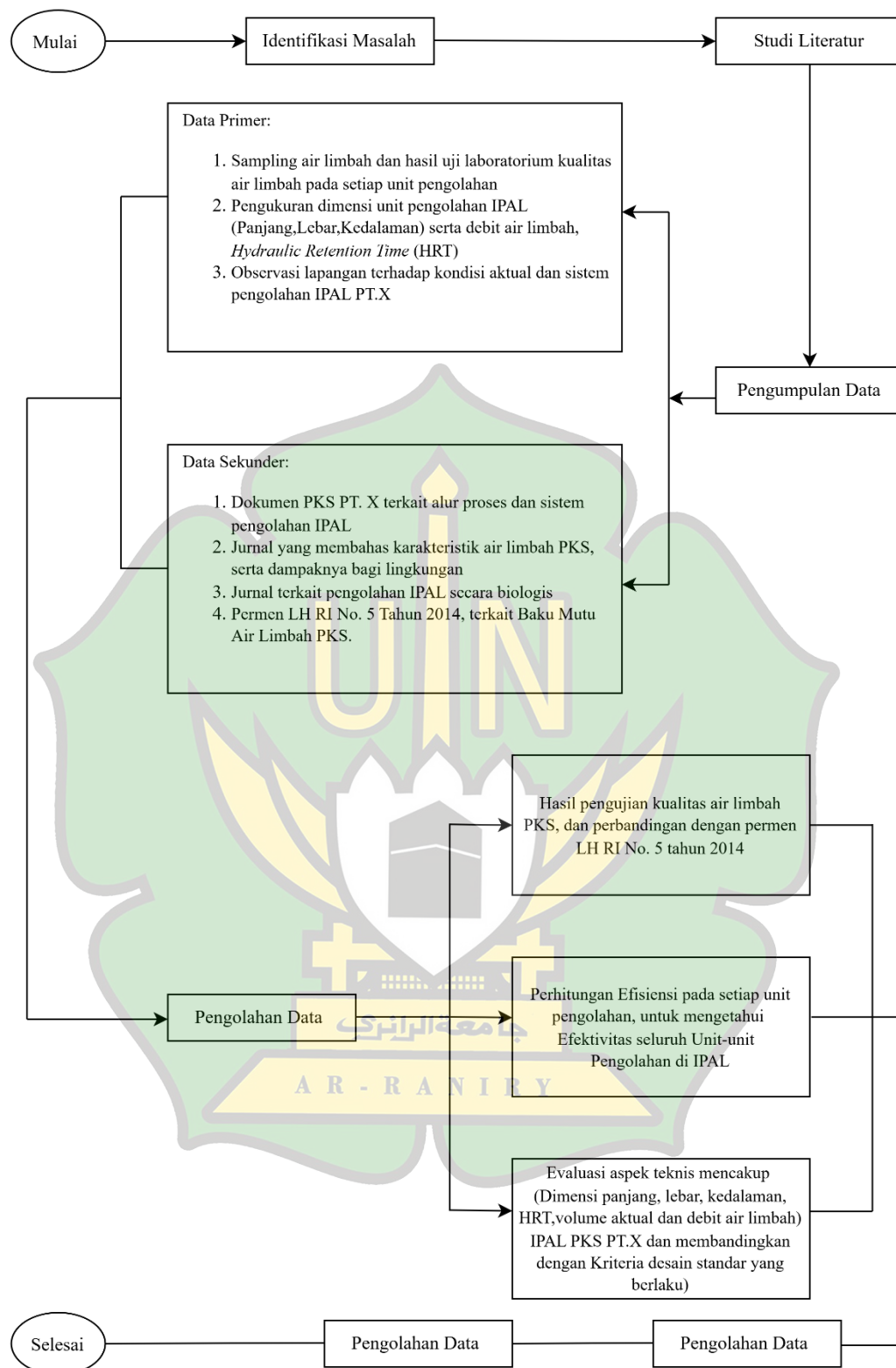
No.	Unit Pengolahan	Parameter Kriteria Desain	Nilai Standar Acuan	Sumber Referensi
1.	<i>Fat Pit</i>	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (D) • Rasio Panjang dan Lebar (P : L)	• 2 – 6 Jam • 2– 3,5 m • 1,5 : 1 – 3 : 1 m	Sperling M. (2007). (Jepang & Indonesia, 2013) dan (Metcalf dkk., 2014)
2.	<i>Cooling Pond</i>	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Suhu Akhir efluen • Kedalaman Efektif (D) • Rasio Panjang dan Lebar (P : L)	• 1 –3 Hari • 35°C – 38°C • 2,5 –3,5 m • 1,5 : 1 – 2 : 1 m	Mohammad dkk., (2021). Kao, dkk., (2021). & Sperling. M (2007).
3.	Anaerobik Primer	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (D) • Rasio Panjang dan Lebar (P : L) • <i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	• 30 –40 Hari • 4 – 5 m • 1,5 : 1 – 2,5: 1 m • 0,1 – 0,4 kg BOD/m³/hari	Jusoh dkk. (2023), Sperling M. (2007), dan PT. X Kabupaten Nagan Raya, (2026)
4.	Anaerobik Sekunder	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (D) • Rasio Panjang dan Lebar (P : L) • <i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	• 20 –30 Hari • 3,5 – 4,5 m • 1,5 : 1 – 2,5:1 m • 0,1 – 0,4 kg BOD m³/hari	Islam dkk., (2018), Sperling M. (2007), dan PT. X Kabupaten Nagan Raya, (2026)

5.	Sedimentasi	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (D) • Rasio Panjang dan Lebar (P : L)	• 1 – 3 Hari • 3 – 4 Meter • 1,5 : 1 – 3 : 1 m	Sperling M. (2007) <i>Biological Wastewater Treatment Series Vol. 3</i>
----	-------------	---	--	---

Tabel 3.4 Pendekatan Penyelesaian Rumusan Masalah

No.	Rumusan Masalah	Data dan Parameter Penelitian	Teknik Pengumpulan Data	Metode Analisis Data	Hasil Analisis yang diperoleh
1.	Bagaimana kualitas air limbah sebelum (inlet) dan sesudah proses pengolahan (<i>outlet</i>) di IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya, serta tingkat pemenuhannya terhadap baku mutu air limbah?	Parameter kualitas air limbah pada inlet dan <i>outlet</i> IPAL meliputi BOD, COD, TSS, pH, minyak dan lemak, serta parameter pendukung lainnya	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Analisis deskriptif kuantitatif dan perbandingan dengan Baku Mutu PERMEN LH NO.5 LAMPIRAN III TAHUN 2014	Tingkat kesesuaian kualitas air limbah dengan Baku Mutu

2.	Bagaimana efektivitas pengolahan unit-unit IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya dalam menurunkan beban pencemar air limbah?	Konsentrasi parameter pencemar pada air limbah sebelum dan sesudah pengolahan	Pengambilan sampel dan pengujian laboratorium	Analisis kuantitatif melalui perhitungan Efisiensi	Nilai efisiensi pengolahan air limbah
3.	Bagaimana hasil evaluasi aspek teknis pengolahan air limbah di IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya?	Data teknis IPAL meliputi debit air limbah, dimensi Panjang dan Lebar unit pengolahan, Kedalaman kolam, dan waktu detensi hidrolis (HRT)	Observasi lapangan dan studi dokumentasi	Analisis deskriptif dan evaluasi kesesuaian desain, perbandingannya dengan kriteria desain yang berlaku	Tingkat kesesuaian aspek teknis IPAL
4.	Bagaimana rekomendasi yang dapat diberikan untuk memperbaiki kinerja IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya agar memenuhi Baku Mutu air Limbah yang dipersyaratkan?	Faktor penyebab ketidaksesuaian kinerja teknis (pendangkalan lumpur, disfungsi pendinginan, <i>oil carry-over</i> , dan ketiadaan unit penyisihan nitrogen) serta kriteria desain acuan.	Sintesis hasil analisis kualitas air limbah, efisiensi unit, evaluasi teknis, dan studi literatur perbaikan sistem pengolahan POME.	Analisis deskriptif-evaluatif untuk merumuskan langkah mitigasi, perbaikan operasional, dan usulan unit pengolahan lanjutan	Rekomendasi teknis-konseptual perbaikan operasional, program <i>deshudging</i> , penambahan unit pengolahan lanjutan guna memenuhi baku mutu.



Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian

BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kualitas Air Limbah

4.1.1 Karakteristik Limbah Cair Pada Unit Pengolahan

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Jurusan Kimia Universitas Syiah Kuala, Darussalam, serta Laboratorium Baristand, Lamteumen, Banda Aceh, diperoleh data karakteristik kualitas air limbah pada setiap kolam pengolahan IPAL PT. X Kabupaten Nagan Raya. data ini merupakan gabungan hasil analisis sampel dari dua tempat pengujian yang berbeda untuk memastikan validitas parameter kualitas air limbah mulai dari outlet *fat pit* hingga outlet kolam Sedimentasi, sebagaimana disajikan dalam **Tabel**

4.1.



Tabel 4.1 Hasil uji laboratorium kualitas air limbah pada unit pengolahan IPAL PT. X Kabupaten Nagan Raya

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisis					Metode Analisis
			Outlet <i>Fat Pit</i>	Outlet <i>Cooling Pond</i>	Outlet Anaerobik Primer	Outlet Anaerobik Sekunder	Outlet Sedimentasi	
1.	BOD	mg/L	4500	6000	400	520	430	Winkler
2.	COD	mg/L	17000	22000	11000	1500	1800	COD _{Mn}
3.	TSS	mg/L	13,9	-	2,00	0,70	0,3850	Gravimetri
4.	Minyak dan Lemak	mg/L	4,700	6,905	-	-	1,250	Ekstraksi
5.	Nitrogen Total (Sbg.N)	mg/L	849,654	-	266,989	209,372	209,394	Proksimat
6.	pH	-	5,0	5,0	8,0	9,0	8,0	Kalorimetri
7.	Suhu	°C	90-95	62	-	-	-	Termometer

Sumber: (Laporan Hasil Uji Laboratorium Instrumentasi dan Penelitian FMIPA USK serta Laboratorium Baristand Banda Aceh)

Keterangan:

Tanda Strep (-) = Tidak di uji Parameternya

4.1.2 Perbandingan Hasil Uji Kualitas Air Limbah dengan PERMEN LH No 5 Tahun 2014

Guna mengevaluasi tingkat keberhasilan sistem-IPAL dalam mereduksi polutan, dilakukan komparasi antara data hasil pengukuran lapangan dengan standar dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Minyak Sawit. Analisis perbandingan ini difokuskan pada parameter kunci seperti BOD, COD, TSS, Nitrogen Total, pH, serta Minyak dan Lemak, untuk memastikan bahwa kualitas *effluent* akhir telah memenuhi kriteria

aman sesuai lampiran regulasi tersebut. Hasil perbandingan antara data kualitas air limbah aktual unit pengolahan, dengan Ambang Batas Baku Mutu Nasional disajikan secara mendetail pada **Tabel 4.2**

Tabel 4.2 Perbandingan data kualitas air limbah aktual dengan Permen LH No 5 Tahun 2014

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisis (Outlet IPAL)	Baku Mutu (PERMEN LH No.5 Tahun 2014)	Keterangan
1.	BOD	mg/L	430	100	Tidak Memenuhi
2.	COD	mg/L	1800	350	Tidak Memenuhi
3.	TSS	mg/L	0,3850	250	Memenuhi
4.	Minyak dan Lemak	mg/L	1,250	25	Tidak Memenuhi
5.	Nitrogen Total (Sbg.N)	mg/L	209,394	50	Tidak Memenuhi
6.	pH	-	8,0	6,0 – 9,0	Memenuhi

Berdasarkan hasil perbandingan kualitas efluen pada outlet sedimentasi terhadap Baku Mutu Permen LH No. 5 Tahun 2014, dapat disimpulkan bahwa unit pengolahan tersebut belum mampu menyisihkan polutan secara optimal karena mayoritas parameter kunci seperti BOD, COD, minyak dan lemak, serta nitrogen total masih melampaui ambang batas yang ditetapkan. Meskipun parameter pH dan TSS telah memenuhi kriteria lingkungan, tingginya konsentrasi beban organik dan nutrisi yang tersisa menunjukkan perlunya evaluasi teknis atau penambahan tahapan pengolahan lanjutan guna memastikan air limbah aman dan layak sebelum dilepaskan ke badan air penerima.

4.2 Efektivitas Unit Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Efektivitas pengolahan air limbah dianalisis guna mengukur kinerja masing-masing unit pengolahan dalam mereduksi konsentrasi parameter pencemar. efektivitas tersebut diperoleh melalui perbandingan konsentrasi polutan pada bagian influent dan effluent di setiap unit pengolahan, sehingga dapat menggambarkan secara objektif sejauh mana beban pencemar berhasil didegradasi oleh unit yang bersangkutan. Hasil perhitungan efisiensi penyisihan pada seluruh unit pengolahan disajikan secara rinci pada **Tabel 4.3**. Selanjutnya, **Tabel 4.4** menyajikan hasil penyisihan berdasarkan perbandingan nilai inlet dan outlet secara keseluruhan, guna memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kinerja sistem pengolahan secara umum.

جامعة الرانري

A R - R A N I R Y

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan efisiensi pada setiap titik pengambilan sampel

Titik Pengambilan Sampel	Parameter	Nilai Inlet	Nilai Outlet	Selisih	Efisiensi (%)	Keterangan
Inlet <i>Cooling Pond</i> dan Outlet <i>Cooling Pond</i>	• BOD (mg/L) • COD (mg/L) • Minyak dan Lemak (mg/L) • Suhu (°C)	• 4,500 • 17,000 • 4,700 • 95	• 6000 • 22000 • 6,905 • 62	• - 1500 • - 5000 • - 2,205 • 33	• - 33,33 • - 29,41 • - 46,91 • 34,74	• Peningkatan konsentrasi • Peningkatan konsentrasi • Peningkatan konsentrasi • Penurunan konsentrasi
Outlet <i>Cooling Pond</i> dan Outlet Anaerobik Primer	• BOD (mg/L) • COD (mg/L)	• 6000 • 22000	• 400 • 11000	• 5600 • 11000	• 93,33 • 50	• Penurunan konsentrasi • Penurunan konsentrasi
Outlet Anaerobik Primer dan Outlet Anaerobik Sekunder	• BOD (mg/L) • COD (mg/L) • Nitrogen Total (mg/L) • TSS (mg/L)	• 400 • 11000 • 266,989 • 2,00	• 520 • 1500 • 209,372 • 0,70	• -120 • 9500 • 57,617 • 1,3	• -30 • 86,36 • 21,38 • 65	• Peningkatan konsentrasi • Penurunan konsentrasi • Penurunan konsentrasi • Penurunan konsentrasi
Outlet Anaerobik Sekunder dan Outlet Sedimentasi	• BOD (mg/L) • COD (mg/L) • Nitrogen Total (mg/L) • TSS (mg/L)	• 520 • 1500 • 209,372 • 0,70	• 430 • 1800 • 209,394 • 0,3850	• 90 • -3000 • -0,022 • 0,315	• 17,31 • -20 • -0,01 • 45	• Penurunan konsentrasi • Peningkatan konsentrasi • Peningkatan konsentrasi • Penurunan konsentrasi

Sumber: Data Hasil Perhitungan Peneliti (Data Primer) IPAL, 2026

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan efisiensi pada inlet dan outlet IPAL

Parameter	Nilai Inlet (mg/L)	Nilai Outlet (mg/L)	Efisiensi (%)
<i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD)	4500	430	90,44
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	17000	1800	89,41
Total Suspended Solids (TSS)	13,9	0,3850	97,23
Minyak dan Lemak	4,700	1,250	73,40
Nitrogen Total (Sbg.N)	849,654	209,394	75,36

Sumber: Data Hasil Perhitungan Peneliti (Data Primer) IPAL, 2026

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.6, dapat diketahui bahwa unit pengolahan air limbah mampu memberikan efisiensi penyisihan yang cukup tinggi terhadap seluruh parameter yang dianalisis, dengan nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada parameter TSS sebesar 97,23%, diikuti oleh BOD sebesar 90,44%, COD sebesar 89,41%, Nitrogen Total sebesar 75,36%, serta Minyak dan Lemak sebesar 73,40%, Namun demikian, apabila nilai outlet tersebut dibandingkan dengan baku mutu air limbah yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 bagi usaha dan/atau kegiatan industri minyak sawit. diketahui bahwa parameter TSS (0,3850 mg/L) dan Minyak dan Lemak (1,250 mg/L) telah memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan (250 mg/L dan 25 mg/L), sedangkan parameter BOD (430 mg/L), COD (1800 mg/L), dan Nitrogen Total (209,394 mg/L) masih melampaui baku mutu yang ditetapkan (100 mg/L, 350 mg/L, dan 50 mg/L), sehingga meskipun efisiensi penyisihannya tergolong tinggi, beban pencemar awal yang sangat besar menyebabkan konsentrasi effluent pada ketiga parameter tersebut belum sepenuhnya memenuhi ketentuan baku mutu yang berlaku.

4.2.1 Efisiensi Penyisihan Air Limbah Kolam Pendingin

Kinerja *cooling pond* pada Tabel 4.5 tergolong belum optimal. Suhu memang turun dari 95°C menjadi 62°C, tetapi angka ini masih jauh di atas kisaran ideal bagi bakteri mesofilik (35–38°C), sehingga fungsi pendinginan belum tercapai. pH pun stagnan di angka 5 dari inlet sampai outlet, menandakan hampir tidak ada proses pengolahan yang berjalan di kolam ini. Yang lebih mengkhawatirkan, sejumlah parameter organik justru meningkat setelah melewati kolam: BOD naik dari 4.500 menjadi 6.000 mg/L (efisiensi –33,33%), COD naik dari 17.000 menjadi 22.000 mg/L (efisiensi –29,41%), dan minyak-lemak naik dari 4.700 menjadi 6.905 mg/L. Hanya nitrogen total yang turun signifikan, dari 849,654 menjadi 266,989 mg/L.

Kenaikan beban organik ini bersumber dari dua hal. pertama, unit *fat pit* di hulu tidak bekerja optimal memisahkan minyak, sehingga beban minyak-lemak yang masuk ke *cooling pond* lebih besar dari seharusnya. kedua, endapan lumpur setebal 2,42 m membuat kedalaman efektif kolam menyusut dari 4,0 m menjadi 1,58 m, akibatnya HRT anjlok dari 4 hari menjadi hanya 1 hari (Rahardjo, 2006), sehingga waktu pengolahan jauh dari cukup. kemudian, lapisan scum minyak yang tebal di permukaan menghalangi pelepasan panas secara alami, membuat suhu efluen tetap tinggi di 62°C dan berpotensi mengganggu kinerja unit biologis berikutnya.

4.2.2 Efisiensi Penyisihan Air Limbah Kolam Anaerobik Primer 3

Berbeda dengan *cooling pond*, unit anaerobik primer menunjukkan kinerja penyisihan yang jauh lebih baik. BOD turun drastis dari 6.000 menjadi 400 mg/L (efisiensi 93,33%) capaian tertinggi di seluruh rangkaian IPAL, sementara COD turun dari 22.000 menjadi 11.000 mg/L (efisiensi 50%) dan nitrogen total turun dari 266,989 menjadi 209,372 mg/L (efisiensi 21,58%). Hasil ini menandakan bakteri anaerobik, khususnya kelompok hidrolitik dan asidogenik, sudah bekerja aktif di unit ini.

Meski begitu, penyisihan COD dan nitrogen belum maksimal. Penyebabnya diduga suhu influen yang masih tinggi, yakni 62°C, jauh melampaui suhu optimal bakteri mesofilik (35–38°C) (Astuty dkk., 2025). Suhu ekstrem ini menekan aktivitas enzim mikroorganisme sehingga laju penguraian senyawa organik tidak

berjalan maksimal.

4.2.3 Efisiensi Penyisihan Air Limbah Kolam Anaerobik Sekunder 3

Kinerja unit ini bervariasi antar parameter. COD turun signifikan dari 11.000 menjadi 1.500 mg/L (efisiensi 86,36%) dan TSS turun dari 2,00 menjadi 0,70 mg/L (efisiensi 65%). Namun BOD justru naik dari 400 menjadi 520 mg/L (efisiensi -30%), diikuti kenaikan nitrogen total dari 209,372 menjadi 266,989 mg/L (efisiensi -21,58%).

Kenaikan BOD dan nitrogen ini diduga akibat desorpsi, lepasnya kembali senyawa organik dan nutrisi terlarut (Astuty dkk., 2025), dari lumpur biologis yang menumpuk tebal di dasar kolam, 1,71–2,32 m. Penumpukan lumpur ini mengurangi volume efektif kolam sehingga HRT anjlok menjadi hanya 1–5 hari, padahal seharusnya 30–40 hari. HRT yang jauh di bawah standar ini memicu *organic overloading* lokal yang mengacaukan keseimbangan mikroba, terutama bakteri metanogenik yang berperan di tahap akhir degradasi anaerobik, sehingga pengolahan biologis tidak optimal dan kualitas efluen menurun sebelum masuk ke unit berikutnya.

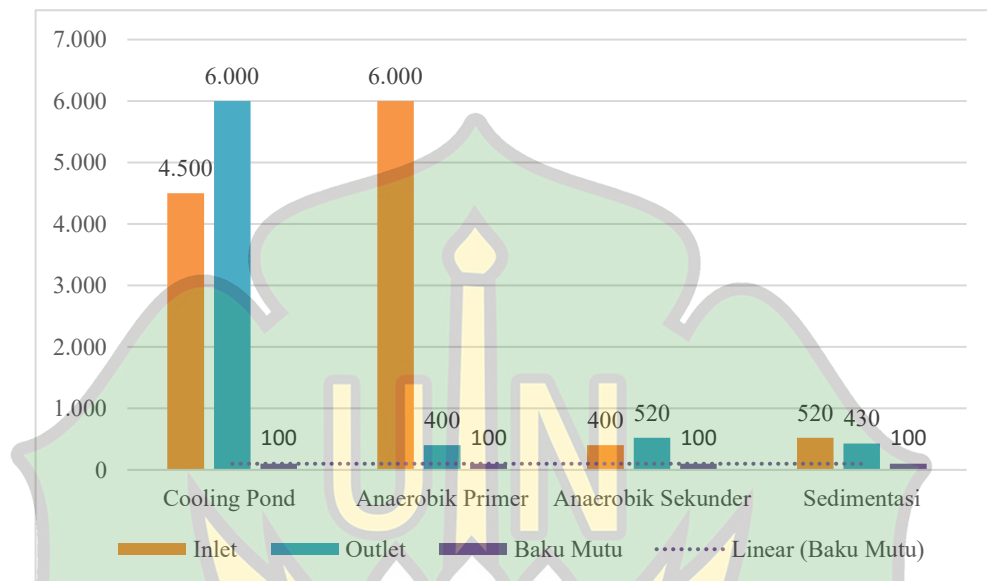
4.2.4 Efisiensi Penyisihan Air Limbah Kolam Sedimentasi 2

Kolam sedimentasi efektif untuk parameter padatan, tapi kurang untuk parameter organik dan nutrisi. TSS turun dari 0,70 menjadi 0,385 mg/L (efisiensi 45%) dan BOD turun dari 520 menjadi 430 mg/L (efisiensi 17,31%), menunjukkan proses pengendapan gravitasi berjalan efektif berkat permukaan kolam yang relatif tenang.

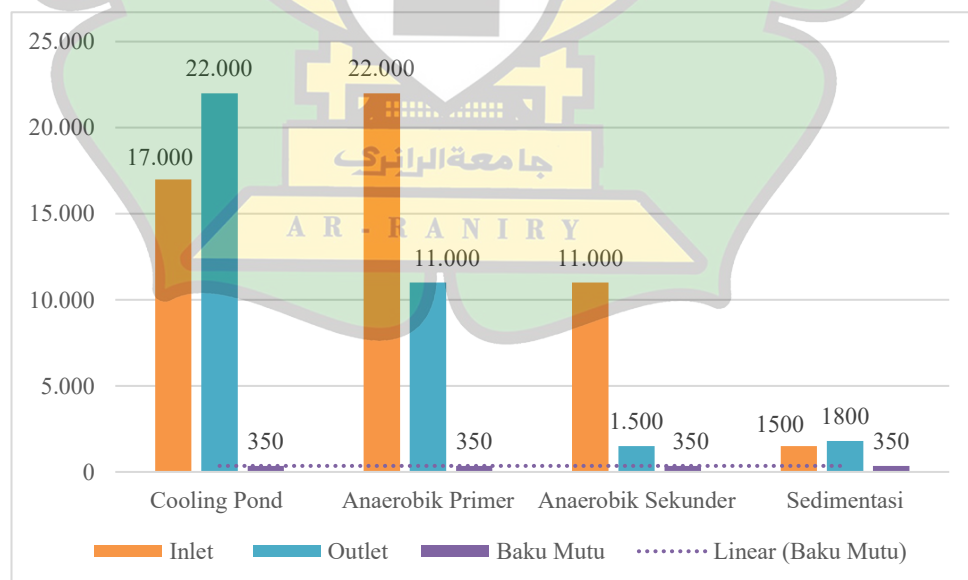
Sebaliknya, COD justru naik dari 1.500 menjadi 1.800 mg/L (efisiensi -20%), sementara nitrogen total nyaris tidak berubah, dari 209,372 menjadi 209,394 mg/L (efisiensi -0,01%). Kenaikan COD ini diduga berasal dari degradasi anaerobik yang tidak sempurna pada lumpur organik yang mengendap di dasar kolam (tebal 0,20–0,43 m), sehingga senyawa organik terlarut kembali lepas ke badan air. Sementara itu, tingginya nitrogen di efluen akhir disebabkan tidak adanya zona anoksik maupun aerobik dalam sistem, sehingga proses nitrifikasi-denitrifikasi tidak bisa berlangsung (Jusoh dkk., 2023) dan nitrogen tetap tinggi hingga tahap akhir

pengolahan.

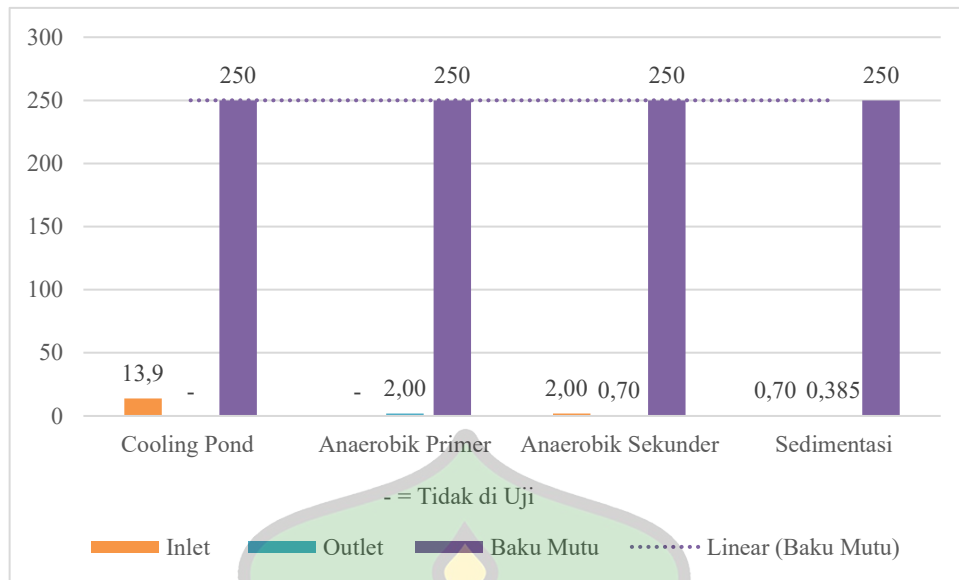
4.2.5 Grafik Efisiensi Penyisihan Parameter Air Limbah pada Seluruh Unit Pengolahan



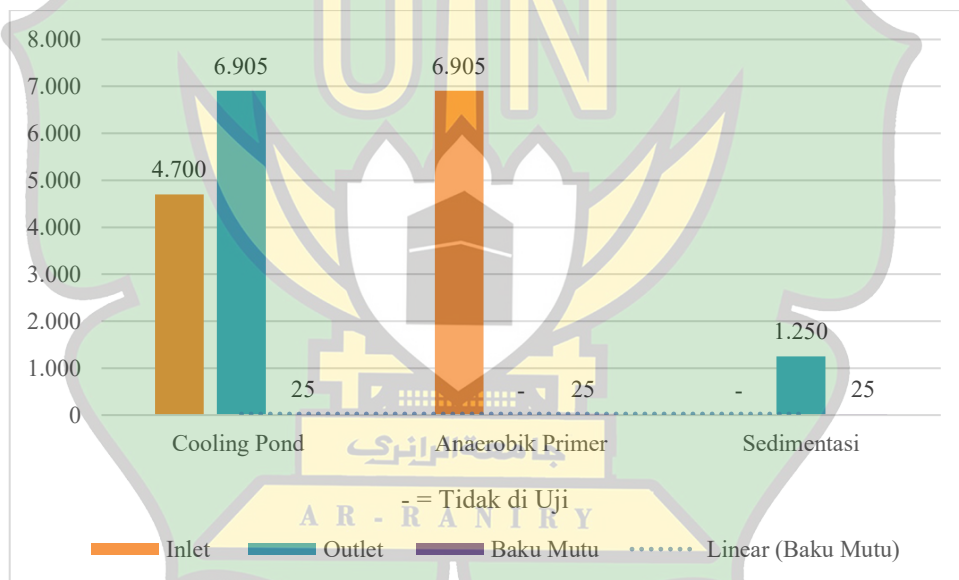
Gambar 4.1 Efisiensi Nilai Parameter BOD di Setiap Unit Pengolahan



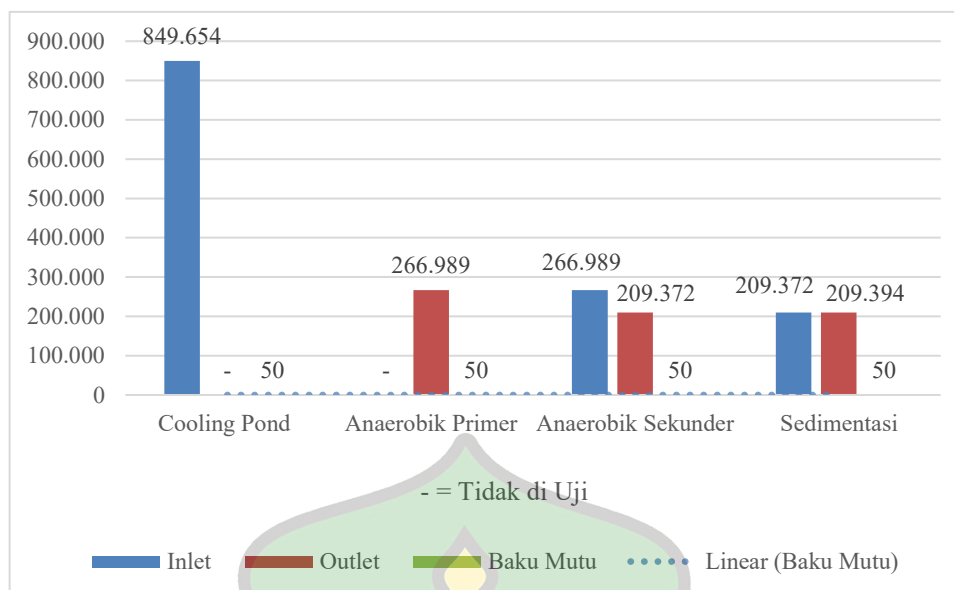
Gambar 4.2 Efisiensi Nilai Parameter COD di Setiap Unit Pengolahan



Gambar 4.3 Efisiensi Nilai Parameter TSS di Setiap Unit Pengolahan



Gambar 4.4 Efisiensi Nilai Parameter Minyak dan Lemak di Setiap Unit Pengolahan



Gambar 4.5 Efisiensi Nilai Parameter Nitrogen total di Setiap Unit Pengolahan

4.3 Evaluasi Aspek Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Evaluasi aspek teknis dilakukan dengan membandingkan kondisi eksisting hasil pengukuran lapangan terhadap kriteria desain standar yang berlaku. Parameter yang dievaluasi meliputi dimensi kolam (panjang, lebar, kedalaman), volume efektif, dan *Hydraulic Retention Time* (HRT).

4.3.1 Kondisi Eksisting Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan, IPAL PKS PT. X yang berlokasi di Kabupaten Nagan Raya terdiri atas 12 unit kolam pengolahan, meliputi 2 unit *fat pit*, 1 unit *cooling pond*, 3 unit anaerobik primer, 3 unit anaerobik sekunder, 1 unit anaerobik primer tambahan dan 2 unit kolam sedimentasi. guna memverifikasi kesesuaian antara data primer dan data sekunder, dilakukan pengukuran aktual terhadap beberapa parameter fisik kolam, mencakup ketinggian muka air, kedalaman aktual, estimasi ketebalan lumpur, volume efektif, serta *Hydraulic Retention Time* (HRT). Data dimensi dan HRT berdasarkan desain awal disajikan pada **Tabel 4.5**, sedangkan hasil pengukuran aktual di lapangan disajikan pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.5 Dimensi Kolam Pengolahan IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya

No.	Unit Pengolahan	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Volume (m ³)	HRT (Hari)
1.	Fat Pit 1	17	7	2	238	13 jam
2.	Fat pit 2	17	7	2	238	13 jam
2.	<i>Cooling Pond</i>	37	22	4	3.256	4
3.	Anaerobik Primer 1	42	40	4	6.720	9
4.	Anaerobik Primer 2	62	24	4	5.952	8
5.	Anaerobik Primer 3	98	23	4	9.016	12
6.	Anaerobik Sekunder 1	84	27	4	9.072	12
7.	Anaerobik Sekunder 2	51	19	4	3.876	5
8.	Anaerobik Sekunder 3	98	23	4	9.016	12
9.	Anaerobik Primer	40	22	2	1.760	2
10.	Sedimentasi 1	18	15	2	540	1
11.	Sedimentasi 2	18	13	2	468	1
Total Hari						67

Sumber: Data Sekunder PKS, 2026

Tabel 4.6 Dimensi Kolam Pengolahan Aktual IPAL PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya

No.	Unit Pengolahan	Ketinggian Air (m)	Kedalaman Aktual (m)	Dugaan Mengendap Lumpur (m)	Volume (m ³)	HRT (Hari)
1.	Fat Pit 1	1,75	2	-	208	12 jam
2.	Fat pit 2	1,75	2	-	208	12 jam

2.	<i>Cooling Pond</i>	1,13	1,58	2,42	920	1
3.	Anaerobik Primer 1	2,32	2,66	1,34	3.898	5
4.	Anaerobik Primer 2	2,15	2,50	1,50	3.199	4
5.	Anaerobik Primer 3	1,56	2,18	1,82	3.516	5
6.	Anaerobik Sekunder 1	1,33	2,01	1,99	3.016	4
7.	Anaerobik Sekunder 2	0,88	1,68	2,32	853	1
8.	Anaerobik Sekunder 3	1,40	2,29	1,71	3.156	4
9.	Anaerobik Primer	1,63	1,85	2,29	1.434	2
10.	Sedimentasi 1	1,22	1,57	0,15	329	10 jam
11.	Sedimentasi 2	0,88	1,80	0,20	206	7 jam
Total Hari						27

Sumber: Data Hasil Pengukuran Peneliti (Data Primer) IPAL, 2026



4.3.2 Evaluasi Kolam *Fat Pit*

Tabel berikut menyajikan hasil evaluasi aspek teknis kolam *fat pit*, yang diperoleh dengan membandingkan kondisi eksisting (pengukuran lapangan) terhadap kriteria desain standar yang berlaku. Perbandingan tersebut disajikan dalam **Tabel 4.6**.

Tabel 4.1 Perbandingan kolam *fat pit* kriteria desain aktual dengan standar kriteria desain yang berlaku

No.	Unit Pengolahan	Parameter Kriteria Desain	Nilai Standar Acuan	Data Aktual Lapangan	Kesimpulan Evaluasi
1.	<i>Fat Pit</i>	• Waktu Tinggal Hidrolis (<i>HRT</i>) • Kedalaman Efektif (<i>D</i>) • Rasio Panjang dan Lebar (<i>P: L</i>)	• 2 – 6 Jam * • 2– 3,5 m ** • 1,5 : 1 – 3 : 1***	• 12 Jam • 2 m • 2,43 : 1	• Sesuai • Sesuai • Sesuai

Sumber: Data Hasil Pengukuran Peneliti (Data Primer) IPAL, 2026

* = Sperling M. (2007)

** = Jepang & Indonesia (2013)

***= Metcalf & Eddy (2014).

Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel 4.6, unit *fat pit* secara keseluruhan telah memenuhi seluruh parameter kriteria desain yang ditetapkan. Parameter *Hydraulic Retention Time* (HRT) tercatat sebesar 12 jam, melampaui nilai standar acuan yang ditetapkan pada rentang 2–6 jam. Kondisi ini tidak mengindikasikan ketidaksesuaian, melainkan justru memberikan keuntungan operasional berupa waktu kontak yang lebih panjang antara air limbah dengan permukaan pemisah, sehingga proses separasi minyak dan lemak secara gravitasi dapat berlangsung lebih sempurna dibandingkan kondisi minimum standar.

Parameter kedalaman efektif (D) unit *fat pit* terukur sebesar 2 meter, yang berada pada batas bawah rentang standar acuan 2–3,5 meter, sehingga dinyatakan memenuhi kriteria desain. Sementara itu, rasio panjang terhadap lebar (P:L) sebesar 2,43:1 masih berada dalam rentang standar yang dipersyaratkan, yakni 1,5:1 hingga 3:1, sehingga turut dinyatakan memenuhi kriteria. meskipun seluruh parameter desain unit *fat pit* telah memenuhi standar acuan, kesesuaian dimensi teknis tersebut tidak serta-merta menjamin kinerja operasional yang optimal. hal ini dibuktikan dengan masih terdeteksinya kandungan minyak dan lemak pada aliran effluent yang masuk ke unit *cooling pond*. kondisi tersebut diduga disebabkan oleh faktor operasional seperti fluktuasi debit influent dan terbentuknya turbulensi aliran di dalam bak, yang menghambat proses pemisahan gravitasi secara sempurna, sehingga sebagian fraksi minyak dan lemak masih terbawa bersama aliran menuju unit pengolahan selanjutnya.

4.3.3 Evaluasi Kolam Pendingin (*Cooling Pond*)

Evaluasi teknis terhadap kolam *cooling pond* dilakukan dengan mengkaji kesesuaian antara kondisi eksisting di lapangan dan kriteria desain standar yang telah ditetapkan. Hasil perbandingan tersebut secara rinci disajikan dalam **Tabel 4.8**.

Tabel 4.2 Perbandingan kolam cooling pond kriteria desain aktual dengan standar kriteria desain yang berlaku

No.	Unit Pengolahan	Parameter Kriteria Desain	Nilai Standar Acuan	Data Aktual Lapangan	Kesimpulan Evaluasi
1.	Cooling Pond	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (<i>D</i>) • Rasio Panjang dan Lebar (<i>P: L</i>) • Suhu Akhir <i>effluen</i>	• 1 – 3 Jam * • 2,5 – 3,5 m * • 1,5 : 1 – 2 : 1 ** • 35 – 38°C ***	• 1 Hari • 1,13 m • 1,68 : 1 • 62°C	• Sesuai • Tidak Sesuai • Sesuai • Tidak Sesuai

Sumber: Data Hasil Pengukuran Peneliti (Data Primer) IPAL, 2026

* = Sharifah Mohammad, dkk., (2021)

** = Kou, dkk., (2024)

*** = Sperling M. (2007)

Berdasarkan hasil evaluasi, unit *Cooling Pond* eksisting tidak sepenuhnya memenuhi kriteria desain standar yang berlaku. Parameter rasio panjang terhadap lebar (*P: L*) sebesar 1,68:1 masih berada dalam rentang yang disyaratkan, yaitu 1,5:1 hingga 2:1, sehingga dinyatakan memenuhi kriteria desain. Namun demikian, parameter kedalaman menunjukkan ketidaksesuaian yang signifikan, kedalaman aktual kolam hanya sebesar 1,13 m, jauh di bawah kedalaman desain awal sebesar 4 meter.

Kondisi ini disebabkan oleh akumulasi lumpur yang parah akibat minimnya frekuensi pengerukan, sehingga mengakibatkan pendangkalan kolam secara substansial. berkurangnya kedalaman efektif tersebut berdampak langsung pada penurunan kapasitas tampung kolam, yang selanjutnya menyebabkan HRT turun dari perencanaan awal sebesar 4 hari menjadi hanya 1 hari. meskipun nilai HRT sebesar 1 hari secara teknis masih berada dalam batas minimum standar yang disyaratkan, yakni 1–3 hari, kondisi tersebut tidak dapat dikatakan optimal. HRT yang lebih panjang, idealnya mendekati atau melebihi 3 hari, memberikan waktu yang lebih memadai bagi air limbah untuk melepaskan panas secara alami sebelum masuk ke unit pengolahan biologis. dengan HRT hanya 1 hari, waktu kontak antara air limbah dan atmosfer menjadi sangat terbatas, sehingga proses pendinginan tidak berlangsung secara efektif.

Kondisi tersebut diperburuk oleh akumulasi lapisan scum minyak yang tebal pada permukaan kolam, yang secara fisik menghambat pelepasan panas ke udara. Sebagai akibatnya, suhu efluen tercatat tetap tinggi pada 62 °C, jauh melampaui kisaran target 35–38 °C yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan bakteri mesofilik pada unit pengolahan anaerobik selanjutnya (Mohammad dkk., 2021). Apabila kondisi ini tidak segera ditangani melalui pengerukan lumpur secara berkala, kinerja unit *Cooling Pond* akan terus mengalami penurunan dan berpotensi mengganggu efektivitas keseluruhan sistem IPAL PKS.

4.3.4 Evaluasi Kolam Anaerobik Primer (*Primary Anaerobic*)

Dalam rangka menilai kelayakan teknis kolam anaerobik primer, dilakukan analisis komparatif antara parameter pengukuran lapangan dengan kriteria desain standar yang berlaku. Hasil analisis tersebut dirangkum dalam **Tabel 4.9**.

Tabel 4.3 Perbandingan kolam Anaerobik Primer desain aktual dengan standar kriteria desain yang berlaku

No.	Unit Pengolahan	Parameter Kriteria Desain	Nilai Standar Acuan	Data Aktual Lapangan	Kesimpulan Evaluasi
1.	Anaerobik Primer 1	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (<i>D</i>) • Rasio Panjang dan Lebar (<i>P: L</i>) • <i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	• 12 Hari* • 4 – 5 m ** • 1,5 : 1 – 2,5:1** • 0,1 – 0,4 kg BOD/m³/hari***	• 5 Hari • 2,32 m • 1,05 : 1 • 0,55 kg BOD m³/hari	• Tidak Sesuai • Tidak Sesuai • Tidak Sesuai • Tidak Sesuai
2.	Anaerobik Primer 2	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (<i>D</i>) • Rasio Panjang dan Lebar (<i>P: L</i>)	• 12 Hari* • 4 – 5 m ** • 1,5 : 1 – 2,5 : 1***	• 4 Hari • 2,50 m • 2,58 : 1	• Tidak Sesuai • Tidak Sesuai • Sesuai
3.	Anaerobik Primer 3	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (<i>D</i>) • Rasio Panjang dan Lebar (<i>P: L</i>)	• 12 Hari * • 4 – 5 m ** • 1,5 : 1 – 2,5 : 1***	• 5 Hari • 2,18 m • 4,26:1	• Tidak Sesuai • Tidak Sesuai • Tidak Sesuai

Sumber: Data Hasil Pengukuran Peneliti (Data Primer) IPAL, 2026

* = PT. X Kabupaten Nagan Raya, (2026)

** = Muhammad Noor Hazwan Jusoh, dkk., (2023)

*** = Sperling M. (2007)

Berdasarkan evaluasi pada Tabel 4.8, seluruh unit kolam anaerobik primer tidak memenuhi kriteria desain standar. Penyimpangan utama terjadi pada dimensi vertikal kolam, di mana akumulasi lumpur setebal 1,34–1,82 m mereduksi kedalaman efektif desain awal 4 m menjadi hanya 2,18–2,66 m, dengan kedalaman aktual kolam primer 1 tercatat sebesar 2,32 m. pengurangan volume spesifik kolam ini berimplikasi langsung terhadap parameter hidrolik dan organik. Waktu tinggal hidrolis (HRT) aktual menyusut drastis menjadi 4–5 hari, dari standar optimal 30–40 hari (Jusoh dkk., 2023).

Selain itu, keterbatasan volume aktif menyebabkan *Organic Loading Rate* (OLR) kolam primer 1 melonjak hingga 0,55 kg BOD/m³/hari, melampaui batas atas standar acuan 0,1–0,4 kg BOD/m³/hari. ketidaksesuaian operasional ini diperburuk oleh aspek morfologi kolam, Rasio P:L Kolam Primer 1 (1,05:1) dan Kolam Primer 3 (4,26:1) menyimpang dari standar ideal 1,5:1 hingga 2,5:1, yang berisiko memicu distribusi aliran tidak merata (*dead zone*). untuk memulihkan efektivitas degradasi biologis kolam, tindakan pengerukan sedimentasi lumpur secara berkala dan penyesuaian laju alir mutlak diperlukan.

4.3.5 Evaluasi Kolam Anaerobik Sekunder (*Secondary Anaerobik*)

Penilaian terhadap kondisi teknis kolam anaerobik sekunder dilaksanakan melalui pendekatan perbandingan antara data eksisting yang diperoleh dari pengukuran lapangan dengan kriteria desain standar yang menjadi acuan. Adapun hasil penilaian tersebut disajikan secara terperinci dalam **Tabel 4.10**.

Tabel 4.4 Perbandingan kolam Anaerobik Sekunder kriteria desain aktual dengan standar kriteria desain yang berlaku.

No.	Unit Pengolahan	Parameter Kriteria Desain	Nilai Standar Acuan	Data Aktual Lapangan	Kesimpulan Evaluasi
1.	Anaerobik Sekunder 1	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (<i>D</i>) • Rasio Panjang dan Lebar (<i>P: L</i>) • <i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	• 12 Hari* • 3,5 – 4,5 m ** • 1,5 : 1 – 2,5:1*** • 0,1 – 0,4 kg BOD m³/hari ***	• 4 Hari • 2,01 m • 3,11 : 1 • 0,047 kg BOD m³/hari	• Tidak Sesuai • Tidak Sesuai • Tidak Sesuai • Tidak Sesuai
2.	Anaerobik Sekunder 2	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (<i>D</i>) • Rasio Panjang dan Lebar (<i>P: L</i>)	• 12 Hari* • 3,5 – 4,5 m ** • 1,5 : 1 – 2,5:1 ***	• 1 Hari • 1,68 m • 2,68: 1	• Tidak Sesuai • Tidak Sesuai • Tidak Sesuai
3.	Anaerobik Sekunder 3	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (<i>D</i>) • Rasio Panjang dan Lebar (<i>P: L</i>)	• 12 Hari* • 3,5 – 4,5 m ** • 1,5 : 1 – 2,5:1***	• 4 Hari • 2,29 m • 4,26 : 1	• Tidak Sesuai • Tidak Sesuai • Tidak Sesuai

Sumber: Data Hasil Pengukuran Peneliti (Data Primer) IPAL, 2026

* = PT. X Kabupaten Nagan Raya, (2026)

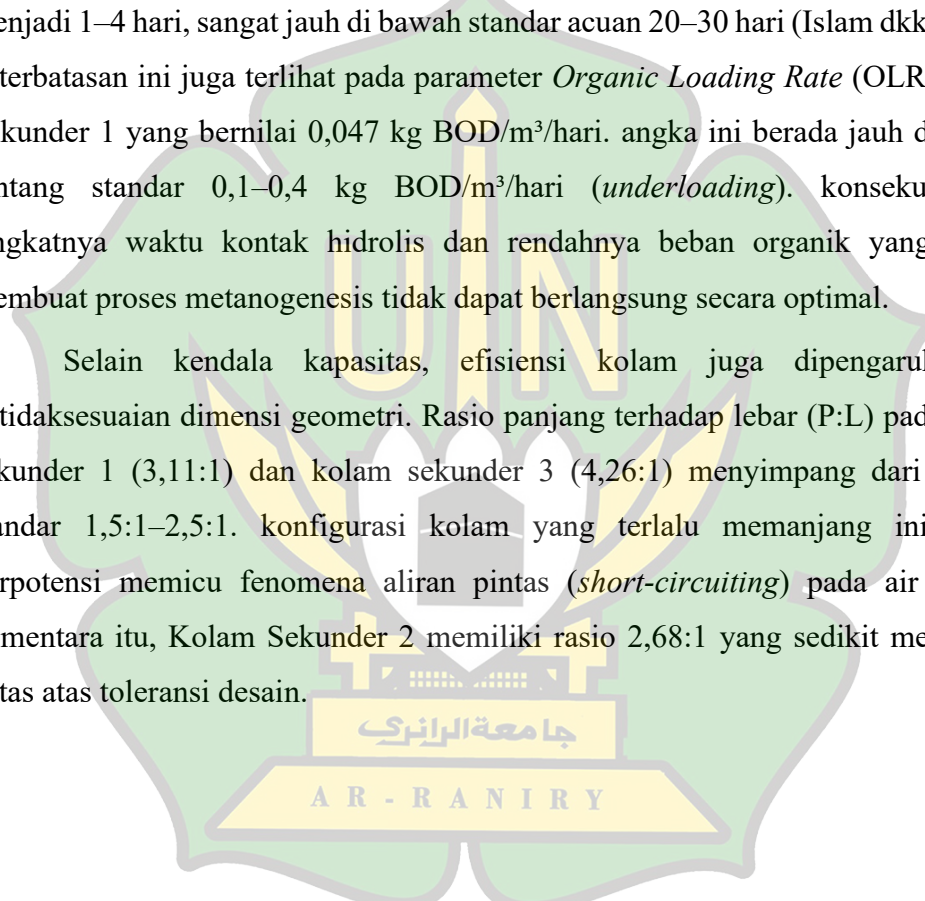
** = M. S Islam, dkk., (2018)

***= Sperling M. (2007)

Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel 4.9, seluruh unit kolam anaerobik sekunder menunjukkan ketidaksesuaian teknis yang kritis terhadap kriteria desain. masalah utama bermula dari pendangkalan akibat akumulasi lumpur masif setebal 1,71–2,32 m. kondisi ini secara signifikan mereduksi kedalaman efektif kolam dari desain awal 3,5–4,5 m menjadi hanya 1,68–2,29 m, dengan kedalaman aktual pada Kolam Sekunder 1 tercatat sebesar 2,01 meter.

Reduksi kapasitas volumetrik tersebut berdampak langsung pada parameter hidrolis dan organik kolam. *Hydraulic Retention Time* (HRT) merosot tajam menjadi 1–4 hari, sangat jauh di bawah standar acuan 20–30 hari (Islam dkk., 2018). keterbatasan ini juga terlihat pada parameter *Organic Loading Rate* (OLR) Kolam Sekunder 1 yang bernilai 0,047 kg BOD/m³/hari. angka ini berada jauh di bawah rentang standar 0,1–0,4 kg BOD/m³/hari (*underloading*). konsekuensinya, singkatnya waktu kontak hidrolis dan rendahnya beban organik yang masuk membuat proses metanogenesis tidak dapat berlangsung secara optimal.

Selain kendala kapasitas, efisiensi kolam juga dipengaruhi oleh ketidaksesuaian dimensi geometri. Rasio panjang terhadap lebar (P:L) pada kolam sekunder 1 (3,11:1) dan kolam sekunder 3 (4,26:1) menyimpang dari rentang standar 1,5:1–2,5:1. konfigurasi kolam yang terlalu memanjang ini sangat berpotensi memicu fenomena aliran pintas (*short-circuiting*) pada air limbah. Sementara itu, Kolam Sekunder 2 memiliki rasio 2,68:1 yang sedikit melampaui batas atas toleransi desain.



4.3.6 Evaluasi Kolam Sedimentasi (*Sedimentation Pond*)

Guna mengetahui tingkat kesesuaian kondisi teknis kolam sedimentasi terhadap standar perencanaan yang berlaku, dilakukan perbandingan antara kondisi eksisting hasil pengukuran lapangan dengan kriteria desain yang dijadikan referensi. Hasil perbandingan dimaksud tersaji dalam **Tabel 4.11**.

Tabel 4. 5 Perbandingan kolam Sedimentasi kriteria desain aktual dengan standar kriteria desain yang berlaku

No.	Unit Pengolahan	Parameter Kriteria Desain	Nilai Standar Acuan	Data Aktual Lapangan	Kesimpulan Evaluasi
1.	Sedimentasi 1	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (<i>D</i>) • Rasio Panjang dan Lebar (<i>P: L</i>)	• 1 – 3 Hari* • 3 – 4 m * • 1,5 : 1 – 3 : 1*	• 10 Jam • 1,57 m • 1,20 : 1	• Tidak Sesuai • Tidak Sesuai • Tidak Sesuai
2.	Sedimentasi 1	• <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT) • Kedalaman Efektif (<i>D</i>) • Rasio Panjang dan Lebar (<i>P: L</i>)	• 1 – 3 Hari* • 3 – 4 m * • 1,5 : 1 – 3 : 1*	• 7 Jam • 1,80 m • 1,38 : 1	• Tidak Sesuai • Tidak Sesuai • Tidak Sesuai

Sumber: Data Hasil Pengukuran Peneliti (Data Primer) IPAL, 2026

*= Sperling M. (2007)

Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel 4.10, kedua unit kolam sedimentasi menunjukkan ketidaksesuaian pada seluruh parameter yang dievaluasi. HRT aktual kolam sedimentasi 1 hanya mencapai 10 jam, sementara kolam sedimentasi 2 hanya 7 jam, jauh di bawah standar minimum 1 hari (Sperling, M. 2007). Kondisi ini disebabkan oleh pendangkalan akibat akumulasi lumpur setebal 0,15–0,20 m, yang mereduksi kedalaman efektif dari desain awal 2 m menjadi hanya 1,57–1,80 m, masih di bawah batas minimum standar sebesar 3 m. Selain itu, rasio P:L kedua kolam yang hanya berkisar 1,20:1 hingga 1,38:1 menunjukkan bentuk kolam yang terlalu mendekati persegi, di bawah batas minimum standar 1,5:1, sehingga efisiensi pola aliran laminar dan proses pengendapan gravitasi tidak dapat berlangsung secara optimal. Secara keseluruhan, kinerja unit sedimentasi masih perlu ditingkatkan melalui pengerukan lumpur berkala dan peninjauan ulang terhadap dimensi serta kapasitas kolam.

4.4 Rekomendasi Perbaikan Kinerja IPAL

Berdasarkan hasil identifikasi faktor penyebab ketidaksesuaian sebagaimana diuraikan di atas, berikut ini disajikan rekomendasi teknis yang terstruktur dan terukur guna meningkatkan kinerja operasional IPAL PKS PT. X agar dapat memenuhi baku mutu air limbah Permen LH No. 5 Tahun 2014:

1. Pelaksanaan Program Pengerukan Lumpur (*Desludging*) Secara Berkala dan Terencana

Pengerukan lumpur merupakan tindakan korektif paling mendesak bagi pemulihan kinerja IPAL. Mengacu pada Rahardjo (2017), pengerukan menyeluruh disarankan dilaksanakan minimal setiap 3–5 tahun, dengan prioritas pada unit *cooling pond* (akumulasi 2,42 m) dan anaerobik sekunder 2 (2,32 m). Program ini hendaknya diformalisasikan melalui SOP pemantauan ketebalan lumpur setiap tiga bulan menggunakan metode sounding manual, dengan ambang batas intervensi ditetapkan saat ketebalan lumpur mencapai 50% dari kedalaman desain kolam. Lumpur hasil pengerukan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik setelah melalui proses pengeringan dan stabilisasi yang memadai.

2. Optimalisasi Kinerja *Cooling Pond* melalui Pengendalian Scum dan Peningkatan kapasitas pendinginan

Setelah pengerukan dilaksanakan, pemasangan sistem *skimmer* otomatis direkomendasikan untuk menggantikan metode pengutipan *scum* manual yang tidak efisien. Sebagai langkah penguatan, pemasangan aerator permukaan bertekanan rendah dapat dipertimbangkan guna meningkatkan laju transfer panas dan mempercepat proses pendinginan (Rois dkk., 2017). Pemasangan termometer digital secara permanen pada titik *outlet* kolam juga dianjurkan untuk memungkinkan pemantauan suhu efluen secara *real-time* dan respons korektif yang tepat waktu.

3. Optimalisasi operasional *fat pit* melalui pemisahan aliran dan pemantauan ketat

Pemisahan jalur aliran antara limbah proses produksi dan air sisa pencucian mesin perlu segera dilaksanakan. air pencucian hendaknya dialirkan ke bak ekualisasi terpisah sebelum diintegrasikan ke sistem IPAL, guna mencegah dilusi beban organik dan fluktuasi debit yang mengganggu pemisahan gravitasi. Pemeriksaan dan pembersihan *skimmer* serta *weir* pemisah minyak secara terjadwal setiap minggu, disertai pencatatan *oil recovery* sebagai indikator kinerja operasional, juga direkomendasikan (Jepang & Indonesia, 2013).

4. Penambahan unit pengolahan lanjutan untuk penyisihan nitrogen dan beban organik sisa

Mengingat konsentrasi BOD (430 mg/L), COD (1.800 mg/L), dan nitrogen total (209,394 mg/L) pada efluen akhir yang masih melampaui baku mutu, sistem IPAL PKS PT. X memerlukan unit pengolahan lanjutan (*advanced treatment*). Tiga alternatif yang dapat dipertimbangkan yaitu (1) *Constructed Wetland* atau kolam stabilisasi aerobik sebagai unit *polishing* untuk mereduksi BOD dan COD sisa, (2) zona anoksik sebelum unit sedimentasi untuk denitrifikasi biologis guna menurunkan nitrogen total hingga di bawah 50 mg/L (Jusoh dkk., 2023), dan (3) sistem aerasi mekanis pada kolam akhir untuk meningkatkan oksigen terlarut dan mempercepat degradasi organik sisa. pemilihan alternatif hendaknya didasarkan pada kajian teknis-ekonomis yang komprehensif, dengan mempertimbangkan ketersediaan lahan dan kapasitas produksi pabrik.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan terhadap Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. X Kabupaten Nagan Raya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Efluen akhir IPAL pada outlet kolam sedimentasi belum sepenuhnya memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Lampiran III Tahun 2014. dari enam parameter yang diuji, hanya TSS (0,385 mg/L) dan pH (8,0) yang memenuhi baku mutu, sedangkan empat parameter lainnya masih melampaui ambang batas, yaitu BOD 430 mg/L (baku mutu 100 mg/L), COD 1.800 mg/L (baku mutu 350 mg/L), nitrogen total 209,394 mg/L (baku mutu 50 mg/L), serta minyak dan lemak 1,250 mg/L (baku mutu 25 mg/L).
2. Efisiensi penyisihan polutan menunjukkan variasi yang signifikan antarunit pengolahan. Unit anaerobik primer mencatat efisiensi penyisihan BOD tertinggi, yaitu 93,33%, sementara unit anaerobik sekunder berkontribusi pada penyisihan COD sebesar 86,36% dan TSS sebesar 65%. Sebaliknya, unit *cooling pond* kurang optimal dalam pengolahan, yang ditandai dengan peningkatan konsentrasi BOD (33,33%) dan COD (29,41%) akibat akumulasi lumpur dan scum. unit sedimentasi hanya mampu menyisihkan TSS sebesar 45% dan BOD sebesar 17,31%, bahkan mengalami peningkatan COD sebesar 20% akibat desorpsi organik dari endapan lumpur. Secara kumulatif, efisiensi penyisihan BOD dari inlet *fat pit* hingga outlet sedimentasi mencapai 90,4%, namun konsentrasi absolut pada efluen akhir tetap melampaui baku mutu yang dipersyaratkan.
3. Sebagian besar unit pengolahan belum memenuhi kriteria desain standar. Unit *fat pit* merupakan satu-satunya unit yang memenuhi seluruh parameter desain, meliputi HRT 12 jam, kedalaman 2 m, dan rasio P:L 2,43:1, sementara unit *cooling pond* tidak memenuhi standar kedalaman efektif (1,58 m, standar 2,5–3,5 m) maupun suhu efluen (62°C, standar 35–38°C).

Seluruh unit anaerobik mengalami ketidaksesuaian kritis pada HRT, yang menurun dari 20–40 hari menjadi hanya 1–5 hari akibat akumulasi lumpur setebal 1,34–2,32 m. Kedua unit sedimentasi juga tidak memenuhi standar HRT, kedalaman, maupun rasio P:L. ketidaksesuaian ini bersumber dari tiga faktor utama, yaitu tidak adanya program pengerukan lumpur terjadwal, kinerja *fat pit* yang belum optimal, dan tidak tersedianya unit penyisihan nitrogen.

4. Perbaiki kinerja IPAL yang direkomendasikan meliputi pengerukan lumpur (*desludging*) secara berkala pada seluruh unit pengolahan untuk mengembalikan kapasitas efektif kolam serta meningkatkan *Hydraulic Retention Time* (HRT), optimalisasi kinerja *fat pit* agar penyisihan minyak dan lemak berlangsung lebih efektif, perbaiki fungsi *cooling pond* sehingga suhu limbah yang memasuki kolam anaerobik berada pada kisaran 35–38°C, serta penambahan unit penyisihan nitrogen untuk menurunkan kadar nitrogen total hingga memenuhi baku mutu. Selain itu, diperlukan penerapan program operasi dan pemeliharaan terjadwal, mencakup pemantauan kualitas air limbah, pengukuran ketebalan lumpur, dan inspeksi berkala pada setiap unit pengolahan, guna menjaga kinerja IPAL secara berkelanjutan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diuraikan, disampaikan saran kepada pihak-pihak terkait sebagai berikut:

1. Peneliti selanjutnya disarankan untuk mengkaji efektivitas penerapan program *desludging* secara berkala, optimalisasi kinerja *fat pit* dan *cooling pond*, serta penambahan unit pengolahan lanjutan, seperti zona anoksik dan unit aerobik (*polishing*), terhadap peningkatan efisiensi penyisihan BOD, COD, dan nitrogen total hingga memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan.
2. Peneliti selanjutnya disarankan untuk mengkaji pengaruh fluktuasi debit dan beban pencemar terhadap kinerja setiap unit IPAL pada berbagai kondisi operasional. Kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai tingkat stabilitas kinerja IPAL, sekaligus menjadi dasar dalam penyusunan strategi pengoperasian yang lebih optimal.

3. Peneliti selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan parameter pengujian dengan menambahkan analisis logam berat, amonia, dan koliform total. Selain itu, penerapan pemodelan hidraulik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD), serta kajian mengenai pemanfaatan biogas dari kolam anaerobik sebagai sumber energi terbarukan, dapat menjadi arah pengembangan penelitian yang mendukung pengelolaan limbah cair pabrik kelapa sawit secara berkelanjutan.



DAFTAR PUSTAKA

- Adiguna, R., Sihombing, I. L. & Salmiah, M. P. D. (n.d.). Analisis kelayakan investasi pembangunan pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) (Studi kasus Kabupaten Nagan Raya, Provinsi NAD), hlm. 3.
- Astuty, E. K. A. P., Anshari, G. Z., Akbar, A. J. I. A. L. I., Lingkungan, M. I. & Tanjungpura, U. (2025). Evaluasi proses anaerobik dan aerobik pada instalasi pengolahan air limbah pabrik kelapa sawit berdasarkan parameter fisikokimia air. Vol. 13(1).
- Darmansyah. (2024, 31 Mei). Krueng Trang diduga tercemar limbah sawit PT. BSP, Apel Green minta KLHK cabut izin. Catatnews.id. Tersedia pada: <https://catatnews.id/news/krueng-trang-diduga-tercemar-limbah-sawit-pt-bsp-apel-green-minta-klhk-cabut-izin/index.html>
- Dewi, S. S. & Lamona, A. (2025). Pengaruh limbah cair kelapa sawit terhadap kesehatan lingkungan di PT Incasi Raya Group. Jurnal Kesehatan Lentera 'Aisyiyah, 8(1), 30–37.
- Islam, M. S., Bains, R., Tanjong, S. J., Said, M. A. M. & Joy, E. J. (2018). Pengaruh waktu retensi hidrolik dan waktu retensi padatan POME terhadap efisiensi penghilangan COD. Hlm. 5347–5355.
- Jepang, K. L. H. & Indonesia, K. L. H. (2013). Panduan penanganan air limbah di pabrik PKS. November.
- Kahani, L., Nurjannah, L. & Baihaqi, A. (2024). Analisis risiko pada rantai pasok kelapa sawit melalui pendekatan House of Risk di Kabupaten Nagan Raya. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian, 9(4), 312–329. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v9i4.32766>
- Keane, R., Pratama, M., Syahputra, N. D., Mufid, M. Y., Pratama, M. S., Amalia, D., Yogafanny, E. & Wardani, N. A. (2025). Influence of pH and pre-treatment on biogas production in anaerobic digestion: A review. Vol. 4(1).
- Kou, Q., Yuan, Q., Chen, S., Xu, H., Wei, S. & Wang, K. (2024). Alkaline pre-fermentation promotes anaerobic digestion of enhanced membrane coagulation (EMC) sludge: Performance and microbial community response.

- Lewar, Y. S. & Kahar, A. (2020). Pengaruh temperatur terhadap COD, BOD dan VFA pada pengolahan palm oil mill effluent (POME) dalam bioreaktor anaerobik. Vol. 4(2), 8–14
- Maulana, F. N. & Yuliati, S. (2025). Pengolahan limbah palm oil mill effluent (POME) menggunakan katalis ZnO dengan penambahan Cu untuk meningkatkan kinerja fotokatalitik. Vol. 8.
- Mohammad, S., Baidurah, S., Kobayashi, T., Ismail, N. & Leh, C. P. (2021). Palm oil mill effluent treatment processes—A review, hlm. 1–22.
- Nabilah, Y. & Putri, T. N. W. (2022). Jurnal Teknik Kimia USU. Jurnal Teknik Kimia USU, 11(1), 95–101.
- Negeri, U., Thaha, S., Jambi, S. & Kuantitatif-kualitatif, P. (2024). Pendekatan penelitian kuantitatif dan kualitatif serta tahapan penelitian. Vol. 15(1), 82–92.
- Noor, M., Jusoh, H., Sukmono, Y., Aris, A. & Hadibarata, T. (2023). Agro-based wastewater profile by biological treatment of pond treatment system in Kulai, Johor. Vol. 13(6), 1–17.
- Pertanian, J. T. (2020). Vol. 9, No. 2, Tahun 2020. Vol. 9(2).
- PT. X Kabupaten Nagan Raya. (2026). Laporan pengelolaan PKS PT. X Kabupaten Nagan Raya tahun 2026. Nagan Raya: PT. X Kabupaten Nagan Raya.
- Publik, D., Manajemen, J., Mei, N., Rajagukguk, L. S., Naibaho, L. N., Sinaga, L. E., Artur, M., Taruna, M., Batubara, S. & Harahap, L. M. (2026). Pencemaran lingkungan oleh limbah industri kelapa sawit (agroindustri): Dari dominasi produksi primer menuju penguatan subsistem pengolahan (agroindustri). April.
- Rahardjo, P. N. (2006). Evaluasi dan perencanaan awal untuk meningkatkan efektifitas IPAL sistem anaerobik PKS PT Deli Muda Perkasa (Evaluation and initial planning for improved effectiveness of anaerobic WWTP system in crude palm oil industry PT Deli Muda Perkasa). Vol. 18(1), 19–28.
- Supijatno, (2015). Pengelolaan limbah kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di perkebunan kelapa sawit, Riau. Vol. 3(2), 203–212.
- Ritonga, S., Triyanto, Y. & Sitanggang, K. D. (2021). Pengaruh harga dan

produktivitas kelapa sawit terhadap kesejahteraan petani di Desa Janji Kecamatan Bilah Barat Kabupaten Labuhanbatu. Vol. 2(1), 1–11.

- Saputera, W. H., Amri, A. F., Daiyan, R. & Sasongko, D. (2021). Photocatalytic technology for palm oil mill effluent (POME).
- Simbolon, R. H. T. & Simbolon, R. (2020). Analisa pengolahan air limbah pabrik kelapa sawit PT Hutabayu Marsada, Kecamatan Hutabayu Raja, Kabupaten Simalungun, hlm. 217–221.
- Studi, K., Empat, K. & Di, K. (2025). Kemiskinan, penciptaan lapangan kerja, kelapa sawit. Vol. 10(4), 4168–4179.
- Teknologi, P. & TPSA, K. (2006). Teknologi pengelolaan limbah cair yang ideal. Vol. 2(1), 66–71.
- Unsrat, L. (n.d.). Limbah cair: Suatu kajian akademis untuk pengelolaannya di Kota Pesisir Manado.
- Von Sperling, M. (2007). Waste stabilisation ponds (Biological Wastewater Treatment Series, Vol. 3). London: IWA Publishing.
- Yonas, R. & Irzandi, U. (2012). Pengolahan limbah POME (palm oil mill effluent) dengan menggunakan mikroalga. Vol. 1(1), 7–13.
- Yudistira, D. R. (2022). Analisis kualitas air limbah kilang sebelum dibuang ke badan air, hlm. 46–55.
- Yunaningsih, A., Satriadi, Y. & Mauluddin, A. (2024). Indikator sirkularitas di dalam tata kelola limbah pabrik kelapa sawit: Studi kasus limbah cair (POME) pabrik kelapa sawit. Vol. 10(4), 888–898.

LAMPIRAN A
DOKUMENTASI PENELITIAN



Observasi Lapangan di IPAL



Pengecekan Suhu di Outlet *Fat Pit*



Pengukuran Dimensi Unit *Fat pit*



Wawancara dengan Operator *Fat Pit*



Pengambilan Sampel *Cooling Pond*



Pengambilan Sampel Anaerobik Sekunder



Pengukuran kedalaman Anaerobik Primer



Pengambilan Sampel Outlet IPAL



Pengecekan Suhu Outlet *Cooling Pond*



Pengecekan pH kolam sedimentasi 2



Wadah dan tempat penyimpanan Sampel



Pengambilan sampel anaerobik sekunder

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN

A. Perhitungan Efisiensi Penyisihan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

1. Perhitungan Efisiensi Penyisihan pada tahap Inlet ke Outlet *Cooling Pond*

- *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

$$\eta = \frac{4500 - 6000}{4500} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{-1500}{4500} = -0,33 \times 100\%$$

$$\eta = -33,33 \text{ mg/L}$$

- *Chemical Oxygen Demand (COD)*

$$\eta = \frac{17000 - 22000}{17000} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{-5000}{17000} = -0,29 \times 100\%$$

$$\eta = -29,41 \text{ mg/L}$$

- Minyak dan Lemak

$$\eta = \frac{4700 - 6.905}{4700} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{-2.205}{4700} = -0,46 \times 100\%$$

$$\eta = -46,91 \text{ mg/L}$$

- Nitrogen Total

$$\eta = \frac{849.654 - 266.989}{849.654} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{582.665}{849.654} = 0,68 \times 100\%$$

$$\eta = 68,59 \text{ mg/L}$$

- Suhu

$$\eta = \frac{95 - 62}{95} \times 100\% = 0,34 \%$$

$$\eta = \frac{33}{95} = 0,34 \times 100\%$$

$$\eta = 34,74 \text{ mg/L}$$

2. Perhitungan Efisiensi Penyisihan pada tahap *cooling pond* ke Anaerobik Primer 3

- *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

$$\eta = \frac{6000 - 400}{6000} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{5600}{6000} = 0,93 \times 100\%$$

$$\eta = 93,33 \text{ mg/L}$$

- *Chemical Oxygen Demand (COD)*

$$\eta = \frac{22000 - 11000}{22000} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{11000}{22000} = 0,5 \times 100\%$$

$$\eta = 50 \text{ mg/L}$$

3. Perhitungan Efisiensi Penyisihan pada tahap Anaerobik Primer 3 ke Anaerobik Sekunder 3

- *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

$$\eta = \frac{400 - 520}{400} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{-120}{400} = -0,3 \times 100\%$$

$$\eta = -30 \text{ mg/L}$$

- *Chemical Oxygen Demand (COD)*

$$\eta = \frac{11000 - 1500}{11000} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{9500}{11000} = 0,86 \times 100\%$$

$$\eta = 86,36 \text{ mg/L}$$

- Total Suspended Solids (TSS)

$$\eta = \frac{2,00 - 0,07}{2,00} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{1,93}{2,00} = 0,965 \times 100\%$$

$$\eta = 65 \text{ mg/L}$$

- Nitrogen Total

$$\eta = \frac{266.989 - 209.372}{266.989} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{57.617}{266.989} = 0,21 \times 100\%$$

$$\eta = 21,58 \text{ mg/L}$$

4. Perhitungan Efisiensi Penyisihan pada tahap Anaerobik Sekunder 3 ke Sedimentasi

- *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

$$\eta = \frac{520 - 430}{520} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{90}{520} = 0,17 \times 100\%$$

$$\eta = 17,31 \text{ mg/L}$$

- *Chemical Oxygen Demand (COD)*

$$\eta = \frac{1500 - 1800}{1500} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{-300}{1500} = -0,2 \times 100\%$$

$$\eta = -20 \text{ mg/L}$$

- Total Suspended Solids (TSS)

$$\eta = \frac{0,70 - 0,3850}{0,70} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{0,315}{0,70} = 0,45 \times 100\%$$

$$\eta = 45 \text{ mg/L}$$

- Nitrogen Total

$$\eta = \frac{209,372 - 209,394}{209,372} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{-0,022}{209,372} = -0,0001 \times 100\%$$

$$\eta = -0,01 \text{ mg/L}$$

B. Perhitungan Evaluasi Aspek Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

1. Perhitungan Kolam *Fat Pit* 1-2

- Perhitungan Volume Aktual Kolam *Fat Pit*

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 17 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$V = 238 \text{ m}^3$$

- Perhitungan Volume Aktual Kolam *Fat Pit*

$$\text{Panjang (P)} = 17 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar (L)} = 7 \text{ meter}$$

$$\text{Rasio Lapangan} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} = \frac{17}{7} = 2,43$$

- Perhitungan HRT Kolam *Fat Pit*

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{208 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3/\text{jam}} = 12 \text{ jam}$$

2. Perhitungan Kolam *Cooling Pond*

- Perhitungan Volume Aktual Kolam *Cooling Pond*

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 37 \text{ m} \times 22 \text{ m} \times 1,13 \text{ m}$$

$$V = 920 \text{ m}^3$$

- Perhitungan Rasio Aktual Kolam *Cooling Pond*

$$\text{Panjang (P)} = 37 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar (L)} = 22 \text{ meter}$$

$$\text{Rasio Lapangan} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} = \frac{37}{22} = 1,68$$

- Perhitungan HRT Kolam *Cooling Pond*

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{920 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3/\text{jam}} = 1 \text{ Hari}$$

3. Perhitungan Kolam Anaerobik Primer 1

- Perhitungan Volume Aktual kolam Anaerobik Primer 1

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 42 \text{ m} \times 40 \text{ m} \times 2,32 \text{ m}$$

$$V = 3.897 \text{ m}^3$$

- Perhitungan Rasio Aktual kolam Anaerobik Primer 1

Panjang (P) = 42 meter

Lebar (L) = 40 meter

$$\text{Rasio Lapangan} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} = \frac{42}{40} = 1,05$$

- Perhitungan HRT kolam Anaerobik Primer 1

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{3.897 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3/\text{jam}} = 5 \text{ Hari}$$

- Perhitungan *Organic Loading Rate* (OLR) Kolam Anaerobik Primer 1

$$\text{OLR} = \frac{Q \times S_0}{V}$$

o Volume Aktual (v) : 3.897 m³

o Debit (Q) = 18 m³/jam × 20 jam/hari = 360 m³/hari

o BOD Masuk Inlet Anaerobik Primer 1 = 6.000 mg/L

Konversi ke kg/m³

$$S_0 (\text{primer}) = \frac{6.000}{1000} = 6 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{OLR} = \frac{360 \times 6}{3.897}$$

$$\text{OLR} = \frac{2.160}{3.897}$$

$$\text{OLR} = 0,55 \text{ kg BOD (m}^3/\text{hari)}$$

4. Perhitungan Kolam Anaerobik Primer 2

- Perhitungan Volume Aktual kolam Anaerobik Primer 2

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 62 \text{ m} \times 24 \text{ m} \times 2,15 \text{ m}$$

$$V = 3.199 \text{ m}^3$$

- Perhitungan Rasio Aktual kolam Anaerobik Primer 2

Panjang (P) = 62meter

Lebar (L) = 24 meter

$$\text{Rasio Lapangan} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} = \frac{62}{24} = 2,58$$

- Perhitungan HRT kolam Anaerobik Primer 2

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{3.199 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3/\text{jam}} = 4 \text{ Hari}$$

5. Perhitungan Kolam Anaerobik Primer 3

- Perhitungan Volume Aktual kolam Anaerobik Primer 3

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 98 \text{ m} \times 23 \text{ m} \times 1,56 \text{ m}$$

$$V = 3.516 \text{ m}^3$$

- Perhitungan Rasio Aktual kolam Anaerobik Primer 3

$$\text{Panjang (P)} = 98 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar (L)} = 23 \text{ meter}$$

$$\text{Rasio Lapangan} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} = \frac{98}{23} = 4,26$$

- Perhitungan HRT kolam Anaerobik Primer 3

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{3.516 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3/\text{jam}} = 5 \text{ Hari}$$

6. Perhitungan Kolam Anaerobik Sekunder 1

- Perhitungan Volume Aktual kolam Anaerobik Sekunder 1

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 84 \text{ m} \times 27 \text{ m} \times 1,33 \text{ m}$$

$$V = 3.016 \text{ m}^3$$

- Perhitungan Rasio Aktual kolam Anaerobik Sekunder 1

$$\text{Panjang (P)} = 84 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar (L)} = 27 \text{ meter}$$

$$\text{Rasio Lapangan} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} = \frac{84}{27} = 3,11$$

- Perhitungan HRT kolam Anaerobik Sekunder 1

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{3.016 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3/\text{jam}} = 4 \text{ Hari}$$

- Perhitungan *Organic Loading Rate* (OLR) Kolam Anaerobik Sekunder 1

$$OLR = \frac{Q \times S_0}{V}$$

$$\text{Volume Aktual (v)} : 3.016 \text{ m}^3$$

$$\text{Debit (Q)} = 18 \text{ m}^3/\text{jam} \times 20 \text{ jam/hari} = 360 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{BOD Masuk Inlet Anaerobik Sekunder 1} = 400 \text{ mg/L}$$

$$\text{Konversi ke kg/m}^3$$

$$S_0 (\text{primer}) = \frac{400}{1000} = 0,4 \text{ kg /m}^3$$

$$OLR = \frac{360 \times 0,4}{3.016}$$

$$OLR = \frac{144}{3.016}$$

$$OLR = 0,047 \text{ kg BOD (m}^3\text{/hari)}$$

7. Perhitungan Kolam Anaerobik Sekunder 2

- Perhitungan Volume Aktual kolam Anaerobik Sekunder 2

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 51 \text{ m} \times 19 \text{ m} \times 0,88 \text{ m}$$

$$V = 853 \text{ m}^3$$

- Perhitungan Rasio Aktual kolam Anaerobik Sekunder 2

$$\text{Panjang (P)} = 51 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar (L)} = 19 \text{ meter}$$

$$\text{Rasio Lapangan} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} = \frac{51}{19} = 2,68$$

- Perhitungan HRT kolam Anaerobik Sekunder 2

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{853 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3/\text{jam}} = 1 \text{ Hari}$$

8. Perhitungan Kolam Anaerobik Sekunder 3

- Perhitungan Volume Aktual kolam Anaerobik Sekunder 3

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 98 \text{ m} \times 23 \text{ m} \times 1,40 \text{ m}$$

$$V = 3.156 \text{ m}^3$$

- Perhitungan Rasio Aktual kolam Anaerobik Sekunder 3

$$\text{Panjang (P)} = 98 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar (L)} = 23 \text{ meter}$$

$$\text{Rasio Lapangan} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} = \frac{98}{23} = 4,26$$

- Perhitungan HRT kolam Anaerobik Sekunder 3

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{3.156 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3/\text{jam}} = 4 \text{ Hari}$$

9. Perhitungan Kolam Anaerobik Primer Tambahan

- Perhitungan Volume Aktual kolam Anaerobik Primer Tambahan

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 40 \text{ m} \times 22 \text{ m} \times 1,63 \text{ m}$$

$$V = 1,434 \text{ m}^3$$

- Perhitungan Rasio Aktual kolam Anaerobik Primer Tambahan

$$\text{Panjang (P)} = 40 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar (L)} = 22 \text{ meter}$$

$$\text{Rasio Lapangan} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} = \frac{40}{22} = 1,81$$

- Perhitungan HRT kolam Anaerobik Primer Tambahan

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{1,434 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3/\text{jam}} = 2 \text{ Hari}$$

10. Perhitungan Kolam Sedimentasi 1

- Perhitungan Volume Aktual kolam Sedimentasi 1

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 18 \text{ m} \times 15 \text{ m} \times 1,22 \text{ m}$$

$$V = 329 \text{ m}^3$$

- Perhitungan Rasio Aktual kolam Sedimentasi 1

$$\text{Panjang (P)} = 18 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar (L)} = 15 \text{ meter}$$

$$\text{Rasio Lapangan} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} = \frac{18}{15} = 1,20$$

- Perhitungan HRT kolam Sedimentasi 1

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{329 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3/\text{jam}} = 10 \text{ Jam}$$

11. Perhitungan Kolam Sedimentasi 2

- Perhitungan Volume Aktual kolam Sedimentasi 2

$$V = P \times L \times T$$

$$V = 18 \text{ m} \times 13 \text{ m} \times 0,88 \text{ m}$$

$$V = 206 \text{ m}^3$$

- Perhitungan Rasio Aktual kolam Sedimentasi 2

Panjang (P) = 18 meter

Lebar (L) = 13 meter

$$\text{Rasio Lapangan} = \frac{\text{Panjang}}{\text{Lebar}} = \frac{18}{13} = 1,38$$

- Perhitungan HRT kolam Sedimentasi 2

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} = \frac{206 \text{ m}^3}{18 \text{ m}^3/\text{jam}} = 7 \text{ Jam}$$



LAMPIRAN C

HASIL UJI LABORATORIUM



KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS SYIAH KUALA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN KIMIA
LABORATORIUM INSTRUMENTASI DAN PENELITIAN
DARUSSALAM BANDA ACEH

LEMBAR HASIL UJI
No : 015-B/LA/Kim/2026

Sampel ID : Air Limbah
Permintaan : Samsul Rida
Tanggal Penerimaan : 17 April 2026
Tanggal Analisis : 17 - 28 April 2026
Hasil Analisis :

No	Parameter	Unit	Hasil Analisa					Metoda Analisa
			Outlet Kolam Cooling Pond	Outlet Kolam Sedimentasi	Outlet Kolam Fat PIT	Outlet Kolam primary Anaerobic	Outlet Kolam Secondary Anaerobic	
1	Total Padatan Tersuspensi (TSS)	mg/L	-	0,3850	13,9	2,00	0,70	Gravimetri
2	BOD	mg/L	6000	430	4500	400	520	Winkler
3	COD	mg/L	22000	1800	17000	11000	1500	COD _{Mn}
4	Minyak dan lemak	mg/L	6,905	1,250	4,700	-	-	Ekstraksi

Darussalam, 04 Mei 2026
Lab. Instrumentasi dan Penelitian
Kepala

Dr. Lelifajri, M.Si
Nip. 197002212000032002

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y



BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI BANDA ACEH
LABORATORIUM PENGUJI

Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamteumen Timur Banda Aceh 23230 Telp. (0651) 49714 Fax. (0651) 49556 - 6302642
 E-mail: bspjaceh@gmail.com Website: http://bspjaceh.kemendin.go.id



LAPORAN HASIL UJI

Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 07 Mei 2026 Nomor Laporan : 1124/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHU/V/2026
 Date of issue Report Number
 Kepada : Samsul Rida Nomor Analisis : 26 - 614 - LC
 To di - Banda Aceh Analysis Number

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

Nama Contoh : Air Limbah Nomor BAPC : 227/insd/L/4/2026
 Sample Name (s) Sample Report Number
 Status Penerimaan Contoh : Diantar Jenis Pengujian : Fisika
 Sample Admission Status Type of Analysis
 Kode Contoh : Fat Fit Lokasi : -
 Sample Code Location
 Kondisi Contoh : Dikemas di dalam Tanggal Penerimaan : 17 April 2026
 Sample Description Date of Receipt
 Tanggal Sampling : - Tanggal Analisis : 17 April 2026
 Date of Sampling Date of Analysis
 Hasil Analisis :
 Analysis Results

NO	PARAMETER UJI	METODE UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Nitrogen Total (Sbg.N)	IK.5.04.01.17 (Proksimat)	mg/L	849,654

BSPJI BANDA ACEH
 Manajer Puncak

جامعة الرانيري
 A R - R A N I R Y

Agung Budi Lestari, S.Si., M.T.A.
 NIP. 19780208 200212 1 004



**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI BANDA ACEH
LABORATORIUM PENGUJI

Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamteumen Timur Banda Aceh 23230 Telp. (0651) 49714 Fax. (0651) 49556 - 5302642
E-mail: bspjiaceh@gmail.com Website: http://bspjiaceh.kemperin.go.id



KAN
Laboratorium Penguji
LP-000-IGN

LAPORAN HASIL UJI
Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 07 Mei 2026
Date of Issue

Kepada : Samsul Rida
To : di - Banda Aceh

Nomor Laporan : 1125/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHUV/2026
Report Number

Nomor Analisis : 26 - 615 - LC
Analysis Number

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

Nama Contoh : Air Limbah
Sample Name (s)

Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status

Kode Contoh : Primary Anaerobic (3)
Sample Code

Kondisi Contoh : Dikemas di dalam
Sample Description : botol plastik

Tanggal Sampling : -
Date of Sampling

Hasil Analisis :
Analysis Results

Nomor BAPC : 227/lnsd/LI/4/2026
Sample Report Number

Jenis Pengujian : Fisika
Type of Analysis

Lokasi : -
Location

Tanggal Penerimaan : 17 April 2026
Date of Receipt

Tanggal Analisis : 17 April 2026
Date of Analysis

NO	PARAMETER UJI	METODE UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Nitrogen Total (Sbg.N)	IK.5.04.01.17 (Proksimat)	mg/L	266,989

F. 7.08.01.02

BSPJI BANDA ACEH
Manajer Puncak,



Agung Budi Lestari, S.Si., M.T.A.
NIP. 19780208 200212 1 004

جامعة الرانيري

AR - RANIRY

Terbit/Revisi : 5/0



BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI BANDA ACEH
LABORATORIUM PENGUJI

Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamsieumen Timur Banda Aceh 23230 Telp. (0651) 49714 Fax. (0651) 49556 - 6302842
 E-mail: bspjaceh@gmail.com Website: http://bspjaceh.kemenperin.go.id



LAPORAN HASIL UJI
Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 07 Mei 2026
 Date of issue

Nomor Laporan : 1126/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHUV/2026
 Report Number

Kepada : Samsul Rida
 To : di - Banda Aceh

Nomor Analisis : 26 - 616 - LC
 Analysis Number

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

Nama Contoh : Air Limbah
 Sample Name (s)

Nomor BAPC : 227/Insd/LI4/2026
 Sample Report Number

Status Penerimaan Contoh : Diantar
 Sample Admission Status

Jenis Pengujian : Fisika
 Type of Analysis

Kode Contoh : Secondary Anaerobic
 Sample Code (3)

Lokasi : -
 Location

Kondisi Contoh : Dikemas di dalam
 Sample Description botol plastik

Tanggal Penerimaan : 17 April 2026
 Date of Receipt

Tanggal Sampling : -
 Date of Sampling

Tanggal Analisis : 17 April 2026
 Date of Analysis

Hasil Analisis :
 Analysis Results

NO	PARAMETER UJI	METODE UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Nitrogen Total (Sbg.N)	IK.5.04.01.17 (Proksimat)	mg/L	209,372

BSPJI BANDA ACEH
 Manajer Puncak,

جامعة الرانيري

AR - RANIRY

Agung Budi Lestari, S.Si., M.T.A.
 NIP. 19780208 200212 1 004



**Kementerian
Perindustrian**
REPUBLIK INDONESIA

BADAN STANDARDISASI DAN KEBIJAKAN JASA INDUSTRI
BALAI STANDARDISASI DAN PELAYANAN JASA INDUSTRI BANDA ACEH
LABORATORIUM PENGUJI

Jln. Cut Nyak Dhien No. 377 Lamsun Timur Banda Aceh 23230 Telp. (0651) 49714 Fax. (0651) 49556 - 6302642
E-mail: bspjiaceh@gmail.com Website: http://bspjiaceh.kemendin.go.id



KAN
Laboratorium Pengujian
LP-600-1204

LAPORAN HASIL UJI
Report of Analysis

Tanggal Penerbitan : 07 Mei 2026
Date of issue

Kepada : Samsul Rida
To : di - Banda Aceh

Nomor Laporan : 1127/BSPJI-Banda Aceh/MS.08/LHUV/2026
Report Number

Nomor Analisis : 26 - 617 - LC
Analysis Number

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

Nama Contoh : Air Limbah
Sample Name (s)

Status Penerimaan Contoh : Diantar
Sample Admission Status

Kode Contoh : Sedimentasi (2)
Sample Code

Kondisi Contoh : Dikemas di dalam botol plastik
Sample Description

Tanggal Sampling : -
Date of Sampling

Hasil Analisis :
Analysis Results

Nomor BAPC : 227/lnsd/LI/4/2026
Sample Report Number

Jenis Pengujian : Fisika
Type of Analysis

Lokasi : -
Location

Tanggal Penerimaan : 17 April 2026
Date of Receipt

Tanggal Analisis : 17 April 2026
Date of Analysis

NO	PARAMETER UJI	METODE UJI	SATUAN	HASIL UJI
1	Nitrogen Total (Sbg N)	IK.5.04.01.17 (Proksimat)	mg/L	209,394



UNIVERSITAS AR-RANIRY

BSPJI BANDA ACEH
Manajer Puncak,

Agung Budi Lestari, S.Si., M.T.A.
NIP. 19780208 200212 1 004

F. 7.08.01.02

Terbit/Revisi : 5/0

LAMPIRAN D

SURAT KETERANGAN



PT. BEURATA SUBUR PERSADA
Desa Babah Dua Kec. Tadu
Raya Kab. Nagan Raya
Aceh - Indonesia

Nagan Raya, 30 Maret 2026

Nomor : 013.TU/PKS.BSP/III/2026
Perihal : Pemberitahuan Izin Mengambil Data Penelitian

Kepada Yth,
Ketua Prodi Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sain dan Teknologi
UIN Ar-Raniry
di -
Tempat

Dengan Hormat,

Berdasarkan Surat Nomor : B-127/Un.08/TL/PP.00.9/03/2026 Tanggal 12 Maret 2026 Perihal Izin Penelitian untuk Uji Pendahuluan Tugas Akhir. Bersama ini kami sampaikan Surat Pemberitahuan Izin Penelitian pada Tanggal 06 April 2026 di perusahaan kami, dengan data berikut ;

Nama : Samsul Rida
NIM : 220708002
Data Penelitian : Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Demikian surat ini kami sampaikan. Atas perhatian dan kerjasama yang baik, kami ucapkan terima kasih.

Hormat Kami,
PT. BEURATA SUBUR PERSADA



PT BEURATA SUBUR PERSADA
Rudy Markus Sagala
 Mill Manager

Cc :
- KTU
- HRD
- Arsip



PT. BEURATA SUBUR PERSADA

Desa Babah Dua Kec. Tadu
Raya Kab. Nagan Raya
Aceh - Indonesia

SURAT KETERANGAN KERJA PRAKTEK 031.K/PKS.BSP/IV/2026

Yang bertanda tangan dibawah ini :

N a m a : Rudy Markus Sagala

Jabatan : Mill Manager

Alamat : Desa Babah Dua, Kec. Tadu Raya, Kab. Nagan Raya.

Dengan ini menerangkan bahwa :

N a m a : Samsul Rida

N I M : 220702002

Jurusan : Teknik Lingkungan

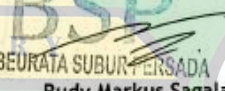
Bahwa yang bersangkutan telah menyelesaikan Penelitian untuk Uji Pendahuluan Tugas Akhir di PT. Beurata Subur Persada. Penelitian ini tersebut telah dilaksanakan yaitu mulai tanggal 6 April s/d 21 April 2026

Selama melakukan penelitian di PT. Beurata Subur Persada, yang bersangkutan telah mempelajari tentang Evaluasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Pada saat surat ini dikeluarkan, yang bersangkutan telah melaksanakan tugas dan tanggung jawabnya dengan baik.

Demikian surat keterangan selesai penelitian ini kami buat, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Nagan Raya, 21 April 2026
PT. BEURATA SUBUR PERSADA


Melisa Tarigan
Asisten Laboratorium


Rudy Markus Sagala
Mill Manager