

EVALUASI KINERJA UNIT BIOLOGI PADA IPAL INDUSTRI GLISERIN DAN ASAM STEARAT UNTUK INOVASI PENGOLAHAN BERKELANJUTAN

PERFORMANCE EVALUATION OF THE BIOLOGY UNIT IN WWTP GLYCERIN AND STEARIC ACID FOR SUSTAINABLE TREATMENT INNOVATION

Bina Adzani Putri*, Ouni Putri Ardhani, Zulfa Amala

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

*2210631270023@student.unsika.ac.id, 2210631270011@student.unsika.ac.id, zulfa.amala@ft.unsika.ac.id

INFO ARTIKEL

Diterima: 21 November 2025

Direvisi: 8 Juni 2026

Disetujui: 25 Juni 2026

Kata Kunci:

Aerasi, DO, Industri Oleokimia, MLSS, Trickling Filter

ABSTRAK

Industri oleokimia yang memproduksi *glycerin* dan *stearic acid* menghasilkan limbah cair dengan kandungan bahan organik tinggi, yaitu COD 365 mg/L dan BOD 73 mg/L. Sehingga diperlukan pengolahan biologis melalui unit *trickling filter* dan aerasi untuk menurunkan konsentrasi pencemar organik. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja kedua unit tersebut pada IPAL industri oleokimia dasar. Evaluasi dilakukan melalui observasi kondisi operasional, pengambilan sampel pada titik *inlet* dan *outlet* unit pengolahan, pengujian laboratorium, analisis efisiensi penyisihan, serta perbandingan terhadap baku mutu yang berlaku. Hasil penelitian menunjukkan bahwa air limbah *inlet* memiliki COD 365 mg/L dan BOD 73 mg/L dengan rasio BOD/COD sebesar 0,20 yang mengindikasikan dominasi senyawa organik yang sulit terdegradasi secara biologis. Unit *trickling filter* hanya menurunkan *turbidity* sebesar 0,63%, menunjukkan proses biodegradasi dan kontak limbah dengan biofilm belum berlangsung optimal. Pada unit aerasi diperoleh pH 7,85, DO 5,80 mg/L, dan MLSS 1.172 mg/L yang masih mendukung aktivitas mikroorganisme aerob. Nilai COD sebesar 3.605 mg/L menunjukkan tingginya kandungan organik total dalam reaktor, namun interpretasinya memiliki keterbatasan karena sampel diambil dari *mixed liquor* tanpa pemisahan biomassa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi hidrolik dan pengelolaan biomassa merupakan faktor penting yang mempengaruhi kinerja IPAL.

ABSTRACT

The oleochemical industry, which produces *glycerin* and *stearic acid*, generates liquid waste with high organic content, specifically a COD of 365 mg/L and a BOD of 73 mg/L. Therefore, biological treatment using *trickling filters* and aeration is required to reduce the concentration of organic pollutants. This study aims to evaluate the performance of these two units in a basic oleochemical industry wastewater treatment plant. The evaluation was conducted through observation of operational conditions, sampling at the inlet and outlet of the treatment units, laboratory testing, removal efficiency analysis, and comparison with applicable quality standards. The results showed that the influent wastewater had a COD of 365 mg/L and a BOD of 73 mg/L, with a BOD/COD ratio of 0.20, indicating a predominance of organic compounds that are difficult to degrade biologically. The *trickling filter* unit reduced turbidity by only 0.63%, indicating that the biodegradation process and contact between the wastewater and the biofilm were not yet optimal. In the aeration unit, pH was 7.85, DO was 5.80 mg/L, and MLSS was 1,172 mg/L, which still supports the activity of aerobic microorganisms. A COD value of 3,605 mg/L indicates a high total organic content in the reactor; however, its interpretation is limited because the sample was taken from *mixed liquor* without biomass separation. The research results indicate that hydraulic distribution and biomass management are critical factors influencing the performance of the wastewater treatment plant.

Keywords:

Aeration, DO, Oleochemical Industry, MLSS, Trickling Filter

*Corresponding author: zulfa.amala@ft.unsika.ac.id

I. PENDAHULUAN

Industri oleokimia dasar menjadi pemasok utama bahan baku sektor kosmetik, farmasi, dan pelumas. Proses produksinya mengolah RBD *palm stearine* dan RBD *palm oil* melalui tahapan utama berupa hidrogenasi dan hidrolisis (*splitting*) untuk menghasilkan produk utama berupa asam lemak (*fatty acid*) dan gliserin. proses *splitting* memecah trigliserida menjadi *crude fatty acid* dan *sweet water* yang mengandung gliserin, kemudian dilanjutkan dengan tahapan *pretreatment*, evaporasi, distilasi, dan *bleaching*

untuk memperoleh produk dengan tingkat kemurnian yang sesuai spesifikasi industri. Setiap tahapan tersebut memerlukan penggunaan air proses dalam jumlah besar dan menghasilkan limbah cair dengan karakteristik yang dipengaruhi oleh komposisi bahan baku serta kondisi operasi yang berbeda pada tiap unit proses.

Karakteristik limbah cair industri oleokimia dasar memiliki kompleksitas yang berbeda dibandingkan beberapa sektor industri lainnya, ditandai dengan kandungan campuran minyak dan lemak, asam lemak

bebas, gliserol, serta padatan tersuspensi. Keberadaan minyak dan lemak berpotensi membentuk lapisan pada permukaan air yang menghambat transfer oksigen, sedangkan asam lemak bebas dapat mempengaruhi aktivitas mikroorganisme pada proses biologis. Variasi karakteristik tersebut menyebabkan pengolahan limbah industri ini tidak hanya dituntut menurunkan beban organik, tetapi juga menjaga kestabilan proses biologis agar tetap mampu beradaptasi terhadap perubahan beban pencemar. Kondisi ini menjadikan pengolahan limbah industri oleokimia dasar memerlukan pengendalian operasional yang lebih ketat dibandingkan limbah dengan komposisi organik yang lebih sederhana.

Dominasi senyawa organik pada limbah industri oleokimia dasar tercermin dari nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 365 mg/L dan *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebesar 73 mg/L (Balai Riset dan Standarisasi Industri Palembang, 2021). Tingginya kandungan bahan organik menunjukkan besarnya kebutuhan oksigen untuk proses degradasi sehingga berpotensi menurunkan kadar oksigen terlarut, mengganggu biota akuatik, keseimbangan ekosistem perairan, dan fungsi perairan apabila limbah tidak diolah secara memadai. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengolahan yang mampu menurunkan beban organik secara efektif.

Pengolahan limbah cair industri oleokimia dasar umumnya mengandalkan unit biologis, yaitu unit *trickling filter* dan aerasi. Namun pada kondisi eksisting, menunjukkan bahwa kinerja kedua unit tersebut belum optimal. Nilai kekeruhan *effluent trickling filter* sebesar 77,42 NTU mengindikasikan masih tingginya kandungan padatan tersuspensi yang belum tersisihkan secara efektif. Selain itu, konsentrasi COD pada unit aerasi mencapai 3.605 mg/L jauh melebihi baku mutu internal perusahaan sebesar 154 mg/L yang mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) Nomor 5 Tahun 2014. Temuan tersebut menunjukkan bahwa beban pencemar yang masuk ke sistem biologis belum dapat direduksi secara optimal oleh unit pengolahan yang tersedia.

Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa proses biodegradasi senyawa organik belum berlangsung secara efektif. Rendahnya kinerja *trickling filter* diduga dipengaruhi oleh distribusi aliran yang kurang merata sehingga pembentukan dan pemeliharaan biofilm pada media tidak berlangsung optimal. Akibatnya, luas permukaan aktif yang tersedia bagi mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik menjadi berkurang dan sebagai beban pencemar dapat lolos menuju unit berikutnya. Sementara itu, tingginya konsentrasi COD pada unit aerasi menunjukkan ketidakseimbangan antara beban organik dan kapasitas degradasi biomassa aktif. Kondisi ini diperkuat dengan rendahnya konsentrasi *Mixed Liquor Suspended Solids* (MLSS) sebesar 1.172 mg/L serta pemanfaatan oksigen terlarut yang belum optimal. Hubungan antara distribusi hidrolik, ketersediaan biomassa aktif, dan transfer oksigen menunjukkan bahwa penurunan kinerja sistem merupakan akibat interaksi berbagai faktor

operasional dan desain, bukan hanya disebabkan oleh satu unit pengolahan tertentu (Daniswara & Budiono, 2024).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa unit *trickling filter* dan aerasi yang dirancang dengan baik mampu mencapai efisiensi penyisihan senyawa organik pada limbah cair industri mencapai 50-70% (Rahmawan dkk., 2023). Pada kondisi ideal, *trickling filter* memanfaatkan biofilm yang tumbuh pada media berpori untuk mendegradasi bahan organik (Aulia, 2022), sedangkan unit aerasi menyediakan oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme heterotrofik dalam proses oksidasi senyawa terlarut (I. A. H. Putri, 2019). Meskipun demikian, keberhasilan kedua unit tersebut sangat dipengaruhi oleh kesesuaian desain terhadap karakteristik limbah, distribusi aliran, suplai oksigen, dan kestabilan biomassa. Perbedaan antara kinerja teoritis dan kondisi eksisting yang ditemukan menunjukkan adanya kesenjangan yang perlu dievaluasi lebih lanjut agar faktor-faktor penyebab penurunan efisiensi dapat diidentifikasi secara komprehensif.

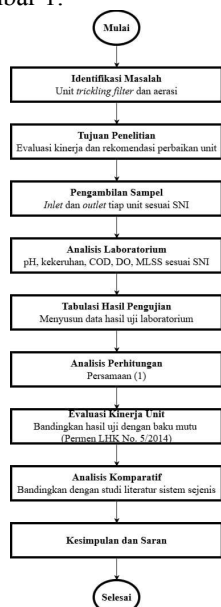
Penelitian ini berfokus pada evaluasi kinerja aktual unit *trickling filter* dan aerasi pada IPAL industri oleokimia dasar melalui analisis kondisi operasional, parameter proses, serta kesesuaian desain terhadap karakteristik beban pencemar. Evaluasi dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap penurunan kinerja sistem, termasuk ketidaksesuaian kapasitas pengolahan dengan karakteristik limbah, distribusi aliran yang tidak merata pada unit *trickling filter*, serta suplai oksigen pada unit aerasi yang belum seimbang dengan jumlah biomassa aktif (Faradila dkk., 2023). Pendekatan tersebut diharapkan mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai hubungan antara karakteristik limbah oleokimia dasar dan efektivitas proses biologis yang diterapkan.

Tujuan penelitian ini adalah menilai kemampuan unit *trickling filter* dan aerasi dalam menurunkan konsentrasi parameter pencemar utama limbah cair industri oleokimia dasar serta merumuskan rekomendasi teknis yang aplikatif. Rekomendasi difokuskan pada optimasi unit eksisting melalui perbaikan aspek desain dan operasional tanpa penambahan unit baru, sehingga lebih realistis untuk diterapkan oleh industri. Selain berkontribusi terhadap peningkatan kepatuhan terhadap baku mutu lingkungan, hasil penelitian ini juga memiliki urgensi dalam mendukung pengembangan teknologi IPAL berkelanjutan melalui peningkatan efisiensi proses, pengurangan konsumsi energi, dan optimalisasi pemanfaatan kembali air hasil olahan. Dengan demikian, evaluasi kinerja unit biologis tidak hanya penting untuk pengendalian pencemaran, tetapi juga menjadi bagian dari upaya penerapan prinsip industri berkelanjutan dan ekonomi sirkular pada sektor industri oleokimia dasar.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada IPAL industri oleokimia dasar yang memproduksi gliserin dan asam stearat dengan fokus kajian pada unit *trickling filter* dan aerasi sebagai unit pengolahan biologi. Penelitian menggunakan pendekatan evaluasi deskriptif untuk menilai

kinerja unit berdasarkan kondisi operasional actual dan kualitas air limbah yang dihasilkan. Data yang digunakan terdiri atas data primer berupa hasil observasi lapangan dan pengambilan sampel air limbah pada titik *inlet* dan *outlet* unit pengolahan, serta data sekunder berupa dokumen operasional IPAL, hasil pengujian laboratorium, dan literatur pendukung. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis perubahan karakteristik air limbah, menghitung efektivitas penyisihan parameter pencemar, serta membandingkan hasil yang diperoleh dengan baku mutu yang berlaku dan hasil penelitian terdahulu pada sistem pengolahan sejenis. Alur penelitian secara sistematis disajikan pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir metode penelitian

Penelitian diawali dengan tahap identifikasi permasalahan pada kondisi eksisting IPAL, khususnya pada unit *trickling filter* dan aerasi. Tahap ini dilakukan melalui observasi langsung terhadap kondisi fisik unit, pola operasional, serta karakteristik proses pengolahan yang berlangsung. Selain observasi lapangan, dilakukan penelaahan terhadap data operasional dan dokumen pendukung yang tersedia untuk memperoleh gambaran mengenai kinerja unit pengolahan. Hasil identifikasi digunakan sebagai dasar dalam merumuskan fokus penelitian serta menentukan parameter yang akan dievaluasi pada masing-masing unit pengolahan.

Tahap selanjutnya adalah pengambilan sampel air limbah pada titik *inlet* dan *outlet* unit *trickling filter* serta aerasi. Pengambilan sampel dilakukan secara langsung (*grab sampling*) pada kondisi operasi normal IPAL menggunakan alat pengambil sampel yang sesuai untuk memperoleh sampel yang representatif. Pengambilan sampel dilakukan satu kali dalam sehari pada pukul 08.00 WIB di masing-masing titik pengamatan selama periode penelitian. Waktu pengambilan tersebut dipilih untuk memperoleh gambaran kondisi operasional unit pada saat proses pengolahan berlangsung secara normal. Sampel yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam wadah sampel yang bersih dan tertutup, diberi identitas sesuai titik pengambilan serta disimpan dan ditangani sesuai prosedur pengawetan dan pengujian yang berlaku. Sampel

selanjutnya dianalisis di laboratorium untuk menentukan karakteristik kualitas air limbah berdasarkan parameter yang telah ditetapkan.

Analisis kualitas air limbah dilakukan terhadap sampel yang diambil pada titik *inlet* dan *outlet* unit *trickling filter* serta aerasi menggunakan metode pengujian yang mengacu pada SNI. Parameter yang dianalisis meliputi pH (SNI 6989.11:2019), kekeruhan (SNI 6989.57:2008), *Chemical Oxygen Demand* atau COD (SNI 6989.2:2019), *Dissolved Oxygen* atau DO (SNI 6989.57:2008), serta *Mixed Liquor Suspended Solids* atau MLSS (SNI 06-2413:2002). Pengujian dilakukan di laboratorium menggunakan proses dan peralatan yang sesuai dengan metode standar untuk memperoleh data yang akurat. Hasil pengujian laboratorium selanjutnya digunakan sebagai data dasar untuk tahap pengolahan dan analisis data.

Data hasil pengujian laboratorium kemudian diolah dan ditabulasi secara sistematis menggunakan *software* Microsoft Excel. Tahap pengolahan data meliputi penyusunan hasil pengujian setiap parameter pada titik *inlet* dan *outlet* unit *trickling filter* serta aerasi ke dalam bentuk tabel untuk memudahkan penelusuran perubahan konsentrasi dan perhitungan lanjutan. Data yang telah ditabulasi kemudian digunakan untuk menghitung nilai rata-rata parameter dan efisiensi penyisihan pada masing-masing unit pengolahan. Hasil pengolahan data tersebut selanjutnya menjadi dasar dalam evaluasi kinerja unit *trickling filter* dan aerasi.

Berdasarkan data yang telah ditabulasi, dilakukan analisis perhitungan untuk menentukan efektivitas penyisihan parameter pencemar pada masing-masing unit pengolahan. Efektivitas penyisihan dihitung berdasarkan perbedaan konsentrasi parameter antara *inlet* dan *outlet* menggunakan persamaan 1.

$$\eta = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

η : Efektivitas pengolahan (%)

C_{in} : Konsentrasi parameter pada *inlet* (mg/L)

C_{out} : Konsentrasi parameter pada *outlet* (mg/L)

Persamaan tersebut digunakan untuk menghitung persentase penurunan konsentrasi parameter yang terjadi selama proses pengolahan pada unit *trickling filter* dan aerasi. Hasil perhitungan efektivitas penyisihan digunakan untuk menggambarkan kemampuan masing-masing unit dalam menurunkan beban pencemar air limbah berdasarkan parameter yang dianalisis.

Selanjutnya, dilakukan evaluasi kinerja unit pengolahan berdasarkan hasil pengujian kualitas air limbah dan efektivitas penyisihan parameter pencemar yang diperoleh. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kualitas *effluent* terhadap baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran XXXIII tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Oleokimia Dasar untuk *Fatty Acid* dan *Fatty Alcohol* melalui Jalur *Fatty Acid*. Tahap ini bertujuan untuk menilai tingkat kepatuhan hasil pengolahan terhadap ketentuan yang berlaku serta mengidentifikasi parameter yang masih

berpotensi melebihi baku mutu sehingga dapat mempengaruhi kinerja keseluruhan sistem pengolahan air limbah.

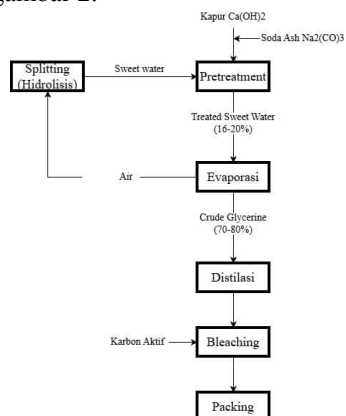
Sebagai tahap akhir, dilakukan analisis komparatif dengan membandingkan hasil penelitian terhadap hasil penelitian terdahulu pada sistem pengolahan biologi yang sejenis. Perbandingan dilakukan berdasarkan efektivitas penyisihan parameter pencemar, karakteristik proses pengolahan, serta kondisi operasional unit *trickling filter* dan aerasi yang dilaporkan dalam berbagai penelitian sebelumnya. Analisis komparatif ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai posisi kinerja unit yang diteliti dibandingkan dengan sistem pengolahan sejenis serta memperkuat interpretasi dan pembahasan hasil penelitian (Premananda & Primajana, 2023).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Produksi Gliserin dan Asam Stearat

Proses produksi gliserin pada industri oleokimia dasar terdiri atas beberapa tahapan pengolahan yang saling berkaitan, mulai dari pemisahan komponen utama hingga pemurnian produk akhir. Setiap tahapan proses menghasilkan aliran samping berupa *sweet water* yang masih mengandung sisa asam lemak, gliserol, senyawa organik terlarut, serta residu bahan kimia proses. Keberadaan senyawa-senyawa tersebut berkontribusi terhadap peningkatan beban organik yang masuk ke IPAL, terutama ditunjukkan oleh tingginya kandungan BOD dan COD pada air limbah industri oleokimia.

Karakteristik *sweet water* yang dihasilkan pada setiap tahapan proses produksi menjadi salah satu faktor yang memengaruhi kinerja pengolahan biologis di IPAL. Oleh karena itu, pemahaman terhadap alur produksi gliserin diperlukan untuk mengidentifikasi sumber pembentukan limbah cair, jenis pencemar yang dihasilkan, serta keterkaitannya dengan karakteristik air limbah yang diolah pada unit *trickling filter* dan aerasi. Adapun alur proses produksi gliserin pada industri oleokimia dasar dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Alur proses produksi gliserin industri oleokimia

Berdasarkan gambar 2, proses produksi gliserin pada industri oleokimia terdiri atas beberapa tahapan utama yang saling berkaitan, dimulai dari pengolahan *sweet water* hingga tahap pemurnian gliserin. Setiap tahapan proses tidak hanya berperan dalam meningkatkan kualitas produk, tetapi juga berpotensi menghasilkan aliran limbah cair

dengan karakteristik pencemar yang berbeda. Uraian masing-masing tahapan proses adalah sebagai berikut:

1. Proses *pretreatment sweet water*

Sweet water yang dihasilkan dari proses *splitting* memerlukan *treatment* untuk menghilangkan *fatty acid* yang masih ada didalamnya. *Sweet water* yang membawa *crude fatty acid* dilakukan proses *skimming* dengan cara pemanasan sehingga minyak mengapung diatas permukaan dan *sweet water* menurun secara gravitasi kemudian masuk ke dalam *fat separator*. Kemudian *fat separator* dialirkan ke tangki yang dilengkapi dengan *sparger gas* dan *coil* pemanas di dasar tangka. *Sweet water* ditambahkan kapur atau kalsium hidroksida untuk mengendapkan *crude fatty acid* yang masih terlarut dalam *sweet water*. Selanjutnya, *sweet water* yang masih terkandung *crude fatty acid* dan kapur dialirkan dan ditambahkan natrium karbonat untuk menghilangkan kelebihan endapan kapur.

2. Proses evaporasi *sweet water*

Treated sweet water merupakan hasil *pretreatment* yang akan masuk ke proses evaporasi. Proses evaporasi menggunakan *triple effect evaporator* untuk menguapkan kandungan air yang tinggi dengan kapasitas 6000 kg/jam untuk setiap *evaporator*. *Treated sweet water* dengan konsentrasi 12-20% dipompa dan dialirkan ke *preheater* untuk dilakukan pemanasan sehingga suhu menjadi 100°C.

Sebagian produk yang telah mengalami pemekatan keluar dari *evaporator* dan sebagian akan di resirkulasi. Sebagian *treated sweet water* yang telah mengalami penguapan akan dialirkan ke *evaporator* stage kedua dengan suhu 80-110°C. Kemudian, *treated sweet water* dialirkan untuk dipanaskan dengan *steam* yang berasal dari pemanas *stage 1* dan *steam* jalur vakum. Selanjutnya dilakukan resirkulasi sehingga terjadi penguapan air.

Produk hasil dari *evaporator* stage 3 adalah *crude glycerin* dengan kemurnian yang tinggi sekitar 70-80% yang kemudian dipompa untuk masuk ke dalam tangki penyimpanan. Uap air hasil vakum kemudian dikondensasi dengan *cooling tower* yang hasilnya akan dialirkan ke *hot well*.

3. Proses distilasi gliserin

Hasil evaporasi selanjutnya dialirkan menuju tangki *intermediet* sebelum dipompa ke unit *economizer*. Pada unit ini, umpan gliserin dipanaskan menggunakan panas aliran hasil distilasi sebelumnya. Pemanfaatan panas sisa tersebut bertujuan untuk meningkatkan efisien energi proses sekaligus mengurangi kebutuhan pemanasan tambahan.

Gliserin yang telah mengalami pemanasan awal kemudian alirkan ke unit *dryer*. Pada tahap pengeringan ini, sebagian kandungan air diuapkan sehingga kadar air gliserin berkurang secara signifikan. Penurunan kadar air ini diperlukan agar beban kerja pada kolom distilasi berikutnya menjadi lebih ringan dan proses pemisahan dapat berlangsung lebih optimal.

Selama proses distilasi awal, sebagian gliserin dapat mengalami reaksi polimerisasi akibat pengaruh suhu tinggi. Fraksi gliserin yang terpolimerisasi tersebut memiliki berat molekul lebih besar dan viskositas lebih tinggi sehingga membentuk residu kental yang dikenal sebagai *pitch*. *Pitch* ini selanjutnya dialikan menuju kolom pemanas

untuk penangan lebih lanjut sesuai dengan kebutuhan proses.

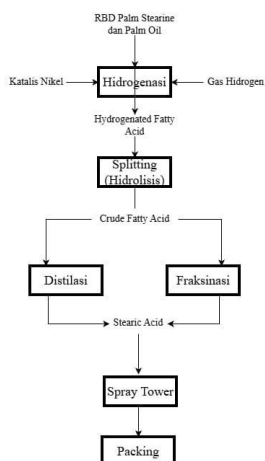
4. Proses *bleaching*

Setelah proses distilasi selesai, maka gliserin dengan konsentrasi tinggi 99,5% mengalami proses *bleaching*. Pada tahap awal, gliserin akan dimasukkan ke unit *deodorizer* untuk menghilangkan bau yang masih tersisa. Proses ini dilakukan dengan menginjeksikan uap air (*steam*) ke dalam sistem sehingga senyawa volatil penyebab bau dapat terlepas dan tereliminasi secara efektif.

Gliserin yang telah melalui proses *deodorizing* kemudian dipompa menuju tangki *bleaching*. Pada tahap ini dilakukan penambahan karbon aktif dengan dosis sekitar 5 kg untuk setiap 10 ton gliserin. Penambahan karbon aktif bertujuan untuk menyerap senyawa pengotor, warna, serta residu organik yang masih tersisa sehingga kualitas gliserin menjadi lebih jernih dan memenuhi spesifikasi produk.

Selanjutnya, campuran gliserin dan karbon aktif dialirkan menuju unit *filter press*. Unit ini berfungsi untuk memisahkan karbon aktif yang masih terbawa dalam aliran gliserin melalui proses filtrasi mekanis. Gliserin yang telah tersaring kemudian dialirkan ke tangki penampungan sebelum akhirnya dipindahkan ke tangki penyimpanan sebagai produk akhir.

Selain gliserin, industri oleokimia juga menghasilkan produk samping berupa asam stearat yang berasal dari bahan baku minyak nabati. Produksi asam stearat dilakukan melalui rangkaian proses pemisahan dan pemurnian asam lemak dengan tahapan yang berbeda dari proses gliserin, namun masih berada dalam satu sistem produksi oleokimia. Adapun proses produksi asam stearat secara rinci dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Alur proses produksi asam stearat industri oleokimia

Berdasarkan alur proses produksi tersebut, proses produksi asam stearat pada industri oleokimia terdiri atas beberapa tahapan utama yang saling berkaitan, mulai dari pengolahan bahan baku hingga pemurnian produk akhir. Uraian masing-masing tahapan proses produksi asam stearat yaitu sebagai berikut:

1. Proses hidrogenasi

Proses produksi asam stearat dimulai dari proses hidrogenasi, yaitu mengubah ikatan RBD *stearine* dari *unsaturated* (ikatan rangkap) menjadi *saturated* (ikatan

tunggal). Proses hidrogenasi menggunakan 4 buah *autoclave* berpengaduk dengan kapasitas 11 ton/batch. Kemudian *steam* pemanas diinjeksikan kedalam *autoclave* untuk menghilangkan *moisture content* yang masih ada di dalam RBD *stearine*. Setelah suhu mencapai 120-130°C, ditambahkan katalis nikel sebanyak 5-6 kg untuk *stearine* dan 3 kg untuk *palm oil*. Gas hydrogen dialirkan melalui *sparger* di dasar reaktor *autoclave*.

Penurunan jumlah ikatan rangkap pada proses hidrogenasi apabila telah memenuhi standar yaitu <0.5, RBD *stearine* akan menjadi *hydrogenated fat* dan dikeluarkan dari *autoclave*. *Hydrogenated fat* kemudian masuk ke dalam *cooler* dalam kondisi vakum agar suhu *hydrogenated fat* tidak terlalu tinggi sehingga mencegah kerusakan alat proses selanjutnya. Selain itu, pada proses ini memanfaatkan input RBD *stearine* yang dialirkan melalui *coil* di dalam *cooler*. Adanya proses kontak antara *hydrogenated fat* dan RBD *stearine*, maka biaya operasional untuk penggunaan *steam* pemanas dan air pendingin lebih sedikit. Proses pendinginan berlangsung selama 15 menit dengan suhu akhir <100°C.

2. Proses hidrolisa minyak (*splitting*)

Proses *splitting* diawali dengan mengalirkan *hydrogenated fat* ke *dryer vessel* untuk menghilangkan gas-gas yang masih terdapat didalamnya, karena gas tersebut dapat menyebabkan terjadinya oksidasi dan ketengikan sehingga menurunkan kualitas dari minyak. Selanjutnya, *hydrogenated fat* dipompa agar masuk ke bagian bawah kolom *splitting* dan *softened water* masuk dari atas kolom. Reaksi antara *hydrogenated fat* dengan *softened water* terjadi diantara *bubble cap* yang di *spray* dengan *steam* ke arah bawah.

Pada bagian atas, tengah, dan bawah kolom diinjeksikan *steam* pemanas dari *boiler* yang suhunya diatur oleh *temperature control* dengan rentang suhu 190-240°C, 255-275°C, 250-270°C. Penggunaan *steam* di *spray* ke bawah yaitu agar uap panas dari *steam* naik dari atas ke bawah, sehingga pemanasannya merata ke seluruh kolom *splitting*. Selain itu, *pressure control* dan *temperature control* juga dihubungkan agar mencegah terjadinya perubahan fasa pada proses *splitting* yang dapat terjadi jika suhu dan tekanannya berubah.

Hasil dari proses *splitting* yaitu *sweet water* dan *crude fatty acid*. Selanjutnya, *crude fatty acid* akan dialirkan ke *expansion vessel* dan diinjeksikan dengan air untuk menurunkan tekanan dan pendinginan. Dengan turunnya tekanan tersebut dengan suhu yang masih cenderung tinggi, maka fasa dari sebagian *crude fatty acid* dan *sweet water* akan berubah menjadi uap. Produk *crude fatty acid* fasa cair akan dipompa masuk kedalam tangku untuk dilakukan distilasi dan fraksinasi.

3. Proses distilasi asam lemak

Crude fatty acid dialirkan ke dua *heat exchanger* untuk mempermudah kerja *dryer* dalam menguapkan air sebelum distilasi. Pada *dryer* terjadi resirkulasi agar senyawa *volatile* yang masih ada bisa lebih teruapkan. Senyawa yang teruapkan yaitu air, C₆, C₈, C₁₀ akan divakum dan dikondensasikan. *Crude fatty acid* dari *heat exchanger* akan masuk ke *elembic* dimana sebagian *hydrogenated splitted fatty acid* diuapkan pada kolom

elembic dan sebagiannya di resirkulasi. Pada *elembic* senyawa yang diuapkan yaitu C_{18} , C_{16} yang kemudian dikondensasikan dan keluar dari kolom *elembic* yang disebut distilat 1.

Distilat 1 akan masuk ke *heat exchanger* untuk didinginkan dengan air *feed* CFA dan suhu akhir menjadi 70°C . Proses distilasi vakum di *elembic* akan menghasilkan asam stearat dengan kemurnian 30-40% kemudian dialirkan ke tangka dan masuk ke proses *spray*.

4. Proses fraksinasi

Proses fraksinasi bertujuan untuk asam stearat sesuai dengan komposisi yang diinginkan. *Crude fatty acid* dari kolom *splitting* masuk ke dalam kolom deaerasi dan dehidrasi untuk dilakukan pemanasan secara terus menerus dengan cara sirkulasi. *Crude fatty acid* yang panas keluar dari kolom dan dipanaskan dengan rangkaian penukar kalor yang sama namun berbeda jalur, kemudian masuk ke kolom fraksinasi pertama hanya sebagai *preheater* kedua untuk fraksinasi selanjutnya.

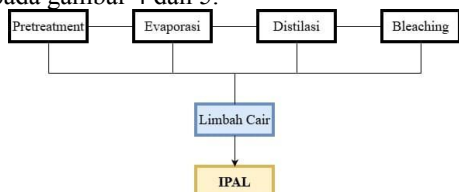
5. Proses *spraying*

Hasil proses distilasi dan fraksinasi akan ditampung dan dipompakan ke dalam penampungan *intermediate* tangku yang dilengkapi dengan jaket *steam* untuk mencegah pembekuan produk. Setelah itu produk dipompa untuk penambahan tekanan dan pendinginan atau pemanasan. Media pemanas yaitu *steam* dan media pendingin yaitu *cooling tower*.

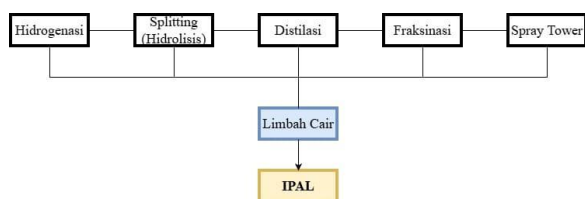
Produk ditampung sementara kemudian masuk ke kolom *spray tower* dengan cara disemprotkan dengan *nozzle*. Produk yang melewati *nozzle* akan jatuh dalam bentuk butiran dan didinginkan. Pada bagian bawah kolom terdapat *blower* untuk meniupkan udara agar mendinginkan, meratakan, dan juga mendorong produk yang sudah berfasa padat ke penampungan produk akhir. Saat keluar dari *spray tower*, produk yang berbentuk *bead* akan melewati ayakan (*filter*) untuk mensortir produk akhir yang berukuran sesuai dengan kebutuhan.

B. Karakteristik Limbah Cair Awal

Berdasarkan tahapan proses produksi asam stearat dan gliserin yang ada pada industri oleokimia dasar, dapat diidentifikasi beberapa unit proses yang berpotensi menghasilkan air limbah dan memerlukan pengolahan melalui IPAL. Tahapan proses produksi asam stearat dan gliserin yang berpotensi menghasilkan air limbah dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.



Gambar 4 Karakteristik air limbah produksi gliserin industri oleokimia



Gambar 5 Karakteristik air limbah produksi asam stearat industri oleokimia

Kedua gambar tersebut menunjukkan bahwa proses produksi asam stearat dan gliserin terdiri atas beberapa tahapan yang berpotensi menghasilkan air limbah, baik berupa air kondensat, *blowdown*, air buangan sistem pemanas dan pendingin, maupun air pencucian peralatan. Air limbah tersebut umumnya mengandung sisa asam lemak, gliserol, senyawa volatil, serta residu bahan kimia dengan sifat organik tinggi dan kecenderungan pH basa. Karakteristik tersebut menyebabkan seluruh aliran limbah cair dari proses produksi harus dikumpulkan dan diolah melalui IPAL sebelum dibuang ke lingkungan.

Untuk menilai karakteristik dan tingkat pencemaran air limbah yang dihasilkan, dilakukan evaluasi kualitas air limbah dilakukan melalui uji laboratorium terhadap parameter pencemar pada titik *inlet* IPAL yang diambil setiap bulan guna memperoleh gambaran kondisi limbah cair yang masuk ke sistem pengolahan. Parameter pencemar yang dianalisis digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi efektivitas kinerja IPAL. Adapun hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1
Kualitias Air Limbah *Inlet*

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Pengujian	Keterangan
BOD	mg/L	66	73	Tidak memenuhi
COD	mg/L	154	365	Tidak memenuhi
TSS	mg/L	93	74	Memenuhi
Minyak dan Lemak	mg/L	9	<1	Memenuhi
Fosfat	mg/L	5	0,355	Memenuhi
Amonia	mg/L	10	0,269	Memenuhi
Total Coliform	jumlah/100mL	3000	1100	Memenuhi
pH	-	6-9	6,40	Memenuhi

Hasil pengujian kualitas air limbah pada *inlet* menunjukkan bahwa sebagian besar parameter telah memenuhi baku mutu sebagaimana diatur dalam Permen LHK No. 5 Tahun 2014 untuk industri oleokimia, kecuali parameter BOD dan COD yang tercatat masing-masing sebesar 73 mg/L dan 365 mg/L, melebihi ambang batas yang ditetapkan. Kondisi ini menunjukkan bahwa bahan pencemar utama pada limbah cair industri oleokimia dasar didominasi oleh senyawa organik. Tingginya konsentrasi BOD dan COD mengindikasikan bahwa proses produksi masih menghasilkan residu organik yang cukup besar untuk masuk ke sistem pengolahan. Beban organik tersebut menjadi parameter kritis karena secara langsung mempengaruhi kebutuhan oksigen dan kapasitas biodegradasi pada unit biologis IPAL.

Tingginya nilai COD pada limbah cair industri ini berkaitan erat dengan karakteristik proses produksinya. Menurut Tarigan dkk., (2025), limbah industri berbasis kelapa sawit umumnya mengandung senyawa organik kompleks seperti minyak, lemak, asam lemak bebas, dan senyawa volatil yang berkontribusi terhadap peningkatan COD. Pada industri yang dianalisis, senyawa tersebut berasal dari proses hidrogenasi, *splitting*, distilasi, dan *bleaching* yang menghasilkan *sweet water*, residu gliserol, sisa asam lemak, serta senyawa organik hasil pemurnian (N. A. Putri dkk., 2023). Karakteristik tersebut menyebabkan

sebagai besar beban organik berada dalam bentuk senyawa kompleks yang memerlukan waktu degradasi lebih lama dibandingkan senyawa organik sederhana (Barus, 2022). Kondisi ini menjadi tantangan utama bagi unit biologis karena kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan senyawa organik tidak hanya ditentukan oleh konsentrasi pencemar, tetapi juga oleh tingkat biodegradabilitasnya.

Hasil pengujian menunjukkan rasio BOD/COD sebesar 0,20. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa limbah memiliki tingkat biodegradabilitas yang rendah karena sebagian besar bahan organik berada dalam bentuk senyawa yang sulit terurai secara biologis. Menurut Pandia et al (2020), rasio BOD/COD dibawah 0,30 menunjukkan dominasi senyawa organik refraktori yang memerlukan waktu tinggal lebih panjang dan aktivitas mikroorganisme yang lebih intensif untuk dapat didegradasi secara optimal. Pada limbah oleokimia dasar, senyawa tersebut diduga berupa asam lemak rantai panjang (*long chain fatty acids*), sabun, ester, dan residu hasil pemurnian minyak yang masih terbawa ke dalam sistem pengolahan.

Pra pengolahan kimia telah terbukti efektif menurunkan padatan tersuspensi dan sebagian bahan organik terlarut, namun belum mampu menguraikan senyawa organik kompleks yang menjadi beban utama proses biologis. Kondisi ini berpotensi menyebabkan *shock loading* pada unit biologis, sehingga menurunkan stabilitas dan efisiensi degradasi yang tidak optimal.

Meskipun parameter lain seperti TSS, minyak dan lemak, fosfat, amonia, *Total Coliform*, dan pH telah memenuhi baku mutu, tingginya BOD dan COD menunjukkan perlunya optimasi pada tahap pra pengolahan atau peningkatkan waktu tinggal hidraulik pada unit biologis. Upaya tersebut diperlukan untuk meningkatkan efektivitas kinerja IPAL secara keseluruhan dalam menangani limbah dengan kandungan senyawa organik kompleks (Sofianti dkk., 2023).

C. Evaluasi Unit *Trickling Filter* dan Aerasi

Evaluasi kualitas air limbah pada unit *trickling filter* dilakukan untuk menilai kinerja proses biologis di IPAL industri oleokimia. Unit ini merupakan tahap pengolahan biologis awal yang berperan dalam menurunkan kandungan bahan organik melalui aktivitas mikroorganisme yang tumbuh pada media biofilm. Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter pH dan *turbidity* untuk menggambarkan kondisi proses biologis serta kualitas air limbah setelah melewati unit *trickling filter*. Selain itu, hasil pengujian digunakan untuk mengidentifikasi potensi permasalahan operasional yang dapat memengaruhi efektivitas pengolahan, seperti distribusi aliran yang tidak merata maupun kondisi biofilm yang kurang optimal. Adapun hasil pengujian unit *trickling filter* disajikan pada tabel 2.

Tabel 2
Hasil Pengujian Unit *Trickling Filter*

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Kondisi Eksisting
pH	-	6-9	7,53
<i>Turbidity</i>	NTU	25	77,42*

Keterangan:

*: Melebihi baku mutu

Hasil pengukuran pada unit *trickling filter* bulan Januari 2025 menunjukkan nilai pH sebesar 7,53 yang masih berada dalam kisaran baku mutu, yaitu 6–9. Kondisi ini menunjukkan lingkungan biologis yang relatif stabil dan masih mendukung aktivitas mikroorganisme aerob dalam proses degradasi bahan organik. Kestabilan pH menjadi faktor penting dalam proses biodegradasi karena memengaruhi aktivitas enzim dan metabolisme mikroorganisme yang berperan dalam pembentukan biofilm pada media *trickling filter* (Metcalf dkk., 2014).

Sementara itu, nilai *turbidity* yang terukur sebesar 77,42 NTU menunjukkan bahwa unit *trickling filter* belum mampu menurunkan kandungan partikel tersuspensi secara efektif. Pada kondisi operasi normal, penurunan *turbidity* terjadi melalui kombinasi proses filtrasi fisik oleh media dan degradasi biologis biofilm yang melekat pada permukaan media. Tingginya nilai *turbidity* mengindikasikan bahwa kedua mekanisme tersebut belum berlangsung optimal. Hasil observasi lapangan menunjukkan adanya distribusi aliran yang kurang merata pada permukaan media akibat kondisi *sprinkler* yang tidak bekerja secara optimal. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan fenomena *channeling*, yaitu aliran limbah hanya melewati sebagian area media sehingga luas permukaan biofilm aktif menjadi berkurang. Akibatnya, kontak antara mikroorganisme dan bahan organik menjadi tidak maksimal sehingga efisiensi penyisihan pencemar menurun.

Karakteristik limbah oleokimia dasar yang mengandung minyak, lemak, dan asam lemak bebas juga berpotensi mempengaruhi pembentukan biofilm pada media *trickling filter*. Senyawa hidrofobik tersebut dapat menutupi sebagai permukaan media dan menghambat transfer oksigen maupun difusi substrat ke dalam lapisan biofilm. Kondisi ini menyebabkan laju biodegradasi menjadi lebih rendah dibandingkan konsisi desain, terutama ketika distribusi aliran dan suplai udara tidak berlangsung optimal.

Evaluasi selanjutnya dilakukan pada unit aerasi sebagai tahap pengolahan biologis lanjutan setelah air limbah melewati unit *trickling filter*. Unit ini berfungsi untuk meningkatkan degradasi senyawa organik melalui aktivitas mikroorganisme aerob yang tumbuh dalam bentuk biomassa tersuspensi. Kombinasi *trickling filter* dan aerasi membentuk sistem pengolahan biologis bertingkat (*dual-stage biological treatment*) yang umum diterapkan pada limbah industri dengan kandungan bahan organik relatif tinggi. Pada penelitian ini, evaluasi unit aerasi dilakukan berdasarkan parameter pH dan COD untuk menilai kondisi proses biologis serta karakteristik beban organik yang terdapat di dalam sistem. Hasil pengujian unit aerasi disajikan pada tabel 3.

Tabel 3
Hasil Pengujian Unit Aerasi

Parameter	Satuan	Baku Mutu	Kondisi Eksisting
pH	-	6-9	7,86
COD	mg/L	154	3.605*

Keterangan:

*: Melebihi baku mutu

Hasil pengukuran pH pada unit aerasi menunjukkan nilai rata-rata sebesar 7,86 yang masih berada dalam

rentang baku mutu, yaitu 6–9. Kondisi ini menunjukkan lingkungan yang mendukung aktivitas mikroorganisme aerob dalam proses biodegradasi senyawa organik. Nilai pH yang relatif stabil mengindikasikan bahwa proses biologis berlangsung tanpa gangguan yang signifikan akibat kondisi terlalu asam maupun terlalu basa, sehingga aktivitas enzim dan metabolisme mikroorganisme dapat berlangsung secara optimal (Rakhma Putri dkk., 2022).

Sementara itu, nilai COD pada bak aerasi mencapai 3.605 mg/L, jauh lebih tinggi dibandingkan COD inlet IPAL. Secara teoritis, konsentrasi COD seharusnya menurun setelah limbah melewati proses biologis. Namun pada penelitian ini sampel diambil langsung dari bak aerasi yang masih mengandung campuran air limbah, biomassa tersuspensi, flok lumpur aktif, dan padatan organik lainnya (*mixed liquor*), sehingga nilai COD yang diperoleh merepresentasikan kandungan organik total di dalam reaktor dan bukan kualitas efluen hasil pengolahan.

Hasil observasi lapangan, menunjukkan bahwa adanya lumpur pada dasar bak aerasi yang tidak dikeluarkan secara rutin. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian biomassa dan bahan organik terendapkan di dasar kolam, sehingga keberadaannya berpotensi mempengaruhi hasil pengukuran COD apabila terikut selama proses pengambilan sampel. Oleh karena itu, tingginya nilai COD tidak dapat secara langsung diinterpretasikan sebagai kegagalan proses biodegradasi, melainkan menunjukkan bahwa kandungan bahan organik total di dalam reaktor masih tinggi.

Selain dipengaruhi oleh keberadaan biomassa, tingginya COD juga menunjukkan bahwa beban organik yang masuk ke unit aerasi masih cukup besar. Kondisi ini sejalan dengan rendahnya kinerja *trickling filter* dalam menurunkan *turbidity*, sehingga sebagian bahan organik dan padatan masih diteruskan ke unit aerasi. Pada limbah oleokimia dasar, senyawa seperti asam lemak rantai panjang, sabun, dan ester memerlukan waktu degradasi yang lebih lama dibandingkan senyawa organik sederhana. Akibatnya, senyawa tersebut dapat terakumulasi di dalam sistem apabila laju biodegradasi lebih rendah dibandingkan laju masuknya beban pencemar.

Namun demikian, karena penelitian ini tidak melakukan analisis *soluble* COD, *particulate* COD, maupun COD efluen setelah proses pemisahan biomassa, kontribusi masing-masing fraksi terhadap nilai COD total belum dapat ditentukan secara kuantitatif. Oleh karena itu, data COD pada penelitian ini lebih tepat digunakan untuk menggambarkan kondisi beban organik total di dalam bak aerasi. Interpretasi terhadap kemampuan penyisihan bahan organik perlu dilakukan secara hati-hati karena penelitian ini tidak membedakan fraksi *soluble* COD dan *particulate* COD yang berasal dari biomassa tersuspensi.

D. Efisiensi Penyisihan Unit *Trickling Filter* dan Aerasi

Efisiensi penyisihan digunakan untuk menilai perubahan karakteristik air limbah setelah melewati unit *trickling filter* dan aerasi dengan membandingkan konsentrasi parameter pada titik *inlet* dan *outlet* masing-masing unit pengolahan. Analisis ini memberikan

gambaran kuantitatif mengenai perubahan kualitas air limbah yang terjadi selama proses biologis berlangsung.

Pada unit *trickling filter*, evaluasi efisiensi penyisihan dilakukan berdasarkan parameter pH dan *turbidity* sesuai dengan ketersediaan data hasil pengujian. Parameter pH digunakan untuk menggambarkan kestabilan kondisi biologis, sedangkan *turbidity* digunakan sebagai indikator keberadaan partikel tersuspensi yang masih terdapat dalam air limbah setelah proses pengolahan. Meskipun belum secara langsung menggambarkan efisiensi penyisihan bahan organik, hasil pengukuran tetap dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi operasional unit dan efektivitas proses biologis yang terjadi pada media biofilm. Perhitungan efisiensi dilakukan menggunakan persamaan (1), sedangkan hasil perhitungannya disajikan pada tabel 4.

Tabel 4
Efisiensi Penyisihan Unit *Trickling Filter*

Parameter	Satuan	Inlet	Outlet	Baku Mutu	Efisiensi (%)
pH	-	7,68	7,53	6-9	2,04
<i>Turbidity</i>	NTU	77,90	77,42	-	0,63

Hasil perhitungan menunjukkan nilai pH mengalami penurunan dari 7,68 menjadi 7,53 dengan efisiensi sebesar 2,04%. Perubahan tersebut relatif kecil dan masih berada dalam rentang netral, sehingga menunjukkan kondisi biologis pada unit *trickling filter* tetap stabil. Kestabilan pH ini mengindikasikan bahwa aktivitas mikroorganisme pada lapisan biofilm masih dapat berlangsung dengan baik karena tidak terjadi perubahan kondisi lingkungan yang signifikan selama proses pengolahan (Metcalf dkk., 2014).

Sementara, nilai *turbidity* hanya mengalami penurunan dari 77,90 NTU menjadi 77,42 NTU dengan efisiensi penyisihan sebesar 0,63%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa unit *trickling filter* belum memberikan kontribusi yang signifikan terhadap penurunan kandungan partikel tersuspensi. Nilai tersebut jauh lebih rendah dibandingkan kinerja *trickling filter* yang beroperasi optimal. Rendahnya efisiensi ini mengindikasikan bahwa proses kontak antara limbah dan biofilm belum berlangsung secara efektif. Distribusi aliran yang tidak merata menyebabkan sebagian media menerima beban hidrolik yang lebih besar dibandingkan bagian lainnya sehingga pembentukan biofilm menjadi tidak seragam. Kondisi tersebut mengurangi luas permukaan aktif yang tersedia untuk proses biodegradasi dan berdampak pada rendahnya kemampuan unit dalam menyisihkan bahan organik maupun partikel tersuspensi.

Apabila dibandingkan dengan kinerja *trickling filter* yang beroperasi optimal, efisiensi penyisihan *turbidity* pada kondisi eksisting masih jauh lebih rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa proses biologis yang terjadi pada media biofilm belum mampu memberikan penurunan kualitas air limbah yang signifikan. Dengan demikian, diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap kondisi operasional unit, terutama terkait distribusi aliran dan pemeliharaan media biofilm, untuk meningkatkan efektivitas proses pengolahan (Forbis-Stokes dkk., 2020).

Evaluasi selanjutnya dilakukan pada unit aerasi untuk menilai kondisi proses biologis lanjutan setelah air limbah melewati unit *trickling filter*. Unit ini menggunakan sistem lumpur aktif yang mengandalkan aktivitas

mikroorganisme aerob dalam menguraikan senyawa organik terlarut. Pada penelitian ini, evaluasi efisiensi dilakukan berdasarkan parameter pH dan *Dissolved Oxygen* (DO) untuk menggambarkan kestabilan kondisi biologis serta pemanfaatan oksigen selama proses pengolahan berlangsung.

Nilai pH yang stabil menunjukkan bahwa lingkungan dalam sistem masih mendukung aktivitas mikroorganisme, sedangkan perubahan konsentrasi DO dapat digunakan sebagai indikator terjadinya proses respirasi dan metabolisme biologis. Semakin aktif mikroorganisme memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber energi, semakin besar kebutuhan oksigen yang digunakan dalam proses oksidasi biologis. Oleh karena itu, analisis perubahan DO dapat memberikan gambaran mengenai aktivitas biodegradasi yang terjadi di dalam bak aerasi. Adapun hasil perhitungan efisiensi penyisihan pada unit aerasi disajikan pada tabel 5.

Tabel 5
Efisiensi Penyisihan Unit Aerasi

Parameter	Satuan	Inlet	Outlet	Baku Mutu	Efisiensi (%)
pH	-	7,9	7,85	6-9	0,63
DO	mg/L	7,53	5,8	1-2	23,01

Hasil perhitungan menunjukkan nilai pH pada unit aerasi menurun dari 7,90 menjadi 7,85 dengan efisiensi sebesar 0,63%. Perubahan yang relatif kecil tersebut menunjukkan kondisi biologis dalam bak aerasi tetap stabil dan berada pada rentang optimum bagi aktivitas mikroorganisme aerob. Kestabilan pH mengindikasikan bahwa proses metabolisme mikroorganisme berlangsung tanpa adanya akumulasi senyawa asam maupun basa yang dapat mengganggu proses biodegradasi (Metcalf dkk., 2014).

Nilai DO menurun dari 7,53 mg/L menjadi 5,80 mg/L dengan efisiensi 23,01% menunjukkan adanya pemanfaatan oksigen terlarut oleh mikroorganisme selama proses respirasi dan oksidasi senyawa organik. Menurut Qin et al., (2023), kondisi ini mengindikasikan aktivitas biologis masih berlangsung di dalam reaktor. Namun, konsentrasi DO *outlet* yang masih relatif tinggi menunjukkan bahwa ketersediaan oksigen bukan merupakan faktor pembatas utama. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa laju degradasi dipengaruhi oleh karakteristik substrat dan jumlah biomassa aktif dibandingkan ketersediaan oksigen (Metcalf dkk., 2014).

Parameter lain yang mendukung evaluasi kinerja unit aerasi adalah konsentrasi MLSS (*Mixed Liquor Suspended Solids*) sebesar 1.172 mg/L. Nilai ini menunjukkan biomassa tersuspensi yang terukur relatif rendah dan berada di bawah kisaran operasi sistem lumpur aktif menurut Metcalf et al., (2014) yaitu 2.000-4.000 mg/L. Namun demikian, hasil observasi menunjukkan adanya akumulasi lumpur pada dasar bak aerasi sehingga nilai MLSS yang diperoleh kemungkinan belum merepresentasikan seluruh biomassa yang terdapat dalam reaktor. Kondisi ini menunjukkan perlu adanya evaluasi lebih lanjut terhadap distribusi biomassa dan mekanisme pengelolaan lumpur untuk memperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai performa biologis sistem.

E. Rekomendasi

Berdasarkan hasil evaluasi, prioritas perbaikan difokuskan pada peningkatan distribusi hidrolis dan transfer oksigen pada unit biologis. Perbaikan jangka pendek meliputi inspeksi dan pemulihan fungsi *sprinkler*, lengan rotasi, serta *blower* untuk memastikan distribusi air limbah berlangsung merata dan suplai oksigen tetap tersedia bagi mikroorganisme (Hasanah dkk., 2025). Distribusi aliran yang baik diperlukan untuk mencegah terjadi *channeling* pada media *trickling filter* sehingga seluruh media dapat dimanfaatkan secara optimal dalam proses biodegradasi.

Pada unit aerasi, perlu dilakukan pengelolaan lumpur secara berkala untuk mencegah akumulasi biomassa pada dasar kolam. Pengendalian biomassa dapat dilakukan melalui pemantauan parameter MLSS, MLVSS, dan rasio F/M agar keseimbangan antara beban organik dan jumlah mikroorganisme tetap terjaga. Evaluasi kebutuhan oksigen aktual dan efisiensi transfer oksigen sistem aerasi juga diperlukan untuk memastikan energi yang digunakan tetap efisien tanpa mengurangi kinerja pengolahan (Pramudia dkk., 2025).

Selain perbaikan teknis, pemanfaatan kembali air hasil olahan yang telah memenuhi baku mutu sebagai air pencuci peralatan, air pendingin pada sistem *cooling tower*, atau air penyiraman area hijau industri oerbrung untuk mendukung ekonomi sirkular dan efisiensi sumber daya. Pemanfaatan ulang ini dapat menekan penggunaan air baku sekaligus mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) nomor 6 tentang air bersih dan sanitasi layak serta SDGs nomor 12 tentang konsumsi dan produksi berkelanjutan (Sinambela dkk., 2022).

Evaluasi berkala terhadap kualitas efluen dan kinerja IPAL melalui pengambilan sampel rutin unit pengolahan juga diperlukan. Data hasil pemantauan dapat digunakan sebagai dasar untuk pengambilan keputusan teknis dan perencanaan peningkatan kapasitas sistem. Penerapan strategi tersebut, diharapkan dapat meningkatkan kinerja IPAL industri oleokimia dasar secara bertahap, menghasilkan air hasil olahan yang memenuhi baku mutu, serta berkontribusi terhadap pengelolaan air limbah yang berkelanjutan.

IV. KESIMPULAN

Kinerja unit biologis pada IPAL industri oleokimia dasar menunjukkan bahwa rendahnya efektivitas pengolahan dipengaruhi oleh interaksi antara karakteristik limbah dan kondisi operasional sistem. Rasio BOD/COD sebesar 0,20 mengindikasikan dominasi senyawa organik yang sulit terdegradasi secara biologis. Selain itu, efisiensi penyisihan *turbidity* pada unit *trickling filter* yang hanya mencapai 0,63% menunjukkan distribusi aliran dan proses pembentukan biofilm belum berlangsung optimal, sehingga sebagian beban organik masih diteruskan ke unit aerasi. Temuan ini menunjukkan bahwa keberhasilan pengolahan limbah oleokimia tidak hanya ditentukan oleh kondisi pH dan ketersediaan oksigen, tetapi juga oleh efektivitas distribusi hidrolis serta pengelolaan biomassa dalam sistem biologis.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena pengambilan sampel pada unit aerasi dilakukan pada *mixed liquor* tanpa pemisahan biomassa, sehingga nilai COD yang diperoleh merepresentasikan kandungan organik total di dalam reaktor dan belum dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi penyisihan bahan organik secara langsung. Keterbatasan tersebut menyebabkan interpretasi kinerja unit aerasi perlu dilakukan secara hati-hati. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melakukan analisis *soluble* COD, *particulate* COD, rasio F/M, dan karakteristik biomassa untuk memperoleh gambaran yang lebih akurat mengenai mekanisme biodegradasi dan faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja IPAL industri oleokimia.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Balai Riset dan Standarisasi Industri Palembang, *Peran Sektor Industri dalam Percepatan Pemulihan Ekonomi Nasional*, 1st ed., vol. 1. Sumatera Selatan: Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang, 2021.
- [2] D. Daniswara and A. Budiono, "Perhitungan F/M Ratio Pengolahan Limbah Lumpur Aktif WWTP-2 di Pabrik Farmasi," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 1, pp. 41–47, Mar. 2024, doi: 10.33795/distilat.v10i1.4952.
- [3] M. F. Rahmawan, N. Pramitasari, and A. M. Kartini, "Pengaruh Aerasi Terhadap Penurunan Kadar COD Limbah Cair Laundry Pada Proses Fitotreatment Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*)," *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, pp. 89–105, 2023.
- [4] M. D. P. Aulia, "Pengaruh Jenis Media Trickling Filter Terhadap Pengolahan Air Limbah Usaha Mikro Kecil dan Menengah," 2022.
- [5] I. A. H. Putri, "Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Terhadap Kadar Bod, Cod, Do, Ph, Sulfida, Dan Krom Dengan Metode Deep Aeration," 2019.
- [6] R. Faradila, H. S. Huboyo, and A. Syakur, "Rekayasa Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Metode Kombinasi Filtrasi Untuk Menurunkan Tingkat Polutan Air," *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, pp. 342–350, 2023.
- [7] W. H. Premananda and D. J. Primajana, "Efisiensi Penggunaan Air Bersih Dengan Memanfaatkan Kembali Air Limbah Menggunakan Teknologi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Aerob-Anaerob Biofilter Clean Water Use Efficiency By Returning Waste Water Using Aerob Anaerob Biofilter Wastewater Treatment Installation Technology," *Nusantara Hasana Journal*, vol. 3, no. 2, p. Page, 2023.
- [8] K. Tarigan, Y. Sitanggang, F. Arabica, and Y. Hasibuan, "Reduksi COD Pada Palm Oil Mill Effluent (POME) Dengan Menggunakan Arang Aktif Dari Biomassa Kelapa Sawit," 2025.
- [9] N. A. Putri, R. N. Dewi, R. Lestari, R. A. Yuniar, L. M. Ma'arif, and R. Erianto, "Microalgae as A Bioremediation Agent for Palm Oil Mill Effluent: Production of Biomass and High Added Value Compounds," *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, vol. 18, no. 2, pp. 149–161, Oct. 2023, doi: 10.23955/rkl.v18i2.34018.
- [10] L. Barus, "Kajian Pengolahan Limbah Cair CPO (Minyak Sawit Mentah) dengan Air Laut dan PAC (Poly Aluminium Chlorida) dalam Menurunkan Kadar Minyak/ Lemak, BOD, COD, TSS dan Menstabilkan Nilai pH," *Jurnal Kesehatan*, vol. 13, no. 1, Apr. 2022.
- [11] E. br Pandia, Hernawati, T. Jari, and A. Kahar, "Pengaruh Laju Alir Terhadap COD, BOD dan VFA pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) dalam Bioreaktor Anaerobik Pengaruh Laju Alir Terhadap COD, BOD dan VFA Pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS) Dalam Bioreaktor Anaerobik Effect of Flow Rate on COD, BOD and VFA in Palm Oil Mill Liquid Waste Treatment (Lcpks) In Anaerobic Bioreactors," 2020.
- [12] Sofianti, Ardiansyah, and Susaldi, "Analisis Kualitas BOD, COD, Dan TSS Dalam Pengelolaan Limbah Cair Setelah Proses Koagulasi Dan Flokulasi Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (Studi Pada Industri Kosmetik X Di Kota Depok) Tahun 2022," *Student Scientific Creativity Journal (SSCJ)*, vol. 1, no. 3, 2023.
- [13] F. Fahyra, Abd Mujahid Hamdan, and Syafrina Sari Lubis, "Pengolahan Limbah Cair Tahu Dengan Trickling Filter Menggunakan Media Bioball," *Lingkar: Journal of Environmental Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 44–57, Jan. 2023, doi: 10.22373/ljee.v3i2.1903.
- [14] Metcalf, Eddy, Inc, G. Tchobanoglous, H. D. Stensel, and Ryujiro, *metcalf book*, 5th ed. McGraw-Hill Education, 2014.
- [15] R. Ramadhani and A. Said, "A Review: Facile And Green Synthesis Of Marine Macroalgae And Its Photocatalytic Performance On Polluted Water Remediation Review: Sintesis Hijau Dan Mudah Makroalga Laut Dan Kinerja Fotokatalitiknya Pada Remediasi Air Berpolutan," 2023.
- [16] A. Rakhma Putri, G. Samudro, and D. Siwi Handayani, "Penentuan Rasio BOD/COD optimal pada reaktor Aerob, Fakultatif dan Anaerob," 2022.
- [17] Vitricia, "Efektivitas Metode Aerasi Bubble Aerator Dalam Menurunkan Kadar BOD dan COD Air Limbah Rps Laundry Kota Malang," Oct. 2022, Accessed: Oct. 19, 2025. [Online]. Available: <http://eprints.itn.ac.id/id/eprint/9277>
- [18] A. A. Forbis-Stokes, L. Rocha-Melogno, and M. A. Deshusses, "Nitrifying trickling filters and denitrifying bioreactors for nitrogen management

- of high-strength anaerobic digestion effluent,” *Chemosphere*, vol. 204, pp. 119–129, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.137.
- [19] L. Qin *et al.*, “Impact of Dissolved Oxygen on the Performance and Microbial Dynamics in Side-Stream Activated Sludge Hydrolysis Process,” *Water (Switzerland)*, vol. 15, no. 11, Jun. 2023, doi: 10.3390/w15111977.
- [20] Y. Qiu, V. Bakos, N. Stewart-Campbell, and B. G. Plósz, “Dynamic α -factor models for fine-bubble- and surface aeration – impact of settleability and implications on N₂O emission,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 488, May 2024, doi: 10.1016/j.cej.2024.150650.
- [21] A. N. Hasanah, P. Adhinugroho, and E. Yunari, “EVALUASI PENGELOLAAN AIR LIMBAH INDUSTRI SARI KEDELAI,” *Maret*, vol. 3, no. 1, pp. 43–52, 2025.
- [22] Z. Pramudia, R. Valina, M. Fadjar, R. F. A. Rangkuti, and A. Kurniawan, “Perbandingan Efisiensi Energi Sistem Aerasi Dan Sirkulasi Air Pada Budidaya Skala Kecil Dengan Kondisi Oksigen Terlarut Awal Berbeda,” *Jurnal Aquaculture Indonesia*, vol. 4, no. 2, pp. 133–144, Jul. 2025, doi: 10.46576/jai.v4i2.6757.
- [23] T. Sinambela, S. S. G, and Mardiaman, “POTENSI PEMANFAATAN DAUR ULANG AIR LIMBAH DOMESTIK DAN INDUSTRI UNTUK SUMBER AIR BAKU DI KOTA BATAM,” *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 4, no. 1, pp. 54–66, 2022.