

EVALUASI PENGELOLAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PADA INDUSTRI TAHU DI DESA PAPRINGAN, KECAMATAN KALIWUNGU, KABUPATEN KUDUS

Zulfan Nur faiz^{*1}, Eko Noerhayati² dan Anita Rahmawati³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: Nurfaizzulfan1@gmail.com

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: eko.noerhayati@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: anita.rahmawati@unisma.ac.id

ABSTRACT

This study was motivated by the suboptimal management of the proposed Wastewater Treatment Plant (WWTP) at a tofu industry in Papringan Village, Kaliwungu District, Kudus Regency; thus, an evaluation of the existing treatment system's performance was needed. This study aimed to determine the existing condition of the IPAL, assess wastewater quality at the inlet and outlet, calculate the removal efficiency of COD, BOD, and TSS, and evaluate the compliance of the effluent with the applicable quality standards. The research was conducted using a quantitative descriptive method through field observations, documentation, wastewater sampling, laboratory analysis, and mass balance calculations for the biofilter-combined IPAL system. The results showed that the operational condition and maintenance of the IPAL were not yet optimal, as indicated by sludge accumulation, clogged biofilter media, and unstable aeration equipment. The outlet concentrations remained high, namely COD 1498 mg/L, BOD 1183 mg/L, and TSS 504 mg/L, so they did not meet the required quality standards. The mass balance calculation showed a total pollutant load entering the system of 126.69 kg/day, with 31.14 kg/day or 24.58% successfully removed. Therefore, the IPAL needs improvements in operation and maintenance to make its performance more effective.

Keywords : IPAL, tofu industry, mass balance, COD, and BOD.

1. LATAR BELAKANG

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu unsur penting dalam lingkungan yang berfungsi vital bagi kehidupan manusia maupun makhluk hidup lainnya [8]. Untuk menjaga kelestarian fungsi air, diperlukan upaya pengolahan kualitas air serta pencegahan terhadap pencemaran yang disebabkan oleh limbah cair [9]. Saat ini, pencemaran air telah meluas baik di wilayah pedesaan maupun perkotaan seiring dengan meningkatnya aktivitas dan perkembangan industri di kedua kawasan tersebut. Namun, perkembangan industri yang pesat belum diimbangi dengan sistem pengelolaan pencemaran air yang efektif dan berkualitas.

Akibatnya, air dapat menjadi media yang menyebabkan kerusakan lingkungan di sekitar badan air serta mengganggu keseimbangan ekosistem perairan [13].

Industri pembuatan tahu di Indonesia banyak diminati karena proses produksinya sederhana dan mudah diterapkan. Oleh karena itu, industri tahu berkembang dengan cepat pada berbagai skala, terutama industri kecil dan menengah [10]. Namun air limbah hasil produksi tahu dapat berbahaya jika tidak diolah dengan benar dan dibuang langsung ke perairan [5]. Pembuangan tersebut bisa merubah karakteristik fisik dan kimia air, yang pada gilirannya berdampak negatif terhadap kelangsungan hidup organisme perairan.

Proses produksi tahu membutuhkan air dalam volume yang tinggi selama proses pencucian kedelai, perendaman, penggilingan, perebusan, penggumpalan, pencetakan, hingga pencucian peralatan. Seluruh rangkaian proses tersebut menghasilkan limbah cair dengan kandungan bahan organik yang tinggi, seperti nilai parameter BOD, COD, TSS dan Ph [16].

Sebagai upaya pengendalian pencemaran, telah dibangun Perancangan sistem IPAL di Desa Papringan yang berperan dalam pengolahan limbah cair dari Pabrik Tahu Langgeng Jaya secara terpusat. IPAL ini menggunakan sistem *biofilter combined*, yaitu kombinasi proses biofilter anaerob dan biofilter aerob. Namun, kinerja pengolahannya belum pernah dievaluasi secara kuantitatif berdasarkan parameter COD, BOD, dan TSS [12]. Pengelolaan dan pemeliharaan IPAL diduga bermasalah karena masih ada indikasi bau, kekeruhan, sehingga diperlukan evaluasi mendalam untuk mengetahui penyebab kegagalan dan solusi perbaikannya [1].

1.2 Identifikasi Masalah

Kajian penelitian ini difokuskan pada permasalahan berikut:

1. Limbah cair pabrik tahu di wilayah Kudus memiliki potensi pencemaran lingkungan yang tinggi akibat kandungan bahan organik dan zat pencemar lainnya
2. Penerapan sistem pengelolaan limbah cair pada pabrik tahu masih terbatas dan belum optimal dalam menurunkan kadar pencemaran.
3. Pemanfaatan material alami seperti papringan sebagai media penyaringan limbah cair belum banyak dikaji dalam konteks pengelolaan limbah cair pabrik tahu.
4. Belum ada data yang cukup mengenai efektivitas sistem penyaringan limbah cair menggunakan papringan di pabrik tahu.

1.3 Rumusan Masalah

Beberapa persoalan utama yang menjadi landasan pelaksanaan penelitian ini disajikan sebagai berikut:

1. Bagaimana efisiensi kinerja IPAL eksisting

dalam menurunkan parameter pencemar (BOD, COD, TSS) pada industri tahu di Desa Papringan?

2. Bagaimana keseimbangan massa (mass balance) polutan pada sistem IPAL tersebut?
3. Apa saja faktor operasional dan pemeliharaan yang memengaruhi penurunan kinerja IPAL?

1.4 Batasan masalah

Pembahasan dalam penelitian ini difokuskan pada:

1. Penelitian hanya dilakukan pada IPAL yang mengolah limbah cair dari satu pabrik tahu di Desa Papringan, Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kudus.
2. Titik pengambilan sampel air limbah hanya dilakukan pada inlet dan outlet IPAL, tidak pada setiap unit proses di dalam IPAL.
3. Ruang lingkup perencanaan IPAL pada penelitian ini dibatasi pada pengolahan limbah cair industri tahu, sedangkan ampas tahu tidak menjadi objek pembahasan.
4. Tidak menghitung BOQ dan RAB
5. Pengujian efektivitas sistem penyaringan dibatasi pada parameter kualitas air tertentu, antara lain parameter BOD, COD, TSS dan Ph
6. Evaluasi kinerja IPAL difokuskan pada perbandingan konsentrasi parameter COD, BOD, dan TSS di inlet dan outlet, perhitungan efisiensi penurunan masing-masing parameter, serta penilaian kesesuaian dengan baku mutu.
7. Tidak membahas tentang evaluasi lingkungan sosial dan administrasi

1.5 Tujuan

Penelitian ini diarahkan untuk:

1. Menganalisis tingkat penurunan konsentrasi parameter COD, BOD, dan TSS pada IPAL sistem *biofilter combined*.
2. Menganalisis mass balance (keseimbangan massa) aliran polutan dari inlet hingga outlet IPAL.
3. Mengidentifikasi kendala dalam operasi dan pemeliharaan IPAL serta memberikan

rekomendasi pengelolaannya.

1.6 Manfaat

Kontribusi yang diharapkan dari penelitian ini meliputi:

1. Untuk memperluas pengetahuan dan referensi ilmiah dalam bidang teknik lingkungan, khususnya terkait pengelolaan dan evaluasi sistem (IPAL) pada industri kecil dan menengah.
2. Penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan masukan bagi pengelola industri tahu di Desa Papringan dalam meningkatkan kinerja dan pengelolaan IPAL agar lebih efektif dan ramah lingkungan.
3. Temuan penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh pemerintah daerah sebagai dasar dalam melakukan pengawasan dan pembinaan terhadap industri tahu, serta memberikan manfaat bagi masyarakat melalui terciptanya lingkungan yang lebih bersih dan sehat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Tahu dan Limbah Cair

Industri tahu merupakan salah satu industri pangan tradisional yang banyak berkembang di Indonesia dan umumnya dikelola dalam skala kecil hingga menengah. Dalam proses pembuatan tahu, kedelai mengalami beberapa tahap pengolahan yang mencakup pencucian, perendaman, penggilingan, perebusan *slurry*, penyaringan sari kedelai, penggumpalan, pencetakan, hingga pembersihan produk dan peralatan produksi. Setiap tahapan produksi menghasilkan air buangan yang jika digabungkan akan membentuk limbah cair industri tahu dengan karakteristik beban organik yang tinggi [2].

Limbah air tahu biasanya mengandung sisa bahan organik seperti protein, lemak, dan karbohidrat, serta padatan halus sisa kedelai. Kandungan organik yang tinggi akan tercermin pada nilai COD dan BOD yang besar, sedangkan partikel halus dan padatan tersuspensi lainnya berkontribusi terhadap tingginya nilai *Total Suspended Solids* (TSS) [7]; [4]. Limbah tersebut

umumnya berwarna keruh, berbau menyengat apabila dibiarkan menggenang, dan memiliki pH yang dapat bervariasi dari asam hingga netral tergantung proses dan bahan yang digunakan [15].

Pelepasan air limbah tahu tanpa pengolahan ke drainase maupun badan air tanpa pengolahan dapat menimbulkan penurunan kualitas lingkungan [11]. Nilai COD dan BOD yang tinggi berpotensi meningkatkan konsumsi oksigen terlarut di perairan, sehingga menurunkan kadar oksigen terlarut (DO) dan berpotensi menyebabkan kematian organisme akuatik. Sementara itu, TSS yang tinggi berpotensi menyebabkan kekeruhan perairan, mengurangi masuknya cahaya, serta menurunkan aktivitas fotosintesis tumbuhan akuatik [3]. Kondisi ini, bila berlangsung terus menerus, berisiko menurunkan kenyamanan lingkungan melalui munculnya bau serta memberikan dampak terhadap kesehatan masyarakat di sekitar area industri tahu. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan dan pengolahan limbah cair yang memadai, salah satunya melalui pembangunan sistem (IPAL) yang sesuai dengan karakteristik limbah tahu.

2.2 Karakteristik Limbah Cair Pabrik Tahu

Air limbah pada industri tahu berasal dari setiap tahapan produksi, meliputi pencucian dan perendaman kedelai, proses penggilingan, perebusan, penyaringan, hingga pencetakan tahu. Karakteristik limbah tersebut didominasi oleh kandungan bahan organik berkonsentrasi tinggi yang berpotensi menurunkan kualitas lingkungan apabila langsung dialirkan ke badan air. [4]; [14]. Karakteristik limbah cair industri tahu dapat ditinjau melalui beberapa parameter kualitas air, antara lain *pH*, BOD, COD, dan TSS [7].

2.2.1 *pH*

pH merupakan parameter yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu limbah cair. Air limbah hasil produksi tahu umumnya bersifat asam, yaitu berkisar antara 4–6. Kondisi ini disebabkan oleh penggunaan bahan penggumpal seperti asam asetat (cuka) dalam proses pengendapan protein kedelai [6]. Nilai *pH* yang terlalu rendah dapat mengganggu

kehidupan organisme perairan serta menurunkan efektivitas proses biologis dalam sistem (IPAL), baik proses anaerobik maupun aerobik [7]. Oleh karena itu, pengendalian *pH* menjadi faktor penting agar proses pengolahan limbah berlangsung optimal dan memenuhi baku mutu lingkungan.

2.2.2 Biological Oxygen Demand (BOD)

Biological Oxygen Demand (BOD) digunakan untuk menggambarkan besarnya kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme aerob dalam menguraikan senyawa organik pada kondisi pengujian tertentu [15]. Parameter ini digunakan sebagai indikator tingkat pencemaran organik dalam limbah cair.

Limbah cair industri tahu memiliki nilai BOD yang relatif tinggi karena mengandung sisa protein, karbohidrat, dan lemak dari proses pengolahan kedelai. Nilai BOD limbah tahu dapat mencapai ratusan hingga ribuan mg/L [4]; [14]. Apabila limbah dengan kandungan BOD tinggi. Sehingga pelepasannya ke badan air tanpa pengolahan berisiko meningkatkan konsumsi oksigen terlarut (DO) sehingga menurunkan kadar oksigen dalam air dan mengganggu kehidupan biota perairan [3]. Selain itu, proses penguraian bahan organik dapat menimbulkan bau tidak sedap akibat pembusukan.

2.2.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik maupun anorganik secara kimia menggunakan oksidator kuat (7). Parameter COD menggambarkan total kandungan pencemar dalam limbah cair, termasuk bahan yang sulit terurai secara biologis.

Pada limbah cair industri tahu, nilai COD umumnya lebih tinggi dibandingkan BOD karena adanya senyawa organik kompleks yang memerlukan oksidasi kimia (15). Tingginya nilai COD menunjukkan bahwa limbah memiliki potensi pencemaran yang besar sehingga memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan.

2.2.4 Total Suspended Solid (TSS)

Total Suspended Solid (TSS) merupakan jumlah padatan tersuspensi yang terdapat

dalam limbah cair, baik berupa partikel organik maupun anorganik [7]. Pada industri tahu, TSS berasal dari ampas kedelai halus, sisa protein, serta partikel hasil penyaringan yang terbawa dalam air limbah [4].

Kandungan TSS yang tinggi dapat meningkatkan tingkat kekeruhan perairan, mengurangi intensitas cahaya yang masuk, serta menurunkan aktivitas fotosintesis organisme akuatik. Selain itu, padatan tersuspensi juga dapat mengendap di dasar perairan dan menimbulkan pendangkalan. Oleh karena itu, pengurangan TSS merupakan salah satu tujuan utama dalam pengolahan limbah cair industri tahu.

Berdasarkan karakter tersebut, limbah cair industri tahu termasuk limbah dengan kandungan bahan organik tinggi, pH cenderung asa. Tingginya konsentrasi BOD, COD, dan TSS mengindikasikan bahwa air limbah industri tahu berpotensi memberikan dampak terhadap kualitas lingkungan apabila dibuang tanpa penanganan yang memadai. Oleh sebab itu, penerapan sistem IPAL diperlukan untuk menurunkan kadar pencemar sebelum efluen dialirkan ke badan air [14]; [7].

Table 1 Contoh Karakteristik Umum Limbah Cair Industri Tahu

Parameter	Satuan	Rentang Umum
COD	mg/L	1.500-15.000
BOD	mg/L	8.00-4.500
TSS	mg/L	100-800
pH	–	4,0-6,5

2.3 IPAL pada Industri Tahu

Sistem IPAL digunakan untuk menurunkan kandungan pencemar pada air limbah sehingga efluen yang dihasilkan memenuhi ketentuan baku mutu yang ditetapkan. Pada kawasan industri tahu, IPAL sering digunakan secara komunal untuk mengolah limbah dari beberapa unit produksi dalam satu lokasi [14].

Unit-unit pengolahan yang umum digunakan meliputi bak ekualisasi, bak pengendap awal, reaktor anaerob (seperti *Anaerobic Baffled Reactor/ABR* atau biodigester), unit aerob (aerasi atau biofilter), serta kolam maturasi [7]. Karakteristik limbah

industri tahu yang didominasi bahan organik menjadikan proses biologis sebagai salah satu metode pengolahan yang sesuai. Mikroorganisme berperan dalam menguraikan senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana dan stabil [15].

Pengelolaan IPAL mencakup pengaturan debit limbah, pengoperasian unit sesuai desain, pemeliharaan, serta pemantauan kualitas efluen. Pengelolaan yang tidak optimal dapat menurunkan efisiensi pengolahan [14].

2.4 Sistem IPAL Biofilter Combined

Sistem IPAL *Biofilter Combined* (*combined biofilter*) merupakan metode pengolahan limbah cair yang menggabungkan proses biofilter anaerob dan aerob dalam satu rangkaian untuk meningkatkan efisiensi penyisihan polutan. Proses anaerob berfungsi menguraikan makromolekul organik kompleks beban tinggi, sedangkan proses aerob melanjutkan oksidasi biologis agar kualitas efluen memenuhi standar baku mutu yang berlaku.

Media berpori pada sistem biofilter menyediakan permukaan bagi mikroorganisme untuk membentuk biofilm yang berperan dalam menguraikan kandungan pencemar air limbah. Air limbah dialirkan melalui media tersebut sehingga terjadi kontak antara mikroorganisme dan polutan organik [7]. Proses pengolahan pada biofilter dapat berlangsung dalam kondisi anaerob maupun aerob tergantung pada keberadaan oksigen di dalam reaktor.

Keunggulan sistem biofilter antara lain desain yang relatif sederhana, kemampuan mempertahankan konsentrasi biomassa yang tinggi pada media, kebutuhan lahan yang lebih kecil dibanding kolam konvensional, dan kemampuan mengatasi fluktuasi beban organik dalam batas tertentu. Namun, sistem ini memiliki potensi masalah seperti penyumbatan (*clogging*) akibat akumulasi padatan, sehingga diperlukan prapengolahan (*screening, sedimentasi*) dan pemeliharaan berkala, seperti pemasangan bar screen dan pengurasan lumpur secara berkala [7].

2.5 Regulasi dan Baku Mutu

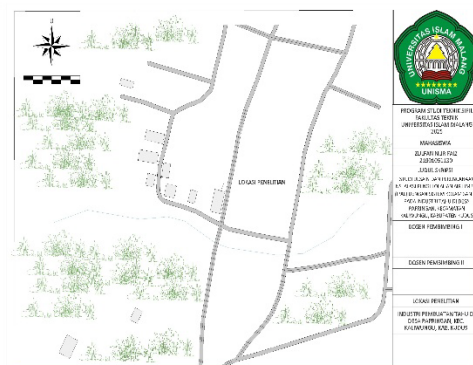
Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2014, parameter baku mutu air limbah khusus bagi industri tahu adalah sebagai berikut:

- pH: 6 – 9
- BOD: ≤ 150 mg/L
- COD: ≤ 300 mg/L
- TSS: ≤ 100 mg/L

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pabrik Tahu Langgeng Jaya yang berlokasi di Desa Papringan, Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kudus, Provinsi Jawa Tengah. Pabrik tahu ini dimiliki oleh Ibu Zubaidah dan telah beroperasi sejak tahun 2012. Secara administratif, Secara geografis, Kabupaten Kudus diapit oleh Kabupaten Jepara pada sisi utara, Kabupaten Pati di bagian timur, Kabupaten Demak di sisi selatan, serta Kabupaten Grobogan pada arah selatan–tenggara. Peta administratif wilayah ini mencakup Kecamatan Kaliwungu, Gebog, Dawe, Jekulo, Mejobo, Jati, Kota Kudus, dan Undaan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber: (AutoCad 2026)

3.2 Jenis Penelitian

Kajian ini menerapkan metode deskriptif kuantitatif melalui pendekatan studi kasus yang bersifat eksploratif. Sifat deskriptif bertujuan untuk memberikan gambaran nyata dan objektif mengenai kondisi aktual pengelolaan dan kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) industri tahu eksisting tanpa memberikan perlakuan atau eksperimen (*pilot*

plant) tertentu pada sistem. Evaluasi kinerja IPAL dilakukan secara kuantitatif berdasarkan data numerik parameter kualitas air yang diuji, yaitu COD, BOD dan TSS. Data kuantitatif tersebut didukung oleh data kualitatif hasil observasi lapangan untuk memperkaya analisis manajemen pemeliharaan IPAL.

3.3 Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data penelitian dikelompokkan menjadi dua kategori utama:

1. Data Primer: Meliputi data kualitas air limbah (kadar COD, BOD, TSS) hasil pengujian laboratorium pada sisi *inlet* dan *outlet* IPAL, serta data hasil observasi lapangan mengenai kondisi fisik unit (kebersihan, sampah padat, penyumbatan media biofilter, dan endapan lumpur).
2. Data Sekunder: Meliputi data administrasi dan profil Desa Papringan, data teknis kapasitas produksi pabrik tahu milik Ibu Zubaidah, Landasan kajian menggunakan ketentuan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 serta sejumlah publikasi ilmiah yang memiliki keterkaitan dengan topik penelitian.

Analisis penelitian didasarkan pada penggunaan variabel bebas, yaitu kondisi fisik dan pola operasional pengelolaan IPAL (susunan unit proses, pemeliharaan rutin, dan hambatan sampah). Sementara variabel terikat berupa karakteristik konsentrasi air limbah (COD, BOD, TSS) serta efisiensi persentase penurunan polutan setelah melalui proses pengolahan.

3.4 Metode Pengumpulan dan Pengambilan Sampel Air Limbah

Pengumpulan data lapangan diawali dengan observasi visual terstruktur terhadap tata letak dan kondisi fisik masing-masing komponen IPAL *biofilter combined*. Sampel air limbah dikumpulkan dengan metode *grab sampling* (sampel sesaat), sehingga kondisi limbah yang diperoleh menggambarkan keadaan pada saat pengambilan sampel. Sampel diambil pada dua titik utama:

1. Titik Inlet: Saluran air limbah sisa proses produksi tahu sebelum masuk ke instalasi

pengolahan untuk mengetahui karakteristik awal muatan pencemar.

2. Titik Outlet: Saluran air limbah setelah melewati seluruh rangkaian proses filtrasi biologis untuk mengetahui kualitas akhir efluen yang dibuang ke lingkungan.

Pengambilan sampel dijadwalkan sebanyak satu kali dan dilaksanakan pada jam puncak aktivitas produksi, yaitu sekitar pukul 11.00–13.00 WIB, saat debit air limbah mengalir secara relatif tinggi dan stabil.

3.5 Kinerja Sistem Pengelolaan Air Limbah Eksisting

Mekanisme pengolahan limbah cair pada objek studi diawali dengan mengalirkan air buangan ke dalam bak ekualisasi untuk mengendapkan partikel diskret (pasir, lumpur, kotoran kasar) dan menetralkan keasaman (*pH*) menggunakan larutan kapur. Dari bak ekualisasi, air mengalir secara gravitasi menuju unit biodigester untuk menguraikan bahan organik secara anaerobik sekaligus memanen gas metana (CH_4).

Air limpasan biodigester selanjutnya dialirkan ke unit biofilter anaerobik-aerobik dengan sistem aerasi kontak (*contact aeration*). Unit ini menggunakan media padat berupa kerikil, pasir, dan koral tempat melekatnya mikroorganisme (*biofilm*). Suplai oksigen dari aerator mengoptimalkan penguraian deterjen, nitrifikasi amonia, dan degradasi bahan organik terlarut. Tahap akhir proses dialirkan ke kolam sanita yang dilengkapi tanaman air (seperti eceng gondok) sebagai agen fitoremediasi alami sebelum efluen dilepas ke badan air penerima.

3.6 Prosedur Analisis dan Pengolahan Data

Data hasil pengujian laboratorium dirangkum, dicatat, dan dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif. Efisiensi penyisihan (*removal efficiency*) untuk masing-masing parameter pencemar dihitung menggunakan formula matematika:

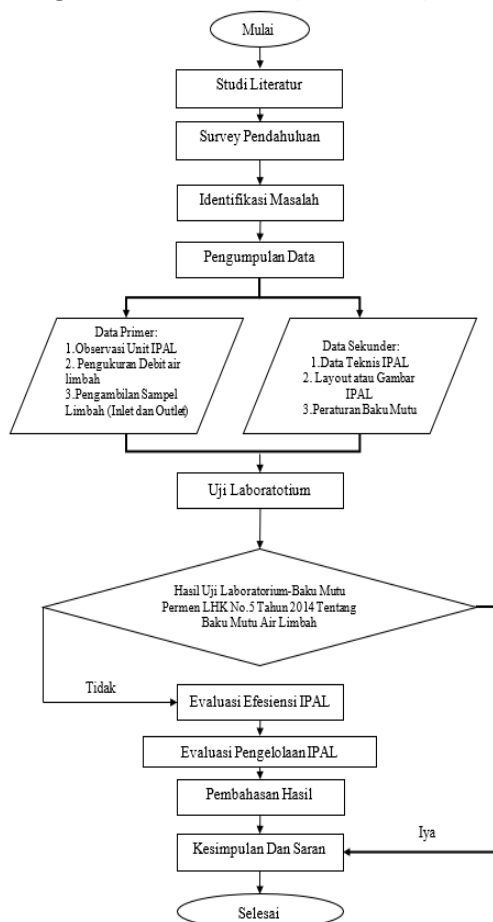
Efisiensi removal (%) = $(C_{in} - C_{out}) / C_{in} \times 100$ (1)
di mana:

- C_{inlet} = Konsentrasi rata-rata parameter kualitas air pada saluran masuk IPAL (mg/L).

- C_{outlet} = Konsentrasi rata-rata parameter kualitas air pada saluran keluar IPAL (mg/L).

Nilai akhir konsentrasi parameter *outlet* kemudian dievaluasi secara komparatif menggunakan tabel matriks kepatuhan terhadap Acuan evaluasi menggunakan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2014 sehingga setiap parameter dapat diklasifikasikan sesuai tingkat kesesuaiannya terhadap baku mutu yang dipersyaratkan.

3.7 Diagram Air Penelitian (Flowchart)



Gambar 2. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Efisiensi Konsentrasi Parameter IPAL

Berdasarkan pengujian laboratorium terhadap kualitas air limbah pada sistem IPAL terpusat industri tahu Desa Papringan, diperoleh efisiensi penurunan konsentrasi parameter polutan utama yang disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. Efisiensi Penurunan COD, BOD, dan TSS di IPAL

Parameter	Efisiensi Penurunan Konsentrasi (%)	Kondisi Lapangan / Kinerja
COD	22,11%	Kurang optimal, sistem mengalami overload organik.
BOD	31,10%	Tertinggi, mengindikasikan proses anaerob cukup berjalan.
TSS	13,55%	Sangat rendah akibat sedimentasi terganggu oleh lumpur pekat.

Efisiensi penurunan COD sebesar 22,11% dan BOD sebesar 31,10% menunjukkan bahwa sistem *biofilter combined* mampu menurunkan beban organik total dalam limbah, namun tingkat efisiensinya masih berada jauh di bawah performa ideal sistem biofilter normal.

4.2 Analisis Keseimbangan Massa (Mass Balance)

Analisis *mass balance* dilakukan untuk mengetahui distribusi massa polutan di dalam sistem IPAL. Aliran massa polutan harian dirangkum sebagai berikut:

- **Total Beban Masuk (Inlet):** 126,69 kg/hari.
- **Massa berhasil dihilangkan (Removal):** 31,14 kg/hari (24,58% dari total beban).
- **Massa tersisa pada Efluen (Outlet):** 95,55 kg/hari (75,42% dari total beban)
- **Beban Efluen Spesifik:** COD mencapai 44,94 kg/hari dan BOD mencapai 35,49 kg/hari.

Ketidakseimbangan massa ini (input > output + *removal*) mengonfirmasi bahwa akumulasi polutan menetap di dalam sistem dalam bentuk lumpur aktif (*sludge*) yang mengendap di bak equalisasi dan biofilter anaerob. Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa akumulasi lumpur tebal

telah memenuhi hingga $\pm 80\%$ kapasitas ruang basah reaktor.

4.3 Faktor-Faktor yang Memengaruhi Penurunan Kinerja

Rendahnya efisiensi removal massa (24,58%) disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu beban organik yang berlebih (*overload*) dan minimnya pemeliharaan fisik. Kapasitas desain awal IPAL hanya sebesar 40 m³/hari, yang kini tidak lagi sebanding dengan fluktuasi debit dan beban polutan aktual dari total produksi tahu yang mencapai 1.000 kg/hari.

Di samping itu, pengurasan lumpur tercatat sama sekali tidak pernah dilakukan selama 3 tahun terakhir. Akibatnya, terjadi fenomena *carry-over* padatan lumpur dari kompartemen pengendap dan biofilter langsung menuju saluran outlet, sehingga memperburuk kadar TSS, COD, dan BOD pada hasil akhir buangan.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Evaluasi terhadap pengelolaan sistem IPAL biofilter kombinasi pada industri tahu di Desa Papringan, Kecamatan Kaliwungu, Kabupaten Kudus menjadi dasar penyusunan kesimpulan berikut:

1. Kondisi eksisting pengelolaan dan unit proses IPAL sistem biofilter combined pada limbah cair pabrik tahu Langgeng Jaya masih belum beroperasi secara efektif. Hal ini terlihat dari masih adanya indikasi penumpukan lumpur, media biofilter yang kurang terawat, serta proses pengelolaan yang belum sepenuhnya mendukung kinerja IPAL secara maksimal.
2. Nilai parameter kualitas air limbah yang diperoleh pada titik masuk (inlet) dan keluar (outlet) IPAL digunakan sebagai dasar analisis Pabrik Tahu Langgeng Jaya, diperoleh konsentrasi COD sebesar 1.923 mg/L pada inlet dan 1.498 mg/L pada outlet, BOD sebesar 1.717 mg/L pada inlet dan 1.183 mg/L pada outlet, serta TSS sebesar 583 mg/L pada inlet dan 504 mg/L pada outlet. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi

ketiga parameter setelah limbah melewati proses pengolahan di IPAL, meskipun nilai konsentrasi pada outlet masih relatif tinggi. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengukur konsentrasi COD, BOD, dan TSS pada inlet dan outlet IPAL limbah cair Pabrik Tahu Langgeng Jaya telah tercapai.

3. Efisiensi IPAL sistem biofilter combined dalam menurunkan COD, BOD, dan TSS masih tergolong rendah sampai sedang. Penurunan setiap parameter memang terjadi, tetapi belum menunjukkan kinerja yang optimal untuk mengolah limbah cair tahu dengan beban organik tinggi.
4. Kualitas effluent IPAL limbah cair pabrik tahu di Desa Papringan belum memenuhi baku mutu air limbah yang berlaku untuk parameter COD, BOD, dan TSS. Dengan demikian, air hasil olahan masih berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang langsung ke badan air.
5. Secara teknis berdasarkan hasil evaluasi, kinerja IPAL sistem *biofilter combined* di Pabrik Tahu Langgeng Jaya belum optimal. Hal ini dipengaruhi oleh penumpukan lumpur, penyumbatan media biofilter, serta pemeliharaan yang belum rutin. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan melalui pembersihan dan pemeliharaan berkala agar kinerja IPAL lebih efektif.

5.2 Saran

1. Pengelola IPAL perlu melakukan pemeliharaan rutin, seperti pembersihan saringan, pengurasan lumpur, dan pengecekan media biofilter agar kinerja IPAL tetap optimal.
2. Operasional IPAL sebaiknya disesuaikan dengan debit limbah yang masuk supaya proses pengolahan tidak mengalami overload dan hasil olahan lebih maksimal.
3. Pemerintah setempat diharapkan melakukan pengawasan dan pembinaan secara berkala terhadap pengelolaan IPAL industri tahu agar kualitas effluent sesuai baku mutu.
4. Penelitian selanjutnya disarankan menambah parameter analisis lain, seperti

pH dan minyak/lemak, agar evaluasi IPAL menjadi lebih lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardiansyah, M. L. (2023). *Studi Perencanaan Ipal Industri Tahu Sari Alam Malang dengan Kombinasi Biodigester dan Biofilter Berbasis Lumion*.
- [2] Ariyanti, R., & Noerhayati, E. K. O. (2024). *Olah limbah komunal: studi analisis rencana penggunaan biofilter anaerob-aerob pada Desa Kutuwetan, Ponorogo*. 1(1), 1–9.
- [3] Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Kanisius.
- [4] Herlambang, A., & Marsidi, R. (2003). Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 4(2), 91–96.
- [5] Jannah, N., Lisminingsih, R. D., & Syauqi, A. (2024). Analisis Limbah Cair Industri Tahu Sebelum Dan Sesudah Penggunaan Konsorsium Effective Microorganism 4 (EM4). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Sains Unisma Malang*, 2(2).
- [6] Kaswinarni, F. (2007). *Kajian Teknis Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu*. Universitas Diponegoro.
- [7] Metcalf, & Eddy. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5th ed.). McGraw-Hill.
- [8] Noerhayati, E., Mustika, S. N., & Rahmawati, A. (2024). Modeling Reservoir Management Efforts for Water Quality in Malang Suko Village, Tumpang Subdistrict, Malang Regency Using a Dynamic System Approach. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(1), 127–137.
- [9] Noerhayati, E., Suprpto, B., Rahmawati, A., & Mustika, S. N. (2023). *Improving Wastewater Quality System Using the Internet of Things-Based Phytoremediation Method*. 24(3), 254–262.
- [10] Palevi, M. R. R., Noerhayati, E., & Rahmawati, A. (2024). Perencanaan dan Penghitungan Pengolahan Limbah Tahu di Pabrik Tahu Banggle, Jombang. *Jurnal Inovasi Pangan Dan Gizi*, 1(1), 34–48. <https://doi.org/https://doi.org/10.61511/jipagi.v1i1.742>
- [11] Rahmawati, A. (2020). *Pengolahan Limbah Cair Domestik dengan Tanaman Eceng Gondok (Eichornia Crassipes) untuk Menghasilkan Air Bersih di Perumahan Green Tombro Kota Malang*. 4, 1–8.
- [12] Rahmawati, A. (2021). *PENGOLAHAN GREY WATER DENGAN TEKNOLOGI HYBRID CONSTRUCTED WETLAND SEBAGAI UPAYA DALAM PENGELOLAAN KUALITAS AIR*. 9(4), 357–370.
- [13] Rahmawati, A., Noerhayati, E., Sholikhin, G. N., & Sahroni, M. I. (2022). Perencanaan Sistem Lahan Basah Buatan dalam Pengolahan Limbah Cair Domestik Menggunakan Tanaman Cyperus Papyrus. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 14(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.33005/envirotek.v14i2.19>
- [14] Said, N. I. (2008). *Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Erlangga.
- [15] Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th ed.). McGraw-Hill.
- [16] Zalfain, M. (2024). *Studi Perencanaan Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) dengan Sistem Kolam Sanita pada Industri Tahu di Kecamatan Kemlagi, Kabupaten Mojokerto*.