

STUDI PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU DENGAN SISTEM ANAEROB AEROB DI DESA SUMBERAGUNG KECAMATAN NGANTANG KABUPATEN MALANG

Irfan Ibnu Nasrulloh^{*1}, Anita Rahmawati² dan Budi Santoso³

¹Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
Email : 22201051089@unisma.ac.id

²Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
Email : anita.rahmawati@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang
Email : budisan@unisma.ac.id

ABSTRAK

Tofu production generates wastewater with a high organic content that may pollute the environment when discharged without treatment. This study aimed to estimate wastewater flow and influent characteristics and to design the treatment train, unit dimensions, and land requirement of an anaerobic–aerobic wastewater treatment plant (WWTP) for a household-scale tofu industry in Sumberagung Village, Ngantang District, Malang Regency. An engineering design method with a descriptive quantitative approach was applied. Wastewater flow was estimated from production water use, while influent characteristics were established from secondary studies in Greater Malang using the inclusive quartile method. Processing 150 kg of soybeans daily through 15 cycles produces a design wastewater flow of 2.64 m³/day, an average flow of 0.33 m³/hour, and a peak flow of 0.66 m³/hour. The design influent comprises pH 4.0, BOD 4,300 mg/L, COD 9,300 mg/L, and TSS 1,400 mg/L. The treatment train comprises screening, equalization–neutralization, primary settling, anaerobic biofiltration, aerobic biofiltration, final settling, and effluent storage, with an effective volume of 16.872 m³ and a land requirement of 23.60 m². The estimated effluent contains BOD 105.95 mg/L, COD 229.15 mg/L, TSS 36.18 mg/L, and pH 6.5–8.0; therefore, the design theoretically meets the applicable effluent standards.

Kata Kunci : *anaerobic–aerobic biofilter, effluent quality, WWTP Planning*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tahu merupakan salah satu industri rumah tangga yang berkembang pesat di Indonesia karena bahan bakunya terjangkau dan produknya banyak dikonsumsi masyarakat. Di sisi lain, proses produksi tahu menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar yang berasal dari pencucian kedelai, perendaman, penggilingan, perebusan, penyaringan, penggumpalan, hingga pencucian peralatan. Limbah cair tersebut memiliki kandungan bahan organik dan padatan tersuspensi yang tinggi serta bersifat asam, sehingga apabila dibuang langsung tanpa pengolahan dapat menurunkan kualitas badan air penerima [1]. Limbah cair pabrik tahu di wilayah Mojokerto

tercatat memiliki pH 3,91, TSS 1.050 mg/L, BOD 2.063 mg/L, dan COD 5.135 mg/L, yang menegaskan tingkat keasaman dan pencemaran organik yang tinggi apabila dibuang tanpa pengolahan. Kondisi serupa banyak ditemukan pada industri tahu skala kecil dan rumah tangga, karena proses produksi umumnya masih dilakukan secara sederhana tanpa sistem pengolahan limbah yang memadai, air limbah sering dialirkan langsung menuju saluran pembuangan tanpa proses pengolahan terlebih dahulu [2].

Industri tahu skala rumah tangga di Desa Sumberagung, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, masih membuang limbah cairnya secara langsung tanpa melalui sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang

memadai. Kondisi ini berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan di sekitar lokasi industri. Lahan yang tersedia untuk perencanaan IPAL berada di belakang area produksi dengan luas sekitar 110,25 m², sehingga masih memungkinkan untuk direncanakan rangkaian unit pengolahan yang sesuai dengan kebutuhan industri.

Sistem anaerob-aerob dipilih karena mampu mengolah limbah dengan kandungan bahan organik tinggi secara bertahap: proses anaerob menurunkan sebagian besar beban organik awal tanpa memerlukan energi aerasi, sedangkan proses aerob menyempurnakan kualitas efluen sebelum dibuang ke lingkungan. Karena penelitian ini tidak melakukan pengujian laboratorium terhadap air limbah aktual, karakteristik influen berupa pH, BOD, COD, dan TSS ditetapkan melalui kompilasi data sekunder dari penelitian terdahulu mengenai limbah cair tahu di wilayah Malang Raya, yang selanjutnya digunakan bersama data debit hasil estimasi lapangan untuk merencanakan dimensi unit IPAL.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Industri tahu Sumberagung menghasilkan limbah cair secara kontinu setiap hari, namun belum memiliki sistem pengolahan air limbah yang memadai.
2. Pembuangan limbah cair tanpa pengolahan berpotensi mencemari saluran drainase dan lingkungan sekitar lokasi industri.
3. Belum tersedia data debit dan karakteristik air limbah yang terukur sebagai dasar perencanaan IPAL pada lokasi tersebut.

1.3 Rumusan Masalah

1. Berapa debit air limbah hasil estimasi berdasarkan penggunaan air dari proses produksi industri tahu di Desa Sumberagung?
2. Berapa estimasi karakteristik kualitas air limbah industri tahu berdasarkan parameter pH, BOD, COD, dan TSS yang diperoleh dari data sekunder?
3. Bagaimana perencanaan teknis IPAL sistem anaerob-aerob yang sesuai dengan debit rencana, kondisi lahan, dan estimasi karakteristik influen tersebut?

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan pada industri tahu skala rumah tangga di Desa Sumberagung, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang.
2. Penelitian hanya membahas pengelolaan limbah cair, tidak membahas limbah padat maupun limbah gas.
3. Sistem pengolahan air limbah yang direncanakan menggunakan kombinasi proses biologis anaerob-aerob.
4. Debit air limbah ditentukan berdasarkan estimasi penggunaan air pada proses produksi, bukan pengukuran volumetrik langsung.
5. Karakteristik air limbah (pH, BOD, COD, TSS) diperoleh dari data sekunder penelitian terdahulu yang serupa, bukan dari pengujian laboratorium langsung.
6. Perencanaan hanya mencakup rangkaian unit, kriteria desain, dimensi unit, dan gambar teknis, tanpa RAB, konstruksi, maupun pengujian kinerja.

1.5 Tujuan

1. Mengestimasi debit air limbah yang dihasilkan dari kegiatan produksi industri tahu skala rumah tangga.
2. Menentukan karakteristik air limbah industri tahu berdasarkan parameter pH, BOD, COD, dan TSS menggunakan data sekunder.
3. Merencanakan IPAL sistem anaerob-aerob berdasarkan debit rencana, karakteristik limbah, kriteria desain, dan kondisi lahan yang tersedia.

1.6 Manfaat

Penelitian ini diharapkan menambah referensi keilmuan Teknik Sipil di bidang perencanaan bangunan pengolahan air limbah industri pangan skala rumah tangga, sekaligus memberikan informasi teknis awal bagi pemilik industri tahu, pemerintah desa dan instansi lingkungan hidup, masyarakat sekitar lokasi industri, serta menjadi bahan referensi dan pembanding bagi penelitian perencanaan IPAL selanjutnya, termasuk pengembangan pada aspek pengujian laboratorium, perhitungan struktur, dan pengelolaan lumpur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai limbah cair industri tahu, perencanaan IPAL, dan kinerja sistem anaerob–aerob digunakan sebagai landasan penelitian ini. Kajian tersebut digunakan untuk mengidentifikasi objek penelitian, metode, data dasar perencanaan, rangkaian unit pengolahan, serta faktor yang memengaruhi kinerja proses biologis. Ringkasan penelitian yang relevan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan penelitian terdahulu yang relevan

Peneliti (Tahun)	Objek / Sistem	Temuan Utama
Palevi et al. (2024)	IPAL Tahu Banggle, Jombang	Debit rencana 18 m ³ /hari berdasar observasi lapangan dan perhitungan unit pengolahan [2].
Ardiansyah (2023)	IPAL Tahu Sari Alam, Malang – biodigester + biofilter	Kombinasi biodigester dan biofilter berbasis Lumion untuk industri tahu skala menengah [3].
Kadafi (2025)	IPAL Tahu Rumah Tangga – biofilter anaerobik–aerobik	Teknologi biofilter anaerobik–aerobik sesuai untuk industri tahu skala rumah tangga [4].
Yuniar et al. (2024)	IPAL Tahu Loktabat Utara, Kalsel	BOD 2.666,5; COD 12.476,1; TSS 3.220,3 mg/L; teknologi terpilih via metode skoring [5].
Zalfain et al. (2024)	Pabrik Tahu Suyanto, Mojokerto	Dampak pencemaran limbah cair tahu terhadap lingkungan sekitar pabrik [1].
Pambudi et al. (2021)	Alternatif proses anaerobik–aerobik	Kombinasi anaerobik–aerobik sederhana, hemat energi, sesuai industri tahu skala kecil [6].

Sumber: Diolah peneliti dari berbagai penelitian terdahulu, 2026.

Berdasarkan Tabel 1, limbah cair industri tahu pada umumnya memiliki kondisi asam serta konsentrasi BOD, COD, dan TSS yang relatif tinggi, tetapi nilainya bervariasi antarlokasi karena dipengaruhi kapasitas produksi, bahan penggumpal, dan titik pengambilan sampel. Posisi penelitian ini adalah perencanaan teknis IPAL anaerob–aerob untuk industri tahu skala rumah tangga di Desa Sumberagung dengan menggabungkan data primer lapangan (kapasitas dan pola produksi,

debit, kondisi lahan) dan data sekunder karakteristik influen dari penelitian terdahulu di wilayah Malang Raya, yang diseleksi, distandardisasi, dan dianalisis menggunakan metode statistik kuartil.

2.2 Limbah Cair Industri Tahu

Limbah cair tahu dihasilkan dari hampir seluruh tahapan produksi, terutama pencucian, perendaman, penggilingan, penyaringan, penggumpalan, dan pengepresan. Cairan sisa penggumpalan (*whey*) menjadi salah satu sumber utama bahan organik terlarut karena masih mengandung sisa protein dan karbohidrat kedelai. Karakteristik limbah bervariasi antarindustri karena dipengaruhi oleh jumlah kedelai, bahan penggumpal, dan cara penggunaan air pada masing-masing industri [7]. Apabila dibuang tanpa pengolahan, kandungan organik yang tinggi akan meningkatkan kebutuhan oksigen di badan air dan menurunkan oksigen terlarut bagi biota perairan.

2.3 Parameter Kualitas Air Limbah

Parameter yang digunakan dalam perencanaan ini meliputi pH, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), dan *Total Suspended Solids*(TSS). Keempat parameter tersebut mewakili kondisi keasaman, kandungan bahan organik terurai secara biologis, keseluruhan bahan teroksidasi, dan padatan tersuspensi pada limbah cair tahu. Pengujian parameter tersebut mengacu pada SNI 6989.11:2019 (pH), SNI 6989.72:2009 (BOD), SNI 6989.2:2019 (COD), dan SNI 6989.3:2019 (TSS). Rasio BOD terhadap COD juga digunakan untuk menilai proporsi bahan organik yang dapat terurai secara biologis, sehingga menjadi dasar kesesuaian pemilihan proses biologis anaerob–aerob [8].

2.4 Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu

Baku mutu air limbah industri tahu diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 dan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Karena lokasi penelitian berada di Provinsi Jawa Timur dan ketentuannya lebih ketat pada parameter TSS, penelitian ini menggunakan Pergub Jatim

No. 72/2013 sebagai target perencanaan, sebagaimana disajikan pada Tabel 2 [9].

Tabel 2. Baku mutu air limbah industri tahu yang digunakan

Parameter	Satuan	Permen LH 5/2014	Pergub Jatim 72/2013	Target
pH	–	6–9	6,0–9,0	6,0–9,0
BOD ₅	mg/L	150	150	≤150
COD	mg/L	300	300	≤300
TSS	mg/L	200	100	≤100
Vol. maks.	m ³ /ton	20	20	≤20

Sumber: Permen LH No. 5 Tahun 2014 dan Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013, diolah peneliti, 2026.

2.5 Sistem Pengolahan Anaerob–Aerob

Sistem anaerob–aerob menggabungkan proses penguraian bahan organik tanpa oksigen (anaerob) dengan proses penyempurnaan menggunakan oksigen (aerob). Proses anaerob berperan menurunkan sebagian besar beban organik awal karena mampu menerima beban tinggi tanpa kebutuhan aerasi, sedangkan proses aerob menyempurnakan penurunan bahan pencemar sebelum dibuang ke lingkungan [10]. Berdasarkan karakteristik limbah cair tahu, rangkaian pengolahan yang direncanakan adalah: Penyaringan → Bak Ekualisasi–Netralisasi → Bak Pengendap Awal → Biofilter Anaerob → Biofilter Aerob → Bak Pengendap Akhir → Bak Penampung Efluen → Outlet.

2.6 Dasar Perencanaan IPAL

Perencanaan IPAL mempertimbangkan debit rencana, karakteristik influen, beban pencemar, waktu tinggal hidraulik (*Hydraulic Retention Time/HRT*), beban organik (*Organic Loading Rate/OLR*), volume dan dimensi unit, efisiensi penyisihan, serta ketersediaan lahan. Volume dan dimensi setiap unit ditentukan agar HRT dan OLR aktual sesuai dengan kriteria desain yang berlaku bagi limbah cair industri tahu [11], [12].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian perencanaan teknis (*engineering design*) dengan pendekatan deskriptif kuantitatif.

Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi eksisting kegiatan produksi dan lahan, sedangkan pendekatan kuantitatif digunakan dalam perhitungan debit, beban pencemar, dan dimensi unit pengolahan. Penelitian ini tidak diarahkan untuk menguji hubungan sebab-akibat antarvariabel maupun menguji hipotesis melalui perlakuan eksperimental.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada industri tahu skala rumah tangga (Pabrik Tahu Sumberagung) di Desa Sumberagung, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur. Lahan perencanaan IPAL berada di bagian belakang area produksi dengan panjang 14,70 m dan lebar 7,50 m, sehingga luas total lahan sekitar 110,25 m². Lokasi ini dipilih karena industri masih aktif memproduksi setiap hari, menghasilkan limbah cair secara kontinu, dan memiliki lahan yang memungkinkan penempatan rangkaian unit IPAL.

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Data primer diperoleh melalui observasi, wawancara dengan pemilik usaha, pengukuran lahan, dan dokumentasi, meliputi kapasitas produksi, penggunaan air, pola kegiatan produksi, kondisi pengelolaan limbah, kondisi saluran, serta luas dan kondisi lahan. Data sekunder diperoleh melalui studi literatur terhadap jurnal, pedoman perencanaan, dan peraturan baku mutu, digunakan untuk menetapkan karakteristik influen (pH, BOD, COD, TSS), efisiensi penyisihan tiap unit, dan kriteria desain. Penelitian ini tidak melakukan pengambilan sampel maupun pengujian laboratorium terhadap air limbah aktual; seluruh nilai pH, BOD, COD, dan TSS ditetapkan dari data sekunder yang telah diseleksi berdasarkan kesamaan jenis limbah dan keterlacakan sumber.

3.4 Metode Analisis

Total penggunaan air produksi dihitung dari penggunaan air per siklus dikalikan jumlah siklus produksi harian, sebagaimana Persamaan (1).

$$Q_{\text{air}} = V_s \times N_s \quad (1)$$

Karena tidak seluruh air yang digunakan

menjadi air limbah, volume air limbah harian dihitung menggunakan koefisien timbulan sebesar 80% dari total penggunaan air, sebagaimana Persamaan (2) [13].

$$QAL = 0,80 \times Q_{air} \quad (2)$$

Debit rata-rata selama produksi dan debit puncak dihitung menggunakan Persamaan (3) dan (4), dengan faktor puncak (F_p) sebesar 2,0 mengikuti rentang 1,2–2,0 [14], [15].

$$Q_{ave} = QAL / tp \quad (3)$$

$$Q_{peak} = F_p \times Q_{ave} \quad (4)$$

Debit keluar bak ekualisasi–netralisasi (Q_{out}) dihitung dari volume air limbah harian dibagi lama pengaliran 24 jam, digunakan sebagai dasar perencanaan unit setelah ekualisasi, sebagaimana Persamaan (5).

$$Q_{out} = QAL / 24 \quad (5)$$

Karakteristik influen rencana ditetapkan dari data sekunder menggunakan metode kuartil inklusif (setara fungsi QUARTILE.INC), yaitu kuartil pertama (Q_1) untuk pH dan kuartil ketiga (Q_3) untuk BOD, COD, dan TSS, sebagaimana Persamaan (6) dan (7).

$$r = 1 + (n - 1)p \quad (6)$$

$$Q_p = x_k + d(x_k + 1 - x_k) \quad (7)$$

Beban pencemar dihitung dari debit dikalikan konsentrasi influen, sedangkan kebutuhan efisiensi penyisihan minimum dihitung dari selisih konsentrasi influen dan baku mutu, sebagaimana Persamaan (8) dan (9).

$$L_x = QAL \times C_{x,in} \times 10^{-3} \quad (8)$$

$$\eta_{req} = ((C_{x,in} - C_{x,bm}) / C_{x,in}) \times 100\% \quad (9)$$

Volume unit biologis dihitung berdasarkan beban organik (OLR) desain menggunakan Persamaan (10), sedangkan waktu tinggal hidraulik aktual tiap unit diperiksa menggunakan Persamaan (11).

$$VOLR = LCOD / OLR_{rencana} \quad (10)$$

$$HRT_{akt} = (V_{aktual} / Q) \times 24 \quad (11)$$

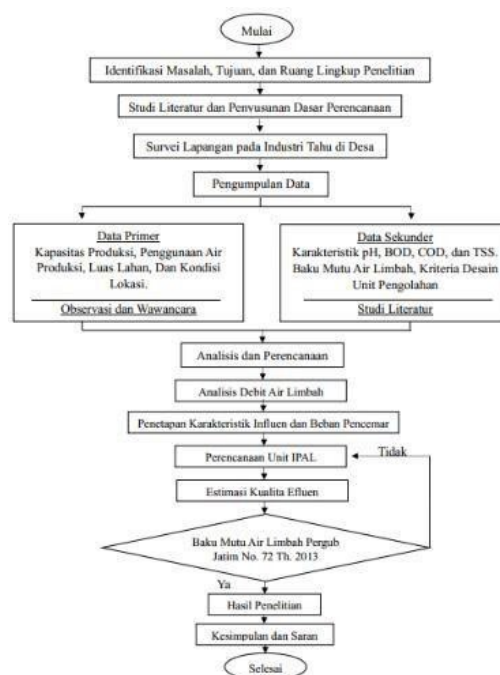
Estimasi kualitas efluen tiap tahap dihitung secara berantai, yaitu konsentrasi keluaran suatu unit menjadi konsentrasi masukan unit berikutnya, menggunakan efisiensi penyisihan desain masing-masing unit sebagaimana Persamaan (12).

$$C_{out} = C_{in} \times (1 - \eta) \quad (12)$$

3.5 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian secara keseluruhan

meliputi identifikasi masalah dan studi literatur, survei lapangan dan pengumpulan data primer maupun sekunder, analisis debit air limbah, penetapan karakteristik influen dan beban pencemar, perencanaan unit dan dimensi IPAL, estimasi kualitas efluen, evaluasi terhadap baku mutu, hingga penyusunan kesimpulan dan saran. Apabila hasil estimasi kualitas efluen belum memenuhi baku mutu yang digunakan, dilakukan peninjauan ulang terhadap kriteria desain dan dimensi unit pengolahan. Diagram alir tahapan penelitian secara lengkap disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian
Sumber: Hasil pengolahan peneliti, 2026.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Eksisting dan Analisis Debit

Pabrik Tahu Sumberagung beroperasi 8 jam per hari (pukul 08.00–16.00 WIB) dengan 15 siklus produksi dan kebutuhan 10 kg kedelai per siklus, sehingga kapasitas produksi mencapai 150 kg kedelai per hari. Penggunaan air tertinggi tiap siklus sebesar 220 liter, sehingga total penggunaan air produksi mencapai 3,30 m³/hari. Dengan koefisien timbulan air limbah 80%, volume air limbah harian diperkirakan 2,64 m³/hari, setara 17,60 m³/ton kedelai – masih di bawah batas maksimum 20 m³/ton kedelai menurut Pergub Jatim No. 72/2013. Rekapitulasi perhitungan debit disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil perhitungan debit air limbah

Parameter	Nilai	Satuan
Total penggunaan air produksi	3,30	m ³ /hari
Volume air limbah harian	2,64	m ³ /hari
Debit rata-rata selama produksi	0,33	m ³ /jam
Debit puncak (faktor 2,0)	0,66	m ³ /jam
Debit setelah ekualisasi (24 jam)	0,11	m ³ /jam
Debit rencana harian IPAL	2,64	m ³ /hari

Sumber: Hasil perhitungan peneliti, 2026.

4.2 Karakteristik Influen dan Beban Pencemar

Karakteristik influen ditetapkan dari kompilasi sepuluh sumber data sekunder limbah cair tahu di wilayah Malang Raya (Kota Malang, Kabupaten Malang, dan Kota Batu) yang diolah menggunakan metode kuartil inklusif: Q_1 untuk pH dan Q_3 untuk BOD, COD, dan TSS. Hasil penetapan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi karakteristik influen rencana

Parameter	n	Median (mg/L)	Dasar	Rencana (mg/L)
pH	9	4,28	Q_1	4,0
BOD	10	820,54	Q_3	4.300
COD	10	1.422,00	Q_3	9.300
TSS	8	742,55	Q_3	1.400

Sumber: Hasil pengolahan data sekunder, 2026.

Rasio BOD/COD sebesar 0,46 menunjukkan sebagian bahan organik limbah cair tahu dapat diuraikan secara biologis, sehingga kombinasi proses anaerob-aerob sesuai diterapkan. Berdasarkan debit rencana 2,64 m³/hari dan karakteristik influen tersebut, beban pencemar dan kebutuhan efisiensi penyisihan minimum dihitung sebagaimana Tabel 5.

Tabel 5. Beban pencemar dan efisiensi penyisihan minimum

Param.	Influen (mg/L)	B. Mutu (mg/L)	Beban In (kg/hr)	Beban Ef. Mak (kg/hr)	Efisiensi Min.
BOD	4.300	150	11,352	0,396	96,51%
COD	9.300	300	24,552	0,792	96,77%
TSS	1.400	100	3,696	0,264	92,86%

Sumber: Hasil analisis, 2026.

4.3 Perencanaan Unit IPAL Anaerob–Aerob

Rangkaian unit pengolahan direncanakan

secara berurutan mulai dari unit fisik, unit biologis, hingga unit penampung akhir. Konsentrasi keluaran suatu unit digunakan sebagai konsentrasi masukan unit berikutnya, sehingga penurunan konsentrasi pencemar berlangsung secara bertahap.

4.3.1 Penyaringan (Bar Screen)

Bar screen berfungsi memisahkan material kasar seperti kulit kedelai, gumpalan ampas, dan material lain agar tidak menyumbat unit berikutnya. bukaan 20 mm yang digunakan tergolong *coarse screen* sehingga efisiensi penyisihan BOD dan COD ditetapkan 0%, sedangkan TSS 5% sebagai asumsi konservatif. Dimensi *screen* (0,60 m × 0,40 m × 0,60 m) diperiksa terhadap debit puncak 0,66 m³/jam; kapasitas aliran *screen* pada kondisi 50% tersumbat mencapai 28,84 m³/jam, jauh melebihi debit puncak sehingga dinyatakan memenuhi [16].

4.3.2 Bak Ekualisasi–Netralisasi

Bak ini berfungsi meratakan fluktuasi debit dan konsentrasi sekaligus menaikkan pH sebelum air limbah memasuki proses biologis. Volume ekualisasi teoritis dihitung dari selisih debit masuk (0,33 m³/jam) dan debit keluar (0,11 m³/jam) dikalikan lama produksi 8 jam, menghasilkan 1,76 m³; dengan faktor cadangan 20% diperoleh volume minimum 2,112 m³. Dimensi terpilih (1,50 m × 1,20 m × 1,80 m) memberi volume aktual 3,24 m³ dengan HRT nominal 29,45 jam. Kebutuhan daya pengadukan sebesar 0,0259 kW terpenuhi oleh mixer 0,18 kW. pH influen 4,0 dinetralkan menuju target operasional 6,5–8,0 menggunakan bahan alkali seperti NaOH, Ca(OH)₂, atau NaHCO₃, dengan dosis ditentukan melalui uji titrasi terhadap air limbah aktual.

4.3.3 Bak Pengendap Awal

Bak pengendap awal mengendapkan padatan tersuspensi secara gravitasi sebelum air limbah memasuki biofilter anaerob. Mengacu pada SNI 9294:2024, digunakan waktu tinggal desain 3 jam dan efisiensi penyisihan 20% BOD, 20% COD, dan 50% TSS (batas bawah rentang standar) [11]. Dimensi 0,80 m × 0,60 m × 0,80 m menghasilkan volume aktual 0,384 m³, HRT aktual 3,49 jam (memenuhi rentang 0,75–4,00 jam), dan beban permukaan 0,229 m³/m²·jam (di bawah batas 3

m³/m²·jam). Konsentrasi keluaran menjadi BOD 3.440 mg/L, COD 7.440 mg/L, dan TSS 665 mg/L.

4.3.4 Biofilter Anaerob

Biofilter anaerob menguraikan bahan organik berkonsentrasi tinggi tanpa suplai oksigen, dengan mikroorganisme melekat pada media membentuk biofilm. Mengacu pada penelitian terdahulu yang menguji reaktor *fixed-bed* pada limbah cair tahu hingga beban 4,3 kg COD/m³·hari, penelitian ini menggunakan OLR rencana yang lebih konservatif sebesar 3,00 kg COD/m³·hari. Beban COD masuk 19,642 kg/hari menghasilkan volume minimum 6,547 m³; dimensi terpilih 4,00 m × 1,00 m × 2,00 m (terbagi 4 kompartemen @1,00 m) memberi volume aktual 8,00 m³, OLR aktual 2,455 kg COD/m³·hari, dan HRT aktual 72,73 jam. Media biofilter mengisi 60% volume reaktor (4,80 m³) [17]. Untuk biofilter anaerob *fixed-bed* media sarang tawon pada HRT 48–96 jam, digunakan efisiensi konservatif 78% BOD, 78% COD, dan 83% TSS, sehingga konsentrasi keluaran menjadi BOD 756,80 mg/L, COD 1.636,80 mg/L, dan TSS 113,05 mg/L [18].

4.3.5 Biofilter Aerob

Biofilter aerob menyisihkan bahan organik tersisa dengan bantuan oksigen dari sistem *blower* dan *diffuser*. Efisiensi optimum 87,10% BOD, 93,31% COD, dan 40,54% TSS pada HRT 72 jam, penelitian ini menggunakan efisiensi desain yang lebih konservatif yaitu 80% BOD, 80% COD, dan 20% TSS karena HRT rencana lebih rendah. Beban BOD masuk 1,998 kg/hari dengan beban media desain 1,00 kg BOD/m³ media·hari menghasilkan volume media minimum 1,998 m³ dan volume reaktor minimum 3,996 m³. Dimensi terpilih 2,00 m × 1,00 m × 2,00 m memberi volume aktual 4,00 m³ dengan HRT aktual 36,36 jam – berada dalam rentang 12–72 jam yang diuji pada limbah tahu [19]. Kebutuhan oksigen teoritis 3,196 kg O₂/hari dikonversi menjadi kebutuhan udara aktual 117,50 m³/hari (4,90 m³/jam) dengan asumsi *Oxygen Transfer Efficiency* 10% untuk *fine-pore diffuser*; blower 10 m³/jam dan 4 unit *diffuser* dinyatakan mencukupi. Konsentrasi keluaran menjadi BOD 151,36 mg/L, COD 327,36 mg/L, dan TSS 90,44 mg/L [12].

4.3.6 Bak Pengendap Akhir

Bak pengendap akhir memisahkan padatan dan biomassa yang terbawa dari biofilter aerob. Mengacu pada SNI 9294:2024, digunakan waktu tinggal desain 3 jam dengan efisiensi 30% BOD, 30% COD, dan 60% TSS. Dimensi 0,80 m × 0,60 m × 0,80 m menghasilkan volume aktual 0,384 m³, HRT aktual 3,49 jam, dan beban permukaan 0,229 m³/m²·jam – keduanya memenuhi kriteria SNI [11]. Konsentrasi efluen akhir menjadi BOD 105,95 mg/L, COD 229,15 mg/L, dan TSS 36,18 mg/L.

4.3.7 Bak Penampung Efluen dan Outlet

Bak penampung efluen menampung sementara air hasil pengolahan sekaligus menjadi titik pengambilan sampel sebelum dialirkan menuju outlet. Karena tidak terjadi proses biologis, kimia, maupun pengendapan lanjutan, efisiensi penyisihan ditetapkan 0% untuk seluruh parameter. Dengan waktu tampung operasional 6 jam, volume minimum 0,66 m³ dipenuhi oleh dimensi 1,00 m × 0,80 m × 0,90 m yang menghasilkan volume aktual 0,72 m³ dan waktu tampung aktual 6,55 jam. Rekapitulasi dimensi seluruh unit hasil perencanaan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi dimensi unit IPAL anaerob–aerob

Unit Pengolahan	Dimensi P×L×H (m)	Vol. (m ³)	Tapak (m ²)
Penyaringan / bar screen	0,60×0,40×0,60	0,144	0,24
Bak ekualisasi–netralisasi	1,50×1,20×1,80	3,240	1,80
Bak pengendap awal	0,80×0,60×0,80	0,384	0,48
Biofilter anaerob (4 kompt.)	4,00×1,00×2,00	8,000	4,00
Biofilter aerob	2,00×1,00×2,00	4,000	2,00
Bak pengendap akhir	0,80×0,60×0,80	0,384	0,48
Bak penampung efluen	1,00×0,80×0,90	0,720	0,80
Total	–	16,872	9,80

Sumber: Hasil perhitungan, 2026.

4.4 Kebutuhan Lahan IPAL

Total volume efektif seluruh unit adalah 16,872 m³ dengan luas tapak bersih 9,80 m². Dengan tambahan alokasi akses operasi dan pemeliharaan seluas 9,80 m² serta area komponen pendukung (blower, panel listrik, tangki penetral, pompa dosis) seluas 4,00 m², total kebutuhan lahan IPAL diperkirakan 23,60 m², sebagaimana disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi kebutuhan lahan IPAL

Kebutuhan Area	Luas (m ²)	Keterangan
Tapak unit pengolahan	9,80	Luas bersih seluruh unit
Akses operasi & pemeliharaan	9,80	Alokasi jalur pemeriksaan
Komponen pendukung	4,00	Blower, panel, tangki penetral, pompa dosis
Total kebutuhan lahan	23,60	–
Lahan tersedia	110,25	Hasil pengukuran lahan
Sisa lahan	86,65	78,59% dari lahan tersedia

Sumber: Hasil perhitungan, 2026.

Rasio ketersediaan lahan terhadap kebutuhan mencapai 4,67, yang menunjukkan luas lahan yang tersedia masih jauh mencukupi seluruh rangkaian unit IPAL beserta ruang operasional dan pengembangan di masa mendatang.

4.5 Estimasi Kualitas Efluen dan Kesesuaian Baku Mutu

Estimasi kualitas efluen dihitung secara bertahap dari konsentrasi influen dikalikan efisiensi penyisihan tiap unit, sebagaimana disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Estimasi kualitas air limbah pada setiap tahap pengolahan (mg/L)

Tahap Pengolahan	BOD	COD	TSS
Influen IPAL	4.300	9.300	1.400
Setelah penyaringan	4.300	9.300	1.330
Setelah ekualisasi–netralisasi	4.300	9.300	1.330
Setelah pengendap awal	3.440	7.440	665
Setelah biofilter anaerob	756,80	1.636,80	113,05
Setelah biofilter aerob	151,36	327,36	90,44
Setelah pengendap akhir / efluen	105,95	229,15	36,18

Sumber: Hasil perhitungan, 2026.

Efisiensi penyisihan total rangkaian IPAL mencapai 97,54% untuk BOD, 97,54% untuk COD, dan 97,42% untuk TSS, lebih tinggi dari kebutuhan penyisihan minimum pada Tabel 5. pH influen sebesar 4,0 dikoreksi pada bak ekualisasi–netralisasi menuju target operasional 6,5–8,0 agar sesuai untuk proses biologis. Perbandingan kualitas efluen hasil perencanaan terhadap baku mutu disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Evaluasi kualitas efluen terhadap baku mutu

Parameter	Efluen	Baku Mutu	Ket.
pH	6,5–8,0	6–9	Memenuhi
BOD	105,95 mg/L	150 mg/L	Memenuhi
COD	229,15 mg/L	300 mg/L	Memenuhi
TSS	36,18 mg/L	100 mg/L	Memenuhi

Sumber: Hasil perhitungan dan Pergub Jatim No. 72/2013, diolah peneliti, 2026.

Seluruh parameter hasil perencanaan berada di bawah batas baku mutu yang dipersyaratkan, sehingga rangkaian IPAL anaerob–aerob secara teoritis mampu menghasilkan efluen yang sesuai [20]. Hasil tersebut merupakan estimasi berdasarkan efisiensi desain setiap unit; kinerja aktual tetap perlu diverifikasi melalui pengujian setelah IPAL dibangun dan dioperasikan.

4.6 Tata Letak IPAL

Tata letak unit disusun mengikuti urutan proses dari inlet menuju outlet agar memungkinkan pengaliran gravitasi dan meminimalkan panjang perpipaan. Panjang kumulatif seluruh unit sebesar 10,70 m masih berada dalam batas panjang lahan 14,70 m, sedangkan lebar unit terbesar 1,20 m masih berada dalam batas lebar lahan 7,50 m, sehingga tersedia ruang untuk jalur pemeriksaan, tangki bahan penetral, blower, dan panel listrik di sekitar unit pengolahan. Penempatan unit juga mempertimbangkan elevasi relatif agar aliran gravitasi dapat diutamakan, dengan pompa hanya digunakan pada bagian yang tidak memiliki beda elevasi yang mencukupi.

4.7 Pembahasan

Nilai karakteristik influen rencana yang ditetapkan melalui metode kuartil (BOD 4.300 mg/L, COD 9.300 mg/L, dan TSS 1.400 mg/L) berada dalam rentang data pengamatan pada beberapa industri tahu di wilayah Malang Raya yang menjadi sumber kompilasi, sebagaimana perbandingan pada Tabel 10.

Tabel 10 menunjukkan bahwa nilai BOD dan COD rencana berada di antara nilai terendah [21], [3], sedangkan TSS rencana mendekati nilai tertinggi kedua pada kompilasi.

Pola ini konsisten dengan pemilihan kuartil ketiga (Q_3) sebagai dasar konservatif, yaitu nilai yang lebih tinggi dari sebagian besar data namun tidak mengambil nilai maksimum ekstrem, sehingga rancangan tetap realistis tanpa membesarkan dimensi unit secara berlebihan. Perbedaan nilai antarlokasi juga menegaskan bahwa karakteristik limbah cair tahu bersifat spesifik lokasi dan tidak dapat digeneralisasi dari satu sumber saja [3].

Tabel 10. Perbandingan karakteristik limbah cair tahu dengan penelitian sejenis di Malang Raya (BOD, COD, TSS dalam mg/L)

Sumber	Lokasi	pH	BOD	COD	TSS
Mufida (2015)	Tahu DUTA, Kota Malang	4,09	1.340,0	1.852,0	1.520,0
Rahadi et al. (2018)	Guyub Rukun, Kota Malang	4,5	4.255,5	9.891,0	2.314,0
Ardiansyah et al. (2023)	Sari Alam, Kota Malang	4,28	7.676,0	20.800,0	556,0
Penelitian ini (Q_3 , 2026)	Sumberagung, Kab. Malang	4,0	4.300	9.300	1.400

Sumber: Tabel 4 kompilasi data sekunder dan hasil analisis, diolah peneliti, 2026.

Efisiensi penyisihan desain yang digunakan pada biofilter anaerob (78% BOD, 78% COD) dan biofilter aerob (80% BOD, 80% COD) dipilih pada batas konservatif dari rentang karena HRT rencana pada penelitian ini (72,73 jam dan 36,36 jam) lebih rendah daripada kondisi HRT optimum pada kedua acuan tersebut (masing-masing 96 jam dan 72 jam) [18]. Pendekatan konservatif ini membuat estimasi efisiensi total rangkaian IPAL sebesar 97,54% (BOD dan COD) dan 97,42% (TSS) tetap berada pada sisi aman terhadap capaian efisiensi yang mungkin diperoleh di lapangan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan karena karakteristik influen dan efisiensi penyisihan tiap unit sepenuhnya berasal dari data sekunder dan literatur, bukan dari pengujian laboratorium terhadap air limbah aktual Pabrik Tahu Sumberagung. Akibatnya, hasil estimasi kualitas efluen pada Tabel 8 dan Tabel 9 bersifat perkiraan teoritis berdasarkan kriteria desain, sehingga verifikasi lapangan sebagaimana disampaikan pada Subbab 5.2 tetap diperlukan sebelum rancangan ini diterapkan secara konstruksi.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Debit air limbah rencana Pabrik Tahu Sumberagung sebesar 2,64 m³/hari, dengan debit rata-rata 0,33 m³/jam dan debit puncak 0,66 m³/jam.
2. Karakteristik air limbah rencana adalah pH 4,0, BOD 4.300 mg/L, COD 9.300 mg/L, dan TSS 1.400 mg/L, sehingga diperlukan efisiensi penyisihan minimum 96,51% (BOD), 96,77% (COD), dan 92,86% (TSS).
3. IPAL direncanakan menggunakan sistem anaerob-aerob (penyaringan, ekualisasi-netralisasi, pengendap awal, biofilter anaerob, biofilter aerob, pengendap akhir, dan penampung efluen) dengan total volume efektif 16,872 m³ dan kebutuhan lahan 23,60 m² dari 110,25 m² lahan tersedia. Efluen hasil perencanaan mencapai BOD 105,95 mg/L, COD 229,15 mg/L, TSS 36,18 mg/L, dan pH 6,5–8,0, sehingga secara teoritis memenuhi baku mutu Pergub Jatim No. 72/2013.

5.2 Saran

1. Sebelum rancangan diterapkan, perlu dilakukan verifikasi debit dan karakteristik air limbah melalui pengukuran lapangan dan pengujian laboratorium pH, BOD, COD, dan TSS pada beberapa waktu produksi.
2. Jenis dan dosis bahan penetral pada bak ekualisasi-netralisasi perlu ditentukan melalui uji titrasi (*jar test*) terhadap air limbah aktual.
3. Rancangan perlu dikembangkan menjadi *Detail Engineering Design* (DED) yang mencakup survei topografi, kondisi tanah, perhitungan struktur, dan hidraulika perpipaan sebelum konstruksi.
4. Diperlukan kajian lanjutan mengenai pengelolaan lumpur hasil pengendapan dan proses biologis, meliputi jumlah lumpur, frekuensi pengurasan, dan metode pemanfaatannya.
5. Setelah IPAL dibangun dan dioperasikan, perlu dilakukan uji coba dan pemantauan kualitas influen-efluen secara berkala untuk mengetahui efisiensi penyisihan aktual serta menyusun prosedur operasi dan pemeliharaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zalfain, M., Noerhayati, E., & Rahmawati, (2024). Mitigating Environmental Pollution from Tofu Industry Wastewater: Case of Suyanto Tofu Factory, Mojokerto. *Applied Environmental Science*, 2(1), 31–48.
- [2] Palevi, M., Noerhayati, E., Rahmawati, A. (2024). Studi Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Di Pabrik Tahu Banggle Jombang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, Malang.
- [3] Ardiansyah, M. (2023). Studi Perencanaan IPAL Industri Tahu Sari Alam Malang dengan Kombinasi Biodigester dan Biofilter Berbasis Lumion.
- [4] Kadafi, A. (2025). Studi Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Tahu Skala Rumah Tangga (IKRT) Menggunakan Teknologi Anaerobik–Aerobik Biofilter. *Jurnal Rekayasa Sipil e-Journal*, 15(2), 144–151.
- [5] Yuniar, V., Noor, R., Khair, R. M., & Abdi, C. (2024). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Tahu di Kelurahan Loktabat Utara, Kalimantan Selatan. *JTAM Teknik Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat*, 7(2), 13–26.
- [6] Pambudi, Y. S., Sudaryantiningih, C., G. G. (2021). Analisis Karakteristik Air Limbah Industri Tahu dan Alternatif Proses Pengolahannya Berdasarkan Prinsip-Prinsip Teknologi Tepat Guna. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(8).
- [7] Hardyanti, N., Susanto, H., Budihardjo, M. A., Purwono, & Saputra, A. T. (2023). Characteristics of Tofu Wastewater from Different Soybeans and Wastewater at Each Stage of Tofu Production. *Ecological Engineering and Environmental Technology*, 24(8), 54–63.
- [8] SNI 6989.2:2019, 6989.3:2019, 6989.11:2019, 6989.72:2009. Air dan Air Limbah – Metode Uji COD, TSS, pH, dan BOD. Badan Standardisasi Nasional.
- [9] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah.
- [10] Kholif, M. Al, Alfiah, F., & Sutrisno, J. (2021). Penggunaan Biofilter Anaerob untuk Menurunkan Kadar Pencemar Organik pada Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(2), 149–158.
- [11] Badan Standardisasi Nasional. (2024). SNI 9294:2024 Tata Cara Perencanaan dan Pemasangan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Tangki Biofilter. Jakarta: BSN.
- [12] U.S. Environmental Protection Agency. (1999). Wastewater Technology Fact Sheet: Fine Bubble Aeration. EPA 832-F-99-065.
- [13] Hartati, E., & Rahmawati, N. A. (2024). Perencanaan Jalur Air Limbah di PT. X Kecamatan Lebaksiu Kabupaten Tegal. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(5), 1276–1283.
- [14] Essra, I., Angin, G. P., & Purwadi, O. T. (2021). Perencanaan Sistem Jaringan Air Limbah di Fakultas Teknik Universitas Lampung. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 8(3), 429–438
- [15] Harahap, J., Ardianto, R., Muliadita, T. S., Mahdariza, F., Ersas, N. S., & Ashari, T. M. (2025). The Efficacy of Anaerobic Biofilter and Pre-Aeration with Microbubble Generator for Tofu Wastewater Treatment. *Jurnal Presipitasi*, 22(1), 95–108.
- [16] U.S. EPA. (2003). Wastewater Technology Fact Sheet: Screening and Grit Removal. EPA 832-F-03-011.
- [17] Nilawati, D., Matsuura, N., Honda, R., Hara-Yamamura, H., Sintawardani, N., & Yamamoto-Ikemoto, R. (2021). Methane Recovery from Acidic Tofu Wastewater Using an Anaerobic Fixed-Bed Reactor with Bamboo as the Biofilm Carrier. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23, 537–547.
- [18] Said, N. I., & Firly. (2005). Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. *Jurnal Air Indonesia*, 1(3).
- [19] Fitriani, S. N., & Hendrasarie, N. (2023). Biofilter Aerob dengan Media Kayu Meranti untuk Mengolah Limbah Tahu. *Jurnal EnviScience*, 7(2), 177–189.
- [20] Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya.
- [21] Mufida. (2015). Perencanaan IPAL dengan Kombinasi Sistem Anaerobik–Aerobik pada Pabrik Tahu DUTA Malang.