

EVALUASI PROSES ANAEROBIK DAN AEROBIK PADA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT BERDASARKAN PARAMETER FISIKOKIMIA AIR

EKA PUJI ASTUTY¹, GUSTI ZAKARIA ANSHARI^{1,3}, AJI ALI AKBAR^{2*}

1. Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Tanjungpura
2. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura
3. Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Tanjungpura

*Email : aji.ali.akbar.2011@gmail.com

ABSTRAK

Pabrik kelapa sawit menghasilkan limbah cair yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada PT. X di Kecamatan Sintang, Kabupaten Sintang, Provinsi Kalimantan Barat dirancang untuk menurunkan kadar pencemar utama, seperti COD, BOD, TSS, pH, minyak dan lemak, serta nitrogen total. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat efisiensi pengolahan limbah cair pada unit IPAL, khususnya kolam anaerobik dan aerobik dengan menganalisis penurunan parameter COD, BOD, TSS, pH, minyak dan lemak, serta nitrogen total. Metode yang digunakan adalah analisis deskriptif kuantitatif berdasarkan hasil uji laboratorium terhadap sampel yang diambil dari kedua kolam tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unit proses anaerobik dan aerobik pada IPAL mampu menurunkan COD sebesar 90,11%, minyak dan lemak sebesar 88,89%, BOD sebesar 86,59%, dan TSS sebesar 76,53%, yang dikategorikan sebagai sangat efisien hingga efisien. Namun, pengolahan terhadap parameter nitrogen total belum menunjukkan hasil yang optimal, dengan tidak efisiensi atau kurang <20%. Ketidakefektifan ini disebabkan oleh faktor teknis, seperti rusaknya sebagian aerator dan pendangkalan kolam akibat akumulasi lumpur, yang berdampak pada waktu tinggal limbah yang tidak mencukupi. Oleh karena itu, perbaikan sistem aerasi dan pemeliharaan kolam secara berkala diperlukan guna meningkatkan efektivitas pengolahan secara menyeluruh.

Kata kunci: Efisiensi, IPAL, kelapa sawit, Limbah cair.

ABSTRACT

Palm oil mills generate liquid waste that has the potential to pollute the environment if not properly managed. The Wastewater Treatment Plant (WWTP) at PT. X, located in Sintang District, Sintang Regency, West Kalimantan Province, is designed to reduce key pollutants such as COD, BOD, TSS, pH, oil and grease, and total nitrogen. This study aims to evaluate the efficiency level of wastewater treatment in the IPAL unit, particularly anaerobic and aerobic ponds, by analyzing the reduction in COD, BOD, TSS, pH, oil and grease, and total nitrogen parameters. The method used is quantitative descriptive analysis based on laboratory test results of samples taken from both ponds. The results showed that anaerobic and aerobic process units in the WWTP were able to reduce COD by 90.11%, oil and grease by 88.89%, BOD by 86.59%, and TSS by 76.53%, which were categorized as highly efficient to efficient. However, the treatment of total nitrogen parameters has not shown optimal results, with an inefficiency or deficiency of <20%. This inefficiency is due to technical factors, such as damage to some aerators and pond siltation due to sludge accumulation, which results in insufficient waste retention time. Therefore, improvements to the aeration system and regular pond maintenance are needed to enhance the overall treatment effectiveness.

Keywords: Efficiency; WWTP; palm oil; wastewater

1. PENDAHULUAN

Sektor industri Indonesia akhir-akhir ini mengalami kemajuan yang pesat. Perkembangan ini telah menghasilkan beberapa efek menguntungkan, antara lain peningkatan kemungkinan kerja, transfer teknologi, dan kontribusi substansial terhadap pendapatan negara dari sektor industri terkait. Meskipun demikian, dengan efek menguntungkan tersebut, ada aspek buruk yang perlu dipertimbangkan, terutama mengenai sampah yang dihasilkan dari operasi industri, seperti pabrik kelapa sawit (Silalahi, 2017). Limbah yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit, khususnya limbah cair, menimbulkan risiko kerusakan lingkungan jika tidak dikelola secara memadai. Polusi dapat menurunkan kualitas badan air di kawasan industri, sehingga menghambat pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan pada pelestarian ekosistem perairan.

Limbah industri biasanya dikategorikan menjadi tiga jenis utama: limbah padat, cair, dan gas. Di sektor kelapa sawit, sampah padat meliputi tandan buah kosong, buah kelapa sawit yang terlepas, dan berbagai residu pengolahan. Sebaliknya, limbah cair yang dihasilkan oleh Pabrik Kelapa Sawit (PKS) biasanya terdiri dari campuran sisa minyak dan air. Jenis limbah ini sering berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan, terutama mempengaruhi badan air di dekatnya (Surbakti, 2020). Oleh karena itu, pengolahan limbah cair yang tepat sangat penting untuk mematuhi standar pembuangan limbah yang diamanatkan pemerintah (Simbolon dkk., 2021).

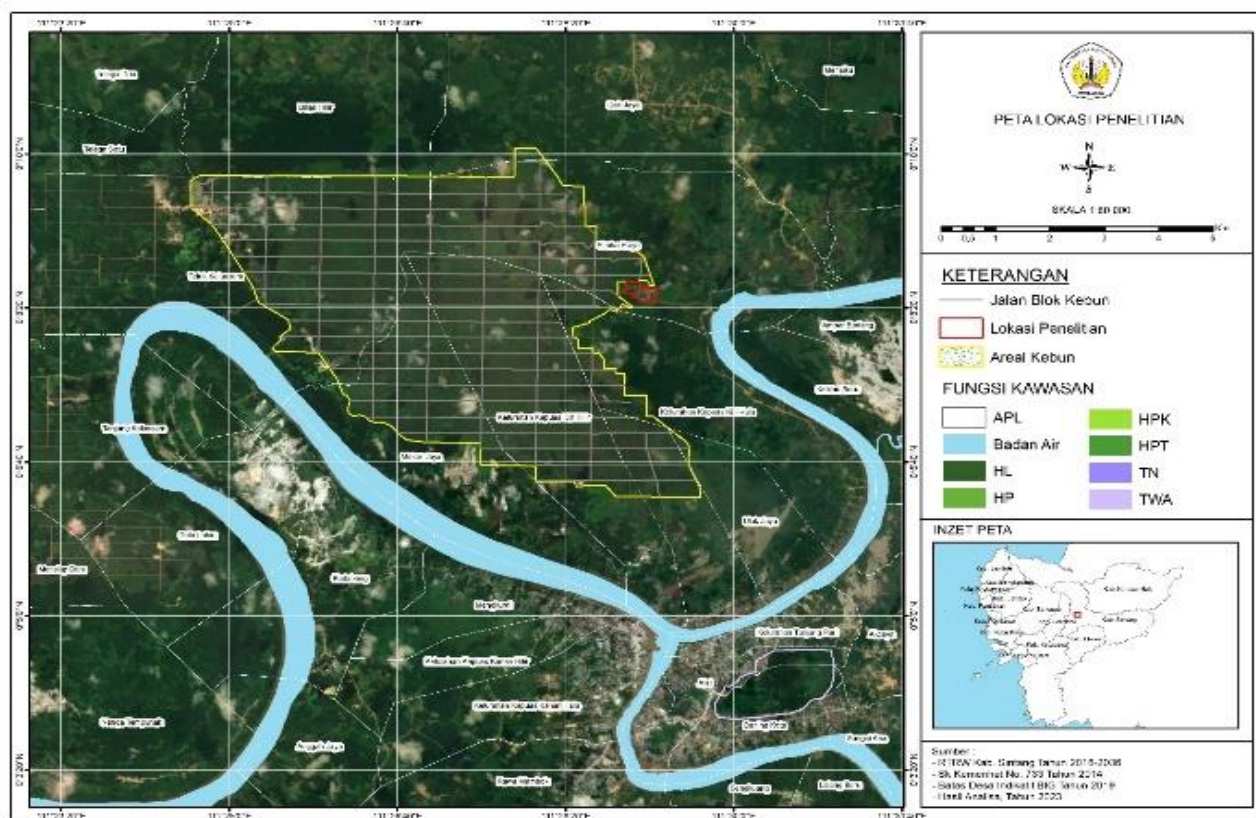
Badan usaha industri diamanatkan untuk mematuhi Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 1999 tentang Analisis Dampak Lingkungan (AMDAL) sebagai ukuran tanggung jawab lingkungan. Dengan mematuhi Undang - Undang ini, entitas komersial diharapkan untuk menjunjung tinggi kelestarian lingkungan melalui pendirian Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) sebagai sarana untuk menangani limbah cair secara efisien dan berkelanjutan.

Instalasi Pengolahan Air Limbah Cair (IPAL) di PT. X, yang terletak di Kabupaten Sintang, terdiri dari beberapa kompartemen kolam yang direkayasa untuk mengurangi parameter polutan, termasuk *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Total Suspended Solids* (TSS), pH, minyak dan lemak, dan nitrogen total. Penelitian ini bertujuan menilai efisiensi pengolahan limbah cair di unit instalasi pengolahan air limbah, khususnya di kolam anaerobik dan aerobik, dengan menganalisis pengurangan COD, BOD, TSS, pH, minyak dan lemak, dan kadar nitrogen total. Temuan investigasi ini diantisipasi dapat menghasilkan wawasan ilmiah yang berharga tentang kemanjuran pengelolaan sektor kelapa sawit berkelanjutan.

2. METODE

Sampel penelitian diambil dari unit proses anaerobik dan aerobik pada IPAL limbah cair pabrik minyak *Crude Palm Oil* (CPO) PT. X Kecamatan Sintang, Kabupaten Sintang. Bahan dan alat yang digunakan terdiri dari pH meter, jerigen 5 liter, gayung, meteran, kamera dan alat tulis. Sampel limbah masing-masing kolam akan dianalisis di laboratorium untuk mengetahui konsentrasi parameter pencemar, seperti COD, BOD, TSS, pH, total nitrogen serta minyak dan lemak sebagai indikator pengukuran parameter limbah.

Penelitian ini dilakukan di perusahaan pengolahan kelapa sawit yang berlokasi di Kecamatan Sintang, Kabupaten Sintang, Provinsi Kalimantan Barat (**Gambar 1**). Studi ini akan berlangsung selama enam bulan, dilai dengan pembangunan kerangka penelitian dari Januari hingga Februari, diikuti dengan pengumpulan data lapangan pada bulan Maret dan April, dan diakhiri dengan analisis data dan penulisan tesis pada bulan Mei dan Juni.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

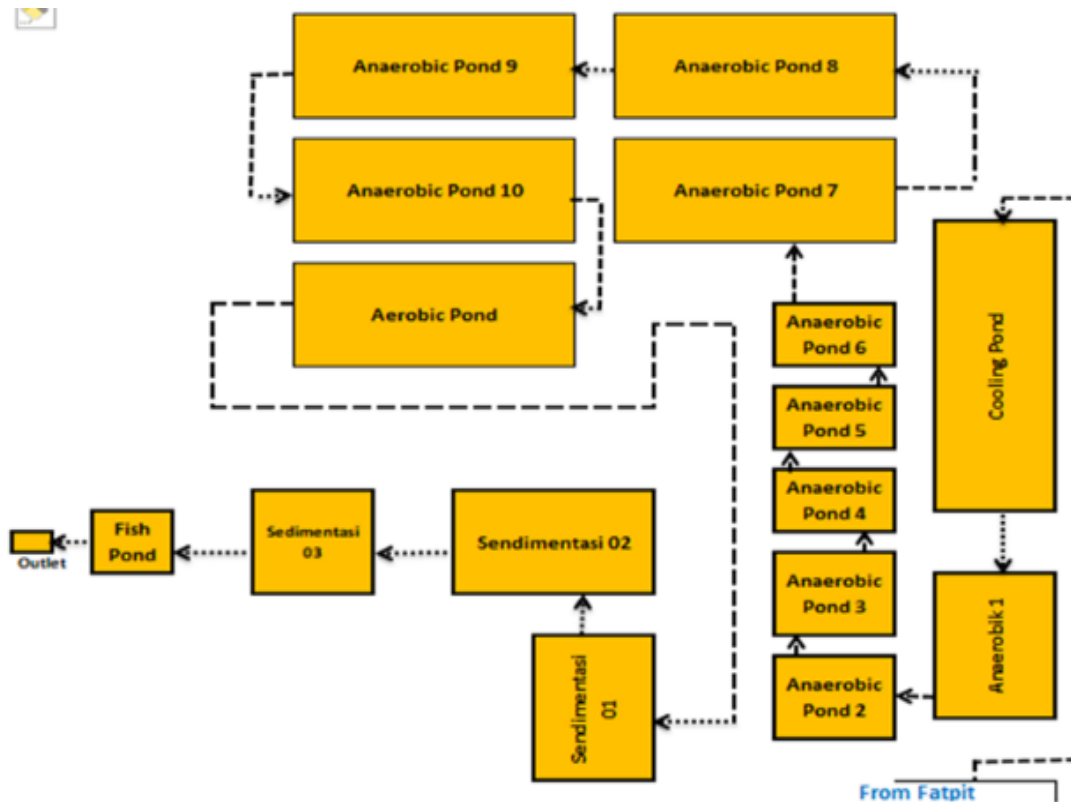
Studi ini menggunakan banyak proses metodis untuk metodologi pengumpulan data. Tahap awal dilakukan pengukuran terhadap pembuangan limbah cair yang dihasilkan oleh Pabrik Kelapa Sawit (PKS) untuk memastikan volume limbah yang perlu dikelola oleh sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) (**Gambar 2**). Pengukuran debit menggunakan data perusahaan dengan menyesuaikan pengolahan pabrik yang dilakukan setiap hari yaitu 10 ton/jam. Selanjutnya, dilakukan identifikasi serta perincian terhadap tahapan-tahapan dalam proses pengolahan limbah, khususnya pada unit-unit kolam pengolahan anaerobik dan aerobik. Berdasarkan data tersebut, efisiensi kinerja IPAL dihitung dengan membandingkan kadar parameter pencemar sebelum dan sesudah proses pengolahan.

Pengambilan sampel dilakukan pada dua lokasi berbeda (**Gambar 3**), yakni kolam anaerobik dan kolam aerobik. Pada kolam anaerobik 1, dilakukan pengujian terhadap enam parameter kualitas air, yaitu BOD, COD, TSS, nitrogen total (N-total), pH, serta kandungan minyak dan lemak. Seluruh parameter tersebut diuji dalam satu hari pengambilan sampel saat kondisi cuaca cerah. Pendekatan sampel yang digunakan adalah *purposive sampling*, ditandai dengan seleksi berdasarkan kriteria spesifik yang berkaitan dengan tujuan penelitian. Di setiap kolam, dua belas sampel air dikumpulkan untuk di uji laboratorium. Sampel penelitian diuji secara terpisah berdasarkan segmen tanpa dilakukan pencampuran.

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan nilai parameter pada sampel sebelum dan sesudah perlakuan pada kolam anaerobik maupun aerobik. Selanjutnya, nilai rata-rata parameter dihitung dengan menjumlahkan hasil uji dari seluruh sampel (1–12), kemudian dibagi dengan jumlah sampel. Perhitungan ini juga diuji menggunakan uji t untuk melihat konsistensi, dan hasil yang diperoleh menunjukkan kesamaan dengan perhitungan manual

rata-rata. Uji statistik yang digunakan adalah uji t dan uji Mann-Whitney untuk memastikan validitas hasil perbandingan.

Prosedur yang sama diterapkan pula pada pengambilan sampel di kolam aerobik. Adapun pembagian segmen untuk pengambilan sampel di masing-masing kolam disesuaikan dengan kondisi dan karakteristik fisik kolam yang diamati. Berikut adalah pembagian segmen saat pengambilan sampel di masing-masing kolam.



Gambar 2. Layout IPAL

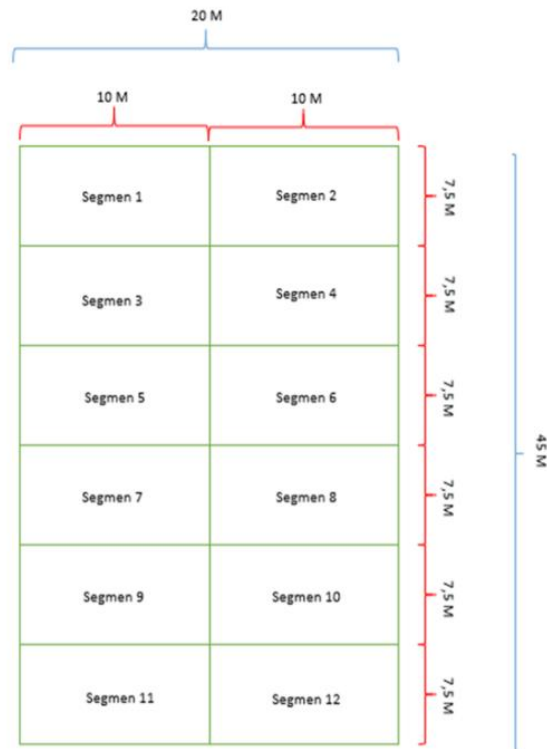
Tabel 1 adalah parameter sampel air limbah kelapa sawit yang akan dilakukan pengujian di laboratorium bersertifikasi.

Tabel 1. Parameter Air Limbah Kelapa Sawit

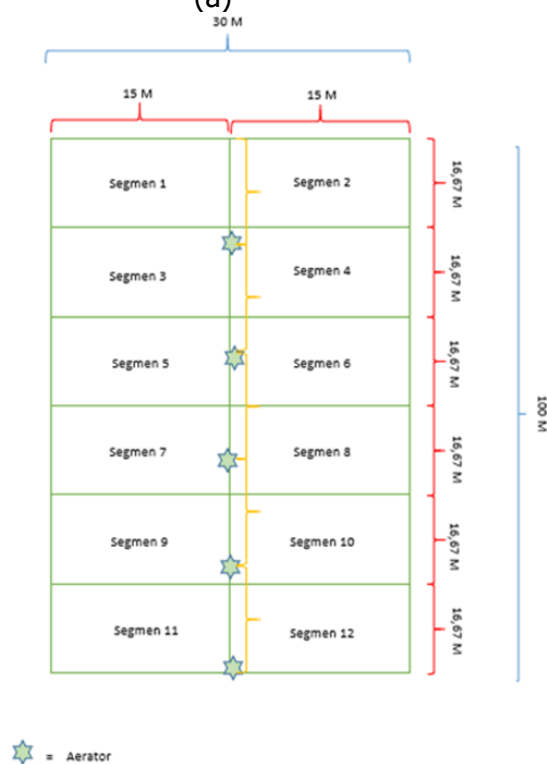
No	Parameter	Metode
1	pH	pH Meter
2	<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	Titration
3	<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	Spectrophotometry
4	<i>Total Suspended Solids</i> (TSS)	Gravimetry
5	Minyak Lemak	Gravimetry
6	Total Nitrogen	Makro kjedhal dan Titration

Sumber: Analisis Penelitian (2023)

Tuliskan judul artikel sebagai header halaman ganjil



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Pembagian Segment Pengambilan Sampel Kolam Anaerobik 1 (B) Pembagian Segment Pengambilan Sampel Kolam Aerobik

Uji-T, proses statistik inferensial, digunakan untuk menganalisis data yang diperoleh. Uji T yang digunakan adalah ji-T sampel berpasangan, digunakan untuk menentukan apakah ada perbedaan nilai sampel sebelum dan setelah perlakuan tertentu. Hasil tes T2 dari sampel yang memanfaatkan data dari kolam anaerobik 1 dan kolam aerobik. Pengujian ini berusaha untuk memastikan relevansi perbedaan nilai parameter limbah sebelum dan sesudah pengolahan. Sehingga dapat disimpulkan apakah sistem unit proses anaerobik dan aerobik yang diterapkan telah berfungsi secara efektif dan efisien dalam menurunkan beban pencemar pada limbah cair yang dihasilkan.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penurunan Parameter di Setiap Kolam IPAL

Perusahaan telah mengelola limbah cair dari proses pembuatan kelapa sawit melalui Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) dengan kombinasi teknologi anaerobik dan aerobik. Metode pengolahan ini bertujuan untuk secara progresif mengurangi konsentrasi polutan organik dengan proses biologis yang memanfaatkan mikroorganisme, baik dalam keadaan anaerobik maupun aerobik.

Unit pengolahan pada IPAL terdiri atas beberapa kompartemen kolam yang memiliki fungsi tersendiri sesuai dengan tahapan proses pengolahan. Proses diawali dari kolam pendingin, yang berfungsi menurunkan suhu efluen dan memisahkan fraksi minyak dari air limbah berdasarkan perbedaan berat jenis. Pada kolam ini, derajat keasaman (pH) awal limbah sekitar 4,0. Oleh karena itu, dilakukan penetralan dengan penambahan kapur tohor (CaCO_3) sebanyak 250 gram per meter kubik atau sekitar 150 kg per hari hingga pH meningkat ke kisaran 7,0–7,2 (Simbolon, 2021).

Selanjutnya, limbah mengalir ke Kolam Perombakan Anaerobik Primer untuk memulai proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik. Tahap ini dilanjutkan ke Kolam Perombakan Anaerobik Sekunder yang terdiri atas sepuluh kolam (Sekunder 1–10), di mana proses degradasi organik berlangsung dengan waktu retensi hidrolik lebih lama untuk meningkatkan efisiensi. Pada tahap ini, terjadi pembentukan gas-gas seperti metana, karbon dioksida, dan hidrogen sulfida oleh aktivitas bakteri metanogenik, dengan penurunan nilai BOD dari >20.000 mg/L menjadi sekitar 5.000 mg/L dalam waktu 16 hari retensi (Simbolon, 2021).

Pada kolam anaerobik lanjutan, kadar BOD mengalami penurunan tambahan hingga berkisar antara 2.000–3.500 mg/L. Derajat keasaman dijaga dalam rentang pH 7–9 untuk mempertahankan kondisi optimum bagi mikroorganisme (Hanim, 2020). Nilai BOD yang tinggi mencerminkan besarnya beban pencemar organik yang memerlukan oksigen terlarut tinggi untuk proses dekomposisi, sehingga pengurangan BOD merupakan indikator keberhasilan proses (Mahida dalam Mahfut, 2013).

Bersamaan dengan BOD, nilai COD digunakan untuk menilai konsentrasi bahan organik. Pembacaan hasil COD yang meningkat menandakan permintaan oksigen yang substansial selama oksidasi molekul organik, yang dapat mengurangi oksigen terlarut dan berdampak buruk pada organisme air (Mahfut, 2013). Air limbah kemudian dibuang ke kolam aerasi, di mana oksigen dimasukkan ke dalam air dan gas terlarut dikeluarkan. BOD di kolam aerasi menurun secara nyata menjadi 100-200 mg/L di permukaan dan 150-300 mg/L di bagian bawah. Sementara itu, Sari (2013) menunjukkan bahwa BOD bervariasi antara 60,8 dan 70,4 mg/L, dengan pH kolam 7,14. Gerakan gelembung udara yang dihasilkan oleh aerator memfasilitasi interaksi antara air limbah dan udara sekitar, sehingga mengoptimalkan proses transfer oksigen (Hartini, 2018).

Standar baku mutu limbah cair mengacu pada nilai BOD antara 75–125 mg/L dan pH dalam rentang 6–9. Berdasarkan penelitian Melisa dan Apriyanto (2020), BOD hasil akhir pengolahan dapat mencapai 43 mg/L, yang berarti telah berada di bawah ambang batas yang ditetapkan. Fase selanjutnya melibatkan kolam sedimentasi, di mana partikel tersuspensi dipisahkan melalui deposisi, menunjukkan pH sekitar 4,77 sebagai hasil dari pembentukan asam volatil, termasuk asam asetat dan butirat. pH air terkait erat dengan kadar oksigen terlarut; oksigen terlarut yang rendah menghasilkan pengurangan pH, sedangkan aerasi yang ditingkatkan dapat meningkatkan keasaman limbah cair menuju netralitas (Paena dkk., 2015).

Tahap akhir dari proses pengolahan dilakukan di kolam kontrol, tempat air hasil olahan dinilai secara visual dan biologis. Kualitas air yang dihasilkan menyerupai air alami di lingkungan sekitar. Keberadaan indikator biologis seperti tanaman air serta kelangsungan hidup ikan konsumsi (lele, nila, sepat, dan ikan mas) menjadi bukti bahwa air limbah telah aman dan layak dialirkan ke badan air penerima.

Teknologi instalasi pengolahan air limbah berbasis anaerobik dan aerobik yang digunakan oleh perusahaan telah menunjukkan kemanjuran dalam mengurangi tingkat polutan limbah cair dan mematuhi kriteria kualitas lingkungan sebagaimana diamanatkan oleh Undang-Undang dan peraturan.

3.2 Hasil Analisis Masing-masing Parameter Limbah

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada pabrik kelapa sawit telah dirancang untuk menurunkan parameter pencemar dalam limbah cair melalui proses biologis bertahap, yaitu dengan sistem anaerobik dan aerobik. Hasil pengamatan menunjukkan adanya penurunan yang signifikan terhadap parameter BOD setelah melalui proses pengolahan. Pada Kolam Anaerobik I, nilai BOD berdasarkan titik sampel 1 hingga titik sampel 12 berkisar antara 29.900 mg/L hingga 58.240 mg/L. Nilai yang cukup tinggi ini mengindikasikan bahwa karakteristik limbah yang masuk bersifat fluktuatif. Setelah limbah melalui proses di kolam aerobik, nilai BOD mengalami penurunan yang signifikan, yaitu berkisar antara 15.182 - 5.325 mg/L. Penurunan ini dipengaruhi oleh proses perombakan senyawa organik oleh bakteri aerobik yang berlangsung dalam kondisi terlarutnya oksigen melalui proses aerasi. Aerasi merupakan mekanisme penting dalam sistem pengolahan biologis karena mendukung metabolisme mikroorganisme yang memerlukan oksigen.

Penurunan juga terlihat dalam ukuran COD yaitu pada kolam anaerobik I, konsentrasi COD pada titik pengambilan sampel 1 hingga 12 bervariasi dari 133.000 mg/L hingga 201.000 mg/L. Setelah melewati kolam aerobik, pembacaan COD turun secara signifikan dari 20.400 mg/L menjadi 11.100 mg/L. Mahfut (2013) menegaskan bahwa kadar COD yang meningkat menandakan adanya bahan organik yang membutuhkan oksigen untuk degradasi. Penggunaan oksigen terlarut oleh mikroba untuk penguraian sampah organik menghasilkan penurunan kadar oksigen di lingkungan perairan, sehingga menimbulkan ancaman bagi spesies air.

Pengamatan terhadap TSS juga menunjukkan tren penurunan yang signifikan, meskipun belum memenuhi baku mutu sebagaimana ditetapkan dalam PerMenLHK Nomor 5 Tahun 2016, karena pengambilan sampel dilakukan pada unit pengolahan, bukan di outlet akhir. Penurunan rerata sebesar 191 mg/L terjadi dari kolam anaerobik I ke kolam aerobik. Oleh karena itu, pengendapan yang terjadi pada kolam aerobik sangat mempengaruhi hasil akhir kualitas air.

Nilai derajat keasaman (pH) limbah cair juga mengalami fluktuasi yang bervariasi antar kolam, yaitu antara 5,65 hingga 7,78. Kolam anaerobik I cenderung bersifat asam, sedangkan kolam aerobik menunjukkan sifat basa. Hal ini terjadi akibat proses netralisasi dan peningkatan konsentrasi ion hidroksida yang meningkatkan nilai pH. Waluyo (2009) dan Nursanti (dalam Mahfut, 2013) menyatakan bahwa salah satu faktor utama yang memengaruhi pH adalah kandungan karbon dioksida dalam perairan, yang dapat menyebabkan turunnya pH apabila jumlahnya meningkat.

Parameter minyak dan lemak juga dianalisis sebagai indikator pencemar utama. Pada kolam anaerobik, kadar minyak dan lemak berkisar antara 43,13 mg/L hingga 82,85 mg/L. Di kolam aerobik, nilai ini menurun pada titik sampel 1 hingga 12 menjadi antara 1,95 mg/L hingga 51,74 mg/L. Namun demikian, peningkatan kadar minyak dan lemak di titik sampel pertama kolam aerobik dibandingkan dengan titik akhir kolam anaerobik menunjukkan adanya anomali dalam alur pengolahan, yang kemungkinan besar disebabkan oleh gangguan aliran atau kondisi operasional unit pengolahan yang tidak optimal.

Nilai Total Nitrogen (N-Total) menunjukkan kenaikan kolam aerobik, sedangkan penurunan dari kolam anaerobik ke kolam aerobik diperkirakan. Peningkatan ini diduga disebabkan oleh terjadinya pendangkalan kolam, yang mengurangi waktu retensi hidrolik dan mengganggu efektivitas pengolahan biologis. Selain itu, kinerja aerator yang tidak optimal juga menjadi penyebab rendahnya efisiensi pengolahan. Dari lima unit aerator yang tersedia, hanya tiga yang berfungsi secara efektif. Hal ini berdampak pada aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan senyawa nitrogen seperti amonia (NH_3), nitrat (NO_3), dan nitrit (NO_2). Menurut Santoso (2018), kegiatan mikrobiologi sangat berperan dalam mengubah keseimbangan senyawa nitrogen melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi, sehingga gangguan pada sistem aerasi berpengaruh langsung terhadap hasil pengolahan N-Total.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem IPAL pada unit proses anaerobik dan aerobik telah secara signifikan mengurangi konsentrasi polutan utama dalam limbah cair kelapa sawit, termasuk BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, dan tingkat pH. Namun demikian, beberapa parameter seperti N-Total dan sebagian nilai pH belum sepenuhnya stabil dan konsisten memenuhi baku mutu. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi teknis lebih lanjut terhadap sistem aerasi dan kondisi fisik kolam, terutama dalam upaya peningkatan efisiensi pengolahan dan keberlanjutan pengelolaan lingkungan.

3.3 Uji Efisiensi Kolam Anaerobik dan Aerobik

Tingkat efisiensi pengolahan limbah cair merupakan indikator penting dalam evaluasi unit proses anaerobik dan aerobik pada Pengolahan Air Limbah (IPAL). Efisiensi ini didefinisikan sebagai tingkat pengurangan atau peningkatan konsentrasi suatu parameter kualitas air setelah limbah melewati tahapan pengolahan, yang dinyatakan dalam bentuk persentase (%). Untuk mengukur sejauh mana kinerja unit proses anaerobik dan aerobik pada IPAL dalam menurunkan parameter pencemar, dilakukan uji efektivitas. Sari (2015) menyatakan bahwa efisiensi % kinerja IPAL dapat ditentukan dengan menggunakan rumus yang ditetapkan oleh Metcalf dan Eddy (1991), sebagai berikut:

$$E = \frac{S_0 - S}{100} \times 100\% \quad (1)$$

E mewakili efisiensi pengolahan air limbah yang dinyatakan sebagai persentase (%), S_0 menunjukkan konsentrasi komponen tertentu dalam air limbah saluran masuk (mg/L), dan S menunjukkan konsentrasi zat tersebut dalam air limbah outlet (mg/L).

Tabel 2. Kriteria Efektifitas

No.	Nilai Presentase Efisiensi	Keterangan
1	$X > 80\%$	Sangat Efektif
2	$60\% < X \leq 80\%$	Efektif
3	$40\% < X \leq 60\%$	Cukup Efektif
4	$20\% < X \leq 40\%$	Kurang Efektif
5	$X < 20\%$	Tidak Efektif

Sumber: Metcalf dan Eddy (1991) dalam (Sari, 2015)

Tabel 3. Hasil Perhitungan Efisiensi

No.	Parameter	Satuan	Rata-rata		Efisiensi (%)
			Kolam Anaerobik I	Kolam Aerobik	
1	pH	-	5.94	7.68	-
2	BOD ₅	mg/L	52133.33	6991.33	86.59
3	COD	mg/L	169666.67	16771.67	90.11
4	TSS	mg/L	816.67	191.67	76.53
5	Minyak dan Lemak	mg/L	76.43	8.49	88.89
6	N-Total	mg/L	25.12	29.33	-16.80

Sumber: Hasil analisis penelitian, 2023

Berdasarkan hasil uji efektivitas yang disajikan dalam **Tabel 3**, diketahui bahwa unit proses anaerobik dan aerobik pada IPAL pabrik kelapa sawit menunjukkan kinerja yang cukup tinggi dalam menurunkan beberapa parameter pencemar. Parameter BOD menunjukkan efisiensi penurunan sebesar 86,6%, yang termasuk dalam kategori sangat efektif. Demikian pula, parameter COD mengalami penurunan sebesar 90,11%, yang juga dikategorikan sangat efektif. Sedangkan penurunan TSS sebesar 76,3% termasuk dalam kategori efektif, sementara parameter minyak dan lemak menurun hingga 88,9%, yang juga tergolong sangat efektif. Parameter pH atau derajat keasaman menunjukkan kondisi normal, yaitu berada dalam kisaran 6–9, sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan.

Namun demikian, untuk parameter Total Nitrogen (N-Total) justru terjadi peningkatan konsentrasi setelah melalui proses pengolahan. Berdasarkan kriteria efektivitas menurut Soeparmanto dan Suparman, pengolahan dapat dianggap tidak efektif jika nilai efisiensinya kurang dari 20%. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa unit proses anaerobik dan aerobik pada IPAL yang dikaji belum efektif dalam menurunkan kandungan nitrogen total.

Ketidakefektifan ini diduga disebabkan oleh faktor operasional, yakni tidak berfungsinya dua dari lima unit aerator di kolam aerobik. Proses aerasi merupakan kunci dalam pengolahan biologis secara aerob yang sangat bergantung pada ketersediaan oksigen terlarut untuk mendukung aktivitas mikroorganisme. Tidak optimalnya sistem aerasi menyebabkan proses nitrifikasi dan denitrifikasi tidak berlangsung secara maksimal, yang berdampak pada peningkatan kandungan nitrogen dalam air limbah.

Pengukuran efisiensi dalam penelitian ini terbatas pada dua titik pengambilan sampel, yaitu pada Kolam Anaerobik 1 dan Kolam Aerobik, dikarenakan keterbatasan akses terhadap titik inlet dan outlet IPAL. Idealnya, pengambilan sampel dilakukan langsung pada titik masuk

(inlet) dan titik keluar (outlet) untuk memperoleh hasil evaluasi yang lebih akurat terhadap keseluruhan sistem pengolahan. Meski demikian, data yang diperoleh tetap memberikan gambaran umum bahwa sistem IPAL terutama pada unit proses anaerobik dan aerobik secara keseluruhan telah berfungsi cukup baik dalam menurunkan empat parameter utama, meskipun peningkatan pada N-Total tetap perlu menjadi perhatian khusus.

Tabel 4. Hasil Rata-rata Analis Sampel dan Baku Mutu Limbah Kelapa Sawit

No.	Parameter	Satuan	Rata-rata	
			Kolam Anaerobik I	Kolam Aerobik
1	pH	-	5,94	7,68
2	BOD ₅	mg/L	52133,33	6991,33
3	COD	mg/L	169666,67	16771,67
4	TSS	mg/L	816,67	191,67
5	Minyak dan Lemak	mg/L	76,43	8,49
6	N-Total	mg/L	25,12	29,33

Sumber: Hasil Analisis, 2023

Menurut **Tabel 4**, kemanjuran pengolahan air limbah mengenai BOD dan COD diklasifikasikan sebagai sangat efisien, sebagaimana dibuktikan dengan pengurangan substansial dalam konsentrasi kedua parameter setelah proses pengolahan. Meskipun demikian, jika hasil tersebut dibandingkan dengan standar mutu limbah cair di sektor kelapa sawit sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Standar Mutu Air Limbah, konsentrasi BOD dan COD tetap tergolong melebihi batas yang diizinkan. Hal ini menunjukkan bahwa, meskipun efisiensi internal dalam sistem pengolahan cukup tinggi, kualitas akhir air limbah belum sepenuhnya memenuhi syarat untuk dilepaskan ke lingkungan.

Salah satu penyebab utama kondisi tersebut adalah karena kolam anaerobik dan aerobik bukan merupakan unit pengolahan akhir dalam keseluruhan sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) perusahaan. Unit-unit tersebut masih menjadi bagian dari tahapan proses awal hingga menengah, sedangkan tahapan akhir yang dirancang untuk memastikan kesesuaian dengan baku mutu.

Selain itu, pada saat pengambilan sampel di kolam aerobik, ditemukan adanya pendangkalan akibat akumulasi lumpur yang cukup tebal di dasar kolam. Kondisi ini secara langsung memengaruhi masa tinggal hidraulik (*hydraulic retention time*), yakni waktu yang dibutuhkan limbah untuk berada dalam sistem pengolahan dan mengalami proses degradasi biologis secara optimal. Pendangkalan ini menyebabkan air limbah tidak cukup lama berada dalam kolam untuk memungkinkan mikroorganisme menguraikan senyawa organik secara efisien. Akibatnya, hasil akhir pengolahan tidak menunjukkan penurunan konsentrasi parameter yang optimal meskipun proses aerasi sedang berlangsung. Hal ini menunjukkan perlunya evaluasi menyeluruh terhadap kondisi fisik kolam untuk memperoleh gambaran kinerja IPAL secara komprehensif dan memastikan limbah cair yang dibuang telah memenuhi persyaratan lingkungan yang berlaku.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan sampling dua unit proses anaerobik dan aerobik pada Pengolahan Air Limbah (IPAL), terjadi penurunan yang signifikan untuk parameter *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solids* (TSS), dan minyak lemak. Namun, terjadi peningkatan konsentrasi n-total yang diduga kuat disebabkan oleh malfungsi aerator dan pendangkalan kolam yang mempersingkat waktu tinggal. Untuk penelitian selanjutnya, sangat disarankan untuk mengambil sampel dari inlet dan outlet IPAL aktual untuk mendapatkan gambaran efisiensi sistem yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Hanim, Wirda, Fadhliani Fadhliani, and Sara Gustia Wibowo. (2020). Pengolahan Limbah Cair Di PMKS PT Sisirau Desa Sidodadi Kecamatan Kejuruan Muda Kabupaten Aceh Tamiang. *Jurnal Enviscience* 4 (2): 67. <https://doi.org/10.30736/4ijev.v4iss2.198>.
- Hartini E. (2018). Jurnal Kesehatan Masyarakat J-Kesmas Jurnal Kesehatan Masyarakat. 4(1):43–7.
- Mahfut. (2013). Analisis Kualitas Limbah Cair Pada Kolam Anaerob IV Di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT. Perkebunan Nusantara VII (Persero) Unit Usaha Bekri. *Biogenesis: Jurnal Ilmiah Biologi* 1 (2): 84–87. <https://doi.org/10.24252/bio.v1i2.451>.
- Melisa dan Apriyanto, Mulono. (2020). PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT (Studi Kasus pada PT. Tri Bakti Sarimas PKS 2 Ibul, Riau). *Jurnal Teknologi Pertanian* 9(2): 2020.
- Nursanti. (2017). Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Pada Proses Pengolahan Anaerob Dan Aerob. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi* 13 (4): 67–73.
- Paena, M., Suhaimi, R. A., & Undu, Muh. C. (2015). Analisis konsentrasi oksigen terlarut (DO), pH, Salinitas dan Suhu pada Musim hujan terhadap penurunan kualitas air perairan Teluk Punduh Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung. *Seminar Nasional Kelautan X, Sinergitas Teknologi dan Sumber Daya Kelautan untuk Mewujudkan Indonesia sebagai Poros Maritim Dunia*, C2.1-C2.8.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 27 Tahun 1999 Tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup (AMDAL).
- Santoso, Iqbal. (2018). Prediksi Kadar Nitrogen Total Pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Multisensor. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. 3 (1): 10–27. <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>.
- Sari, Febrina Rantifa, Raudhah Annissa, and Abubakar Tuhuloula. (2013). Perbandingan Limbah Dan Lumpur Aktif Terhadap Pengaruh Sistem Aerasi Pada Pengolahan Limbah Cpo. *Konversi* 2 (1): 39. <https://doi.org/10.20527/k.v2i1.128>.
- Silalahi, Brury Marco, and Supijatno. (2017). Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Di Angsana Estate, Kalimantan Selatan. *Buletin Agrohorti* 5 (3): 373–83. <https://doi.org/10.29244/agrob.v5i3.16483>.
- Simbolon, Ronal HT., Rumila Harahap, and Radiansyah Simbolon. (2021). Analisa Pengolahan Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit PT. Hutabayu Marsada Kecamatan Hutabayu Raja Kabupaten Simalungun. *Semnastek UIISI*, 217–21.
- Surbakti, Bima Juanda, Vivi Mardina, and Kata Kunci. (2020). Karakteristik Limbah Cair Hasil Pengolahan Sistem Lumpur Aktif Pada Pabrik Kelapa Sawit PTPN II Tanjung Morawa, Kebun Sawit Seberang *Characteristics Of Liquid Waste In The Processing Of Active Mud Systems In The Palm Plantation Factory Ptpn Ii Tanjung Mo.* 2 (2): 95–102.

Eka Puji Astuty, Gusti Zakaria Anshari, Aji Ali Akbar

Yuna, Rama, and Vivi Mardina. (2019). Pengujian Karakteristik Kimia Pada Limbah Cair Kelapa Sawit. *Jurnal Biologica Samudra* 1 (1): 1–08.