

# DESAIN IPAL TERPADU DALAM MENDUKUNG IMPLEMENTASI SDGs PADA INSTITUSI PENDIDIKAN TINGGI

Dwi Meyta Sari<sup>1</sup>, Arlina Phelia<sup>1</sup> dan Ismadi Raharjo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sumberdaya Lahan dan Lingkungan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Lampung, Indonesia

\*E-mail: [dwimeytasari@polinela.ac.id](mailto:dwimeytasari@polinela.ac.id)

Received: 13 December 2025

Accepted: 2 January 2026

Published: 5 January 2026

## Abstrak

Politeknik Negeri Lampung berupaya mewujudkan pengelolaan lingkungan kampus yang berkelanjutan melalui penerapan sistem pengolahan limbah cair laboratorium yang aman dan sesuai standar. Gedung Laboratorium Terpadu *Smart Food Technology* sebagai pusat kegiatan praktikum dan penelitian menghasilkan limbah cair dari proses pencucian peralatan, pengolahan sampel, serta penggunaan bahan kimia. Hasil uji kualitas menunjukkan bahwa beberapa parameter, seperti Timbal (Pb), Besi (Fe), COD, BOD, dan Total Koliform, melebihi baku mutu Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Dengan jumlah pengguna mencapai 1.350 orang, debit limbah diperkirakan sebesar  $\pm 24,30$  m<sup>3</sup>/hari sehingga diperlukan sistem pengolahan yang memadai. Penelitian ini merancang Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) menggunakan teknologi *Anaerobic Filter* (AF) sebagai unit inti, dilengkapi *pretreatment* logam berat, unit aerasi sebagai tahap polishing, serta proses disinfeksi. Sistem perpipaan dirancang dengan aliran gravitasi dan terpisah dari saluran air hujan. Desain teknis disertai perhitungan kebutuhan biaya sebesar Rp 464.527.000,00 termasuk PPN 11%. Implementasi rancangan ini diharapkan meningkatkan kualitas pengelolaan limbah laboratorium serta mendukung penerapan *Green Campus* dan pencapaian SDGs.

**Kata Kunci:** Pengolahan air limbah, *anaerobic filter*, limbah laboratorium, *green campus*, *Sustainable Development Goals* (SDGs).

## Abstract

Politeknik Negeri Lampung aims to establish a sustainable campus environment through the implementation of a safe and responsible laboratory wastewater management system. The *Smart Food Technology Integrated Laboratory Building*, which functions as the center of practical and research activities, generates wastewater from equipment washing, sample processing, and chemical usage. Laboratory wastewater quality analysis indicates that several parameters, including Lead (Pb), Iron (Fe), COD, BOD, and Total Coliform, exceed the limits stipulated in the Ministry of Environment Regulation No. 68/2016. With approximately 1,350 users, the estimated wastewater discharge reaches  $\pm 24.30$  m<sup>3</sup>/day, necessitating an appropriate treatment system. This study designs a wastewater treatment plant (WWTP) employing an *Anaerobic Filter* (AF) as the core unit, complemented by heavy metal *pretreatment*, an aeration polishing unit, and disinfection. The piping system is designed to utilize gravity flow and is separated from stormwater drainage. The technical design is supported by a cost estimate totaling Rp 464,527,000.00, including 11% VAT. The proposed system is expected to enhance laboratory wastewater management, support the implementation of a *Green Campus*, and contribute to achieving SDG 6 on clean water and sanitation.

**Keywords:** *Wastewater treatment, anaerobic filter, laboratory wastewater, green campus, Sustainable Development Goals (SDGs)*

---

**To cite this article:**

Dwi Meyta Sari dkk. (2026). Desain IPAL Terpadu Dalam Mendukung Implementasi SDGs Pada Institusi Pendidikan Tinggi). *Jurnal of Infrastructural in Civil Engineering*. Vol (07), No. 01, pp 110-125.

---

## PENDAHULUAN

Kualitas air merupakan salah satu faktor penting yang menentukan keberlanjutan pemanfaatan sumber daya air, baik untuk keperluan domestik, pertanian, maupun kegiatan laboratorium dan industri. Penurunan kualitas air akibat aktivitas manusia dapat berdampak langsung terhadap lingkungan dan kesehatan. Aji [1] menekankan bahwa evaluasi kualitas air melalui pendekatan indeks kualitas air menjadi langkah awal yang penting untuk memahami tingkat pencemaran dan kesesuaian air bagi peruntukannya, khususnya pada kegiatan budidaya pertanian.

Seiring dengan meningkatnya aktivitas permukiman dan institusi pendidikan, volume air limbah domestik yang dihasilkan juga mengalami peningkatan. Air limbah domestik yang tidak diolah dengan baik dapat mencemari badan air penerima. Amri dan Wesen [2] menunjukkan bahwa teknologi biofilter anaerob bermedia plastik (bioball) mampu meningkatkan efisiensi pengolahan air limbah domestik, terutama dalam menurunkan beban pencemar organik. Selanjutnya, Astika [3] menegaskan pentingnya perencanaan sistem penyaluran dan instalasi pengolahan air limbah yang terintegrasi agar sistem dapat beroperasi secara efektif dan berkelanjutan.

Selain air limbah domestik, limbah cair dari kegiatan laboratorium memiliki karakteristik yang lebih kompleks karena mengandung bahan kimia berbahaya. Benatti et al. [4] mengkaji optimasi proses oksidasi lanjutan menggunakan metode Fenton untuk mengolah limbah cair laboratorium kimia, yang terbukti efektif dalam menurunkan kandungan pencemar organik. Dalam konteks institusi pendidikan, Budiartama dan Sholichin [5] menyoroti perlunya perencanaan IPAL terpusat guna mengendalikan pencemaran lingkungan kampus secara menyeluruh.

Tinjauan pustaka menjadi bagian penting dalam memahami perkembangan teknologi pengolahan air limbah. Cempaka [6] menyatakan bahwa kajian literatur berfungsi sebagai dasar teoritis dalam menentukan pendekatan dan metode pengolahan yang sesuai dengan karakteristik limbah. Secara umum, prinsip dasar perencanaan dan pengolahan air limbah telah dibahas secara komprehensif oleh Eddy [7], yang menekankan pentingnya pemilihan proses pengolahan berdasarkan karakteristik influen dan baku mutu efluen yang ditetapkan.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kombinasi proses biologis dapat meningkatkan kinerja pengolahan air limbah. Hadiwidodo et al. [8] membuktikan bahwa kombinasi biofilter anaerob-aerob dan wetland efektif dalam mengolah air lindi, sedangkan Hariyadi et al. [9] meneliti pemanfaatan agen bioremediasi untuk mengelola kandungan bahan organik pada limbah cair laboratorium. Di sisi lain, Hartini dan Yuantari [10] mengkaji penggunaan koagulan kimia seperti alum sulfat dan poly alum chloride sebagai alternatif pengolahan limbah laboratorium.

Pengolahan air limbah domestik skala kecil dan menengah juga telah banyak dikaji, antara lain oleh Indriani dan Herumurti [11] yang meneliti efisiensi sistem kombinasi Anaerobic Baffled Reactor (ABR) dan anaerobic filter untuk grey water. Mahatyanta [12] selanjutnya mengembangkan desain alternatif IPAL dengan teknologi ABR dan anaerobic

filter untuk kawasan rumah susun, yang menunjukkan potensi penerapan teknologi tersebut pada kawasan padat penduduk.

Pada limbah cair laboratorium kimia, pendekatan oksidasi lanjutan kembali ditunjukkan efektif oleh Martinez et al. [13] melalui penggunaan reagen Fenton untuk menurunkan Total Organic Carbon (TOC). Secara teoritis dan praktis, konsep serta standar perancangan sistem pengolahan air limbah juga dijelaskan secara mendalam oleh Metcalf & Eddy [14], yang menjadi rujukan utama dalam bidang rekayasa air limbah.

Untuk limbah cair industri, Nasr et al. [15] menjelaskan bahwa karakteristik limbah yang beragam menuntut pemilihan teknologi pengolahan yang tepat agar efluen memenuhi baku mutu lingkungan. Di Indonesia, pengelolaan air limbah domestik wajib mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang baku mutu air limbah domestik [16], serta Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup [17].

Perkembangan teknologi pengolahan air limbah juga diarahkan pada pemanfaatan sumber daya lokal dan mikroorganisme. Rahmawati et al. [18] mengkaji potensi mikroorganisme termofilik dari limbah pertanian sebagai agen pengolahan limbah di kawasan tropis. Pendekatan sistem terdesentralisasi seperti DEWATS juga menjadi solusi yang banyak diterapkan di negara berkembang, sebagaimana dikemukakan oleh Sasse [19], terutama untuk kawasan dengan keterbatasan infrastruktur terpusat.

Dalam konteks bangunan gedung, Yasmine [20] menegaskan bahwa perancangan sistem pengolahan air limbah yang sesuai dengan karakteristik bangunan perkantoran sangat penting untuk menjamin efektivitas pengolahan dan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan. Berdasarkan berbagai kajian tersebut, penelitian ini disusun untuk mengkaji dan merancang sistem pengolahan air limbah yang sesuai dengan karakteristik limbah, kondisi lokasi, serta ketentuan peraturan yang berlaku, sehingga dapat mendukung upaya perlindungan lingkungan secara berkelanjutan.

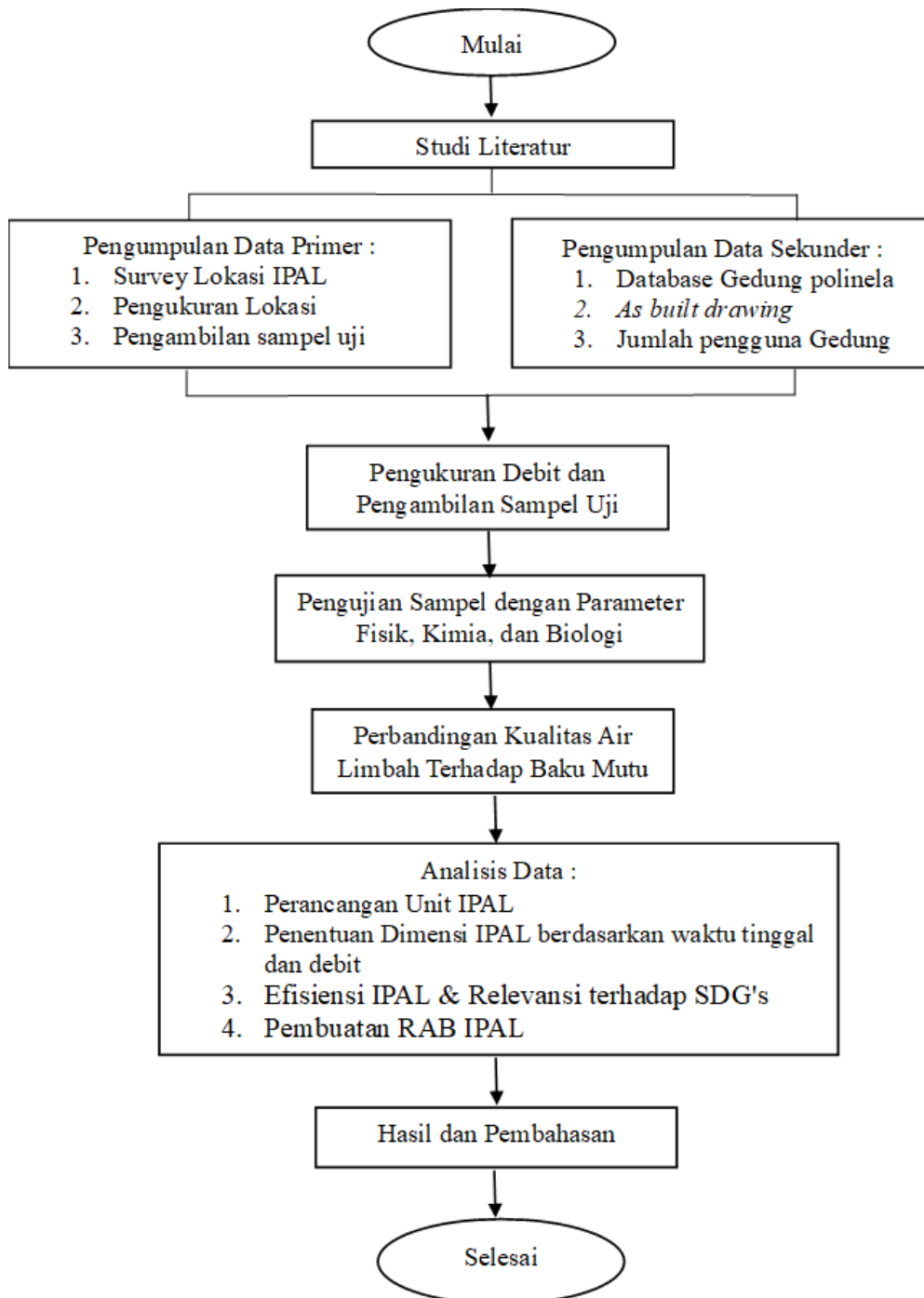
Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa perancangan sistem IPAL yang tepat sangat diperlukan untuk mengatasi pencemaran limbah laboratorium, memastikan kepatuhan terhadap regulasi, serta mendukung komitmen institusi dalam mewujudkan kampus yang berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan IPAL berbasis *Anaerobic Filter* sebagai teknologi utama yang dinilai sesuai dengan karakteristik limbah laboratorium, kondisi operasional kampus, serta prinsip efisiensi dan keberlanjutan dalam pengelolaan lingkungan.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik limbah cair laboratorium dan merancang sistem pengolahan berbasis *Anaerobic Filter* yang sesuai dengan kapasitas beban pencemar, sehingga menghasilkan efluen yang memenuhi baku mutu serta mendukung implementasi *Green Campus* dan pencapaian SDGs di Politeknik Negeri Lampung.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merancang sistem IPAL berbasis *Green Campus* untuk Gedung Laboratorium Terpadu *Smart Food Technology* Politeknik Negeri Lampung. Data diperoleh melalui survei lapangan, observasi aktivitas laboratorium, wawancara pengelola gedung, pengukuran debit limbah, dan analisis kualitas limbah (pH, BOD, COD, TSS, Amonia), serta didukung data sekunder dan acuan baku mutu. Hasil analisis beban pencemar digunakan untuk menentukan unit pengolahan yang mempertimbangkan efisiensi, kemudahan operasi, dan keterbatasan lahan. Teknologi *anaerobic filter* dipilih sebagai proses utama karena sesuai dengan karakteristik limbah dan mendukung efisiensi energi. Rangkaian IPAL terdiri atas *grease trap*, bak ekualisasi, unit *anaerobic filter*, filtrasi, dan saluran pembuangan, dengan

dimensi dihitung berdasarkan debit dan waktu tinggal hidraulik. Rancangan ini diarahkan untuk mendukung pencapaian SDGs poin 6 (air bersih dan sanitasi) dan poin 13 (penanganan perubahan iklim) serta implementasi *Green Campus* di Perguruan Tinggi khususnya Politeknik Negeri Lampung. Alur kerja penelitian disusun dan dijalankan secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut (Gambar 1).



**Gambar 1.** Bagan Alir Penelitian

Untuk mendukung perancangan sistem IPAL berbasis green campus pada Gedung Laboratorium Terpadu *Smart Food Technology* Politeknik Negeri Lampung, dilakukan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui survei lapangan secara langsung, pengamatan aktivitas laboratorium dan domestik di gedung, serta wawancara dengan

pihak pengelola. Selain itu, dilakukan pengukuran debit air limbah dan pengambilan sampel air limbah untuk diuji di laboratorium dengan parameter meliputi pH, BOD, COD, TSS, dan amonia. Data sekunder diperoleh dari dokumen teknis seperti peta denah gedung, data jumlah pengguna fasilitas, literatur desain IPAL, serta peraturan dan regulasi terkait baku mutu air limbah, seperti Permen LHK No. 68 Tahun 2016 dan PP No. 22 Tahun 2021. Literatur lain yang relevan dari jurnal, artikel ilmiah, serta pedoman perencanaan IPAL juga digunakan sebagai acuan dalam menentukan desain dan efisiensi sistem yang dirancang.

Analisis data dilakukan untuk mengevaluasi kualitas air limbah terhadap baku mutu lingkungan serta mendukung perancangan sistem IPAL yang efektif dan berkelanjutan. Pengukuran debit limbah dilakukan secara langsung di lapangan untuk mengetahui volume limbah harian yang dihasilkan dari aktivitas laboratorium. Pengukuran dilakukan pada beberapa waktu kegiatan untuk memperoleh data yang representatif. Pengambilan sampel limbah dilakukan bersamaan dengan pengukuran debit pada titik yang telah ditentukan. Sampel kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian lebih lanjut terhadap parameter kualitas air.

Sampel limbah yang telah dikumpulkan diuji menggunakan parameter fisika, kimia, dan biologi, seperti pH, BOD, COD, TSS, amonia, serta logam berat seperti Timbal (Pb) dan Besi (Fe). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat pencemaran limbah laboratorium dan menentukan apakah kualitas limbah telah melampaui baku mutu yang ditetapkan. Hasil pengujian menjadi dasar dalam menentukan jenis dan tahapan pengolahan yang diperlukan dalam sistem IPAL. Hasil uji laboratorium dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Parameter yang melebihi batas baku mutu diidentifikasi, sehingga kebutuhan pengolahan dapat ditentukan secara lebih tepat. Tahap ini penting untuk memastikan bahwa rancangan IPAL mampu menurunkan konsentrasi pencemar hingga memenuhi standar lingkungan yang berlaku sebelum dilepaskan ke lingkungan.

Analisis data dilakukan dengan menentukan unit-unit proses yang sesuai untuk mengolah limbah laboratorium, berdasarkan karakteristik limbah yang telah diidentifikasi. Teknologi Anaerobic Filter dipilih sebagai proses inti karena kesesuaiannya untuk limbah organik dan efisiensi energi. Unit IPAL yang dirancang meliputi grease trap, bak ekualisasi, unit *anaerobic filter*, filtrasi pasir silika dan karbon aktif, serta disinfeksi. Dimensi masing-masing unit dihitung berdasarkan debit limbah dan waktu tinggal hidraulik (HRT) agar proses pengolahan dapat berlangsung optimal. Selain itu, dilakukan analisis efisiensi pengolahan dan relevansinya terhadap tujuan *Green Campus* dan pencapaian SDGs. Tahap selanjutnya adalah penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang mencakup perhitungan volume pekerjaan, kebutuhan material, dan biaya konstruksi IPAL sesuai spesifikasi teknis yang dirancang. RAB diperlukan sebagai dasar perencanaan implementasi di lapangan dan untuk memastikan kelayakan pembangunan IPAL dari sisi biaya.

Tahap akhir penelitian memuat penyajian hasil analisis, desain teknis IPAL, dan evaluasi efektivitasnya dalam menurunkan parameter pencemar. Pembahasan dilakukan dengan mengkaji kesesuaian rancangan dengan baku mutu, efisiensi sistem, serta kontribusinya terhadap program *Green Campus* dan SDGs. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengembangan pengelolaan limbah laboratorium yang lebih berkelanjutan di Politeknik Negeri Lampung.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Limbah Cair Laboratorium

Dalam penelitian ini, sampel limbah cair diambil dari empat titik uji, yaitu pada area gedung samping, gedung area belakang, area depan, serta embung penampungan. Setiap titik

diambil sampel sebanyak 1 liter untuk kemudian dianalisis di Laboratorium Tanah dan Air Polinela dan Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Bandar Lampung dengan hasil pengujian parameter fisik dan kimia dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

**Tabel 1.** Hasil Uji Sampel Air Limbah Gedung *Smart Food Technology*.

No.	Titik Sampel	Baku Mutu Permen 68 tahun 2016	Gedung Samping	Gedung Depan	Gedung Belakang	Embung
1	TDS	≤ 1.000	108	638	848	117
2	pH	6 – 9	6,9	7,36	6,84	6,55
3	Suhu	Deviasi ≤ 3 dari suhu alami	29°	28,8°	28°	28°
4	Do	≥ 3	5,1	6,9	5,5	8,9
5	Ion	(tidak diatur)	5	5	5	5
6	Lead	≤ 0,03 (Kelas II–III)	20	20	20	20
7	Copper	≤ 0,02–0,2	0	0	0	0
8	Iron	≤ 0,3–1	0	5	0	0
9	Chromium	≤ 0,5	0	0	0	0
10	Sulfide	≤ 0,5	0	0	0	0
11	Free Chlorine	≤ 1	0	0	0	0
12	Bromine	–	0	0	0	0
13	Nitrate	≤ 30	0	0	0	0
14	Nitrite	≤ 1	0	0	0	0
15	Mercury	≤ 0,005	0	0	0	0
16	Flouride	≤ 5	0	0	0	0
17	Hardnesss (CaCO <sub>3</sub> )	≤ 500	250	250	250	250
18	Total Alkalmity	–	240	240	80	180
19	TSS	≤ 30	25,83	26,67	10,50	6,40
20	COD	≤ 100	310	114	32	12
21	BOD	≤ 30	147,97	67,14	15,58	4,79
22	Coliform	≤ 3000	24000	35000	24000	140

Berdasarkan hasil uji kualitas air limbah di Gedung *Smart Food Technology* Politeknik Negeri Lampung, terdapat beberapa parameter yang melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam Permen LHK No. 68 Tahun 2016, yaitu Timbal (Pb), Besi (Fe), Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), dan Total Koliform. Nilai-nilai tersebut menunjukkan adanya potensi pencemaran dari aktivitas laboratorium yang perlu segera dikendalikan.

- **Timbal (Pb)**  
Kadar Pb terdeteksi sebesar 20 mg/l di seluruh titik sampel, jauh melebihi batas maksimum 0,03 mg/l. Nilai ini menunjukkan adanya kontaminasi logam berat yang signifikan, kemungkinan berasal dari bahan kimia anorganik, sisa reagen praktikum, atau korosi alat laboratorium yang mengandung timbal. Kadar Pb yang tinggi berpotensi toksik bagi organisme perairan dan dapat menyebabkan akumulasi pada sedimen atau rantai makanan jika tidak ditangani dengan baik.
- **Besi (Fe)**  
Kadar Fe pada Gedung Depan mencapai 5 mg/l, melebihi ambang batas 1 mg/l. Nilai ini mengindikasikan adanya akumulasi besi terlarut, kemungkinan dari reaksi oksidasi pipa atau limbah proses biokimia. Konsentrasi Fe yang tinggi dapat mempengaruhi kejernihan air dan menyebabkan perubahan warna serta bau pada saluran pembuangan.
- **Chemical Oxygen Demand (COD)**

Nilai COD tertinggi tercatat di Gedung Samping sebesar 310 mg/l, melampaui batas  $\leq 100$  mg/l. Hal ini menunjukkan adanya beban bahan organik dan kimia yang tinggi, yang memerlukan banyak oksigen untuk terurai. Kondisi ini umumnya disebabkan oleh pembuangan limbah cair hasil pencucian alat dan sisa bahan kimia dari kegiatan praktikum.

- **Biochemical Oxygen Demand (BOD)**  
Nilai BOD pada Gedung Samping mencapai 147,97 mg/l, jauh di atas baku mutu  $\leq 30$  mg/l. Nilai tinggi ini menunjukkan tingginya kandungan senyawa organik mudah terurai seperti sisa bahan pangan, zat reaktif, dan bahan biologi dari kegiatan laboratorium. Tingginya BOD mengindikasikan bahwa air limbah memiliki potensi menurunkan kadar oksigen terlarut (DO) di perairan jika tidak diolah terlebih dahulu.
- **Total Koliform**  
Parameter biologi menunjukkan nilai sangat tinggi, terutama di Gedung Depan sebesar 35.000 koloni/100 mL, serta Gedung Samping dan Gedung Belakang masing-masing 24.000 koloni/100 mL, jauh melampaui batas maksimum 3.000 koloni/100 mL. Nilai ini menunjukkan adanya kontaminasi bakteri dari aktivitas manusia (grey water), seperti air limbah toilet dan wastafel. Meskipun pada titik embung nilai turun drastis menjadi 140 koloni/100 mL, kadar koliform di sumber awal tetap menunjukkan tingkat pencemaran mikrobiologis yang tinggi.

### Rekomendasi Teknis Pengelolaan Limbah Cair Laboratorium Berbasis Green Campus dan SDGs

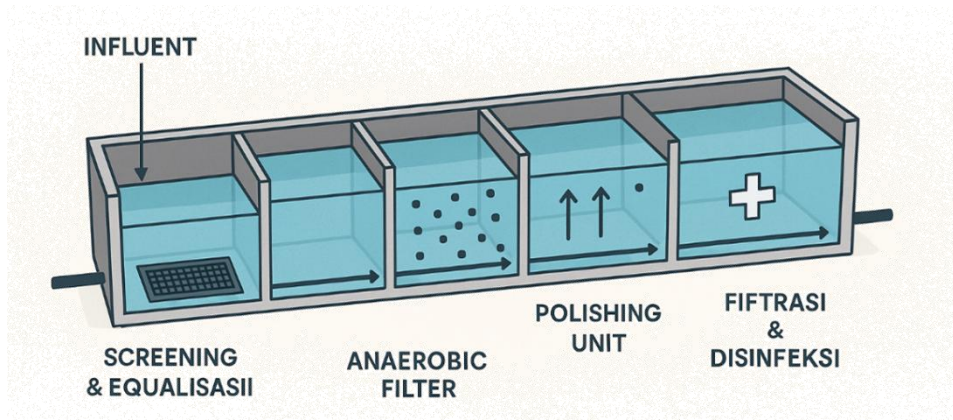
Perhitungan debit air limbah untuk perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Gedung Laboratorium Terpadu *Smart Food Technology* Politeknik Negeri Lampung dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah pengguna gedung yang terdiri dari mahasiswa, dosen, dan tenaga kependidikan. Estimasi debit limbah cair didasarkan pada standar kebutuhan air bersih yang selanjutnya dikonversi menjadi potensi limbah cair dengan memperhitungkan persentase pemakaian yang terbuang sebagai air limbah. Adapun hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Air Limbah Gedung *Smart Food Technology*

Bagian	Jumlah Orang	Q (L/hari)	Q (m <sup>3</sup> /hari)
Basement	210	3780	3,78
Lantai 1	315	5670	5,67
Lantai 2	385	6930	6,93
Lantai 3	440	7920	7,92
<b>TOTAL</b>	<b>1350</b>	<b>24.300</b>	<b>24,30</b>

Hasil total debit  $\pm 24,30$  m<sup>3</sup>/hari, sistem limbah laboratorium ini bisa didesain memakai IPAL berbasis Anaerobic Filter (AF) sebagai unit inti. *Anaerobic Filter* dipilih karena memiliki keunggulan dalam menurunkan beban pencemar organik (BOD dan COD) secara efisien dengan biaya operasi yang relatif rendah. Proses ini memanfaatkan aktivitas mikroorganisme anaerob yang menempel pada media isian (filter media), sehingga mampu menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Selain itu, AF sesuai digunakan untuk debit kecil hingga menengah seperti yang dihasilkan gedung laboratorium, dan mendukung prinsip ramah lingkungan dalam konsep *Green Campus*. Desain IPAL direncanakan dalam beberapa tahapan unit proses (Gambar 2) yaitu:

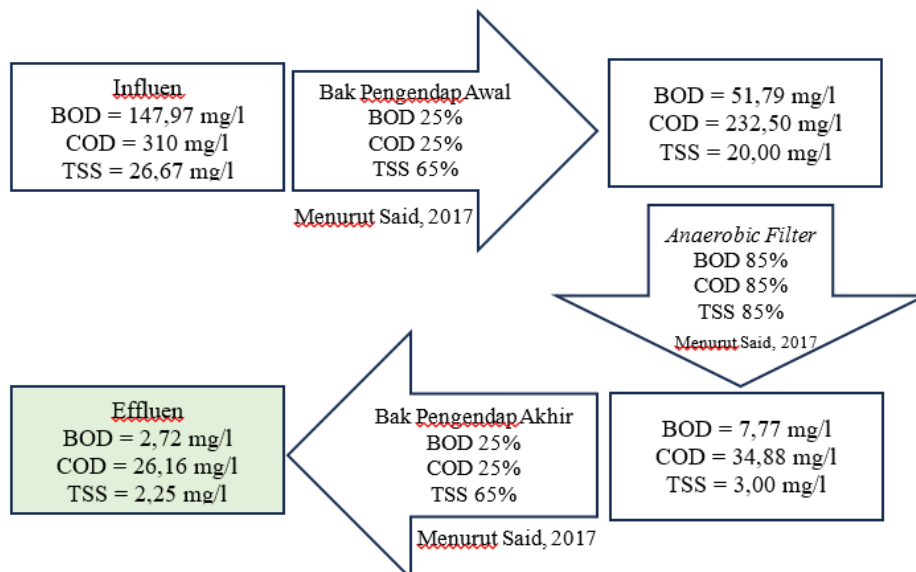
1. *Pretreatment (screening dan equalization)* untuk menyaring padatan kasar serta menyeimbangkan aliran dan konsentrasi limbah.
2. *Anaerobic Filter* sebagai unit utama pengolahan biologis yang berfungsi menurunkan kadar organik.
3. *Polishing unit (aerasi atau biofilter aerobik)* untuk meningkatkan kandungan oksigen terlarut (DO) dan memastikan hasil olahan lebih stabil.
4. *Disinfeksi* sebelum air buangan dilepas ke lingkungan atau dimanfaatkan kembali untuk keperluan non-konsumsi.



Gambar 2. Rencana Desain IPAL Laboratorium

### Perhitungan Desain IPAL Laboratorium

Gambar 3 memperlihatkan diagram alir kesetimbangan massa perencanaan IPAL. Berdasarkan Gambar 3 tersebut, diketahui bahwa kadar BOD pada influen sebesar 147,97 mg/l menurun menjadi 51,79 mg/l pada bak pengendap awal, kemudian berkurang lagi menjadi 7,77 mg/l setelah proses Anaerobic Filter, dan mencapai 2,72 mg/l pada efluen akhir. Nilai COD awal sebesar 310 mg/l menurun menjadi 232,50 mg/l di bak pengendap awal, 34,88 mg/l setelah Anaerobic Filter, dan 26,16 mg/l pada efluen akhir.



Gambar 4. Diagram Alir Kesetimbangan Massa Perencanaan IPAL

Sementara itu, TSS mengalami penurunan dari 26,67 mg/l pada influen menjadi 20,00 mg/l di bak pengendap awal, 3,00 mg/l setelah Anaerobic Filter, dan 2,25 mg/l pada efluen akhir. Berikut perhitungan rencana desain IPAL Laboratorium *Gedung Smart Food Technology*. Penjelasan detail mengenai *bar screen*, bak ekualisasi, bak pengendap awal, *anaerobic filter* dan bak pengendap akhir adalah sebagai berikut:

### Bar Screen

- Kriteria desain :
  1. Kecepatan aliran melalui *bar screen* (v) = 0,3 – 0,6 m/dt
  2. Jarak antar batang (B) = 25 – 75 mm
  3. Slope terhadap horizontal ( $\alpha$ ) = 45 – 60°
- Desain ditetapkan sebagai berikut :
  1. Kecepatan aliran pada screen = 0,3 m/dt
  2. Jarak antar batang (B) = 30 mm
  3. Slope terhadap horizontal ( $\alpha$ ) = 60°
  4. Diameter baja (D) = 10 mm
  5. Lebar saluran (b) = 0,6 m
  6. Kedalaman air (d) = 0,3 m
  7. Bahan saringan = baja tahan karat
- Perhitungan lebar bukaan dan jumlah batang  
 Jumlah bukaan antar batang :
 
$$n = \frac{b}{(B+D)} = \frac{0,6}{(0,03+0,01)} = 15 \text{ bukaan}$$
 Jumlah batang = n-1 = 15 -1 = 14 batang  
 Lebar bukaan efektif = 14 x 0,03 = 0,042 m  
 Panjang batang screen yang terendam =  $\frac{d}{\sin 60^\circ} = \frac{0,3}{\sin 60^\circ} = 0,346 \text{ m}$

### Bak Ekualisasi

- Kriteria desain :
  1. Debit air limbah = 24,30 m<sup>3</sup>/hari
  2. Waktu tinggal = 4-8 jam diasumsikan 8 jam
  3. Volume bak yang dibutuhkan:
 
$$V = \frac{td}{24} \times Q = \frac{8}{24} \times 24,30 \text{ m}^3/\text{hari} = 8,10 \text{ m}^3$$
- Dimensi ditetapkan sebesar :
  1. Lebar = 1,5 m
  2. Kedalaman = 3,75 m
  3. Panjang = 1,6 m
  4. *Freeboard* = 0,5 m
  5. Volume efektif = P x L x T = 9 m<sup>3</sup>

Check:

Waktu Tinggal rata-rata

$$T = \frac{1,5 \text{ m} \times 3,75 \text{ m} \times 1,6 \text{ m}}{24,30 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 24 = 8,9 \text{ jam}$$

Struktur outlet bak ekualisasi dirancang menggunakan pipa berdiameter 3 inci, yang disesuaikan dengan spesifikasi teknis pompa, baik pada sisi hisap maupun sisi tekan, guna menjaga keseragaman sistem perpipaan dan efisiensi aliran.

### Bak Pengendap Awal

- Kriteria desain :
  1. Debit air limbah = 24,30 m<sup>3</sup>/hari
  2. Waktu tinggal bak = 2-4 jam
  3. Direncanakan waktu tinggal dalam bak pengendap awal = 4 jam
  4. Volume bak yang dibutuhkan :

$$V = \frac{td}{24} \times Q = \frac{4}{24} \times 24,30 \text{ m}^3/\text{hari} = 4,05 \text{ m}^3$$

- Dimensi ditetapkan sebesar :
  1. Lebar = 1 m
  2. Kedalaman = 2,75 m
  3. Panjang = 1,6 m
  4. *Freeboard* = 0,5 m
  5. Volume efektif = P x L x T = 4,4 m<sup>3</sup>

Check:

Waktu tinggal rata-rata:

$$T = \frac{1 \text{ m} \times 2,75 \text{ m} \times 1,6 \text{ m}}{24,30 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 24 = 3,8 \text{ jam}$$

- Beban permukaan :  
Beban permukaan (*surface loading*) =  $\frac{Q \text{ limbah}}{\text{luas permukaan}} = \frac{24,30 \text{ m}^3/\text{hari}}{1 \times 1,6} = 15,19 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$
- Beban BOD, COD, dan TSS di dalam limbah cair :  
BOD = Q limbah x kadar BOD  
= 24,30 m<sup>3</sup>/hari x 0,148 kg/m<sup>3</sup> = 3,60 kg/hari  
COD = Q limbah x kadar COD  
= 24,30 m<sup>3</sup>/hari x 0,310 kg/m<sup>3</sup> = 7,53 kg/hari  
TSS = Q limbah x kadar TSS  
= 24,30 m<sup>3</sup>/hari x 0,027 kg/m<sup>3</sup> = 0,65 kg/hari
- Besarnya BOD, COD, dan TSS yang dihilangkan pada bak pengendap awal :  
BOD = Efisiensi x beban BOD  
= 25% x 3,60 kg/hari = 0,9 kg/hr  
COD = Efisiensi x beban COD  
= 25% x 7,53 kg/hari = 1,88 kg/hr  
TSS = Efisiensi x beban TSS  
= 65% x 0,65 kg/hari = 0,42 kg/hr

### Anaerobic Filter

- Kriteria desain :
  1. Debit air limbah = 24,30 m<sup>3</sup>/hari
  2. Untuk pengolahan air limbah dengan proses biofilter anaerob, standar beban BOD per volume media adalah 0,4 – 4,7 kg BOD/m<sup>3</sup>·hari (Said, 2017). Pada perencanaan ini ditetapkan beban BOD yang digunakan sebesar 1 kg BOD/m<sup>3</sup>·hari.
  3. Perhitungan beban BOD dalam air limbah: 24,30 m<sup>3</sup>/hari x 147,97 mg/l = 3595,67 g/hari = 3,596 kg/hari
  4. Volume media yang diperlukan:  $\frac{3,596 \text{ kg/hari}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{hari}}} = 3,596 \text{ m}^3$
  5. Volume media: volume media pada biofilter umumnya 60% dari total volume reaktor, sehingga:

$$V_{reaktor} = \frac{100}{60} \times 3,596 = 5,99 \text{ m}^3$$

- Rencana Dimensi Bak *Anaerobic Filter*
  1. Panjang: 2,4 m
  2. Lebar: 2,75 m
  3. Kedalaman air: 1 m
  4. Tinggi ruang bebas: 0,5 m
  5. Volume efektif:  $\pm 6,6 \text{ m}^3$
  6. Jumlah ruang: 2 ruangan (dua kompartemen)
  7. Konstruksi: Beton bertulang mutu K-275, tebal dinding 15 cm
  8. Tinggi bed media pembiakan mikroba mengacu pada BPPT (2002) yaitu 0,9 – 1,5 m, dan dalam desain ini diambil 1,2 m.
  9. Volume total media dalam reaktor adalah:  $1,2 \times 2,4 \times 2,75 = 7,92 \text{ m}^3$

Check:

1. BOD loading per volume media:  $\frac{3,596 \text{ kg/hari}}{7,92 \text{ m}^3} = 0,45 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari}$ , dimana standar high rate trickling filter =  $0,4 - 4,7 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari}$ , sehingga masih memenuhi.
2. Waktu tinggal reaktor anaerob rata-rata =  $\frac{7,92 \text{ m}^3}{24,30 \text{ m}^3/\text{hari}} = 0,33 \times 24 \text{ jam/hari} = 7,82 \text{ jam}$ , dimana waktu tinggal reaktor anaerob rata-rata 3 – 8 jam, sehingga masih memenuhi.

### Bak Pengendap Akhir

- Kriteria desain :
  1. Debit air limbah =  $24,30 \text{ m}^3/\text{hari}$
  2. Waktu tinggal di dalam bak 2 – 4 jam
  3. Direncanakan waktu tinggal dalam bak anaerobik Adalah 4 jam sehingga,
  4. Volume bak yang dibutuhkan (V) =  $Q \times t_d = 24,3 \text{ m}^3/\text{hari} \times \frac{4}{24} \text{ hari} = 4,05 \text{ m}^3 \sim 4,5 \text{ m}^3$
- Dimensi bak  
Untuk memenuhi kapasitas volume bak tersebut, maka direncanakan dimensi bak: Panjang = 1,6 m; Lebar = 1,4 m; kedalaman air = 2 m; tinggi ruang bebas 0,5 m, volume efektif  $4,5 \text{ m}^3$ , konstruksi beton K275, tebal dinding 15cm.

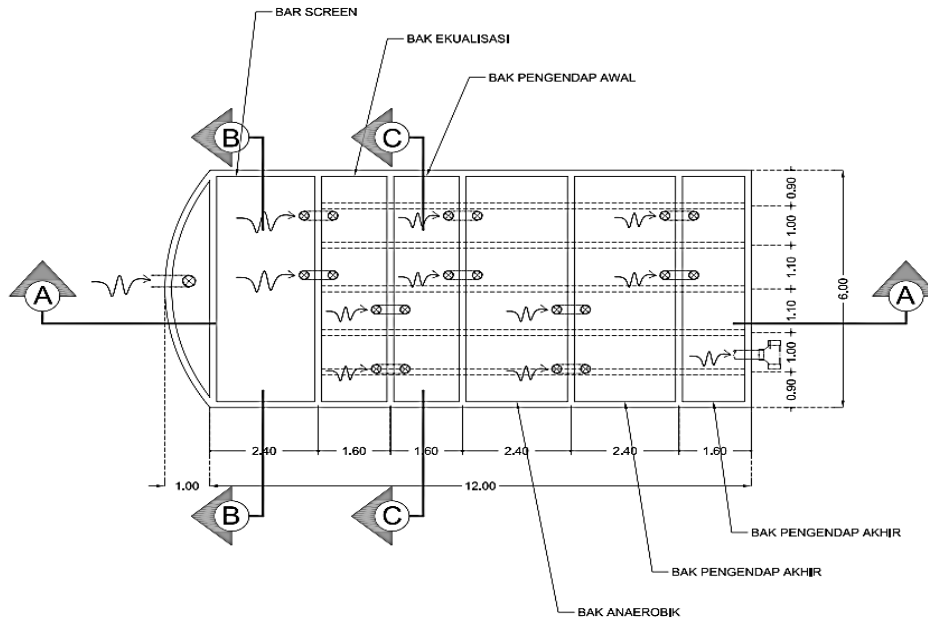
Check

Waktu tinggal (retention time) rata-rata :

Volume efektif =  $5,6 \text{ m}^3$

Waktu tinggal dalam bak =  $\frac{4,5 \text{ m}^3 \times 24}{24,30 \text{ m}^3/\text{hari}} = 4,44 \text{ jam} \sim 4 \text{ jam}$ .

Berdasarkan hasil perhitungan teknis, dimensi yang diperoleh digunakan sebagai acuan dasar dalam penentuan ukuran bak, sehingga dalam penerapannya disesuaikan dengan rencana pengembangan jangka panjang serta kondisi area di lapangan. Kedalaman dan lebar bak direncanakan menyesuaikan kondisi eksisting, dengan kedalaman rata-rata  $\pm 4$  meter dan lebar rata-rata  $\pm 6$  meter, sedangkan panjang bak disesuaikan dengan hasil perhitungan volume efektif. Penyesuaian ini tetap mengacu pada kapasitas hidrolis dan waktu tinggal yang telah ditetapkan, sehingga kinerja sistem tetap optimal. Gambar 4 memperlihatkan rencana denah IPAL laboratorium gedung *smart food technology*, dimana Gambar 5 memperlihatkan rencana *design layout* IPAL.



**Gambar 5.** Rencana Denah IPAL Laboratorium Gedung *Smart Food Technology*



**Gambar 6.** Rencana Desain Layout IPAL

Air limbah yang dihasilkan dari Gedung *Smart Food Technology* Politeknik Negeri Lampung terdiri dari dua jenis yaitu limbah *grey water* dan *black water* (toilet) serta limbah sisa hasil praktek. Untuk limbah laboratorium dilakukan di pretreatment dahulu untuk menetralkan asam basa yang kemudian dialirkan bersama limbah domestik.

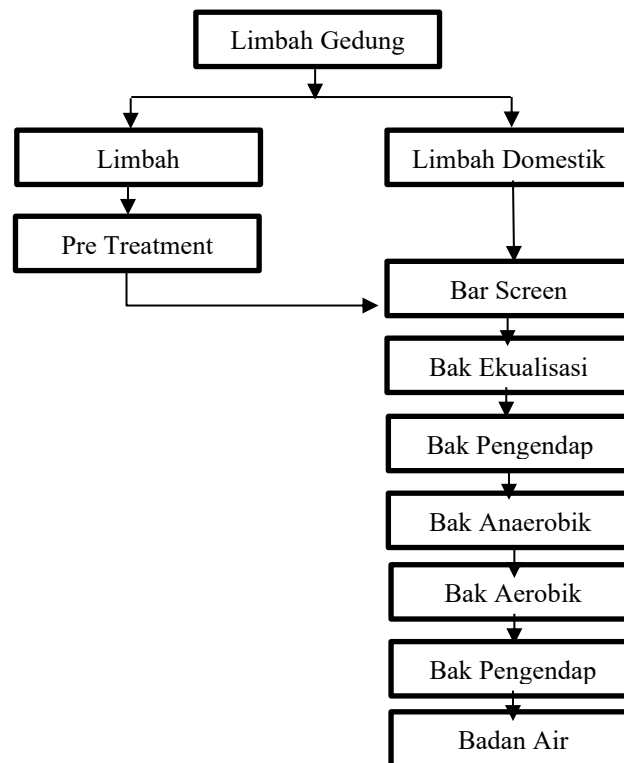
Pada bak ekualisasi terjadi pencampuran air limbah hingga homogen serta stabilisasi fluktuasi debit agar efisiensi proses pengolahan tidak terganggu. Bak ekualisasi dilengkapi dengan pompa, sehingga air limbah dari bak ekualisasi selanjutnya dipompa menuju bak pengendap awal. Air limbah dari bak ekualisasi dialirkan melalui pompa menuju bak pengendap awal. Di dalam bak ini, air limbah mengalami waktu tinggal yang cukup untuk mengendapkan padatan tersuspensi dan menurunkan sebagian beban organik. Unit pengendap awal dirancang untuk mencapai efisiensi penyisihan TSS sekitar 65%.

Air limbah yang keluar dari bak pengendap awal kemudian diarahkan ke unit anaerobic filter, yaitu reaktor anaerob yang dilengkapi dengan media isian dan dirancang untuk mengalirkan air secara bergantian dari atas ke bawah dan sebaliknya. Reaktor anaerob ini terdiri atas beberapa kompartemen, di mana masing-masing kompartemen berisi media filter.

Unit anaerobic filter diperkirakan mampu menghasilkan efisiensi pengolahan sebesar 85% untuk TSS, 85% untuk BOD, dan 85% untuk COD.

Air hasil proses anaerobik selanjutnya masuk ke bak aerobik, yang dilengkapi dengan media filter sarang tawon serta sistem aerasi guna meningkatkan konsentrasi oksigen terlarut. Oksigen ini diperlukan oleh mikroorganisme aerob untuk memecah senyawa organik. Pada tahap ini, air limbah melakukan kontak dengan biomassa tersuspensi maupun biofilm pada media filter. Bak aerobik dirancang untuk mencapai efisiensi penyisihan hingga 85%.

Setelah melalui proses pengolahan pada bak aerobik, air limbah kemudian dialirkan menuju bak pengendap akhir. Fungsi bak pengendap akhir pada dasarnya serupa dengan bak pengendap awal, yaitu memberikan waktu tinggal bagi air limbah untuk memungkinkan pengendapan partikel tersuspensi secara gravitasi. Tahap ini merupakan proses pemisahan akhir sebelum air limbah memasuki tahap akhir sistem IPAL. Air hasil olahan dari unit ini selanjutnya akan dibuang ke badan air penerima. Bak pengendap akhir diperkirakan mampu menghasilkan efisiensi pengolahan sebesar 65% untuk TSS, 25% untuk BOD, dan 25% untuk COD. Berdasarkan uraian tersebut, berikut disajikan diagram alur proses pengolahan air limbah di Gedung *Smart Food Technology* Politeknik Negeri Lampung (Polinela). Gambar 6 memperlihatkan diagram proses pengolahan limbah IPAL.



**Gambar 7.** Diagram Proses Pengolahan Limbah IPAL

Dengan rancangan ini, diharapkan limbah cair laboratorium dapat memenuhi standar baku mutu sesuai peraturan yang berlaku sekaligus mendukung implementasi *Green Campus* dan pencapaian SDGs di Politeknik Negeri Lampung.

### Rencana Anggaran Biaya

Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada pembangunan IPAL Laboratorium Gedung *Smart Food Technology* Politeknik Negeri Lampung dilakukan dengan mengacu pada

harga satuan pekerjaan Kota Bandar Lampung tahun 2025. Berdasarkan rekapitulasi seluruh komponen pekerjaan pembangunan IPAL termasuk Pajak Pertambahan Nilai (PPN) 11% maka didapat nilai Rencana Anggaran Biaya sebesar Rp 464.527.000,00 (empat ratus enam puluh empat juta lima ratus dua puluh tujuh ribu rupiah), dengan rekapitulasi perhitungan biaya pada Tabel 3 berikut:

**Tabel 3.** Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya Pembangunan IPAL

<b>REKAPITULASI TOTAL</b>		
Pekerjaan : Perencanaan IPAL Laboratorium Gedung SFT Polinela		
Lokasi : Polinela		
Tahun Anggaran : 2025		
NO	URAIAN PEKERJAAN	JUMLAH HARGA (Rp)
A	PEKERJAAN PERSIAPAN	Rp 14.748.787
B	PEKERJAAN TANAH	Rp 35.976.574
C	PEKERJAAN STRUKTUR	Rp 199.706.777
D	PEKERJAAN DINDING	Rp 38.928.398
E	PEKERJAAN PERPIPAAN	Rp 54.963.676
F	PEKERJAAN BAK KONTROL	Rp 15.543.013
G	PEKERJAAN LAIN - LAIN	Rp 58.625.718
JUMLAH TOTAL		418.492.942,02
PPN 11%		46.034.223,62
JUMLAH TOTAL + PPN 11%		464.527.165,64
<b>DIBULATKAN</b>		<b>464.527.000,00</b>
<b>TERBILANG :</b> <i>Empat Ratus Enam Puluh Empat Juta Lima Ratus Dua Puluh Tujuh Ribu Rupiah</i>		

### Rekomendasi Hasil Analisis Teknis

Berdasarkan hasil analisis kondisi eksisting, karakteristik limbah, debit limbah, serta kajian proses pengolahan, diperoleh rekomendasi teknis pengelolaan limbah cair laboratorium di Gedung *Smart Food Technology* Politeknik Negeri Lampung berupa penerapan sistem IPAL berbasis Anaerobic Filter (AF) sebagai unit inti, yang dilengkapi dengan rangkaian unit pretreatment logam berat, bak ekualisasi, pengendap awal, biofilter anaerob, unit aerasi/polishing aerobik, pengendap akhir, serta disinfeksi sebelum efluen dibuang ke badan air penerima atau dimanfaatkan kembali untuk keperluan non-konsumsi. Sistem perpipaan dirancang terpisah dari drainase air hujan dan memanfaatkan aliran gravitasi menuju lokasi IPAL di area yang lebih rendah, sehingga lebih efisien energi.

Rekomendasi ini didukung oleh pengelolaan dari sumbernya (good laboratory practice, pemilahan limbah, dan netralisasi awal), serta pemantauan kualitas efluen secara berkala. Dengan demikian, rancangan IPAL tidak hanya menurunkan beban pencemar hingga memenuhi baku mutu, tetapi juga mendukung konsep *Green Campus* dan berkontribusi pada pencapaian SDGs 6 (*Clean Water and Sanitation*) dan SDGs 13 (*Responsible Consumption and Production*) sebagai bagian dari pengembangan kampus berkelanjutan di Politeknik Negeri Lampung.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis kondisi eksisting, karakteristik limbah cair, perhitungan debit limbah, serta perencanaan teknis sistem pengolahan air limbah di Gedung Laboratorium

Terpadu *Smart Food Technology* Politeknik Negeri Lampung, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Gedung Laboratorium Terpadu *Smart Food Technology* hingga saat ini belum memiliki sistem pengolahan limbah laboratorium yang memadai. Limbah cair hasil praktikum masih dialirkan langsung ke saluran drainase tanpa proses pengolahan, sehingga berpotensi mencemari lingkungan di sekitar kampus.
2. Hasil uji kualitas limbah cair menunjukkan bahwa beberapa parameter penting seperti Timbal (Pb), Besi (Fe), COD, BOD, dan Total Koliform melebihi baku mutu yang ditetapkan dalam Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Hal ini membuktikan bahwa limbah laboratorium memiliki karakteristik berbahaya dan memerlukan pengolahan khusus.
3. Debit limbah cair dari aktivitas laboratorium diperoleh sebesar  $\pm 24,30$  m<sup>3</sup>/hari, sehingga dibutuhkan sistem pengolahan air limbah dengan kapasitas yang sesuai dengan beban hidrolis tersebut. Perencanaan IPAL dengan teknologi Anaerobic Filter (AF) sebagai unit inti dipilih karena efektif menurunkan beban pencemar organik dengan biaya operasional rendah dan cocok untuk skala laboratorium. Unit pengolahan tambahan berupa pretreatment logam berat, unit aerasi/polishing, dan proses disinfeksi dirancang untuk memastikan hasil olahan memenuhi baku mutu sebelum dibuang ke badan air penerima.
4. Hasil estimasi biaya menunjukkan bahwa pembangunan IPAL Laboratorium Gedung *Smart Food Technology* Polinela membutuhkan total anggaran sebesar Rp 464.527.000,00 termasuk PPN 11%, sesuai dengan perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) secara menyeluruh.
5. Perencanaan IPAL ini tidak hanya bertujuan untuk memenuhi kewajiban teknis dalam pengelolaan limbah, tetapi juga sebagai bentuk dukungan terhadap program Green Campus dan pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs) di Politeknik Negeri Lampung.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. P. Aji, "Analisis kualitas air untuk irigasi budidaya pertanian menggunakan indeks kualitas air: Studi kasus survei dan evaluasi lahan di Kampus II Polinela," Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Lampung, 2022.
- [2] K. Amri and P. Wesen, "Pengolahan air limbah domestik menggunakan biofilter anaerob bermedia plastik (Bioball)," *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 7, no. 2, pp. 55–66, 2015.
- [3] I. K. Astika, "Perencanaan sistem penyaluran dan instalasi pengolahan air limbah domestik di Kelurahan Rangkah, Kota Surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, pp. D85–D90, 2017.
- [4] C. T. Benatti, C. R. Granhen, and T. A. Guedes, "Optimization of Fenton's oxidation of chemical laboratory wastewaters using response surface methodology," *Journal of Environmental Management*, vol. 80, pp. 66–74, 2006.
- [5] A. Budiartma and M. Sholichin, "Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) terpusat di Universitas Brawijaya," Undergraduate thesis, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, 2019.
- [6] D. Cempaka, *Tinjauan Pustaka*. Repository Institut Teknologi Kalimantan, 2015.
- [7] M. Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2008.
- [8] M. Hadiwidodo *et al.*, "Pengolahan air lindi dengan proses kombinasi biofilter anaerob-aerob dan wetland," *Jurnal Presipitasi*, vol. 9, no. 2, 2012.
- [9] S. Hariyadi *et al.*, "Pengelolaan kandungan bahan organik pada limbah cair laboratorium proling MSP-IPB dengan berbagai kombinasi agen bioremediasi," *Jurnal Biologi Indonesia*, vol. 15, no. 1, pp. 89–95, 2020.

- [10] E. Hartini and M. G. C. Yuantari, “Pengolahan air limbah laboratorium dengan menggunakan koagulan alum sulfat dan poly alum chloride di Laboratorium Kesehatan Universitas Dian Nuswantoro Semarang,” *Jurnal Dian*, vol. 11, no. 2, 2011.
- [11] T. Indriani and W. Herumurti, “Studi efisiensi paket pengolahan grey water model kombinasi ABR anaerobic filter,” Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2010.
- [12] A. Mahatyanta, “Perencanaan desain alternatif IPAL dengan teknologi anaerobic baffled reactor dan anaerobic filter untuk Rumah Susun Romokalisari Surabaya,” Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2016.
- [13] O. M. Martinez A., J. H. Ramirez F., and M. L. Toledo R., “Total organic carbon removal from a chemical lab’s wastewater using Fenton’s reagent,” *Ingeniería e Investigación*, vol. 33, no. 2, pp. 30–35, 2013.
- [14] G. Metcalf and F. L. Burton, and H. D. Stensel, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th ed. Singapore: McGraw-Hill, 2009.
- [15] F. A. Nasr, H. S. Doma, H. S. Abdel-Halim, and S. A. El-Shafai, “Chemical industry wastewater treatment,” *TESCE*, vol. 30, no. 2, 2004.
- [16] Pemerintah Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*, 2016.
- [17] Pemerintah Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*, 2021.
- [18] A. Rahmawati *et al.*, “Pemanfaatan mikroorganisme termofilik dari limbah pertanian di kawasan tropis,” *Jurnal Hidroponik*, vol. 12, no. 3, pp. 45–58, 2023.
- [19] L. Sasse, *DEWATS: Decentralized Wastewater Treatment in Developing Countries*. Bremen, Germany: BORDA, 2009.
- [20] R. R. Yasmine, “Perancangan sistem pengolahan air limbah pada gedung perkantoran (studi kasus: Gedung Perkantoran ‘MIPA Tower’ ITS Surabaya),” Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2017.