

**TUGAS AKHIR - RE 184804**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR  
LIMBAH INDUSTRI TAHU DAN DOMESTIK DI  
KELURAHAN LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**TARISA NUR FITHRIANI**

**NRP.03211840000063**

Dosen Pembimbing

**Alfan Purnomo, ST., MT.**

**NIP 19830304 200604 1 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan Dan Kebumihan

Institut Teknologi SepuluhNopember

Surabaya

2022



**TUGAS AKHIR - RE 184804**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR  
LIMBAH INDUSTRI TAHU DAN DOMESTIK DI  
KELURAHAN LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**TARISA NUR FITHRIANI**

**NRP.03211840000063**

Dosen Pembimbing

**Alfan Purnomo, ST., MT.**

**NIP 19830304 200604 1 002**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN**

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan Dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



**FINAL PROJECT - RE 184804**

**PERFORMANCE EVALUATION OF TOFU INDUSTRIAL  
AND DOMESTIC WASTE WATER TREATMENT PLANT  
IN LEDOK KULON URBAN VILLAGE BOJONEGORO  
DISTRICT**

**TARISA NUR FITHRIANI**

**NRP.03211840000063**

Advisor

**Alfan Purnomo, ST., MT.**

**NIP 19830304 200604 1 002**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

## LEMBAR PENGESAHAN

### EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN LEDOK KULON KABUPATEN BOJONEGORO

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **TARISA NUR FITHRIANI**  
NRP. 0321184000063

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Alfian Purnomo, ST., MT.
2. Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE,M.Sc.Ph.D.
3. Adhi Yuniarto, ST.,MT.,Ph.D.
4. Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT

Pembimbing

Pengujian

Pengujian

Pengujian



## PERNYATAAN ORISINALITAS

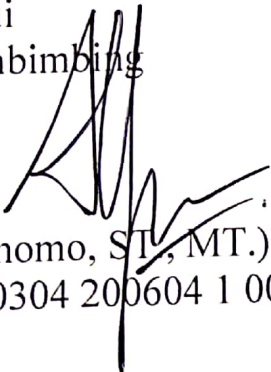
Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Tarisa Nur Fithriani / 03211840000063  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing / NIP : Alfian Purnomo, ST., MT. / 19830304 200604 1 002


Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dan Domestik di Kelurahan Ledok Kulon Kabupaten Bojonegoro” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

  
(Alfian Purnomo, ST., MT.)  
NIP. 19830304 200604 1 002

Surabaya, 21 Juli 2022  
Mahasiswa,

  
(Tarisa Nur Fithriani)  
NRP.03211840000063

# EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN LEDOK KULON KABUPATEN BOJONEGORO

Nama Mahasiswa / NRP : Tarisa Nur Fithriani / 0321184000063

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing : Alfian Purnomo, ST., MT.

## Abstrak

Keberadaan industri tahu berskala rumahan cukup banyak ditemukan di Indonesia. Industri tahu di Kabupaten Bojonegoro berpusat di Kelurahan Ledok Kulon, Kecamatan Bojonegoro. Kawasan industri tahu di Kabupaten Bojonegoro telah memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan kapasitas 550 m<sup>3</sup>/hari yang melayani 63 industri tahu dan 424 rumah tangga. IPAL ini dibangun pada tahun 2018. Dalam pengoperasian IPAL terdapat beberapa masalah umum yang terjadi yaitu serpihan sampah berupa serabut karung yang masih terbawa ke unit pengolahan sehingga menghambat pompa, serta efluen IPAL yang masih agak keruh dan berbau. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja IPAL serta memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi IPAL.

Evaluasi dilakukan dengan pengumpulan data primer melalui pengukuran dimensi unit IPAL. Selain itu juga dilakukan *sampling* pada inlet IPAL, influen dan efluen biofilter anaerobik, biofilter aerobik serta bak efluen. Data sekunder yang digunakan berupa debit dari industri tahu dan rumah tangga. Dari hasil perhitungan, efisiensi removal total pada IPAL untuk BOD 98%, COD 94%, TSS 91%, dan amonia 24%. Efisiensi removal amonia masih rendah sehingga efluen air limbah belum memenuhi baku mutu sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. Oleh karena itu diperlukan evaluasi setiap unit IPAL dengan membandingkan kondisi eksisting dengan kriteria desain.

Hasil evaluasi kinerja IPAL ini adalah IPAL sudah berjalan dengan baik dalam menyisihkan BOD, COD dan TSS sehingga memenuhi baku mutu. Terdapat kerusakan pada dua blower udara yang menyebabkan proses aerobik kurang optimal. Untuk meningkatkan efisiensi kinerja IPAL rekomendasi yang dapat diberikan adalah berupa penggantian *blower* udara untuk unit biofilter aerobik sesuai dengan hasil perhitungan, serta penambahan alat *flow meter* pada pipa efluen IPAL. Total biaya yang dibutuhkan dalam perencanaan peningkatan efisiensi IPAL sesuai hasil evaluasi adalah Rp 57.772.600.

**Kata Kunci:** Air Limbah Industri Tahu, Air Limbah Domestik, Evaluasi Kinerja, Biofilter Anaerobik, Biofilter Aerobik.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**PERFORMANCE EVALUATION OF TOFU INDUSTRIAL AND DOMESTIC  
WASTE WATER TREATMENT PLANT IN LEDOK KULON URBAN VILLAGE  
BOJONEGORO DISTRICT**

**Student Name / NRP** : Tarisa Nur Fithriani / 03211840000063  
**Department** : Environmental Engineering  
**Advisor** : Alfian Purnomo, ST., MT.

**Abstract**

The existence of home-scale tofu industry is quite widely found in Indonesia. Tofu industry in Bojonegoro is centered in Ledok Kulon Village, Bojonegoro District and already has a Wastewater Treatment Plant (WWTP) with a capacity of 550 m<sup>3</sup>/day which serves 63 tofu industries and 424 households. This WWTP was built in 2018. There are several common problems that occur, garbage that still carried to the processing unit, and the effluent of WWTP still a bit turbid and smelly. This research was conducted to evaluate the performance of WWTP and provide recommendations to improve WWTP efficiency.

Evaluation is carried out by collecting primary data by measuring the dimensions of the WWTP unit. Wastewater sample was also taken on WWTP inlets, influents and effluents of anaerobic biofilter, aerobic biofilters and effluent tank. Secondary data used is wastewater discharge from the tofu industry and households. The result of evaluation showed total removal efficiency on WWTP for BOD 98%, COD 94%, TSS 91%, and ammonia 24%, so the ammonia parameter does not meet the quality standard. Therefore, it is necessary to evaluate each WWTP unit by comparing the existing conditions with design criteria.

The result of this evaluation is the WWTP unit has been running well in degrading BOD, COD and TSS so that it meets quality standards. There was damage to the two air blowers that caused the aerobic process to be less than optimal, and there is no flow meter to measure the effluent discharge of WWTP. To improve the WWTP performance, recommendations that can be given are adding a flowmeter to the WWTP outlet pipe and replacing the air blower for aerobic biofilter unit. The total cost required in planning to improve WWTP efficiency according to the evaluation results is IDR 57.772.600.

**Keywords: Tofu Industrial Wastewater, Performance Evaluation, Anaerobic Biofilter, Aerobic Biofilter.**



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. yang atas limpahan rahmat, hidayah dan inayah-Nya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Tidak lupa, penulis sampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu kelancaran penyusunan Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat kesehatan dan kelancaran sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Alfian Purnomo, ST., MT. selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu yang telah diberikan, atas bimbingan, arahan, dan nasihat yang diberikan selama penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE,M.Sc.Ph.D. Bapak Adhi Yuniarto, ST.,MT.,Ph.D., dan Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT selaku dosen pengarah yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Ibu Ervin Nurhayati, ST., MT., Ph.D selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama masa perkuliahan
5. Seluruh pihak IPAL Ledok Kulon serta Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman dan Cipta Karya Kabupaten Bojonegoro yang telah membantu pelaksanaan tugas akhir ini terkait perizinan dan data
6. Kedua orang tua penulis yang selalu mendoakan penulis, memberikan semangat dan dukungan dari sehingga tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.
7. Teman-teman angkatan 2018 yang berjuang bersama, memberikan dukungan dan saling mengingatkan satu sama lain dalam menyelesaikan tugas akhir ini

Penyusunan tugas akhir ini telah dilakukan dengan maksimal, namun masih terdapat kekurangan maupun kesalahan yang tanpa sengaja penulis buat. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan agar nantinya tidak terulang kesalahan yang sama. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan senantiasa menjadi ladang pahala bagi kita semua.

Surabaya, 26 Juli 2022

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| ABSTRAK .....                                    | i    |
| KATA PENGANTAR.....                              | v    |
| DAFTAR TABEL .....                               | xi   |
| DAFTAR GAMBAR.....                               | xiii |
| BAB I PENDAHULUAN .....                          | 1    |
| 1.1. Latar Belakang .....                        | 1    |
| 1.2. Rumusan Masalah.....                        | 2    |
| 1.3. Tujuan .....                                | 2    |
| 1.4. Ruang Lingkup .....                         | 2    |
| 1.5. Manfaat .....                               | 2    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....                    | 3    |
| 2.1 Air Limbah.....                              | 3    |
| 2.1.1 Jenis Air Limbah .....                     | 3    |
| 2.2 Parameter Pencemar .....                     | 3    |
| 2.2.1 <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)..... | 3    |
| 2.2.2 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD) .....  | 3    |
| 2.2.3 <i>Total Suspended Solid</i> (TSS).....    | 3    |
| 2.2.4 Derajat Keasaman (pH) .....                | 3    |
| 2.2.5 Amonia .....                               | 4    |
| 2.2.6 Minyak dan Lemak.....                      | 4    |
| 2.3 Industri Tahu .....                          | 4    |
| 2.3.1 Proses Produksi Tahu .....                 | 4    |
| 2.3.2 Sumber Air Limbah Industri Tahu .....      | 5    |
| 2.3.3 Karakteristik Air Limbah Tahu .....        | 5    |
| 2.3.4 Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu.....    | 6    |
| 2.4 Air Limbah Domestik .....                    | 6    |
| 2.4.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik.....         | 6    |
| 2.4.2 Karakteristik Air Limbah Domestik .....    | 7    |
| 2.5 Pengolahan Air Limbah Terintegrasi .....     | 7    |
| 2.6 Pengolahan Air Limbah Secara Biologis.....   | 8    |
| 2.7 Bak Ekuialisasi.....                         | 8    |
| 2.8 Biofilter.....                               | 9    |

|                                |   |           |
|--------------------------------|---|-----------|
| 2.8.1                          | Biofilter Aerobik dan Anaerobik .....                       | 10        |
| 2.8.2                          | Rumus Perhitungan Pada Unit Biofilter.....                  | 11        |
| 2.9                            | Gambaran Umum Lokasi Perencanaan .....                      | 12        |
| 2.9.1                          | Industri Tahu Kabupaten Bojonegoro.....                     | 12        |
| 2.9.2                          | IPAL Industri Tahu Kabupaten Bojonegoro.....                | 12        |
| 2.9.3                          | Unit IPAL Eksisting Industri Tahu Kabupaten Bojonegoro..... | 13        |
| <b>BAB III METODOLOGI.....</b> |   | <b>19</b> |
| 3.1                            | Kerangka Studi .....  | 19        |
| 3.2                            | Kerangka Evaluasi.....                                      | 22        |
| <b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>  |   | <b>25</b> |
| 4.1                            | Perhitungan Debit Air Limbah .....                          | 25        |
| 4.2                            | Hasil Uji Karakteristik Air Limbah.....                     | 26        |
| 4.3                            | Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah .....               | 26        |
| 4.4                            | Unit Bak Ekualisasi .....                                   | 28        |
| 4.4.1                          | Analisis Kinerja Unit .....                                 | 28        |
| 4.4.2                          | Hasil Analisis Kinerja dan Rekomendasi.....                 | 29        |
| 4.5                            | Unit Biofilter Anaerobik .....                              | 29        |
| 4.5.1                          | Efisiensi Removal .....                                     | 30        |
| 4.5.2                          | Analisis Kinerja Unit .....                                 | 31        |
| 4.5.3                          | Hasil Analisis Kinerja .....                                | 32        |
| 4.5.4                          | Rekomendasi.....  | 33        |
| 4.6                            | Unit Biofilter Aerobik .....                                | 33        |
| 4.6.1                          | Efisiensi Removal .....                                     | 33        |
| 4.6.2                          | Analisis Kinerja Unit .....                                 | 34        |
| 4.6.3                          | Hasil Analisis Kinerja .....                                | 38        |
| 4.6.4                          | Rekomendasi.....  | 39        |
| 4.7                            | Unit Bak Penampung.....                                     | 39        |
| 4.8                            | Unit Biofilter Anaerobik Akhir .....                        | 40        |
| 4.8.1                          | Efisiensi Removal .....                                     | 40        |
| 4.8.2                          | Analisis Kinerja Unit .....                                 | 41        |
| 4.8.3                          | Hasil Analisis Kinerja .....                                | 42        |
| 4.8.4                          | Rekomendasi.....  | 43        |
| 4.9                            | Unit Bak Efluen.....  | 43        |
| 4.10                           | Perhitungan Keseimbangan Massa.....                         | 45        |

|                                  |  |    |
|----------------------------------|--|----|
| 4.10.1                           | Bak Ekualisasi .....                           | 46 |
| 4.10.2                           | Biofilter Anaerobik Awal .....                 | 46 |
| 4.10.3                           | Biofilter Aerobik .....                        | 47 |
| 4.10.4                           | Biofilter Anaerobik Akhir .....                | 48 |
| 4.11                             | Potensi Biogas pada Pengolahan Anaerobik ..... | 50 |
| 4.12                             | Perhitungan Rencana Anggaran Biaya .....       | 51 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN ..... |  | 53 |
| 5.1.                             | Kesimpulan .....                               | 53 |
| 5.2.                             | Saran .....                                    | 53 |
| DAFTAR PUSTAKA.....              |  | 55 |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Untuk Industri Pengolahan Kedelai..... | 6  |
| Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah Domestik.....                          | 6  |
| Tabel 2. 3 Perbandingan Pengolahan Anaerobik dan Aerobik.....          | 8  |
| Tabel 2. 4 Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter .....               | 10 |
| Tabel 2. 5 Kriteria Desain Biofilter Anaerobik .....                   | 10 |
| Tabel 2. 6 Kriteria Desain Biofilter Aerobik.....                      | 11 |
|  |    |
| Tabel 4. 1 Metode Pengujian Parameter Pencemar Air Limbah .....        | 26 |
| Tabel 4. 2 Hasil Uji Laboratorium Air Limbah.....                      | 26 |
| Tabel 4. 3 Perbandingan Konsentrasi Efluen IPAL dengan Baku Mutu.....  | 28 |
| Tabel 4. 4 Hasil Analisis Kinerja Biofilter Anaerobik .....            | 33 |
| Tabel 4. 5 Hasil Analisis Kinerja Biofilter Aerobik.....               | 38 |
| Tabel 4. 6 Hasil Analisis Kinerja Biofilter Anaerobik .....            | 43 |
| Tabel 4. 7 Hasil Evaluasi Unit IPAL .....                              | 45 |
| Tabel 4. 8 Perhitungan RAB Perencanaan .....                           | 51 |



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Unit Biofilter Anaerobik.....                                      | 9  |
| Gambar 2. 2 Lokasi IPAL Tahu dan Rumah Tangga Ledok Kulon.....                 | 12 |
| Gambar 2. 3 Diagram Alir IPAL Tahu dan Rumah Tangga Kabupaten Bojonegoro ..... | 13 |
| Gambar 2. 4 Unit Bak Ekualisasi .....  | 14 |
| Gambar 2. 5 Unit Biofilter Anaerobik.....                                      | 14 |
| Gambar 2. 6 Media Plastik Jenis Sarang Tawon .....                             | 15 |
| Gambar 2. 7 Absorber Bau Pada Biofilter.....                                   | 15 |
| Gambar 2. 8 Unit Bak Penampung.....  | 16 |
| Gambar 2. 9 Unit Bak Efluen .....  | 16 |
| <br>   |    |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerangka Perencanaan .....                            | 20 |
| Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sampel Air Limbah.....                           | 21 |
| Gambar 3. 3 Diagram Alir Kerangka Evaluasi.....                                | 22 |
| <br>   |    |
| Gambar 4. 1 Pompa Submersible HCP Pump .....                                   | 29 |
| Gambar 4. 2 Media Biofilter.....   | 30 |
| Gambar 4. 3 Peletakkan Media Pada Reaktor .....                                | 30 |
| Gambar 4. 4 Blower Yasunaga Air Pump LW-200.....                               | 35 |
| Gambar 4. 5 Pipa Blower yang Menyalurkan Udara.....                            | 35 |
| Gambar 4. 6 Blower Yasunaga LW-240 .....                                       | 39 |
| Gambar 4. 7 Flow meter SHM 6 inch DN150.....                                   | 44 |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kegiatan industri tahu berskala kecil atau usaha rumahan dengan modal terbatas cukup banyak ditemukan di Indonesia (Pamungkas dan Slamet, 2017). Dalam proses produksi tahu, penggunaan air cukup besar karena digunakan pada proses pencucian kedelai, perebusan kedelai. Salah satu akibat dari penggunaan air yang besar adalah kuantitas air limbah yang dihasilkan juga meningkat. Kandungan bahan organik dari air limbah yang dihasilkan oleh industri tahu tergolong tinggi dan apabila tidak dikelola dengan baik dikhawatirkan dapat memberikan efek negatif terhadap lingkungan. Air limbah industri tahu secara umum memiliki kadar BOD, COD, N, P dan K yang tinggi. Kandungan bahan organik yang tinggi pada air limbah tahu dapat menciptakan kondisi anaerobik yang menghasilkan amonia, karbon dioksida, metana dan asam asetat yang menyebabkan warna hitam pada air serta bau yang menyengat (Hartini *et al.*, 2021). Pembuangan limbah organik yang berlebihan ke badan air akan berakibat menurunnya kualitas badan air penerima. Dampak yang biasanya langsung bisa diamati adalah tumbuhnya populasi lumut secara besar-besaran sehingga menimbulkan aroma tidak sedap akibat gas amonia dan hidrogen sulfida yang dilepaskan (Hendrawani, 2021).

Bojonegoro adalah salah satu kabupaten yang terletak di Provinsi Jawa Timur. Berdasarkan data BPS pada tahun 2020 Kabupaten Bojonegoro memiliki 1.301.635 penduduk. Salah satu UMKM yang cukup terkenal di Bojonegoro adalah industri tahu. Industri tahu di Bojonegoro berpusat di Kelurahan Ledok Kulon, Kecamatan Bojonegoro. Berdasarkan data dari Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman dan Cipta Karya terdapat 63 Industri tahu berskala kecil menengah (IKM). Kegiatan produksi tahu dimulai dari pengolahan bahan baku kedelai menjadi tahu putih mentah hingga tahu goreng dimana pada prosesnya membutuhkan air dan minyak yang cukup banyak. Dengan demikian industri tahu menghasilkan air limbah yang banyak mengandung bahan organik sehingga diperlukan pengolahan limbah agar tidak mencemari lingkungan. Air limbah yang hendak dibuang ke badan air penerima hendaknya tidak melebihi baku mutu limbah domestik sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

Sentra industri tahu Bojonegoro sudah memiliki IPAL komunal yang mengolah air limbah tahu dan air limbah domestik. Berdirinya IPAL bertujuan untuk mengolah air limbah yang sebelumnya langsung dibuang ke Sungai Bengawan Solo atau ke lahan kosong. IPAL industri tahu dan domestik Ledok Kulon ini beroperasi sejak tahun 2018 dengan kapasitas 550 m<sup>3</sup>/hari. IPAL ini melayani 63 industri tahu dan 424 rumah tangga. Unit pengolahan yang digunakan adalah bak ekualisasi, biofilter anaerobik-aerobik dengan media bentuk sarang tawon dari bahan plastik, serta bak efluen. Kelebihan dari teknologi biofilter anaerobik-aerobik adalah pengelolaannya sangat mudah, suplai udara untuk aerasi relatif kecil, biaya operasi yang sedikit, lumpur yang dihasilkan sedikit, serta dapat menghilangkan kandungan N dan P (Kementerian Kesehatan, 2019). Permasalahan yang sering timbul dalam pengoperasian IPAL ini adalah adanya serpihan sampah berupa serabut karung yang masih lolos ke tahap pengolahan sehingga menghambat kerja pompa, media filter pada reaktor awal yang sering tersumbat, mengeluarkan bau yang menyengat ketika hujan, blower yang mengalami kerusakan, serta air efluen yang agak keruh dan masih berbau. IPAL ini juga belum memiliki unit pengolahan untuk lumpur karena lumpur yang dihasilkan sedikit.

Dari permasalahan di atas maka dapat dilakukan evaluasi kinerja IPAL yang diharapkan mampu menganalisis unit IPAL yang memiliki kinerja kurang baik. Dari hasil evaluasi tersebut maka dapat diberikan rekomendasi yang tepat untuk sistem IPAL eksisting baik perencanaan

unit baru maupun optimalisasi unit eksisting agar air limbah yang dihasilkan dapat memenuhi baku mutu atau dapat dilakukan pemanfaatan.

### **1.2. Rumusan Masalah**

1. Bagaimana kinerja dari Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dan Domestik Kelurahan Ledok Kulon Kabupaten Bojonegoro?
2. Bagaimana meningkatkan efisiensi pengolahan dan kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dan Domestik Kelurahan Ledok Kulon Kabupaten Bojonegoro?

### **1.3. Tujuan**

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dan Domestik Kelurahan Ledok Kulon Kabupaten Bojonegoro
2. Membuat perencanaan sebagai rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi pengolahan air limbah industri tahu dan domestik Kelurahan Ledok Kulon Kabupaten Bojonegoro Kabupaten Bojonegoro
3. Menentukan biaya yang diperlukan untuk peningkatan efisiensi instalasi pengolahan air limbah industri tahu dan domestik Kelurahan Ledok Kulon Kabupaten Bojonegoro Kabupaten Bojonegoro.

### **1.4. Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi evaluasi berada di IPAL industri tahu dan domestik Ledok Kulon Bojonegoro
2. Aspek yang dievaluasi berfokus pada kinerja unit instalasi pengolahan air limbah
3. Air limbah yang diolah berupa air limbah hasil proses produksi tahu dan air limbah domestik Kelurahan Ledok Kulon Kabupaten Bojonegoro
4. Data yang digunakan adalah data primer dan sekunder
5. Parameter yang akan diuji adalah BOD, COD, TSS dan amonia
6. Baku mutu air limbah yang dijadikan acuan adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik
7. Titik pengambilan sampel air limbah adalah pada influen dan efluen unit bak pengumpul, biofilter anaerobik, biofilter aerobik dan bak efluen, tetapi tidak pada setiap kompartemen biofilter
8. Perhitungan Bill Of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) sesuai dengan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kabupaten Bojonegoro tahun 2020.

### **1.5. Manfaat**

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah diharapkan dapat:

1. Memberikan alternatif untuk menyelesaikan masalah yang terjadi pada pengoperasian IPAL
2. Menjadi rujukan penelitian lain yang membutuhkan informasi mengenai instalasi pengolahan air limbah industri tahu dan domestik

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Air Limbah**

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, definisi air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Air limbah adalah air yang dibuang dan mengandung bahan kimia yang agak sulit dihilangkan sehingga membahayakan lingkungan. Sebelum dibuang, air limbah harus diolah agar tidak menghasilkan dampak negatif bagi lingkungan. Air limbah yang dibuang ke badan air penerima dapat bersumber dari rumah tangga maupun industri dan apabila tidak memenuhi baku mutu air limbah maka dapat mencemari lingkungan (Khaliq, 2015).

##### **2.1.1 Jenis Air Limbah**

Berdasarkan sumbernya, air limbah dapat dibagi menjadi dua yaitu air limbah domestik dan non domestik (Suriawiria, 1996).

1. Air Limbah domestik  
Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari kegiatan rumah tangga seperti mandi, mencuci, dapur dan lain lain. Air limbah ini mengandung zat organik, garam terlarut dan juga lemak
2. Air Limbah non domestik  
Air Limbah non domestik adalah air limbah yang berasal dari selain rumah tangga seperti industri, peternakan, perikanan, transportasi, pertanian dan lain lain.

#### **2.2 Parameter Pencemar**

##### **2.2.1 *Biological Oxygen Demand (BOD)***

*Biological Oxygen Demand (BOD)* merupakan parameter pengukur jumlah zat organik yang mudah terurai dan jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mendegradasi zat organik secara biologis (Metcalf dan Eddy, 2003). BOD juga dapat diartikan sebagai jumlah zat organik yang ada di perairan yang mudah diuraikan/*biodegradable organic* (Atima, 2015).

##### **2.2.2 *Chemical Oxygen Demand (COD)***

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan agar limbah yang ada di dalam air teroksidasi melalui reaksi kimia. COD juga bisa disebut sebagai kebutuhan oksigen kimia (Metcalf dan Eddy, 2003). Nilai COD bisa sama dengan atau selalu lebih besar dari BOD tetapi tidak bisa lebih kecil dari kandungan BOD. Sehingga COD menggambarkan total zat organik yang ada dalam perairan (Sayow *et al.*, 2020). Jika kandungan zat organik dalam perairan cukup besar maka oksigen terlarut di dalam air akan menurun sehingga menyebabkan biota perairan mati (Atima, 2015).

##### **2.2.3 *Total Suspended Solid (TSS)***

TSS adalah padatan tersuspensi atau jumlah dari zat yang melayang dan tidak larut dalam air. Kekeruhan pada air sangat dipengaruhi oleh keberadaan bahan organik maupun anorganik tersuspensi dan terlarut. Kekeruhan ditentukan dari banyaknya cahaya yang diserap dan dipancarkan oleh zat yang terdapat dalam air. Apabila kandungan TSS tinggi maka akan menambah kekeruhan air (Sayow *et al.*, 2020).

##### **2.2.4 *Derajat Keasaman (pH)***

Derajat keasaman atau pH menyatakan konsentrasi ion hidrogen. pH menjadi parameter penting bagi air dan air limbah. Kisaran pH yang sesuai untuk kehidupan biota air adalah antara 6-9. Air limbah dengan konsentrasi ion hidrogen yang tinggi akan sulit diolah secara

biologis dan apabila tidak diolah terlebih dulu maka air limbah tersebut dapat mempengaruhi pH perairan permukaan. pH air limbah yang diijinkan dibuang ke badan air permukaan berkisar antara 6,5-8,5 (Metcalf dan Eddy, 2003).

### **2.2.5 Amonia**

Nitrogen organik dan nitrogen amonia dapat ditentukan dengan metode Kjeldahl, sehingga total konsentrasi keduanya dinyatakan sebagai Total Kjeldahl Nitrogen (TKN). Senyawa TKN mudah terkonversi menjadi amonium atau  $\text{NH}_4^+$  melalui aktivitas mikroorganisme dalam air atau tanah. Senyawa amonia dalam air limbah dapat diolah dengan aerasi sehingga terjadi proses nitrifikasi yang mengubah amonium menjadi nitrit dan nitrat (Metcalf dan Eddy, 2003).

### **2.2.6 Minyak dan Lemak**

Minyak dan lemak adalah zat organik yang dapat terdegradasi melalui proses biologis. Namun minyak dan lemak selalu berada di atas air dan tidak bisa larut karena perbedaan berat jenis sehingga agak sukar untuk diolah. Minyak dan lemak dalam konsentrasi tinggi dapat mengakibatkan penyumbatan pada sistem perpipaan atau unit pengolahan lain. Hal ini terjadi karena minyak dan lemak seiring waktu dapat menggumpal, mengumpul dan dapat menyumbat pipa. Minyak dan lemak yang dibuang ke lingkungan dalam keadaan belum diolah atau konsentrasi tinggi maka akan merusak badan air (Hamid *et al.*, 2016).

## **2.3 Industri Tahu**

Tahu merupakan salah satu produk dengan bahan dasar kedelai yang sangat disukai oleh masyarakat (Kusumawati *et al.*, 2011). Industri tahu banyak ditemui di hampir setiap kota di Indonesia. Pada umumnya industri tahu dikelola dalam skala kecil atau rumahan. Perkembangan industri tahu skala rumahan semakin pesat dan sangat membantu dalam menunjang perekonomian masyarakat. Industri tahu skala rumahan umumnya berkembang di pedesaan (Sayow *et al.*, 2020).

### **2.3.1 Proses Produksi Tahu**

Proses produksi tahu pada umumnya terdiri dari perendaman, penggilingan, pemasakan, penggumpalan, pencetakan dan penggorengan (Djayanti, 2015). Proses penggumpalan membutuhkan bahan untuk mengendapkan protein dari sari kedelai. Bahan tersebut dapat berupa cuka atau whey. Whey adalah air sisa proses penggumpalan tahu pada waktu pembuatan sebelumnya yang masih mengandung sisa protein. Whey dibiarkan selama 1-2 malam agar terjadi fermentasi. Bakteri dari hasil fermentasi tersebut menghasilkan asam laktat yang dapat menggumpalkan protein. Produksi tahu menggunakan bahan baku kedelai dan pada produksinya membutuhkan banyak air sehingga menghasilkan limbah padat berupa ampas tahu serta limbah cair. Berikut adalah urutan proses produksi tahu

- a. Pemilihan dan Penimbangan Kedelai  
Pemilihan kedelai sebagai bahan baku akan sangat menentukan hasil akhir dari produksi tahu. Kedelai yang berkualitas ditandai dengan warna dan ukurannya yang seragam dan tidak berkerut
- b. Pencucian dan Perendaman  
Pencucian kedelai dilakukan untuk membersihkan kedelai dari kotoran yang masih tersisa. Sedangkan perendaman bertujuan untuk melunakkan kedelai agar mudah digiling sehingga hasil bubur kedelai kental.
- c. Penggilingan  
Penggilingan adalah salah satu tahapan penting dalam produksi tahu. Kedelai yang sudah direndam akan lunak sehingga memudahkan proses penggilingan.

- d. Ekstraksi  
Kedelai yang telah digiling akan menjadi bubur kedelai yang akan direbus dan ditambahkan air mendidih. Tujuannya adalah untuk mendenaturasi protein kedelai sehingga protein akan mudah digumpalkan saat ditambahkan asam.
- e. Penyaringan  
Setelah proses perebusan atau ekstraksi, sari kedelai akan disaring menggunakan kain sifon sampai didapatkan ampas tahu.
- f. Pemasakan  
Sari kedelai yang sudah disaring akan dimasak dengan uap bertekanan sampai dengan suhu 70 °C
- g. Penggumpalan dan Pemisahan  
Sari kedelai yang sudah dimasak ditambahkan cuka untuk menggumpalkan protein sehingga dapat dipisahkan antara whey dengan gumpalan. Endapan atau gumpalan sari kedelai akan menjadi bahan utama untuk mencetak tahu.
- h. Pembungkusan dan pengepresan  
Gumpalan protein kedelai dibungkus dengan kain lalu dipadatkan. Setelah dipadatkan dilakukan pengepresan sampai menjadi tahu berbentuk kotak.
- i. Pengemasan atau penggorengan  
Tahu putih yang sudah jadi bisa langsung dikemas atau bisa dilanjutkan ke proses penggorengan.

### **2.3.2 Sumber Air Limbah Industri Tahu**

Proses produksi tahu menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah padat berupa ampas tahu dapat digunakan sebagai pakan ternak atau bahan baku tempe gembus. Sedangkan air limbah dari produksi tahu akan langsung dibuang. Kebutuhan air untuk produksi tahu cukup besar. Diantaranya adalah untuk pencucian kedelai, perendaman kedelai, penggilingan kedelai, dan pemasakan bubur kedelai. Air limbah dari produksi tahu berasal dari tahap pencucian dan perendaman kedelai, penggumpalan dan penyaringan protein kedelai serta pencetakan tahu (Hartini *et al.*, 2021). Apabila pada prosesnya membutuhkan banyak air maka air limbah yang dihasilkan juga semakin banyak. Air limbah tahu mengandung zat organik yang cukup tinggi akibat kandungan protein pada kedelai. Air limbah tahu yang langsung dibuang ke badan air dapat menyebabkan pencemaran karena kandungan oksigen terlarut dalam air habis akibat aktivitas mikroba yang menguraikan zat organik dalam air limbah. Air limbah dari industri tahu perlu diolah sebelum dibuang ke badan air agar tidak menimbulkan pencemaran lingkungan (Kusumawati *et al.*, 2011).

### **2.3.3 Karakteristik Air Limbah Tahu**

Tahu merupakan olahan makanan yang berasal dari kedelai. Kedelai kaya dengan asam amino esensial yang bermanfaat bagi tubuh. Kadar protein yang terkandung pada kedelai sekitar 40-43%. Kadar protein yang cukup tinggi ini akan menjadi masalah apabila terkandung dalam air limbah tahu dan dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan. Permasalahan yang timbul yaitu terbentuknya gas amonia dan hidrogen sulfida yang menimbulkan bau busuk (Hendrawani, 2021).

Limbah cair tahu mengandung kadar *biological oxygen demand* (BOD) dan *chemical oxygen demand* (COD) yang cukup tinggi. Dampak negatif yang terjadi adalah timbulnya bau busuk serta kadar oksigen dalam air akan berkurang sehingga biota air akan mati. Air limbah industri tahu secara umum memiliki kadar BOD, COD, N, P dan K yang tinggi. Kadar N total pada air limbah industri tahu mencapai 43,37 mg/L, untuk kadar P yaitu 114,36 mg/L, sedangkan kandungan K yaitu 223 mg/L (Kusumawati *et al.*, 2015). Air



limbah tahu memiliki suhu berkisar 37-45°C, warna 2.225-2.250 Pt.Co, kekeruhan 535-585 FTU, BOD5 6.000-8.000 mg/L dan COD 7.500-14.000 mg/L (Pamungkas dan Slamet, 2017).

### 2.3.4 Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu

Air limbah Industri Tahu yang akan dibuang ke badan air harus memenuhi baku mutu agar tidak mencemari lingkungan. Berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur No 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya pada bagian 31, di bawah ini baku mutu air limbah untuk industri pengolahan kedelai.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Untuk Industri Pengolahan Kedelai

| BAKU MUTU AIR LIMBAH UNTUK INDUSTRI KECAP, TAHU DAN TEMPE |                       |                       |                       |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|   | Kecap                 | Tahu                  | Tempe                 |
| Parameter   | Kadar maksimum (mg/L) | Kadar maksimum (mg/L) | Kadar maksimum (mg/L) |
| BOD5  | 150                   | 150                   | 150                   |
| COD   | 300                   | 300                   | 300                   |
| TSS   | 100                   | 100                   | 100                   |
| pH  | 6,0 - 9,0             |                       |                       |
| Volume Air Limbah Maksimum (m <sup>3</sup> /ton kedelai)  | 10                    | 20                    | 10                    |

## 2.4 Air Limbah Domestik

Air limbah domestik adalah air limbah yang sumbernya berasal dari kegiatan manusia. Berdasarkan Pasal 1 Nomor 2 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016, air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Air limbah domestik dapat berasal dari rumah, rumah susun, asrama, pelayanan kesehatan, permukiman dan lain lain. Secara umum air limbah domestik terdiri dari air limbah toilet dan non toilet.

### 2.4.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Agar kualitas badan air penerima tidak tercemar oleh limbah domestik, maka diperlukan suatu standar pembuangan air limbah domestik yaitu baku mutu. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016, Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam sumber air dari suatu usaha dan atau kegiatan. Berikut ini adalah baku mutu air limbah domestik yang telah diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016:

Tabel 2. 2 Baku Mutu Air Limbah Domestik

| Parameter        | Satuan | Kadar Maksimum |
|------------------|--------|----------------|
| pH               | -      | 6-9            |
| BOD              | mg/L   | 30             |
| COD              | mg/L   | 100            |
| TSS              | mg/L   | 30             |
| Minyak dan lemak | mg/L   | 5              |

| Parameter      | Satuan       | Kadar Maksimum |
|----------------|--------------|----------------|
| Amoniak        | mg/L         | 10             |
| Total coliform | Jumlah/100ml | 3000           |
| Debit          | L/orang/hari | 100            |

#### 2.4.2 Karakteristik Air Limbah Domestik

Indikasi terjadinya pencemaran air dapat diketahui melalui pengujian dan pengamatan. Air dilakukan pengujian berdasarkan parameter pencemar yang terdapat pada baku mutu. Apabila air tersebut tidak memenuhi baku mutu maka dipastikan air tersebut tercemar dan menyebabkan terganggunya keberlangsungan hidup biota air. Air limbah domestik memiliki karakteristik BOD dalam rentang 110-350 mg/L, COD 250-800 mg/L, TSS berkisar antara 120-400 mg/L, Minyak dan lemak 50-100 mg/L, amoniak 12-45 mg/L dan total coliform  $10^6$ - $10^{10}$  / 100 mL (Tchobanoglous *et al.*, 2004). Kuantitas dan kualitas air limbah yang dihasilkan berbanding lurus dengan banyaknya aktivitas yang dilakukan.

#### 2.5 Pengolahan Air Limbah Terintegrasi

Berdasarkan Pasal 3 ayat 2 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 pengolahan air limbah domestik dapat dilakukan secara tersendiri atau terintegrasi. Pengolahan air secara terintegrasi adalah menggabungkan air limbah domestik dengan air limbah dari kegiatan lainnya ke dalam satu sistem pengolahan air limbah. berdasarkan Lampiran II Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 terdapat cara tersendiri untuk menghitung baku mutu air limbah domestik terintegrasi yaitu:

a. Debit air limbah paling tinggi

Debit air limbah paling tinggi adalah jumlah debit tertinggi air limbah domestik senyatanya (bila ada) atau berdasarkan prakiraan dari masing-masing kegiatan dan air limbah dari kegiatan lainnya, seperti yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Q_{\max} = \sum_1^m Q_i + \dots + Q_m \quad (2.1)$$

Keterangan:

$Q_{\max}$  : Debit air limbah paling tinggi dalam satuan  $m^3$ /waktu

$Q_i$  : Debit air limbah domestik paling tinggi dari kegiatan i, dalam satuan  $m^3$ /waktu

$Q_m$  : Debit air limbah paling tinggi dari kegiatan m, dalam satuan  $m^3$ /waktu

b. Kadar air limbah gabungan paling tinggi

Penentuan kadar paling tinggi pada parameter yang sama dapat ditentukan dengan cara sederhana, yaitu dengan menggunakan metoda neraca massa dengan perhitungan sebagai berikut:

$$C_{\max} = \sum_1^n \frac{C_1 Q_1 + C_n Q_n}{Q_i + Q_n} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$C_{\max}$  : kadar paling tinggi setiap parameter, dalam satuan mg/L

$C$  : Kadar paling tinggi setiap parameter dalam baku mutu air limbah domestik untuk kegiatan i, dalam satuan mg/L

$Q$  : Debit paling tinggi air limbah domestik kegiatan i, dalam satuan  $m^3$  /waktu

- Cn : Kadar paling tinggi setiap parameter dalam baku mutu air limbah untuk kegiatan n, dalam satuan mg/L
- Qn : Debit paling tinggi air limbah kegiatan n, dalam satuan m<sup>3</sup> /waktu

Untuk kadar parameter yang berbeda maka:

- Parameter dari salah satu kegiatan lain yang tidak diatur di dalam baku mutu air limbah domestik, maka parameter tersebut wajib ditambahkan dalam baku mutu air limbah yang ditetapkan dalam izin.
- Dalam hal terdapat parameter yang sama dari beberapa kegiatan lain yang tidak diatur di dalam baku mutu air limbah domestik, maka parameter tersebut wajib ditambahkan dalam baku mutu air limbah yang ditetapkan dalam izin dengan kadar yang paling ketat.

## 2.6 Pengolahan Air Limbah Secara Biologis

Pengolahan air limbah secara biologis sesuai untuk air limbah yang banyak mengandung pencemar senyawa organik *biodegradable* yang tinggi seperti air limbah industri tahu dan rumah tangga. Pengolahan secara biologis adalah pengolahan air limbah yang memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi pencemar organik *biodegradable* yang terkandung dalam air limbah menjadi bentuk yang lebih sederhana dan mengurangi potensi bahaya dari air limbah tersebut. Pada dasarnya pengolahan secara biologis ini dibagi menjadi dua yaitu pengolahan secara anaerobik dan pengolahan secara aerobik.

Pengolahan secara anaerobik adalah proses mengolah limbah tanpa membutuhkan oksigen sebagai pendukung aktivitas mikroorganisme. Proses anaerobik biasanya digunakan untuk mengolah air limbah yang beban organiknya cukup tinggi. Pengolahan secara aerobik adalah proses pengolahan air limbah yang membutuhkan oksigen sebagai syarat utama agar mikroorganisme atau bakteri aerob dapat hidup. Kandungan oksigen di dalam air limbah dapat ditingkatkan dengan bantuan aerasi menggunakan aerator atau blower. Proses aerobik biasanya digunakan untuk mengolah air limbah yang beban organiknya tidak terlalu besar. Perbedaan, keuntungan dan kerugian dari setiap proses dirangkum dalam Tabel 2.3

Tabel 2. 3 Perbandingan Pengolahan Anaerobik dan Aerobik

| Pengolahan Anaerobik  | Pengolahan Aerobik   |
|---|--|
| Energi yang dibutuhkan lebih sedikit  | Energi yang dibutuhkan lebih banyak karena adanya aerasi       |
| Lumpur biologis yang dihasilkan lebih sedikit karena sebagian diubah menjadi gas metana           | Lumpur biologis yang dihasilkan lebih banyak dan kurang stabil |
| Efisiensi pengolahan tinggi namun masih membutuhkan tambahan proses aerobik agar memenuhi standar | Efisiensi pengolahan tinggi                                    |
| Waktu pengolahan lebih lama   | Waktu pengolahan lebih cepat                                   |
| Kurang optimal dalam menyisihkan nutrien  | Optimal dalam penyisihan nutrien                               |

## 2.7 Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi adalah unit pengolahan air limbah yang berfungsi untuk menampung air influen dan meratakan debit aliran air serta kualitas air limbah yang masuk ke IPAL. Setelah melalui bak ekualisasi kualitas dan kuantitas air limbah menjadi lebih konstan sehingga tidak menimbulkan kemungkinan terjadinya *shock loading* pada unit pengolahan berikutnya. Keuntungan lain penggunaan bak ekualisasi adalah air limbah yang masuk ke IPAL dapat

tercampur sempurna sehingga menghasilkan air limbah yang homogen. Bak ekualisasi ditempatkan sebelum pengolahan biologis agar tidak menimbulkan akumulasi lumpur. Berdasarkan Lampiran II Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04 Tahun 2017 kriteria desain dari bak ekualisasi ini adalah memiliki kedalaman 1-3 m dengan waktu detensi kurang dari 2 jam.

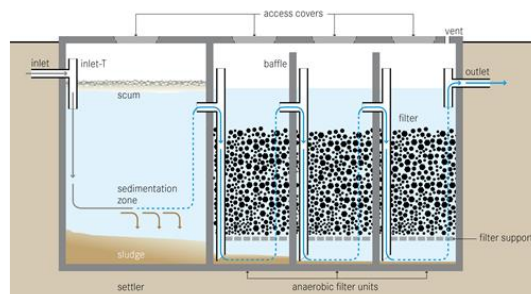
## 2.8 Biofilter

Biofilter adalah reaktor biologis dengan sistem pertumbuhan bakteri terlekat (*Attached Growth*) pada *fixed bed* atau media yang tertahan dan tidak bergerak. Filter terdiri atas susunan media yang disusun secara teratur maupun acak di dalam reaktor yang ditahan oleh penyangga. Air limbah yang mengalir melalui media perlahan akan membentuk lapisan yang disebut biofilm. Mekanisme terbentuknya biofilm dimulai dari melekatnya bakteri bebas ke media filter kemudian memperbanyak diri sembari membentuk EPS (*Extracellular Polymeric Substance*) yang membantu melekatkan bakteri satu sama lain ke media menjadi satu lapisan tipis yang disebut *monolayer*. *Monolayer* ini merupakan *linking film* atau suatu substrat yang menjadi tempat bakteri yang hidup bebas ikut melekat dan membentuk mikrokoloni. Senyawa pencemar organik akan terdifusi ke lapisan biofilm yang melekat pada media kemudian akan didegradasi oleh mikroorganisme yang ada di dalam lapisan biofilm. Apabila lapisan biofilm sudah cukup tebal maka bagian luar biofilm akan berada pada kondisi aerobik sedangkan bagian dalamnya berada pada kondisi anaerobik. Jika sudah terlalu tebal maka akan menghambat aliran air yang masuk melalui celah media sehingga diperlukan proses pencucian media atau *backwash* secara berkala.

Keunggulan dari sistem *attached growth* ini antara lain:

- Mudah dioperasikan karena dengan sistem ini tidak memerlukan resirkulasi lumpur dan tidak akan terjadi masalah *bulking* seperti sistem lumpur aktif
- Lumpur yang dihasilkan sedikit
- Dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan konsentrasi tinggi maupun rendah
- Tahan terhadap fluktuasi kualitas dan kuantitas air limbah

Terdapat dua sistem pengolahan dengan biofilter yaitu aerobik dan anaerobik. Proses anaerobik dilakukan tanpa membutuhkan oksigen sebagai pendukung kehidupan mikroorganisme, sedangkan pada proses aerobik dibutuhkan oksigen untuk menjamin kehidupan mikroorganisme pengurai dengan cara aerasi. Berikut ini adalah ilustrasi dari biofilter



Gambar 2. 1 Unit Biofilter Anaerobik

Sumber: Tilley et al., 2014

Media memiliki peranan sangat penting dalam proses pengolahan air limbah, oleh karena itu pemilihan media harus dilakukan secara baik dan benar agar efisiensi kinerja reaktor meningkat. Beberapa kriteria media biofilter yang ideal adalah sebagai berikut:

- Mempunyai luas permukaan spesifik yang besar agar mikroorganisme yang melekat bisa lebih banyak dan bisa bekerja secara maksimal
- Mempunyai fraksi volume rongga tinggi agar aliran air tidak terhalang oleh media. Fraksi volume rongga idealnya 15%-98%
- Mempunyai diameter celah bebas yang besar
- Tahan terhadap penyumbatan, mudah diangkat dan dibersihkan
- Terbuat dari bahan inert yang artinya tidak ikut terurai secara biologis, tidak mudah berkarat dan tahan pada pembusukan secara kimia.

Media yang digunakan pada biofilter dapat berupa bahan organik seperti bentuk tali, jaring, berbentuk *random packing*, bentuk sarang tawon, papan (*plate*) dan lainnya. Sedangkan untuk bahan anorganik dapat berupa kerikil, batu marmer, batu bara, batu tembikar, batu pecah dan lain lain. Berdasarkan Pedoman Teknis IPAL Kementerian Kesehatan, semakin besar luas permukaan dan rongga media maka semakin banyak mikroorganisme yang bisa melekat dengan potensi *clogging* yang kecil. Media biofilter yang paling banyak digunakan adalah media bentuk sarang tawon yang berbahan dasar PVC. Perbandingan luas permukaan spesifik berbagai media biofilter dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter

| Jenis Media        | Luas Permukaan Spesifik (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) |
|--------------------|---|
| Batu pecah         | 100-200   |
| Modul sarang tawon | 150-240   |
| Tipe jaring        | 50  |
| RBC                | 80-150  |
| Bioball            | 200-240   |

### 2.8.1 Biofilter Aerobik dan Anaerobik

Biofilter anaerobik mengolah limbah dalam keadaan anaerob sehingga tidak membutuhkan suplai udara tambahan ke dalam air limbah. berdasarkan penelitian dari Ningrum (2018) biofilter anaerobik dapat menyisihkan COD sebesar 87,91%-95,75% dan amonia sebesar 34,15%-70,56%. Sedangkan untuk penyisihan BOD berdasarkan penelitian dari Paramita dan Puspita (2019) adalah sebesar 73,5% dan untuk TSS sebesar 81,39%. Kriteria desain dari biofilter anaerobik adalah sebagai berikut

Tabel 2. 5 Kriteria Desain Biofilter Anaerobik

| Parameter                      | Nilai  | Satuan                              | Sumber          |
|--------------------------------|--------|-------------------------------------|-----------------|
| Organic Loading Rate (OLR)     | 0,2-15 | Kg COD/m <sup>3</sup> .hari         | KEMENPUPR, 2018 |
| Hydraulic Retention Time (HRT) | 0,5-4  | Hari                                | KEMENPUPR, 2018 |
| Hydraulic Loading Rate (HLR)   | < 2    | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jam | Sasse, 1998     |

Biofilter aerobik bekerja dengan membutuhkan suplai oksigen sebagai komponen utama untuk menjaga agar mikroorganisme tetap hidup. Suplai udara dapat ditambahkan ke dalam air limbah melalui proses aerasi. berdasarkan hasil penelitian Zahra dan Purwanti (2015) biofilter aerobik dapat menyisihkan BOD, COD, TSS berturut-turut sebesar 94,83%, 93%,

dan 95%, untuk efisiensi penurunan amonia berdasarkan penelitian Wei et al., 2010 yaitu sebesar 86%-96%. Kriteria desain dari biofilter aerobik adalah sebagai berikut

Tabel 2. 6 Kriteria Desain Biofilter Aerobik

| Parameter                      | Nilai | Satuan                              | Sumber      |
|--------------------------------|-------|-------------------------------------|-------------|
| Organic Loading Rate (OLR)     | 0,5-4 | kg BOD/m <sup>3</sup> .hari         | Said, 2002  |
| Hydraulic Retention Time (HRT) | 12-24 | Jam                                 | Sasse, 1998 |
| Hydraulic Loading Rate (HLR)   | < 2   | m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jam | Sasse, 1998 |

### 2.8.2 Rumus Perhitungan Pada Unit Biofilter

- **Beban Organik/OLR (*Organic Loading Rate*)**  
Beban organik dapat diartikan sebagai jumlah senyawa organik dalam air limbah yang didegradasi dalam biofilter per unit volume per hari. OLR dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$OLR = \frac{Q \times S_0 \text{ (COD)}}{V} \quad (2.3)$$

Keterangan:

OLR = *Organic Loading Rate* (kg COD/m<sup>3</sup>.hari)

Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

S<sub>0</sub> (COD) = COD influen (kg/m<sup>3</sup>)

V = Volume reaktor (m<sup>3</sup>)

- ***Hydraulic Loading Rate***  
HLR atau beban organik adalah volume air limbah yang dapat diolah tiap satuan waktu per luas permukaan media. Apabila HLR terlalu tinggi maka akan berpotensi menyebabkan pengelupasan biofilm dan menurunkan efisiensi pengolahan. HLR dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$HLR = \frac{Q}{A} \quad (2.4)$$

Keterangan:

HLR = *Hydraulic Loading Rate* (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari)

Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

- ***Hydraulic Retention Time***  
HRT adalah waktu tinggal hidrolis dalam reaktor dalam satuan waktu. HRT dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$HRT = \frac{V}{Q} \quad (2.5)$$

Keterangan:

HRT = *Hydraulic Retention Time* (hari)

V = Volume reaktor (m<sup>3</sup>)

Q = Debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

## 2.9 Gambaran Umum Lokasi Perencanaan

Lokasi perencanaan adalah Industri Tahu di Kabupaten Bojonegoro. Bojonegoro adalah salah satu kabupaten yang terletak di Provinsi Jawa Timur dengan luas wilayah 230.706 ha. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik pada tahun 2020 Kabupaten Bojonegoro memiliki 1.301.635 penduduk. Secara administratif, Kabupaten Bojonegoro memiliki batas wilayah sebagai berikut:

Sebelah utara : Kabupaten Tuban

Sebelah selatan: Kabupaten Madiun, Nganjuk, Jombang

Sebelah timur : Kabupaten Lamongan

Sebelah barat : Kabupaten Ngawi dan Kabupaten Blora Provinsi Jawa Tengah

Kabupaten Bojonegoro memiliki banyak UMKM di berbagai bidang, salah satu UMKM yang berkontribusi cukup besar dalam perekonomian Kabupaten Bojonegoro adalah industri tahu.

### 2.9.1 Industri Tahu Kabupaten Bojonegoro

Industri tahu di Kabupaten Bojonegoro berpusat di Kelurahan Ledok Kulon, Kecamatan Bojonegoro. Awal mula berdirinya pabrik tahu di daerah ini adalah pada tahun 1965. Secara perlahan industri tahu di Ledok Kulon semakin berkembang. Kelurahan Ledok Kulon terletak di bantaran Sungai Bengawan Solo, dan secara administratif memiliki batas wilayah sebagai berikut:

Sebelah utara : Kecamatan Trucuk

Sebelah selatan: Desa Kauman

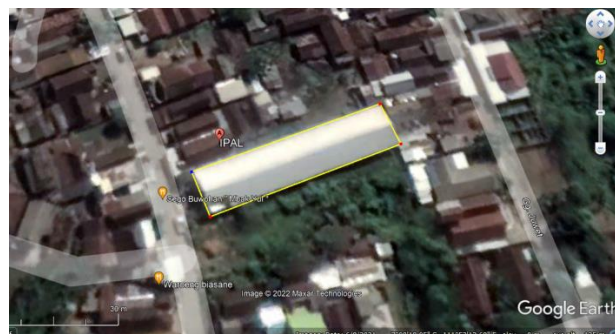
Sebelah timur : Kecamatan Trucuk, Kelurahan Ledok Wetan

Sebelah barat : Kecamatan Trucuk

Berdasarkan data dari Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman dan Cipta Karya terdapat 63 Industri tahu berskala kecil menengah (IKM) sehingga sebagian besar penduduk di Kelurahan Ledok Kulon adalah perajin tahu.

### 2.9.2 IPAL Industri Tahu Kabupaten Bojonegoro

Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu yang berada di Kelurahan Ledok Kulon Bojonegoro berdiri di atas lahan seluas 726,5 m<sup>2</sup>.



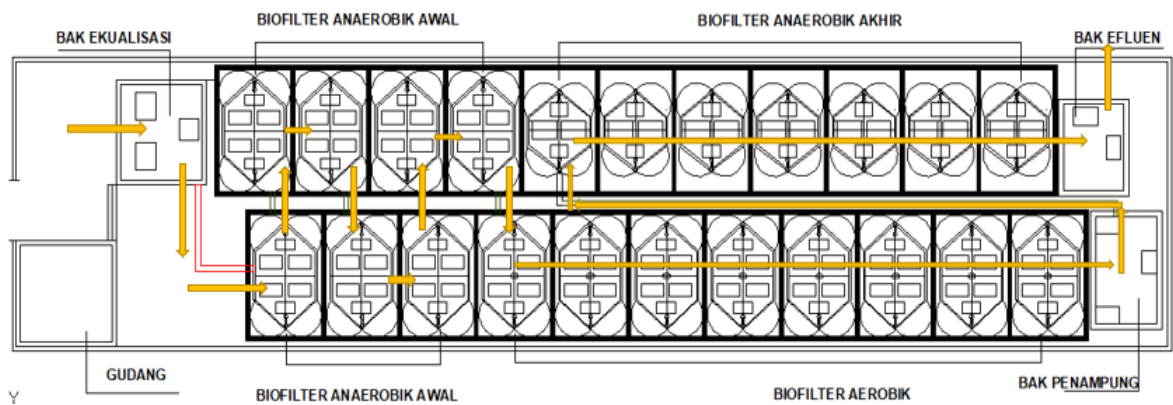
Gambar 2. 2 Lokasi IPAL Tahu dan Rumah Tangga Ledok Kulon

IPAL ini mengolah air limbah yang dihasilkan oleh 63 industri tahu serta air limbah rumah tangga dari 424 rumah. IPAL Industri tahu Ledok Kulon beroperasi sejak tahun 2018 dengan

kapasitas 550 m<sup>3</sup>/hari. Jenis air limbah yang diolah pada IPAL ini adalah air limbah yang dihasilkan dari proses produksi tahu dan air limbah rumah tangga yang berasal dari mandi, cuci dan dapur. Unit pengolahan yang digunakan adalah bak pengumpul, biofilter anaerob-aerob dengan media bentuk sarang tawon dari plastik dan bak efluen.

### 2.9.3 Unit IPAL Eksisting Industri Tahu Kabupaten Bojonegoro

Evaluasi IPAL hanya dilakukan pada kinerja unit IPAL eksisting dan tidak termasuk penyaluran air limbahnya agar lebih terfokus pada penyelesaian masalah umum yang terjadi pada pengoperasian IPAL. Berdasarkan hasil survei lapangan didapatkan informasi terkait unit IPAL eksisting yang mengolah air limbah. terdapat bak ekualisasi, 22 unit biofilter anaerobik-aerobik, 1 unit bak penampung dan 1 unit bak efluen. Kendala yang sering terjadi pada saat pengoperasian IPAL yaitu adanya serpihan sampah yang masih lolos ke tahap pengolahan sehingga mengganggu kinerja pompa dan *blower*, media filter pada reaktor awal yang sering tersumbat, mengeluarkan bau yang menyengat ketika hujan, serta air efluen yang agak keruh dan masih berbau. Efluen dari IPAL ini langsung dialirkan ke Sungai Bengawan Solo. Berikut ini adalah diagram alir pengolahan air limbah yang digunakan pada IPAL.



Gambar 2. 3 Diagram Alir IPAL Tahu dan Rumah Tangga Kabupaten Bojonegoro

Air limbah yang berasal dari industri tahu dan rumah tangga disalurkan lewat pipa menuju ke IPAL. Air akan dikumpulkan dalam bak ekualisasi yang dilengkapi dengan sekat untuk menahan sampah agar tidak masuk ke unit pengolahan utama. Selanjutnya air limbah dipompa dengan pompa *submersible* untuk masuk ke unit selanjutnya yaitu biofilter anaerobik yang berjumlah 7 unit secara zigzag. Setelah itu air akan dilewatkan ke 8 unit biofilter aerobik secara satu arah untuk proses aerasi. Air yang sudah melewati biofilter aerobik kemudian ditampung dalam bak penampung untuk dialirkan ke biofilter anaerobik akhir yang berjumlah 7 unit secara satu arah. Hasil akhir dari pengolahan akan ditampung di bak efluen kemudian dibuang ke Sungai Bengawan Solo. Berikut adalah penjelasan unit IPAL eksisting:

#### a. Bak Ekualisasi

Air limbah industri tahu dan rumah tangga yang dialirkan melalui sistem perpipaan akan ditampung di dalam bak ekualisasi. Air yang masuk ke bak pengumpul seringkali masih terdapat sampah berupa plastik atau potongan karung kedelai. Bak ekualisasi memiliki sekat yang pada bagian bawahnya terdapat pipa untuk jalan masuknya air serta untuk menahan sampah agar berada di permukaan sehingga tidak masuk ke pengolahan selanjutnya. Namun terkadang masih ada beberapa serpihan sampah yang masih terbawa.



Berikut ini adalah gambar dari bak ekualisasi



Gambar 2. 4 Unit Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi memiliki panjang 4,4 m kemudian lebar 4 m, kedalaman total 3,42 m dan kedalaman air 1,2 m.

b. Biofilter Anaerobik-Aerobik

Air dari sumur pengumpul kemudian dipompa masuk ke dalam biofilter anaerobik awal. Terdapat 7 unit biofilter anaerobik yang dipasang secara seri dengan menggunakan media plastik jenis sarang tawon yang disusun bertumpuk. Media yang sama juga digunakan pada biofilter aerobik yang dilengkapi dengan *blower* dan berjumlah 8 unit. Selain itu masih terdapat 7 unit biofilter anaerobik akhir setelah unit bak penampung. Adapun dimensi dari tiap unit atau kompartemen biofilter anaerobik awal dan biofilter aerobik adalah sama yaitu:

Kapasitas = 42 m<sup>3</sup>

Kedalaman total = 3,7 m

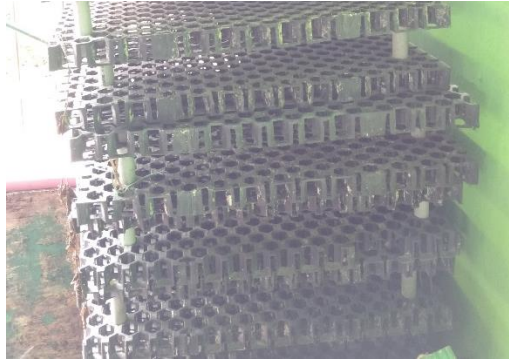
Sedangkan untuk biofilter anaerobik akhir memiliki kedalaman yang sama yaitu 3,7 m namun memiliki kapasitas yang berbeda yaitu 32 m<sup>3</sup>

Berikut ini adalah gambar dari unit biofilter anaerobik



Gambar 2. 5 Unit Biofilter Anaerobik

Untuk media filter yang digunakan terdapat pada gambar berikut:



Gambar 2. 6 Media Plastik Jenis Sarang Tawon

Pengolahan anaerobik menghasilkan bau yang kurang sedap. Bau tersebut disebabkan oleh zat organik yang telah terurai dalam limbah kemudian mengeluarkan gas seperti sulfida atau amonia yang menimbulkan bau yang kurang sedap. Hal ini dapat mengganggu kenyamanan warga mengingat IPAL ini dibangun di tengah kawasan permukiman. Untuk mengatasi hal tersebut setiap unit biofilter dilengkapi dengan satu pasang absorber pada bagian atas reaktor yang berfungsi untuk mencegah bau tidak sedap untuk keluar. Absorber ini berisi arang yang berasal dari industri tahu dan sebelumnya telah dicuci dan dipotong kecil. Bau yang berasal dari proses anaerobik selanjutnya dapat dihilangkan dengan proses aerasi pada unit biofilter aerobik. Berikut adalah gambar dari absorber



Gambar 2. 7 Absorber Bau Pada Biofilter

Setelah air melewati biofilter anaerobik, selanjutnya air akan masuk ke unit biofilter aerobik. Dimensi serta media yang digunakan masih sama dengan biofilter anaerobik. Perbedaannya hanya terletak pada *blower* yang berfungsi untuk menyuplai udara ke dalam reaktor. IPAL ini memiliki 8 unit biofilter aerobik yang disusun secara seri. Kemudian air yang sudah terolah akan dialirkan ke dalam bak penampung.

#### c. Bak Penampung

Bak penampung berfungsi untuk menampung air hasil olahan biofilter aerobik untuk disalurkan melalui pipa menuju biofilter anaerobik akhir yang letaknya agak jauh. Pada unit ini air masih keruh, berbusa dan berbau. Panjang dari unit ini adalah 5,46 m lebar 3,3 m dan kedalaman total 3,5 m. berikut adalah gambar dari bak penampung



Gambar 2. 8 Unit Bak Penampung

Air yang telah ditampung kemudian akan dialirkan ke unit biofilter anaerobik. Air yang telah diolah oleh biofilter aerobik seharusnya bisa langsung dialirkan ke unit biofilter anaerobik, tetapi karena keterbatasan tempat maka disediakan bak penampung untuk menampung air sementara. Biofilter anaerobik akhir berjumlah 7 unit dan disusun secara seri.

d. Bak Efluen

Air yang sudah selesai diolah kemudian dialirkan ke dalam bak efluen. Unit ini berfungsi untuk menampung sementara air hasil olahan IPAL agar dapat dikontrol karakteristiknya sebelum dibuang ke sungai. Bak efluen memiliki panjang 4,4 m lebar 3,7 m dan kedalaman total 3,10 m. Berikut adalah gambar dari bak efluen



Gambar 2. 9 Unit Bak Efluen

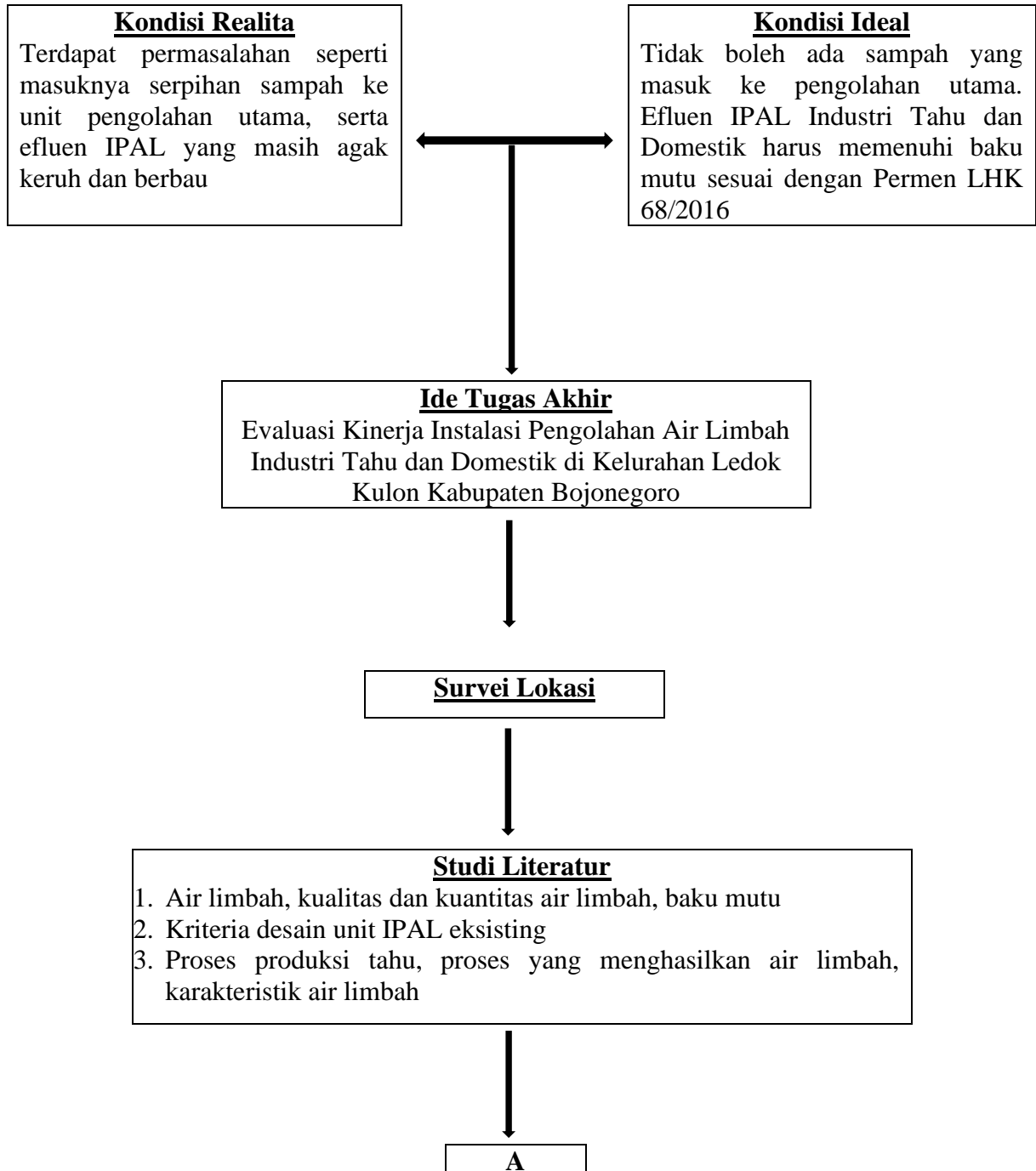
Air di dalam bak efluen sudah jauh lebih bersih dari air yang ada di bak penampung, hanya saja air masih berwarna sedikit putih keruh dan berbau. Air dari bak efluen ini kemudian dialirkan menuju Sungai Bengawan Solo untuk dibuang.

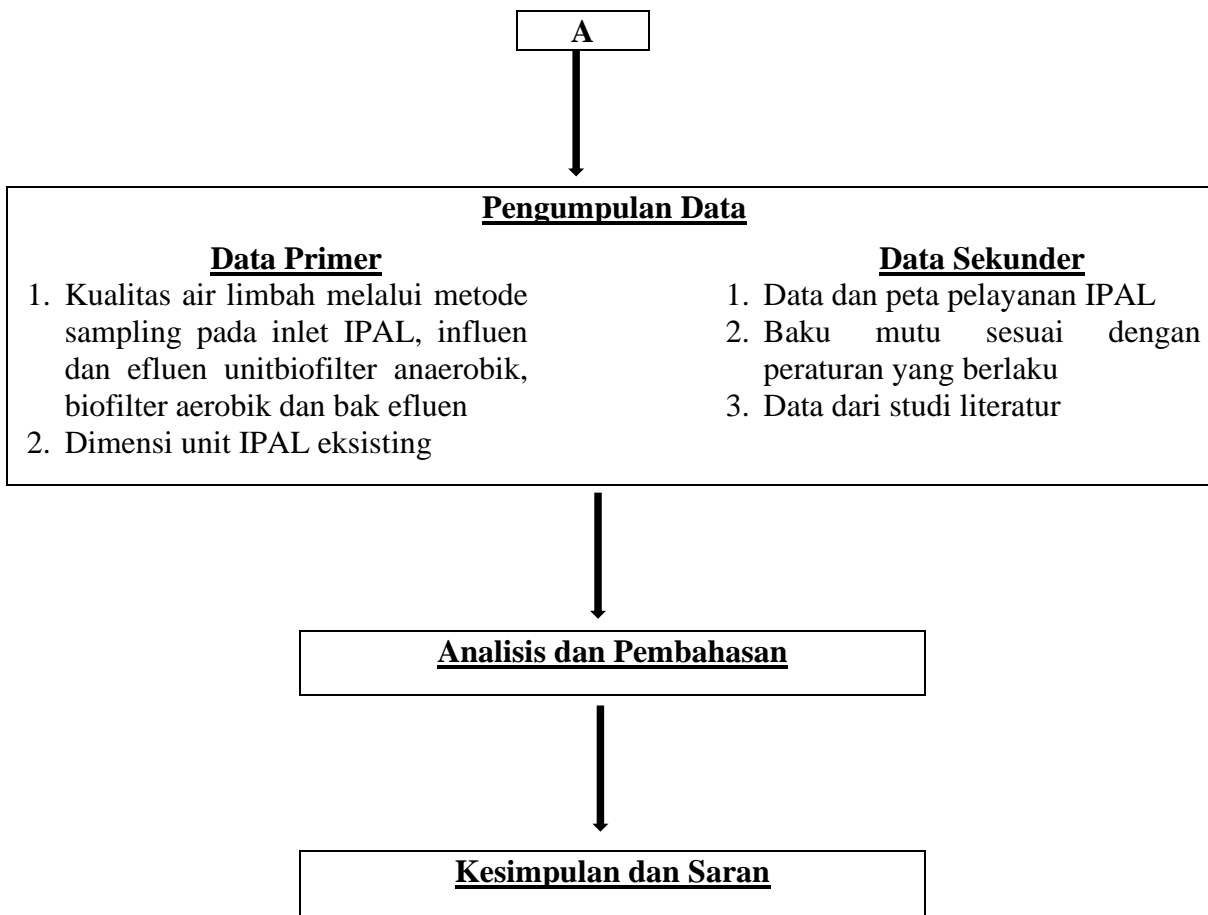
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Kerangka Studi

Kerangka studi berisi langkah-langkah yang akan dilaksanakan sampai dihasilkan suatu kesimpulan akhir. Kerangka studi dibuat agar pelaksanaan Tugas Akhir dapat berjalan dengan terarah sehingga dapat mencapai kesimpulan.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Kerangka Perencanaan

Penjelasan dari diagram kerangka perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Ide tugas akhir

Ide tugas akhir ini adalah Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu dan Domestik di Kelurahan Ledok Kulon Kabupaten Bojonegoro. Ide tugas akhir didapatkan dari perbandingan kondisi realita yaitu permasalahan umum yang terjadi pada pengoperasian IPAL dengan kondisi ideal sesuai teori. Sejak IPAL dioperasikan tahun 2018 belum pernah ada studi khusus terkait kinerja IPAL. Evaluasi kinerja IPAL ditinjau dari perbandingan karakteristik efluen IPAL dengan baku mutu yang berlaku, kemudian dilakukan analisis kesesuaian antara kriteria desain unit IPAL dengan kondisi eksisting IPAL. Meskipun air limbah yang diolah berasal dari air limbah industri tahu dan air limbah domestik, baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, karena perbandingan debit air limbah industri tahu dan domestik yang masuk ke IPAL hampir sama besar. Besarnya debit air limbah industri tahu sedikit lebih banyak daripada air limbah domestik.

## 2. Survei Lokasi

Survei lokasi bertujuan untuk mengamati langsung kondisi IPAL eksisting. Pada tahap ini juga dilakukan pengamatan mengenai permasalahan umum yang terjadi pada pengoperasian IPAL.

## 3. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mendukung dan meningkatkan pemahaman lebih jelas terhadap ide penelitian. Sumber literatur yang digunakan berasal dari jurnal penelitian nasional dan internasional, buku, laporan penelitian terdahulu, laporan tugas akhir, *website* resmi, serta laporan seminar atau *proceeding* yang berhubungan dengan topik tugas akhir yaitu

- Kuantitas dan kualitas air limbah
- Industri tahu dan proses produksinya
- Proses produksi tahu yang menghasilkan air limbah
- Karakteristik air limbah tahu
- Air limbah domestik
- Baku mutu air limbah
- Kriteria desain unit Instalasi Pengolahan Air Limbah

## 4. Pengumpulan Data

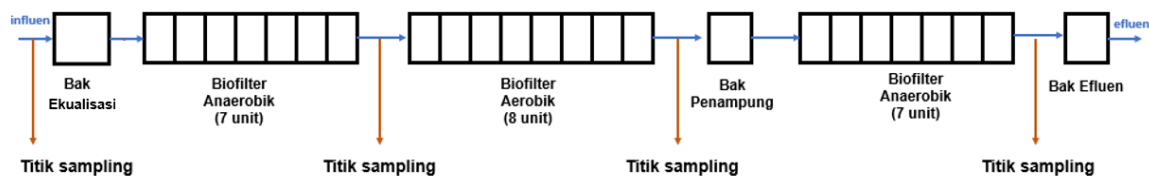
Kegiatan pengumpulan data dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting lokasi perencanaan. Data yang digunakan dalam perencanaan ini berupa data primer dan data sekunder. Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

### a. Data Primer

Data primer adalah data yang didapatkan langsung dari observasi lapangan. Data yang dibutuhkan adalah:

- Data karakteristik influen dan efluen pada unit pengolahan utama IPAL
- Dimensi unit IPAL

Dimensi unit IPAL didapatkan dari hasil pengukuran unit IPAL eksisting. Data karakteristik air limbah diperoleh dari metode sampling. Parameter yang diuji adalah BOD, COD, TSS dan amonia, sesuai dengan baku mutu yang dipakai yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. Titik sampling berada pada influen dan efluen setiap kelompok unit, bukan pada setiap kompartemen. Titik pengambilan sampel terdapat pada diagram berikut



Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sampel Air Limbah



b. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang didapat dari wawancara atau data dari suatu instansi yang merupakan data pendukung dari data primer. Data sekunder yang dibutuhkan adalah:

- Data dan peta pelayanan IPAL industri tahu dan domestik Ledok Kulon Bojonegoro
- Gambar detail Unit Instalasi Pengolahan Air Limbah
- Debit dan Kapasitas pengolahan IPAL
- Hasil wawancara dengan petugas IPAL mengenai operasional IPAL

5. Analisis dan pembahasan

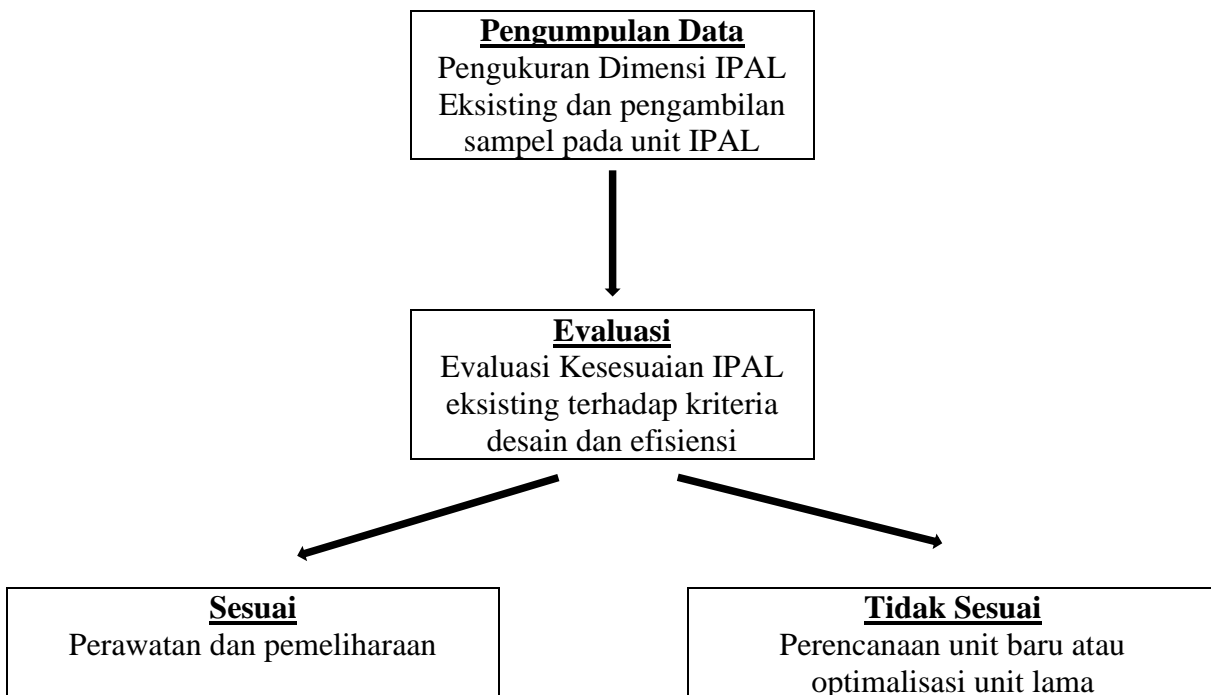
Data primer dan sekunder yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis secara keseluruhan. Analisis data bertujuan untuk memproses data untuk dibandingkan dengan studi literatur atau kriteria desain. Hasil analisis kemudian dapat dilakukan pembahasan dan evaluasi sehingga menghasilkan rekomendasi diantaranya penambahan unit baru atau optimalisasi unit eksisting.

6. Kesimpulan dan saran

Kesimpulan didapatkan dari hasil pembahasan. Kesimpulan merupakan jawaban dari tujuan yang hendak dicapai pada Tugas Akhir ini. Saran berisikan hal-hal yang masih dapat dikerjakan dengan lebih baik dan dapat dikembangkan lebih lanjut meliputi alternatif rekomendasi penambahan unit IPAL baru atau optimalisasi unit eksisting.

3.2 Kerangka Evaluasi

Evaluasi eksisting instalasi pengolahan air limbah dilakukan berdasarkan hasil analisis data. Rekomendasi dan saran didapatkan setelah melakukan perbandingan IPAL eksisting dengan kondisi ideal. Berikut adalah diagram alir kerangka evaluasi:



Gambar 3. 3 Diagram Alir Kerangka Evaluasi

Penjelasan dari diagram kerangka evaluasi adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan adalah data primer dan data sekunder seperti yang tercantum pada kerangka studi Tugas Akhir kemudian semua data akan dianalisis.

2. Evaluasi

Berdasarkan data yang sudah dianalisis dan diolah maka dapat dibandingkan kesesuaian antara IPAL eksisting dengan kriteria desain atau baku mutu yang berlaku. Dari hasil evaluasi akan terdapat dua kemungkinan yaitu sesuai dan tidak sesuai. Jika sudah sesuai maka tidak ada perencanaan unit baru. Tetapi apabila tidak sesuai maka akan ada perencanaan unit baru atau optimalisasi unit lama.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Perhitungan Debit Air Limbah

Air limbah yang diolah IPAL industri tahu dan domestik Ledok Kulon berasal dari gabungan air limbah industri tahu dan rumah tangga. Pencampuran air limbah industri dengan limbah domestik dapat mencairkan konsentrasi senyawa organik dalam air limbah industri dan meningkatkan biodegradabilitasnya sesuai dengan degradasi mikroba yang hemat sumber daya serta biaya (Egbuikwem *et al.*, 2021). Pengolahan air limbah terintegrasi ini sering dilakukan oleh negara berkembang karena fasilitas dan infrastruktur pengolahan air limbah kurang karena kendala lahan maupun keuangan. IPAL tahu dan rumah tangga Ledok Kulon merupakan jenis IPAL industri-domestik yang berkapasitas 550 m<sup>3</sup>/hari serta melayani 63 industri tahu dan 424 rumah. IPAL industri tahu dan domestik Ledok Kulon tidak dilengkapi dengan alat pengukur debit atau *flow meter* sehingga debit air limbah yang masuk tidak dapat diketahui secara pasti. Oleh karena itu dilakukan perhitungan debit air limbah yang dihasilkan oleh industri tahu dan rumah tangga. Berdasarkan data dari Buku Putih Sanitasi Kabupaten Bojonegoro, setiap industri tahu mengolah 150 kg kedelai per hari. Jumlah air limbah yang dihasilkan dari 1 kg kedelai adalah 20 liter air limbah, sehingga debit air limbah dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- Jumlah Industri tahu = 63
- Kedelai yang diolah per hari = 63 x 150 kg  
= 9450 kg
- Air limbah yang dihasilkan = 9450 kg x 20 liter  
= 9450 kg x 0,02 m<sup>3</sup>  
= 189 m<sup>3</sup>/hari

Untuk air limbah yang berasal dari rumah tangga maka dapat dihitung dari 80% kebutuhan air bersih. Berdasarkan data dari PDAM Bojonegoro, masyarakat Bojonegoro rata-rata mengkonsumsi air bersih sebanyak 111-126 liter/orang/hari sehingga dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut

- Jumlah rumah/KK yang dilayani = 424 KK
- Jumlah penghuni tiap KK = 4 Orang
- Jumlah orang = 1696 Orang
- Kebutuhan air bersih = 0,126 m<sup>3</sup>/orang.hari
- Kebutuhan air bersih total = Kebutuhan air bersih x jumlah orang  
= 0,126 m<sup>3</sup>/orang.hari x 1696 orang  
= 213,696 m<sup>3</sup>/hari
- Air limbah yang dihasilkan = 80% x 213,696 m<sup>3</sup>/hari  
= 171 m<sup>3</sup>/hari
- Total Air limbah yang dihasilkan = Debit air limbah tahu + debit air limbah rumah tangga  
= 189 m<sup>3</sup>/hari + 171 m<sup>3</sup>/hari  
= 360 m<sup>3</sup>/hari
- Faktor hari maksimum = 1,15-1,25 (Ditjen Cipta Karya Dinas PU, 1996)
- Debit hari maksimum = Fhm x Q rata-rata  
= 1,15 x 360 m<sup>3</sup>/hari  
= 414 m<sup>3</sup>/hari

- Kapasitas IPAL maksimum = 550 m<sup>3</sup>/hari

Setelah dilakukan perhitungan dari setiap sumber air limbah, maka dapat diketahui debit rata-rata air limbah yang masuk ke IPAL industri tahu dan domestik Ledok Kulon yaitu 360 m<sup>3</sup>/hari. Untuk melakukan evaluasi IPAL digunakan debit maksimum yang merupakan debit aliran saat penggunaan air maksimum yang tidak termasuk debit infiltrasi atau air tambahan seperti air hujan yang masuk ke penyaluran air limbah.

#### 4.2 Hasil Uji Karakteristik Air Limbah

Uji karakteristik air limbah bertujuan untuk mengetahui seberapa besar zat pencemar dalam air limbah yang akan digunakan sebagai data primer untuk mengevaluasi kinerja IPAL. Karakteristik air limbah yang diuji meliputi kandungan BOD, COD, TSS dan Amonia. Parameter yang diuji serta metode pengujian dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Metode Pengujian Parameter Pencemar Air Limbah

| Parameter | Metode Pengujian                          |
|-----------|---|
| BOD       | SNI 6989.72:2009                          |
| COD       | SNI 6989.73:2019                          |
| TSS       | SNI 6989.3:2019                           |
| Amonia    | APHA 4500-NH3 F, 23 <sup>rd</sup> Ed 2017 |

Sampel diambil pada empat titik yaitu inlet IPAL, Outlet biofilter anaerobik, outlet biofilter aerobik, dan outlet IPAL. Hasil uji laboratorium air limbah dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Uji Laboratorium Air Limbah

| No | Lokasi                     | Parameter (mg/L) |       |        |     |
|----|----------------------------|------------------|-------|--------|-----|
|    |                            | BOD              | COD   | Amonia | TSS |
| 1  | Influen IPAL               | 164,3            | 684,6 | 157,82 | 247 |
| 2  | Efluen Biofilter Anaerobik | 160,4            | 313,5 | 154,94 | 135 |
| 3  | Efluen Biofilter Aerobik   | 17,4             | 64,9  | 135,01 | 56  |
| 4  | Efluen IPAL                | 3,9              | 43,2  | 120,39 | 21  |

Berdasarkan penelitian dari Pamungkas dan Slamet (2017) kandungan BOD dan COD pada air limbah industri tahu berkisar antara 6.000-8.000 mg/L dan 7.500-14.000. Untuk kandungan BOD, COD dan TSS pada air limbah domestik berdasarkan Tchobanoglous *et al.*, (2004) berturut-turut sebesar 110-350 mg/L, 250-800 mg/L, dan 120-400 mg/L. Hasil uji laboratorium memiliki nilai yang lebih kecil dari berbagai literatur, hal tersebut terjadi karena adanya pengenceran air limbah tahu dengan air limbah domestik sehingga debit bertambah dan konsentrasi dari dari zat pencemar menurun.

#### 4.3 Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah

Analisa dan evaluasi IPAL industri tahu dan domestik Ledok Kulon dilakukan dengan cara menghitung efisiensi penghilangan zat pencemar serta membandingkan kondisi eksisting

bangunan IPAL dengan kriteria desain sesuai literatur. Efisiensi kinerja total dari IPAL dalam menyetor parameter pencemar dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$\text{Efisiensi} = \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Dari data uji karakteristik air limbah didapatkan nilai BOD pada influen IPAL sebesar 164,3 mg/L sedangkan pada efluen IPAL adalah 3,9 mg/L. Efisiensi IPAL dalam menurunkan BOD terdapat pada perhitungan berikut

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\ &= \frac{(164,3 - 3,9)}{164,3} \times 100\% \\ &= 98\% \end{aligned}$$

Untuk kandungan COD pada influen IPAL didapatkan nilai sebesar 684 mg/L sedangkan pada efluen IPAL adalah 43,2 mg/L. Efisiensi IPAL dalam menurunkan COD terdapat pada perhitungan berikut

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\ &= \frac{(684,6 - 43,2)}{684,6} \times 100\% \\ &= 94\% \end{aligned}$$

Amonia juga menjadi parameter air limbah yang diuji. Pada influen IPAL terdapat kandungan amonia sebesar 157,82 mg/L sedangkan pada efluen IPAL adalah 120,39 mg/L. Efisiensi IPAL dalam menurunkan kadar amonia adalah

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\ &= \frac{(157,82 - 120,39)}{684,6} \times 100\% \\ &= 24\% \end{aligned}$$

Parameter terakhir yang diuji adalah kandungan TSS. Kandungan TSS pada influen IPAL adalah sebesar 247 mg/L sedangkan pada efluen IPAL yaitu 21 mg/L Efisiensi IPAL dalam menurunkan kandungan TSS adalah

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\ &= \frac{(247 - 21)}{247} \times 100\% \\ &= 91\% \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka dapat diketahui efisiensi kinerja IPAL secara keseluruhan. IPAL industri tahu dan domestik Ledok Kulon mampu menyetor kadar BOD sebesar 98%, COD sebesar 94%, Amonia sebesar 24% dan TSS sebesar 91%. Kemudian karakteristik air limbah dari efluen IPAL dapat dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku

Tabel 4. 3 Perbandingan Konsentrasi Efluen IPAL dengan Baku Mutu

| Parameter | Efluen IPAL (mg/L) | Baku Mutu (mg/L) | Sumber                         | Keterangan     |
|-----------|--------------------|------------------|--------------------------------|----------------|
| BOD       | 3,9                | 30               | PERMEN LHK Nomor 68 Tahun 2016 | Memenuhi       |
| COD       | 43,2               | 100              | PERMEN LHK Nomor 68 Tahun 2016 | Memenuhi       |
| Amonia    | 120,39             | 10               | PERMEN LHK Nomor 68 Tahun 2016 | Tidak Memenuhi |
| TSS       | 21                 | 30               | PERMEN LHK Nomor 68 Tahun 2016 | Memenuhi       |

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa IPAL industri tahu dan domestik Ledok Kulon sangat efektif untuk menurunkan kadar BOD, COD dan TSS tetapi belum efektif untuk menurunkan kadar amonia dalam air limbah. maka dari itu perlu dilakukan evaluasi kinerja pada setiap unit instalasi pengolahan air limbah yang terdiri dari bak ekualisasi, biofilter anaerobik, biofilter aerobik, bak pengumpul, biofilter anaerobik akhir dan bak outlet. Dalam evaluasi ini akan dilakukan perhitungan untuk memeriksa kesesuaian unit IPAL eksisting dengan kriteria desain kemudian akan diberikan rekomendasi berupa optimalisasi unit eksisting yang belum memenuhi kriteria desain karena tidak terdapat lahan yang tersisa pada IPAL eksisting.

#### 4.4 Unit Bak Ekualisasi

##### 4.4.1 Analisis Kinerja Unit

Bak ekualisasi berfungsi untuk menampung air yang masuk ke IPAL sekaligus meratakan debit dan konsentrasi air limbah yang berfluktuasi agar stabil hingga masuk ke unit pengolahan selanjutnya. Jika dilihat dari kondisi eksisting, bak ekualisasi pada IPAL industri tahu dan domestik Ledok Kulon sudah berfungsi sesuai peruntukannya yaitu menampung dan meratakan debit serta konsentrasi dari air limbah industri tahu dan air limbah rumah tangga yang mempunyai karakteristik berbeda. Untuk kriteria desain dari bak ekualisasi berdasarkan Lampiran II Peraturan Menteri PUPR Nomor 04 Tahun 2017 adalah sebagai berikut:

- Kedalaman air : 1-3 m
- Waktu detensi : < 2 jam

Adapun perhitungan unit eksisting bak ekualisasi adalah sebagai berikut:

##### Diketahui:

- $Q_{maksimum} = 414 \text{ m}^3/\text{hari}$   
 $0.0048 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Panjang = 4.4 m
- Lebar = 4. m
- h air = 1.2 m
- h total = 3.42 m

##### Perhitungan:

- Volume =  $p \times l \times \text{hair}$   
=  $4,4 \times 4 \times 1,2$   
= 21,12  $\text{m}^3$

|               |   |             |                     |
|---------------|---|-------------|---------------------|
| - Volume      | = | Q x td      |                     |
| 21.12         | = | 0.0048 x td |                     |
| - Td          | = | 4407,65     | Detik               |
|               | = | 73,4        | menit               |
|               | = | 1,2         | jam                 |
| - Debit pompa | = | 17,25       | m <sup>3</sup> /jam |

#### 4.4.2 Hasil Analisis Kinerja dan Rekomendasi

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa unit bak ekualisasi eksisting secara umum telah memenuhi kriteria desain yaitu kedalaman air 1,2 m dan waktu tinggal (td) sebesar 1,2 jam. Setelah melalui bak ekualisasi, air limbah akan dipompa menuju unit selanjutnya. Terdapat satu pompa yang dioperasikan pada IPAL industri tahu dan domestik Ledok Kulon Bojonegoro. Jenis pompa yang digunakan adalah *submersible pump* atau pompa yang terendam dalam air dengan kapasitas pompa 0,6 m<sup>3</sup>/menit dan head pompa 12,5 m.



Gambar 4. 1 Pompa *Submersible* HCP Pump

Unit bak ekualisasi telah memenuhi kriteria desain sehingga rekomendasi yang dapat diberikan adalah dari sisi perawatan dan pemeliharaan. Sebaiknya dilakukan pengecekan berkala terkait sampah kecil yang masuk ke bak ekualisasi yang bisa menghambat pompa. Selain itu menyediakan pompa cadangan agar apabila terjadi kerusakan, pompa dapat langsung diganti.

#### 4.5 Unit Biofilter Anaerobik

Unit utama pengolahan air limbah yang pertama adalah biofilter anaerobik 1 yang terdiri dari tujuh buah reaktor yang dirangkai seri dengan ukuran yang identik, masing masing berkapasitas 42 m<sup>3</sup>, memiliki kedalaman 3,7 m, berbentuk tabung dengan bahan FRP (*Fiber Reinforced Plastic*). Media yang digunakan sebagai pertumbuhan mikroorganisme atau biofilm adalah jenis sarang tawon berbahan dasar plastik dengan ukuran 50 cm x 50 cm, lebar lubang 2 cm dengan ketebalan 5 cm.





Gambar 4. 2 Media Biofilter

Terdapat 6 *manhole* pada bagian atas reaktor, 4 *manhole* berfungsi untuk menempatkan *casing* atau penyangga dan media sarang tawon sedangkan 2 *manhole* berfungsi untuk memantau air limbah yang diolah. Reaktor biofilter anaerobik ini tidak memiliki sekat, hanya terdapat empat penyangga untuk menempatkan media.



Gambar 4. 3 Peletakkan Media Pada Reaktor

Setiap penyangga diisi dengan 21 media sarang tawon dan dimasukkan ke dalam reaktor sedalam 2 m, sehingga setiap unit reaktor berisi 84 media sarang tawon.

#### 4.5.1 Efisiensi Removal

- **BOD (Biological Oxygen Demand)**

$$\begin{aligned}
 \text{Influen} &= 164,3 \text{ mg/L} \\
 \text{Efluen} &= 160,4 \text{ mg/L} \\
 \text{Efisiensi} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\
 \text{Removal} &= \frac{(164,3 - 160,4)}{164,3} \times 100\% \\
 &= 2\%
 \end{aligned}$$

- **COD (Chemical Oxygen Demand)**

$$\begin{aligned}
 \text{Influen} &= 684,6 \text{ mg/L} \\
 \text{Efluen} &= 313,5 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Efisiensi Removal} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\
&= \frac{(684,6 - 313,5)}{684,6} \times 100\% \\
&= 54\%
\end{aligned}$$

- **TSS (Total Suspended Solid)**

$$\begin{aligned}
\text{Influen} &= 247 \text{ mg/L} \\
\text{Efluen} &= 135 \text{ mg/L} \\
\text{Efisiensi Removal} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\
&= \frac{(247 - 135)}{247} \times 100\% \\
&= 45\%
\end{aligned}$$

- **Amonia**

$$\begin{aligned}
\text{Influen} &= 157,82 \text{ mg/L} \\
\text{Efluen} &= 154,94 \text{ mg/L} \\
\text{Efisiensi Removal} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\
&= \frac{(157,82 - 154,94)}{157,82} \times 100\% \\
&= 2\%
\end{aligned}$$

#### 4.5.2 Analisis Kinerja Unit

Air limbah yang telah melalui bak ekualisasi kemudian dipompa menuju unit biofilter anaerobik yang pertama. Setiap unit dari 7 rangkaian biofilter bekerja seperti satu kompartemen karena debit air yang besar tentunya membutuhkan volume dan luas area yang besar sehingga dibagi menjadi beberapa unit. Untuk menghindari kegagalan konstruksi maka digunakan bahan FRP (*Fiber Reinforced Plastic*). Air limbah akan masuk melalui bagian bawah reaktor kemudian mengalir ke atas melewati media yang terpasang pada manhole pertama dan kedua. Setelah itu air akan mengalir ke bawah melalui media yang terpasang pada manhole ketiga dan ke empat. Selanjutnya langkah tersebut berulang sampai dengan unit biofilter anaerobik ke delapan. Sistem peletakkan media pada unit biofilter ini adalah *fixed medium system* yang tercelup dalam air limbah, sehingga media ditahan oleh penyangga atau *casing*. Air limbah yang melewati media lama kelamaan akan membentuk suatu lapisan yang disebut biofilm. Biofilm adalah kumpulan bakteri yang memperbanyak diri kemudian melekat ke media dan membentuk lapisan tipis. Analisis kinerja dari unit biofilter anaerobik mengacu pada kriteria desain sebagai berikut:

- Waktu tinggal hidrolis = 0,5-4 hari
- Beban organik = 0,2-15 kg COD/m<sup>3</sup>.hari
- HLR = < 2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari

Adapun data dan perhitungan untuk menganalisis kinerja dari setiap unit biofilter anaerobik adalah sebagai berikut:

Diketahui:

$$\begin{aligned} Q_{\text{average}} &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{Volume total} &= 7 \times 42 \text{ m}^3 \\ &= 294 \text{ m}^3 \\ \text{Kedalaman} &= 3,7 \text{ m} \\ \text{CODin} &= 684,6 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- **OLR (Organic Loading Rate) atau Beban Organik**

$$\begin{aligned} \text{OLR} &= \frac{Q \times S_0 (\text{COD})}{V} \\ &= \frac{360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 684,6 \text{ mg/L}}{294 \text{ m}^3} \\ &= 0,83 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

- **HRT (Hydraulic Retention Time)**

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= \frac{V}{Q} \\ &= \frac{294 \text{ m}^3}{360 \text{ m}^3/\text{hari}} \\ &= 0,81 \text{ hari} \\ &= 0,81 \times 24 \\ &= 19,6 \text{ jam (memenuhi)} \end{aligned}$$

- **HLR (Hydraulic Loading Rate)**

$$\begin{aligned} \text{HLR} &= \frac{Q}{A} \\ \text{Luas Alas} &= \frac{\text{Volume}}{\text{Kedalaman}} \\ &= \frac{294 \text{ m}^3}{(3,7 \text{ m})} = 79,46 \text{ m}^2 \\ \text{HLR} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{360 \text{ m}^3}{79,46 \text{ m}^2} / \text{hari} \\ &= 4,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \\ &= 4,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} : 24 \text{ jam} \\ &= 0,18 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

#### 4.5.3 Hasil Analisis Kinerja

Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa nilai beban organik yang masuk ke biofilter anaerobik sudah memenuhi kriteria desain. Berdasarkan Lampiran II Peraturan Menteri PUPR Nomor 04 Tahun 2017, beban organik menyatakan banyaknya senyawa organik dalam air limbah yang didegradasi pada unit biofilter per unit volume per hari. Apabila nilai OLR kurang dari kriteria maka disebut *under design* yang berarti beban organik terlalu rendah hingga menyebabkan terjadinya autolysis atau bakteri saling memakan sesamanya untuk memenuhi kebutuhan nutrisi. Sedangkan apabila nilai OLR melebihi kriteria desain maka disebut *over design* yang berarti terlalu banyak beban organik. Hal ini dapat mengganggu proses degradasi pencemar organik karena hasil penguraian yang tidak optimal menyebabkan kondisi toksik yang dapat mematikan bakteri (Sasse, 1998).

Hasil perhitungan untuk HRT (*Hydraulic Retention Time*) membuktikan bahwa rangkaian biofilter anaerobik sudah memenuhi kriteria desain yaitu 19,6 jam atau 0,81 hari. Waktu detensi yang terlalu pendek dapat menyebabkan penurunan efektivitas biofilter untuk mendegradasi polutan karena kurangnya waktu kontak antara air limbah dengan media yang menyebabkan tidak meratanya nutrisi antara biofilm lapisan paling luar dan paling dalam.

*Hydraulic loading rate* menyatakan besarnya efek *flushing* atau penggerusan pada media dan biofilm. Dari hasil perhitungan, HLR unit biofilter anaerobik sudah memenuhi kriteria desain yaitu  $< 2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$  sehingga tidak terjadi penggerusan yang berpotensi melepaskan biofilm dari media. Hasil analisis kinerja unit biofilter anaerobik dapat disimpulkan pada tabel berikut

Tabel 4. 4 Hasil Analisis Kinerja Biofilter Anaerobik

| Parameter Kinerja               | Kondisi Eksisting                         | Kriteria Desain                                | Keterangan |
|---------------------------------|---|--|------------|
| <i>Organic Loading Rate</i>     | 0,83 COD/m <sup>3</sup> .hari             | 0,2-15 kg COD/m <sup>3</sup> .hari             | Memenuhi   |
| <i>Hydraulic Retention Time</i> | 0,81 hari                                 | 0,5-4 hari                                     | Memenuhi   |
| <i>Hydraulic Loading Rate</i>   | 0,18 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari | $< 2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$ | Memenuhi   |

#### 4.5.4 Rekomendasi

Berdasarkan hasil evaluasi, unit biofilter anaerobik sudah memenuhi kriteria desain sehingga rekomendasi yang dapat diberikan adalah pemanfaatan dari gas metana yang dihasilkan pada proses anaerobik. Pada unit pengolahan anaerobik seharusnya terjadi peningkatan amonia melalui reaksi kimia berikut



Namun pada hasil karakteristik limbah eksisting terjadi penurunan amonia sebanyak 2% yang bisa terjadi akibat kesalahan dalam pengambilan sampel. Rekomendasi yang dapat diberikan adalah melakukan *sampling* pada titik efluen yang mendekati unit selanjutnya.

#### 4.6 Unit Biofilter Aerobik

Unit utama yang kedua dalam proses pengolahan air limbah adalah biofilter aerobik. Unit ini terdiri dari delapan buah reaktor yang dirangkai seri dengan masing masing berkapasitas 42 m<sup>3</sup>, memiliki kedalaman 3,7 m, berbentuk tabung dengan bahan FRP (*Fiber Reinforced Plastic*). Media yang digunakan sama seperti unit sebelumnya yaitu jenis media sarang tawon dengan bahan plastik. Masing masing biofilter aerobik dilengkapi dengan satu aerator atau blower yang berfungsi untuk memasukkan udara ke dalam air limbah untuk membantu proses degradasi pencemar secara aerobik. Setiap satu unit biofilter juga bekerja seperti satu kompartemen, sehingga untuk perhitungan dapat dilakukan dengan menjumlahkan volume dari 8 unit biofilter tersebut.

##### 4.6.1 Efisiensi Removal

- **BOD (Biological Oxygen Demand)**

|         |   |            |
|---------|---|------------|
| Influen | = | 160,4 mg/L |
| Efluen  | = | 17,4 mg/L  |

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi Removal} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\
 &= \frac{(160,4 - 17,4)}{160,4} \times 100\% \\
 &= 89\%
 \end{aligned}$$

- **COD (Chemical Oxygen Demand)**

$$\begin{aligned}
 \text{Influen} &= 313,5 \text{ mg/L} \\
 \text{Efluen} &= 64,9 \text{ mg/L} \\
 \text{Efisiensi Removal} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\
 &= \frac{(313,5 - 64,9)}{313,5} \times 100\% \\
 &= 79\%
 \end{aligned}$$

- **TSS (Total Suspended Solid)**

$$\begin{aligned}
 \text{Influen} &= 135 \text{ mg/L} \\
 \text{Efluen} &= 56 \text{ mg/L} \\
 \text{Efisiensi Removal} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\
 &= \frac{(135 - 56)}{135} \times 100\% \\
 &= 59\%
 \end{aligned}$$

- **Amonia**

$$\begin{aligned}
 \text{Influen} &= 154,94 \text{ mg/L} \\
 \text{Efluen} &= 135,01 \text{ mg/L} \\
 \text{Efisiensi Removal} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\
 &= \frac{(154,94 - 135,01)}{154,94} \times 100\% \\
 &= 13\%
 \end{aligned}$$

#### 4.6.2 Analisis Kinerja Unit

Air yang telah melewati biofilter anaerobik akan masuk melalui bagian bawah biofilter aerobik kemudian mengalir melewati media. Yang membedakan dengan unit sebelumnya adalah terdapat blower atau aerator yang menyuplai udara ke dalam air. Merek blower yang digunakan adalah Yasunaga Air Pump LW-200 yang kapasitas suplai udaranya sebesar 200 L/menit, sehingga total keseluruhan udara yang disuplai adalah 1600 L/menit. Namun terdapat kerusakan pada dua blower sehingga udara yang disuplai turun menjadi 1200 L/menit.



Gambar 4. 4 Blower Yasunaga Air Pump LW-200

Udara masuk ke dalam air melalui pipa berdiameter 26 mm sepanjang 2,8 m kemudian pada bagian dasarnya bercabang 4 untuk meratakan aliran udara ke seluruh bagian biofilter.



Gambar 4. 5 Pipa Blower yang Menyalurkan Udara

Analisis kinerja dari unit biofilter anaerobik mengacu pada kriteria desain sebagai berikut:

- Waktu tinggal hidrolik = 12-24 jam (Sasse, 1998)
- Beban organik = 0,5-4 kg BOD/m<sup>3</sup>.hari
- HLR = <2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari (Metcalf & Eddy, 2003)

Adapun data dan perhitungan untuk menganalisis kinerja dari setiap unit biofilter aerobik adalah sebagai berikut:

Diketahui:

|              |   |                          |
|--------------|---|--------------------------|
| Qaverage     | = | 360 m <sup>3</sup> /hari |
| Volume total | = | 8 x 42 m <sup>3</sup>    |
|              | = | 336 m <sup>3</sup>       |
| Kedalaman    | = | 3,7 m                    |
| BODin        | = | 160,4 mg/L               |

- **OLR (Organic Loading Rate) atau Beban Organik**

$$OLR = \frac{Q \times S_o (BOD)}{V}$$

$$= \frac{360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 160,4 \text{ mg/L}}{336 \text{ m}^3}$$

$$= 0,17 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari (tidak memenuhi)}$$

- **HRT (Hydraulic Retention Time)**

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q}$$

$$= \frac{336 \text{ m}^3}{360 \text{ m}^3/\text{hari}}$$

$$= 0,93 \text{ hari}$$

$$= 0,93 \times 24$$

$$= 22,4 \text{ jam (memenuhi)}$$

- **HLR (Hydraulic Loading Rate)**

$$\text{HLR} = \frac{Q}{A}$$

$$\text{Luas Alas} = \frac{\text{Volume}}{\text{Kedalaman}}$$

$$= \frac{336 \text{ m}^3}{3,7 \text{ m}} = 90,8 \text{ m}^2$$

$$\text{HLR} = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{360 \text{ m}^3/\text{hari}}{90,8 \text{ m}^2}$$

$$= 3,97 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$= 3,97 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} : 24 \text{ jam}$$

$$= 0,16 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam (memenuhi)}$$

- **Kebutuhan Oksigen**

Pada kondisi eksisting terdapat delapan unit biofilter aerobik yang masing masing terdapat satu aerator atau blower. Blower ini dapat mengalirkan O<sub>2</sub> sebesar 200 liter/menit serta memiliki panjang pipa blower 280 cm. Dari 8 blower hanya 6 blower yang berfungsi karena terjadi korsleting pada dua blower. Hal ini menyebabkan menurunnya kinerja mikroorganisme dalam mendegradasi pencemar organik karena kurangnya kandungan oksigen terlarut sehingga mikroorganisme tidak mati. Berdasarkan Wei *et al.*, (2010) efisiensi biofilter aerobik dalam menurunkan amonia adalah sebesar 88%-97% sedangkan pada kondisi eksisting penurunan amonia adalah 13%. Oleh karena itu dilakukan perhitungan kebutuhan oksigen agar biofilter aerobik dapat bekerja secara optimal.

Diketahui:

|      |                                     |
|------|-------------------------------------|
| Yobs | = 0,5 kg VSS/kg BOD                 |
| Kd   | = 0,06/hari                         |
| Yn   | = 0,15 kg VSS/kg NH <sub>4</sub> -N |
| Kdn  | = 0,08/hari                         |
| SRT  | = 0,933 hari                        |
| Q    | = 360 m <sup>3</sup> /hari          |

$$\begin{aligned}
\text{BOD influen} &= 160,4 \text{ mg/L} \\
\text{BOD efluen} &= 17,4 \text{ mg/L} \\
\text{NH}_3 \text{ influen} &= 154,94 \text{ mg/L} \\
\text{NH}_3 \text{ removal (direncanakan)} &= 93\% \\
\text{NH}_3 \text{ efluen} &= (100\% - 93\%) \times 154,94 \text{ mg/L} \\
&= 10,84 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
\text{Px} &= \frac{Q \times (S_o - S_e) \times Y}{1 + K_d \times SRT} \\
&= \frac{360 \text{ m}^3/\text{hari} \times \left(160,4 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 17,4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) / 1000 \times 0,5}{1 + (0,06 \times 0,9333)} \\
&= 24,375 \text{ kg/hari} \\
\text{NOx} &= \text{NH}_3 \text{ influen} - \text{NH}_3 \text{ efluen} \\
&= (154,94 \text{ mg/L} - 10,84 \text{ mg/L}) / 1000 \\
&= 0,144 \text{ kg/m}^3 \\
\text{Pxn} &= \frac{Q \times \text{NOx} \times Y_n}{1 + K_{dn} \times SRT} \\
&= \frac{360 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,144 \text{ kg/m}^3 \times 0,15}{1 + 0,08 \times 0,9333} \\
&= 7,24 \text{ kg/hari} \\
\text{Px bio} &= \text{Px} + \text{Pxn} \\
&= 24,375 \text{ kg/hari} + 7,24 \text{ kg/hari} \\
&= 31,615 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

Selanjutnya diperlukan perhitungan koreksi untuk produksi NOx dengan cara melakukan iterasi hingga nilai NOx dan Px konsisten. Hal ini dilakukan karena pertumbuhan mikroorganisme memanfaatkan sebagian kandungan N.

$$\begin{aligned}
\text{NOx koreksi} &= \text{Nox} - (0,12 \text{ Px bio} / Q) \\
&= 0,144 \text{ kg/m}^3 - (0,12 \times 31,615 \text{ kg/hari} / 360 \text{ m}^3/\text{hari}) \\
&= 0,133 \text{ kg/m}^3 \\
\text{Pxn iterasi} &= \frac{Q \times \text{NOx} \times Y_n}{1 + K_{dn} \times SRT} \\
&= \frac{360 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,133 \text{ kg/m}^3 \times 0,15}{1 + 0,08 \times 0,9333} \\
&= 6,71 \text{ kg/hari} \\
\text{Px bio iterasi} &= \text{Px} + \text{Pxn iterasi} \\
&= 24,375 \text{ kg/hari} + 6,71 \text{ kg/hari} \\
&= 31 \text{ kg/hari} \\
\text{Px bio digunakan} &= 31 \text{ kg/hari} \\
\text{NOx digunakan} &= 0,133 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan kebutuhan oksigen dan kebutuhan udara

$$\begin{aligned}
\text{Ro} &= [Q(S_o - S_e)] - (1,42 \text{ Px bio}) + (4,57 \text{ NOx} \times Q) \\
&= [360 \text{ m}^3/\text{hari} (160,4 \text{ mg/L} - 17,4 \text{ mg/L}) / 1000] - (1,42 \times 31 \\
&\quad \text{kg/hari}) + (4,57 \times 0,133 \text{ kg/m}^3 \times 360 \text{ m}^3/\text{hari}) \\
&= 240,72 \text{ kg O}_2/\text{hari} \\
\rho \text{ udara} &= 1,17 \text{ kg/m}^3 \\
\text{Efisiensi blower} &= 25\% \\
\text{(SOTE)} &
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
\% \text{Oksigen dalam udara} &= 23,2\% \\
\text{Jumlah kebutuhan udara} &= \frac{\text{Kebutuhan oksigen}}{\rho \text{ udara} \times \text{SOTE} \times \% \text{O}_2} \\
&= \frac{240,72}{1,17 \times 25\% \times 23,2\%} \\
&= 2981,69 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 2981,69 \text{ m}^3/\text{hari} / 1,44 \\
&= 2070,62 \text{ L}/\text{menit}
\end{aligned}$$

#### 4.6.3 Hasil Analisis Kinerja

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa beban organik yang masuk ke biofilter aerobik masih di bawah kriteria desain. Berdasarkan Lampiran II Peraturan Menteri PUPR Nomor 04 Tahun 2017, beban organik menyatakan banyaknya senyawa organik dalam air limbah yang didegradasi pada unit biofilter per unit volume per hari. Apabila nilai OLR kurang dari kriteria maka disebut *under design* yang berarti beban organik terlalu rendah hingga menyebabkan terjadinya *autolysis* atau bakteri saling memakan sesamanya untuk memenuhi kebutuhan nutrisi. Sedangkan apabila nilai OLR melebihi kriteria desain maka disebut *over design* yang berarti terlalu banyak beban organik. Hal ini dapat mengganggu proses degradasi pencemar organik karena hasil penguraian yang tidak optimal menyebabkan kondisi toksik yang dapat mematikan bakteri (Sasse, 1998).

Hasil perhitungan untuk HRT (*Hydraulic Retention Time*) membuktikan bahwa rangkaian biofilter anaerobik memenuhi kriteria desain yaitu 22,4 jam atau 0,93 hari, sama seperti unit biofilter anaerobik sebelumnya. Waktu detensi yang terlalu pendek mengurangi waktu kontak antara air limbah, oksigen dan media sehingga menyebabkan tidak meratanya nutrisi pada biofilm. Sedangkan untuk perhitungan HLR unit biofilter aerobik sudah memenuhi kriteria desain yaitu  $< 2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$  sehingga tidak terjadi penggerusan yang berpotensi melepaskan biofilm dari media.

Untuk kebutuhan oksigen dari hasil perhitungan dapat dinyatakan bahwa kandungan  $\text{O}_2$  masih belum cukup untuk mendegradasi pencemar organik terutama amonia. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan kebutuhan udara yaitu 2070,62 L/menit yang berarti cukup jauh di atas kondisi eksisting yaitu 1200 L/menit. Apabila kandungan oksigen terlarut masih kurang maka akan menyebabkan mikroorganisme tidak aktif, namun apabila kandungan oksigen terlalu banyak maka proses metabolisme mikroorganisme terlalu cepat sehingga siklus hidup mikroorganisme menjadi pendek. Hasil analisis kinerja unit biofilter aerobik dapat disimpulkan pada tabel berikut

Tabel 4. 5 Hasil Analisis Kinerja Biofilter Aerobik

| Parameter Kinerja               | Kondisi Eksisting                         | Kriteria Desain                                | Keterangan     |
|---------------------------------|---|--|----------------|
| <i>Organic Loading Rate</i>     | 0,17 BOD/m <sup>3</sup> .hari             | 0,5-4 kg BOD/m <sup>3</sup> .hari              | Tidak Memenuhi |
| <i>Hydraulic Retention Time</i> | 0,933 hari                                | 12-24 jam                                      | Memenuhi       |
| <i>Hydraulic Loading Rate</i>   | 0,16 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari | $< 2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$ | Memenuhi       |

#### 4.6.4 Rekomendasi

Rekomendasi yang dapat diberikan untuk unit biofilter aerobik adalah melakukan penggantian blower yang dapat menyuplai udara total sebesar 2070,62 L/menit. Apabila terdapat delapan unit biofilter maka kebutuhan blower adalah:

|                           |   |                          |
|---------------------------|---|--------------------------|
| Jumlah biofilter          | = | 8 unit                   |
| Kebutuhan udara total     | = | 2070,62 L/menit          |
| Kebutuhan udara tiap unit | = | 2070,62 L/menit / 8 unit |
|                           | = | 258,82 L/menit           |

Langkah selanjutnya adalah menentukan tipe blower yang sesuai dengan perhitungan kebutuhan udara. Pada perencanaan ini digunakan 8 blower dengan merek yang sama namun kapasitas yang lebih besar yaitu Yasunaga Air Pump LW-240. Tidak perlu dilakukan penggantian pipa yang menyalurkan udara ke dalam air karena ukuran pipa outlet blower masih sama dengan blower eksisting. Blower yang dipilih dalam perencanaan ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 6 Blower Yasunaga LW-240

Spesifikasi dari blower yang digunakan adalah sebagai berikut:

|                 |   |             |
|-----------------|---|-------------|
| Debit udara     | = | 240 L/menit |
| Berat           | = | 14,1 kg     |
| Power           | = | 250 W       |
| Diameter outlet | = | 26 mm       |

#### 4.7 Unit Bak Penampung

Setelah air limbah sudah terolah sengan biofilter aerobik, maka air akan memasuki bak penampung. Bak penampung berfungsi untuk menampung sementara air limbah sebelum disalurkan menuju biofilter anaerobik akhir. Air limbah bisa saja langsung dialirkan menuju unit selanjutnya, namun karena adanya keterbatasan lahan membuat jarak unit selanjutnya cukup jauh dari biofilter aerobik dan menyebabkan pipa penyalur air limbah cukup panjang. Oleh karena itu dibuatlah bak penampung untuk menjaga kecepatan aliran air dan agar air limbah tidak menggenang di dalam pipa. Pipa yang digunakan untuk menyalurkan air limbah adalah pipa berukuran 8 inci atau 20,32 cm sepanjang 23 m. berikut ini adalah perhitungan waktu detensi dari bak penampung

$$Q \text{ rata-rata} = 360 \text{ m}^3/\text{hari}$$

|               |   |   |
|---------------|---|---|
| Q maks        | = | 414 m <sup>3</sup> /hari                    |
| Panjang       | = | 5 m   |
| Lebar         | = | 3 m   |
| Kedalaman air | = | 3 m   |
| Volume        | = | p x l x h                                   |
|               | = | 5m x 3m x 3m                                |
|               | = | 45 m <sup>3</sup>                           |
| td            | = | Volume/Qmaks                                |
|               | = | 45 m <sup>3</sup> /414 m <sup>3</sup> /hari |
|               | = | 0,1 hari                                    |
|               | = | 2,4 jam                                     |

#### 4.8 Unit Biofilter Anaerobik Akhir

Setelah air limbah dialirkan dari bak penampung maka air limbah akan masuk ke unit biofilter anaerobik akhir. Terdapat tujuh buah reaktor yang dirangkai seri dengan masing-masing reaktor berkapasitas 32 m<sup>3</sup>, memiliki kedalaman 3,7 m, berbentuk tabung dengan bahan FRP (*Fiber Reinforced Plastic*) sama seperti unit biofilter sebelumnya. Satu unit biofilter bekerja seperti satu kompartemen biofilter anaerobik. Media yang digunakan masih sama dengan unit-unit sebelumnya yaitu media filter jenis sarang tawon dengan bahan plastik. Terdapat 4 *manhole* pada bagian atas reaktor, 2 *manhole* berfungsi sebagai tempat memantau air limbah yang diolah, sedangkan 2 *manhole* lainnya adalah tempat meletakkan *casing* atau penyangga media. Masing-masing penyangga berisi 21 media sarang tawon, sehingga setiap unit biofilter berisi 42 media sarang tawon yang diletakkan secara bersusun.

##### 4.8.1 Efisiensi Removal

- **BOD (Biological Oxygen Demand)**

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| Influen           | = | 17,4 mg/L   |
| Efluen            | = | 3,9 mg/L  |
| Efisiensi Removal | = | $\frac{(Influen - Efluen)}{Influen} \times 100\%$ |
|                   | = | $\frac{(17,4 - 3,9)}{17,4} \times 100\%$          |
|                   | = | 78%   |

- **COD (Chemical Oxygen Demand)**

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| Influen           | = | 64,9 mg/L   |
| Efluen            | = | 43,2 mg/L   |
| Efisiensi Removal | = | $\frac{(Influen - Efluen)}{Influen} \times 100\%$ |
|                   | = | $\frac{(64,9 - 43,2)}{64,9} \times 100\%$         |
|                   | = | 33%   |

- **TSS (Total Suspended Solid)**

|         |   |         |
|---------|---|---------|
| Influen | = | 56 mg/L |
| Efluen  | = | 21 mg/L |

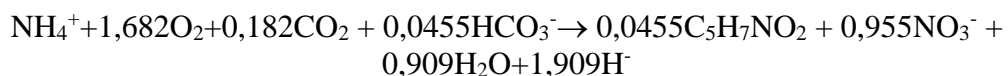
$$\begin{aligned}
\text{Efisiensi Removal} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\
&= \frac{(56 - 21)}{56} \times 100\% \\
&= 63\%
\end{aligned}$$

- **Amonia**

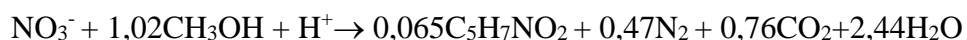
$$\begin{aligned}
\text{Influen} &= 135,01 \text{ mg/L} \\
\text{Efluen} &= 120,39 \text{ mg/L} \\
\text{Efisiensi Removal} &= \frac{(\text{Influen} - \text{Efluen})}{\text{Influen}} \times 100\% \\
&= \frac{(135,01 - 120,39)}{154,94} \times 100\% \\
&= 10\%
\end{aligned}$$

#### 4.8.2 Analisis Kinerja Unit

Air limbah yang telah ditampung dalam bak penampung kemudian dialirkan melalui pipa yang memiliki diameter 8 inci atau 20,32 cm menuju biofilter anaerobik akhir. Kembalinya air limbah dari proses aerobik ke proses pengolahan secara anaerobik atau anoxic berkaitan dengan penyisihan kandungan amonia secara biologis. Kandungan amonia dapat diturunkan melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Reaksi kimia aerobik seperti yang terjadi pada biofilter aerobik berperan mengonversi amonia menjadi nitrit,  $\text{NO}_2^-$  dan nitrat sedangkan reaksi kimia anaerobik pada biofilter anaerobik akhir berperan mengonversi nitrit dan nitrat menjadi  $\text{N}_2$  dan gas nitrogen bebas. Berdasarkan Reynolds dan Richards, (1996) proses nitrifikasi melibatkan bakteri aerob autotrof yaitu *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. *Nitrosomonas* mengkonversi ion amonia menjadi ion nitrit, sedangkan *Nitrobacter* mengonversi nitrit menjadi nitrat. Proses nitrifikasi membutuhkan oksigen terlarut sebesar 4,6 mg untuk setiap mg amonia yang dioksidasi, kemudian diperlukan alkalinitas sebesar 7,1 mg untuk setiap mg amonia yang dioksidasi. Apabila tidak terpenuhi maka proses nitrifikasi akan terhambat. Reaksi kimia nitrifikasi terdapat pada persamaan berikut.



Denitrifikasi adalah proses konversi nitrat menjadi gas nitrogen dalam kondisi *anoxic*. Proses ini melibatkan beberapa bakteri heterotrof fakultatif seperti *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Archromobacter*, dan *Bacillus* yang menggunakan senyawa karbon sebagai sumber energi. Pada kondisi anaerob organisme ini menggunakan nitrit dan nitrat sebagai akseptor elektron akhir yang disebut disimilasi nitrat. Reaksi kimia denitrifikasi terdapat pada persamaan berikut



Analisis kinerja dari unit biofilter anaerobik disesuaikan dengan kriteria desain sebagai berikut:

- Waktu tinggal hidrolik = 0,5-4 hari
- Beban organik = 0,2-15 kg COD/m<sup>3</sup>.hari
- HLR = <2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari (Metcalf & Eddy, 2003)

Adapun data dan perhitungan untuk menganalisis kinerja dari setiap unit biofilter anaerobik adalah sebagai berikut:

Diketahui:

|              |   |                          |
|--------------|---|--------------------------|
| Qaverage     | = | 360 m <sup>3</sup> /hari |
| Volume total | = | 7 x 32 m <sup>3</sup>    |
|              | = | 224 m <sup>3</sup>       |
| Kedalaman    | = | 3,7 m                    |
| CODin        | = | 64,9 mg/L                |

- **OLR (Organic Loading Rate) atau Beban Organik**

$$\begin{aligned}
 \text{OLR} &= \frac{Q \times S_o \text{ (COD)}}{V} \\
 &= \frac{360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 64,9 \text{ mg/L}}{224 \text{ m}^3} \\
 &= 0,1 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari (tidak memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- **HRT (Hydraulic Retention Time)**

$$\begin{aligned}
 \text{HRT} &= \frac{V}{\bar{Q}} \\
 &= \frac{224 \text{ m}^3}{360 \text{ m}^3/\text{hari}} \\
 &= 0,62 \text{ hari} \\
 &= 0,62 \times 24 \\
 &= 14,9 \text{ jam (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

- **HLR (Hydraulic Loading Rate)**

$$\begin{aligned}
 \text{HLR} &= \frac{Q}{A} \\
 \text{Luas Alas} &= \frac{\text{Volume}}{\text{Kedalaman}} \\
 &= \frac{224 \text{ m}^3}{(3,7 \text{ m} \times 7)} = 60,54 \text{ m}^2 \\
 \text{HLR} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{360 \text{ m}^3/\text{hari}}{60,54 \text{ m}^2} \\
 &= 5,94 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} \\
 &= 5,94 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari} : 24 \text{ jam} \\
 &= 0,247 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

#### 4.8.3 Hasil Analisis Kinerja

Dari hasil perhitungan diketahui bahwa *organic loading rate* yang masuk ke biofilter anaerobik masih dibawah kriteria desain atau *under design*. Apabila nilai OLR di bawah kriteria maka berpotensi menyebabkan bakteri kekurangan nutrisi sehingga saling memakan sesamanya

dan dapat mempengaruhi efisiensi degradasi pencemar organik. Untuk hasil perhitungan HRT (*Hydraulic Retention Time*) diketahui bahwa rangkaian biofilter anaerobik sudah memenuhi kriteria desain yaitu 14,9 jam atau 0,62 hari. Waktu detensi yang cukup akan membuat degradasi polutan optimal karena waktu kontak antara media dan air limbah cukup sehingga nutrisi pada biofilm merata. Hydraulic loading rate menyatakan besarnya efek penggerusan pada media dan biofilm. Dari hasil perhitungan, HLR unit biofilter anaerobik sudah memenuhi kriteria desain yaitu  $< 2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$  sehingga tidak terjadi penggerusan yang menyebabkan biofilm terlepas dari media. Hasil analisis kinerja unit biofilter anaerobik dapat disimpulkan pada tabel berikut

Tabel 4. 6 Hasil Analisis Kinerja Biofilter Anaerobik

| Parameter Kinerja               | Kondisi Eksisting                          | Kriteria Desain                                | Keterangan     |
|---------------------------------|--|--|----------------|
| <i>Organic Loading Rate</i>     | 0,1 kg COD/m <sup>3</sup> .hari            | 0,2-15 kg COD/m <sup>3</sup> .hari             | Tidak Memenuhi |
| <i>Hydraulic Retention Time</i> | 0,62 hari                                  | 0,5-4 hari                                     | Memenuhi       |
| <i>Hydraulic Loading Rate</i>   | 0,247 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari | $< 2 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$ | Memenuhi       |

#### 4.8.4 Rekomendasi

Rekomendasi yang dapat diberikan untuk unit biofilter anaerobik akhir ini adalah terkait dengan OLR. Karena pada perencanaan ini sebisa mungkin tidak mengubah volume reaktor maka direncanakan ulang debit air limbah yang masuk ke biofilter anaerobik akhir. Unit ini direncanakan mengolah air limbah dengan debit maksimum kapasitas IPAL yaitu sebesar 550 m<sup>3</sup>/hari. Dengan debit ini akan dilakukan pengecekan kembali kesesuaian nilai OLR dengan kriteria desain. berikut adalah perhitungannya

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{maksimum IPAL}} &= 550 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Volume total} &= 7 \times 32 \text{ m}^3 \\
 &= 224 \text{ m}^3 \\
 \text{Kedalaman} &= 3,7 \text{ m} \\
 \text{CODin} &= 64,9 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{OLR} &= \frac{Q \times S_0 \text{ (COD)}}{V} \\
 &= \frac{550 \text{ m}^3/\text{hari} \times 64,9 \text{ mg/L}}{224 \text{ m}^3} \\
 &= 0,2 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa nilai OLR memenuhi kriteria desain ketika mengolah air limbah dengan debit IPAL maksimum yaitu 550 m<sup>3</sup>/hari.

#### 4.9 Unit Bak Efluen

Air limbah yang telah melalui semua tahapan pengolahan fisik dan biologis kemudian masuk ke dalam bak efluen. Bak efluen pada IPAL ini berfungsi untuk menampung air limbah yang telah diolah agar bisa dipantau kualitas air limbah dan konsentrasi pencemar yang masih tersisa sebelum dibuang ke Sungai Bengawan Solo. Bak efluen juga dapat digunakan untuk

menambahkan bahan kimia seperti desinfektan apabila diperlukan untuk mengurangi mikroorganisme patogen. Berikut ini adalah perhitungan waktu detensi dari bak efluen

Diketahui:

|               |   |   |
|---------------|---|---|
| Q rata-rata   | = | 360 m <sup>3</sup> /hari                    |
| Q maks        | = | 414 m <sup>3</sup> /hari                    |
| Panjang       | = | 4 m   |
| Lebar         | = | 3 m   |
| Kedalaman air | = | 3 m   |
| Volume        | = | p x l x h                                   |
|               | = | 4m x 3m x 3m                                |
|               | = | 36 m <sup>3</sup>                           |
| td            | = | Volume/Qmaks                                |
|               | = | 36 m <sup>3</sup> /414 m <sup>3</sup> /hari |
|               | = | 0,08 hari                                   |
|               | = | 2 jam                                       |

Dapat disimpulkan bahwa air limbah yang selesai diolah akan ditampung di dalam bak efluen selama dua jam sebelum dialirkan ke Sungai Bengawan Solo. Pipa efluen menuju Sungai Bengawan Solo memiliki ukuran 8 inchi, pada pipa ini sebaiknya dilengkapi dengan *flowmeter* atau alat ukur debit agar debit air limbah yang keluar dari IPAL dapat diketahui secara pasti. Hal ini berkaitan dengan titik penataan yaitu lokasi yang dijadikan acuan untuk pemantauan dalam rangka penataan baku mutu air limbah. Flowmeter bisa bekerja dengan baik apabila air di dalam pipa terisi penuh serta tidak ada sampah yang berpotensi menyumbat pipa. Pipa air limbah yang keluar dari IPAL berukuran 8 inchi sehingga *flowmeter* yang dibutuhkan berukuran sedikit lebih kecil yaitu 6 inchi. Berikut ini adalah *flowmeter* dengan merek SHM



Gambar 4. 7 *Flow meter* SHM 6 inch DN150

Spesifikasi dari flowmeter adalah sebagai berikut:

|                 |   |                          |
|-----------------|---|--------------------------|
| Ukuran          | = | 6 inch DN150             |
| Debit maksimum  | = | 300 m <sup>3</sup> /hari |
| Debit rata-rata | = | 150 m <sup>3</sup> /hari |
| Panjang         | = | 350 mm                   |
| Ketinggian      | = | 384 mm                   |

Berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan pada setiap unit, maka didapatkan hasil analisis kinerja IPAL sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Hasil Evaluasi Unit IPAL

| Unit                      | Kriteria Desain |  | Kondisi Eksisting |  | Keterangan     |
|---------------------------|-----------------|--|-------------------|--|----------------|
| Bak Ekualisasi            | Kedalaman air   | 1-3 m                                    | Kedalaman air     | 1,2 m                                      | Memenuhi       |
|                           | Waktu detensi   | < 2 jam                                  | Waktu detensi     | 1,2 jam                                    | Memenuhi       |
| Biofilter Anaerobik Awal  | OLR             | 0,2-15 kg COD/m <sup>3</sup> .hari       | OLR               | 0,2-15 kg COD/m <sup>3</sup> .hari         | Memenuhi       |
|                           | HRT             | 0,5-4 hari                               | HRT               | 0,5-4 hari                                 | Memenuhi       |
|                           | HLR             | < 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari | HLR               | < 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari   | Memenuhi       |
| Biofilter Aerobik         | OLR             | 0,5-4 kg BOD/m <sup>3</sup> .hari        | OLR               | 0,17 BOD/m <sup>3</sup> .hari              | Tidak Memenuhi |
|                           | HRT             | 12-24 jam                                | HRT               | 0,933 hari                                 | Memenuhi       |
|                           | HLR             | < 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari | HLR               | 0,16 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari  | Memenuhi       |
| Biofilter Anaerobik Akhir | OLR             | 0,2-15 kg COD/m <sup>3</sup> .hari       | OLR               | 0,1 kg COD/m <sup>3</sup> .hari            | Tidak Memenuhi |
|                           | HRT             | 0,5-4 hari                               | HRT               | 0,62 hari                                  | Memenuhi       |
|                           | HLR             | < 2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari | HLR               | 0,247 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari | Memenuhi       |

#### 4.10 Perhitungan Kesetimbangan Massa

Perhitungan *mass balance* atau kesetimbangan massa dalam pengolahan air limbah bertujuan untuk mengetahui besarnya beban pencemar yang mengalami perubahan pada setiap unit bangunan pengolahan air limbah. Diketahui data karakteristik influen air limbah yang masuk ke IPAL adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{average}} &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{BOD} &= 164,3 \text{ mg/L} \\
 &= 164,3 : 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 0,1643 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{COD} &= 684,6 \text{ mg/L} \\
 &= 684,6 : 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 0,6846 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{TSS} &= 247 \text{ mg/L} \\
 &= 247 \text{ mg/L} : 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 0,247 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Amonia} &= 157,82 \text{ mg/L} \\
 &= 157,82 : 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 0,15782 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$



#### 4.10.1 Bak Ekualisasi

- **Beban Organik Influen**

$$\begin{aligned} \text{M BOD} &= Q_{\text{ave}} \times \text{BOD} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,1643 \text{ kg/m}^3 \\ &= 59,148 \text{ kg/hari} \\ \text{M COD} &= Q_{\text{ave}} \times \text{COD} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,6846 \text{ kg/m}^3 \\ &= 246,456 \text{ kg/hari} \\ \text{M TSS} &= Q_{\text{ave}} \times \text{TSS} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,247 \text{ kg/m}^3 \\ &= 88,92 \text{ kg/hari} \\ \text{M Amonia} &= Q_{\text{ave}} \times \text{Amonia} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,15782 \text{ kg/m}^3 \\ &= 56,81 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- **Beban Organik Tersisihkan**

Diketahui efisiensi removal dari unit bak ekualisasi adalah 0% yang berarti tidak ada beban organik yang tersisihkan pada unit bak ekualisasi sehingga beban organik dari efluen bak ekualisasi sama dengan beban organik influen.

#### 4.10.2 Biofilter Anaerobik Awal

Diketahui data karakteristik air limbah influen biofilter anaerobik 1 adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} Q_{\text{average}} &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{BOD} &= 164 \text{ mg/L} \\ \text{COD} &= 684,6 \text{ mg/L} \\ \text{TSS} &= 247 \text{ mg/L} \\ \text{Amonia} &= 157,82 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- **Beban Organik Influen**

$$\begin{aligned} \text{M BOD} &= Q_{\text{ave}} \times \text{BOD} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 164 \text{ mg/L} / 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 59,148 \text{ kg/hari} \\ \text{M COD} &= Q_{\text{ave}} \times \text{COD} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 684,6 \text{ mg/L} / 1000 \\ &\quad \text{kg/m}^3 \\ &= 246,456 \text{ kg/hari} \\ \text{M TSS} &= Q_{\text{ave}} \times \text{TSS} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 247 \text{ mg/L} / 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 88,92 \text{ kg/hari} \\ \text{M Amonia} &= Q_{\text{ave}} \times \text{Amonia} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 157,82 \text{ mg/L} / 1000 \\ &\quad \text{kg/m}^3 \\ &= 56,81 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- **Beban Organik Tersisihkan**

Diketahui % removal pada unit anaerobik biofilter 1 untuk BOD adalah 2%, COD 54%, TSS 45% dan amonia 2%. Maka beban organik yang tersisihkan dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{M BOD} &= \% \text{removal} \times \text{M BOD influen} \\
 &= 2\% \times 59,148 \text{ kg/hari} \\
 &= 1,404 \text{ kg/hari} \\
 \text{M COD} &= \% \text{removal} \times \text{M COD influen} \\
 &= 54\% \times 246,456 \text{ kg/hari} \\
 &= 133,596 \text{ kg/hari} \\
 \text{M TSS} &= \% \text{removal} \times \text{M TSS Influen} \\
 &= 45\% \times 88,92 \text{ kg/hari} \\
 &= 40,32 \text{ kg/hari} \\
 \text{M Amonia} &= \% \text{removal} \times \text{M Amonia influen} \\
 &= 2\% \times 56,81 \text{ kg/hari} \\
 &= 1,036 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

- **Beban Organik Efluen**

$$\begin{aligned}
 \text{M BOD} &= \text{M BOD influen} - \text{M BOD tersisihkan} \\
 &= 59,148 \text{ kg/hari} - 1,404 \text{ kg/hari} \\
 &= 57,74 \text{ kg/hari} \\
 \text{M COD} &= \text{M COD influen} - \text{M COD tersisihkan} \\
 &= 246,456 \text{ kg/hari} - 133,596 \text{ kg/hari} \\
 &= 112,86 \text{ kg/hari} \\
 \text{M TSS} &= \text{M TSS influen} - \text{M TSS tersisihkan} \\
 &= 88,92 \text{ kg/hari} - 40,32 \text{ kg/hari} \\
 &= 48,6 \text{ kg/hari} \\
 \text{M Amonia} &= \text{M Amonia influen} - \text{M Amonia tersisihkan} \\
 &= 56,81 \text{ kg/hari} - 1,036 \text{ kg/hari} \\
 &= 55,77 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

#### 4.10.3 Biofilter Aerobik

Diketahui karakteristik influen biofilter aerobik adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q \text{ average} &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{BOD} &= 160,4 \text{ mg/L} \\
 \text{COD} &= 313,5 \text{ mg/L} \\
 \text{TSS} &= 135 \text{ mg/L} \\
 \text{Amonia} &= 154,94 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

- **Beban organik Influen**

$$\begin{aligned}
 \text{M BOD} &= Q_{\text{ave}} \times \text{BOD} \\
 &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 160,4 \text{ mg/L} / 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 57,744 \text{ kg/hari} \\
 \text{M COD} &= Q_{\text{ave}} \times \text{COD} \\
 &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 313,5 \text{ mg/L} / 1000 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 112,86 \text{ kg/hari} \\
 \text{M TSS} &= Q_{\text{ave}} \times \text{TSS} \\
 &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 135 \text{ mg/L} / 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 48,6 \text{ kg/hari} \\
 \text{M Amonia} &= Q_{\text{ave}} \times \text{Amonia} \\
 &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 154,94 \text{ mg/L} / 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 55,77 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

- **Beban Organik Tersisihkan**

Diketahui % removal pada unit aerobik biofilter untuk BOD adalah 89%, COD 79%, TSS 59% dan amonia 13%. Maka beban organik yang tersisihkan dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{M BOD} &= \% \text{removal} \times \text{M BOD influen} \\
 &= 89\% \times 57,744 \text{ kg/hari} \\
 &= 51,48 \text{ kg/hari} \\
 \text{M COD} &= \% \text{removal} \times \text{M COD influen} \\
 &= 79\% \times 112,86 \text{ kg/hari} \\
 &= 89,496 \text{ kg/hari} \\
 \text{M TSS} &= \% \text{removal} \times \text{M TSS Influen} \\
 &= 59\% \times 48,6 \text{ kg/hari} \\
 &= 28,44 \text{ kg/hari} \\
 \text{M Amonia} &= \% \text{removal} \times \text{M Amonia influen} \\
 &= 13\% \times 55,77 \text{ kg/hari} \\
 &= 7,175 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

- **Beban Organik Efluen**

$$\begin{aligned}
 \text{M BOD} &= \text{M BOD influen} - \text{M BOD tersisihkan} \\
 &= 57,744 \text{ kg/hari} - 51,48 \text{ kg/hari} \\
 &= 6,264 \text{ kg/hari} \\
 \text{M COD} &= \text{M COD influen} - \text{M COD tersisihkan} \\
 &= 112,86 \text{ kg/hari} - 89,496 \text{ kg/hari} \\
 &= 23,36 \text{ kg/hari} \\
 \text{M TSS} &= \text{M TSS Influen} - \text{M TSS tersisihkan} \\
 &= 48,6 \text{ kg/hari} - 28,44 \text{ kg/hari} \\
 &= 20,16 \text{ kg/hari} \\
 \text{M Amonia} &= \text{M Amonia influen} - \text{M Amonia tersisihkan} \\
 &= 55,77 \text{ kg/hari} - 7,175 \text{ kg/hari} \\
 &= 48,6 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

#### 4.10.4 Biofilter Anaerobik Akhir

Diketahui karakteristik influen biofilter anaerobik kedua adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{average}} &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{BOD} &= 17,4 \text{ mg/L} \\
 \text{COD} &= 64,9 \text{ mg/L} \\
 \text{TSS} &= 56 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\text{Amonia} = 135,01 \text{ mg/L}$$

- **Beban organik Influen**

$$\begin{aligned} \text{M BOD} &= \text{Qave} \times \text{BOD} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 17,4 \text{ mg/L} / 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 6,242 \text{ kg/hari} \\ \text{M COD} &= \text{Qave} \times \text{COD} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 64,9 \text{ mg/L} / 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 23,364 \text{ kg/hari} \\ \text{M TSS} &= \text{Qave} \times \text{TSS} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 56 \text{ mg/L} / 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 20,16 \text{ kg/hari} \\ \text{M Amonia} &= \text{Qave} \times \text{Amonia} \\ &= 360 \text{ m}^3/\text{hari} \times 135,01 \text{ mg/L} / 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 48,60 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- **Beban Organik Tersisihkan**

Diketahui % removal pada unit biofilter anaerobik kedua untuk BOD adalah 78%, COD 33%, TSS 63% dan amonia 11%. Maka beban organik yang tersisihkan dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

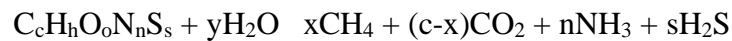
$$\begin{aligned} \text{M BOD} &= \% \text{removal} \times \text{M BOD influen} \\ &= 78\% \times 6,242 \text{ kg/hari} \\ &= 4,86 \text{ kg/hari} \\ \text{M COD} &= \% \text{removal} \times \text{M COD influen} \\ &= 33\% \times 23,364 \text{ kg/hari} \\ &= 7,812 \text{ kg/hari} \\ \text{M TSS} &= \% \text{removal} \times \text{M TSS Influen} \\ &= 63\% \times 20,16 \text{ kg/hari} \\ &= 12,6 \text{ kg/hari} \\ \text{M Amonia} &= \% \text{removal} \times \text{M Amonia influen} \\ &= 11\% \times 48,60 \text{ kg/hari} \\ &= 5,26 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- **Beban Organik Efluen**

$$\begin{aligned} \text{M BOD} &= \text{M BOD influen} - \text{M BOD Tersisihkan} \\ &= 6,242 \text{ kg/hari} - 4,86 \text{ kg/hari} \\ &= 1,404 \text{ kg/hari} \\ \text{M COD} &= \text{M COD influen} - \text{M COD Tersisihkan} \\ &= 23,364 \text{ kg/hari} - 7,812 \text{ kg/hari} \\ &= 15,55 \text{ kg/hari} \\ \text{M TSS} &= \text{M TSS Influen} - \text{M TSS Tersisihkan} \\ &= 20,16 \text{ kg/hari} - 12,6 \text{ kg/hari} \\ &= 7,56 \text{ kg/hari} \\ \text{M Amonia} &= \text{M Amonia influen} - \text{M Amonia Tersisihkan} \\ &= 48,60 \text{ kg/hari} - 5,26 \text{ kg/hari} \\ &= 43,34 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

#### 4.11 Potensi Biogas pada Pengolahan Anaerobik

Pengolahan air limbah secara anaerobik menghasilkan produk samping yaitu gas metana (CH<sub>4</sub>) melalui proses metanogenesis. Gas metana digunakan sebagai sumber biogas yang dapat dijadikan sumber energi ramah lingkungan. Gas metana yang terkandung pada biogas memiliki nilai kalor yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak seperti gas LPG. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan potensi gas metana yang dihasilkan pada pengolahan anaerobik. Biogas dapat terbentuk sesuai dengan persamaan reaksi kimia berikut



$$x = 1/8 \cdot (4c + h - 2o - 3n - 2s)$$

$$y = 1/4 \cdot (4c - h - 2o - 3n + 2s)$$

Pembentukan biogas terdiri dari beberapa proses yaitu

- Hidrolisis

Hidrolisis merupakan awal dari proses anaerobik yang menguraikan bahan organik seperti lemak, protein dan karbohidrat menjadi bentuk yang lebih sederhana yaitu glukosa, asam amino dan *fatty acids*

- Asidogenesis

Asidogenesis merupakan proses yang menguraikan atau memfermentasikan hasil produk hidrolisis menjadi *volatile fatty acids* seperti asam asetat, asam butirat dan asam propionat. Selain itu proses ini juga menghasilkan alkohol dan karbon dioksida.

- Asetogenesis

Pada proses ini *volatile fatty acids* diubah menjadi asetat, hidrogen dan karbon dioksida.

- Metanogenesis

Tahap ini merupakan tahap akhir pembentukan biogas. Substrat yang dapat terdegradasi oleh bakteri metanogenik adalah CO<sub>2</sub>, metil dan asetil. Bakteri metanogenik dapat menghasilkan gas metana, karbon dioksida, sedikit gas H<sub>2</sub>S dan air.

Berikut ini adalah perhitungan potensi gas metana serta biogas yang dihasilkan pada unit pengolahan anaerobik.

**Diketahui:**

Y = 0,06 VSS/gCOD

Q = 360 m<sup>3</sup>/hari

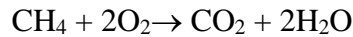
COD in = 684,6 mg/L  
= 246,45 kg/hari

COD ef = 313,5 mg/L  
= 112,86 kg/hari

Mr CH<sub>4</sub> = 64

### Perhitungan COD Metana

COD metana merupakan jumlah keseluruhan oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi CH<sub>4</sub> menjadi CO<sub>2</sub> dan air seperti pada persamaan reaksi kimia berikut



$$\begin{aligned}\text{COD vss} &= 1,42 \times Y \times (\text{CODin} - \text{CODef}) \\ &= 1,42 \times 0,06 \times (684,6\text{mg/L} - 313,5\text{mg/L}) \\ &= 1,42 \times 0,06 \times 371,1 \text{ mg/L} \\ &= 31,617 \text{ g/hari} \\ \text{COD metana} &= \text{CODin} - \text{CODef} - \text{CODvss} \\ &= 246,456 \text{ kg/hari} - 112,86 \text{ kg/hari} - 0,0316 \text{ kg/hari} \\ &= 133,56 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

### Perhitungan Biogas

$$\begin{aligned}T &= 28 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 301,15 \text{ }^\circ\text{K} \\ \text{Konstanta gas (R)} &= 0,082057 \text{ atm.L/mol.K} \\ \text{Mol gas (n)} &= 1 \text{ mol} \\ \text{Tekanan gas (P)} &= 1 \text{ atm} \\ \text{Volume gas} &= \frac{n \times R \times T}{p} \\ &= \frac{1 \times 0,082057 \times 301,15}{1} \\ &= 24,71 \text{ L/mol} \\ \text{Produksi CH}_4 &= (\text{V gas} / \text{mr CH}_4) \times \text{COD metana} \\ &= (24,71/64) \times 133,56 \text{ kg/hari} \\ &= 51,57 \text{ kg/hari} \\ &= 51,57 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

Berdasarkan Sasse, 1998 sebanyak 70% dari COD tersisihkan akan menjadi gas metana, kemudian 50% dari gas metana tersebut larut dalam air sehingga produksi biogas yaitu

$$\begin{aligned}\text{Produksi Biogas} &= \text{Produksi metana} / 0,7 \times 0,5 \\ &= 51,57 \text{ m}^3/\text{hari} / 0,7 \times 0,5 \\ &= 36,83 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

#### 4.12 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan rencana anggaran biaya pada tugas akhir ini sesuai dengan rekomendasi yang diberikan untuk peningkatan kinerja IPAL. Rekomendasi yang diberikan antara lain pemasangan *flow meter* pada influen IPAL serta penggantian *blower* atau *aerator* pada unit biofilter aerobik.

Tabel 4. 8 Perhitungan RAB Perencanaan

| No | Peralatan            | Satuan | Jumlah | Biaya Satuan | Biaya        |
|----|----------------------|--------|--------|--------------|--------------|
| 1  | Pipa HDPE 6 inch     | Meter  | 2      | Rp 239.800   | Rp 479.600   |
| 2  | Reducer 8 x 6" inch  | Unit   | 1      | Rp 493.000   | Rp 493.000   |
| 3  | Flowmeter SHM 6 inch | Unit   | 1      | Rp 9.000.000 | Rp 9.000.000 |

| <b>No</b>          | <b>Peralatan</b>            | <b>Satuan</b> | <b>Jumlah</b> | <b>Biaya Satuan</b> | <b>Biaya</b>         |
|--------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------------|----------------------|
| 4                  | Yasunaga Air Pump<br>LW-240 | Unit          | 8             | Rp 5.975.000        | Rp 47.800.000        |
| <b>Total Biaya</b> |                             |               |               |                     | <b>Rp 57.772.600</b> |

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka biaya yang dibutuhkan untuk rekomendasi peningkatan efisiensi IPAL yaitu sebesar Rp 57.772.600

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari evaluasi kinerja IPAL ini dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. IPAL Industri Tahu dan Domestik Ledok Kulon Bojonegoro sangat efektif dalam menurunkan BOD, COD, dan TSS. Namun belum efektif untuk menurunkan kadar amonia. Efisiensi removal keseluruhan unit IPAL untuk parameter BOD mencapai 98%, COD 94%, TSS 91% dan amonia sebesar 24%
2. Unit biofilter aerobik belum bekerja secara maksimal karena terdapat kerusakan pada blower sehingga suplai udara dalam air limbah kurang. Hal itu menyebabkan proses penyisihan amonia tidak optimal sehingga rekomendasi yang dapat diberikan adalah melakukan penggantian blower dengan kapasitas transfer udara yang lebih besar yaitu 240 liter/menit setiap unit untuk mengoptimalkan penyisihan amonia dengan proses nitrifikasi.
3. Untuk meningkatkan efisiensi pengolahan IPAL, dibutuhkan biaya sebesar Rp 57.772.600

#### **5.2. Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk tugas akhir ini serta meningkatkan kinerja IPAL adalah:

1. Sebaiknya dilakukan penggantian blower dengan kapasitas transfer oksigen yang lebih besar yaitu untuk memaksimalkan proses degradasi pencemar secara aerobik. Selain itu sebaiknya dilakukan pemasangan *flowmeter* pada pipa efluen IPAL menuju titik pembuangan agar debit air terolah dapat diketahui secara pasti.
2. Dalam mengevaluasi IPAL tidak hanya mengukur parameter baku mutu saja tetapi juga kandungan *dissolved oxygen*, MLSS, serta alkalinitas untuk mengetahui efektivitas proses pengolahan secara aerobik.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Atima. (2015). BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah. *Jurnal Biology Science & Education*, 4(1), 85-93.
- Djayanti. (2015). Kajian Penerapan Produksi Bersih Di Industri Tahu Di Desa Jimbaran, Bandungan, Jawa Tengah. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 6(2), 75-80.
- Hamid, N.S.A., Malek, N.A.C., Mokhtar, H.M., Mazlan, W.S., Tajuddin, R.M. (2016). Removal Of Oil And Grease From Wastewater Using Natural Adsorbents. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)* 97–102.
- Hartini,S., Ramadan,B.S., Purwaningsih, R., Sumiyati, S., Kesuma, M.A.A. (2021). Environmental impact assessment of tofu production process: case study in SME Sugihmanik, Grobogan. *International Conference on Environmental and Sustainability Context*.
- Hendrawani., Hatimah, H., Hulyadi. (2021). Increase in Macro Nutrients by Adding Banana Waste to Liquid Organic Fertilizer. *Jurnal Ilmiah Mandala Education*, 7(3), 2442-9511.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2019). *Pedoman Teknologi Biofilter Untuk Mengolah Air Limbah Di Puskesmas*. Jakarta.
- Khaliq. (2015). Analisis Sistem Pengolahan Air Limbah Pada Kelurahan Kelayan Luar Kawasan IPAL Pekapuran Raya PD PAL Kota Banjarmasin. *Jurnal POROS TEKNIK* 7(1), 1-53.
- Kusumawati, I.G.A.W., Cahyanto, M.N., Rahayu, E.S. (2011). Modifikasi Pengolahan Limbah Cair Tahu Di CV Kitagama Secara Anaerobik. *Prosiding Seminar Nasional Prodi Biologi . F. MIPA UNHI*. 247-252
- Kusumawati, K., Muhartini, S., Rogomulyo, R. (2015). Pengaruh Konsentrasi Dan Frekuensi Pemberian Limbah Tahu Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Bayam (*Amaranthus tricolor*L.) Pada Media Pasir Pantai. *Vegetalika*, 4(2), 48-62.
- Metcalf., dan Eddy. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. Inc. Fourth Edition, International Edition. McGraw - Hill Companies, Inc. New York.
- Pamungkas. (2017). Pengolahan Tipikal Instalasi Ppengolahan Air Limbah Industri Tahu di Kota Surabaya. *Jurnal Teknik ITS* 6(2).
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. (2013). *Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya*. Surabaya.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016. (2016). *Baku Mutu Air Limbah Domestik*. Jakarta.
- Said, N. I. (2000). Teknologi Pengolahan Air limbah dengan Proses Biofilm Tercelup. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 1(2). 101-113.
- Sasse, L. (1998). *DEWATS. Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries*. Bremen: Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA).

Sayow, F., Polii, B.V.J., Tilaar, W., Augustine, K.D. (2020). Analisis Kandungan Limbah Industri Tahu Dan Tempe Rahayu Di Kelurahan Uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten Minahasa. *Agrisocioekonomi: Jurnal Transdisiplin Pertanian (Budidaya Tanaman, Perkebunan, Kehutanan, Peternakan, Perikanan), Sosial dan Ekonomi*, 16(2), 245-252.

Suriawiria. (1996). *Air dalam Kehidupan dan Lingkungan yang Sehat*. Bandung: Alumni

Wei, X. M., C. Lin., N. Duan., Y. X. Peng., Z. Y. Ye. (2010). Application of aerobic biological filter for treating swine farms wastewater. *Procedia Engineering*.

## **LAMPIRAN**



UTA-S1-TL-02  
 Periode: Ganap 2021/2022

Kode/SKS : RE1B4B04 (0/6/0)  
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02  
 Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing  
 Ujian Tugas Akhir

Nilai TOEFL 483

Hari, tanggal : Kamis, 7 Juli 2022  
 Pukul : 09.15-10.30 WIB  
 Lokasi : TL-101  
 Judul : Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Kabupaten Bojonegoro

Nama : Ta'isa Nur Filhriani  
 NRP. : 03211840000053  
 Topik : Perencanaan

Tanda Tangan

Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir

| No./Hal. |                            |
|----------|----------------------------|
| 1.       | Pekomendasi dikaji kembali |
| 2.       | Penulisan diperbaiki       |

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana  
 Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing  
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing  
 Alfan Purnomo, ST., MT.

51.TL-03  
 2021-2022

TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
 Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
 Ujian Tugas Akhir

Tanggal : Kamis, 7 Juli 2022  
 Waktu : 09.15-10.30 WIB  
 Lokasi : TL-101  
 Judul : Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Kabupaten Bojonegoro  
 Nama : Tarisa Nur Filhriani  
 NRP. : 03211840000063  
 Topik : Perencanaan

Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir

- | No. Hal. | Pertanyaan dan Saran                                     |
|----------|--|
| 1a       | Ada beberapa tanda baca yg masih salah.                  |
| 1b       | tujuannya ya evaluasi.                                   |
| 2.       | Mengapa ada sampah & persediaan blower?                  |
| 3.       | Terus amoniak mau diapakan?                              |
| 4.       | 57 juta mau diapakan?                                    |
| 5.       | Hal 13 → TA?   |
| 6.       | Hal <del>13</del> → pindah hal.                          |
| 7.       | Ada tabel evaluasi masing <sup>2x</sup> unit.<br>di IPAL |
| -        | Hal ppt → aliran diperkecil                              |
| -        | Hal 18 → results & discussion                            |
| -        | ada nama bakteri di vitrifikan & identifikasi            |

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
 Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretanat Program Sarjana  
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE, M Sc., Ph.D.  
 Dosen Pembimbing : Alfian Purnomo, ST., MT.



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
 Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE104004 (0/6/0)  
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
 Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
 Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal: Kamis, 7 Juli 2022  
 Waktu: 09.15-10.30 WIB  
 Lokasi: TL-101  
 Judul: Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Kabupaten Bojonegoro

Nama: Tansa Nur Fithriani  
 NRP: 03211840000063  
 Topik: Perencanaan

Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir

| No. | Mas.   |
|-----|--|
| 1.  | <del>Balok beton yang digunakan</del><br>Perbaiki abstrak.                                       |
| 2.  | Jelaskan alasan utama mencampur limbah.  |
| 3.  | Jelaskan <del>ke</del> status IPAL → IPAL Industri atau IPAL Domestik → lihat dokumen perizinan. |
| 4.  | Balok beton yg digunakan?  |
| 5.  | Sesuai pembahasan secara gubahan di atas.  |

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai  
 Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat esistensi kepada Dosen Penguji  
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji: Adhi Yuniarto, ST, MT, Ph D  
 Dosen Pembimbing: Allan Purnomo, ST, MT



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
 Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
 Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
 Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Kamis, 7 Juli 2022  
 Waktu : 09.15-10.30 WIB  
 Lokasi : TL-101  
 Judul : Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Kabupaten Bojonegoro  
 Nama : Tarisa Nur Fithriani  
 NRP. : 03211840000063  
 Topik : Perencanaan

| No./Hal. | Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir                                  |
|----------|---|
| -        | Culisan dikoreksi kembali masih banyak salah ultri                                    |
| -        | Bagaimana mengatasi Bau ? Aerob/Anaerob   |
| -        | Flow meter di analisis kembali berkaitan dg equalisasi → in/out → kendalanya apa dsb. |

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
 Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji

Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT

Dosen Pembimbing

Alfan Purnomo, ST., MT.

*(Signature)*  
*(Signature)*





## GUBERNUR JAWA TIMUR

### PERATURAN GUBERNUR JAWA TIMUR NOMOR 72 TAHUN 2013

#### TENTANG

#### BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI INDUSTRI DAN/ATAU KEGIATAN USAHA LAINNYA

GUBERNUR JAWA TIMUR,

- Menimbang : bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 22 ayat (3) Peraturan Daerah Provinsi Jawa Timur Nomor 2 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air di Provinsi Jawa Timur yang diundangkan dalam Lembaran Daerah Provinsi Jawa Timur Tahun 2008 Nomor 1 Seri E, perlu membentuk Peraturan Gubernur Jawa Timur tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya;
- Mengingat : 1. Undang-Undang Nomor 2 Tahun 1950 tentang Pembentukan Provinsi Djawa Timur (Himpunan Peraturan-Peraturan Negara Tahun 1950) sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 1950 tentang Perubahan dalam Undang-Undang Nomor 2 Tahun 1950 (Himpunan Peraturan-Peraturan Negara Tahun 1950);
2. Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1984 tentang Perindustrian (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1984 Nomor 22, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3274);
3. Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1990 Nomor 49, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3419);
4. Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 32, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4377);

5. Undang

**31. Industri Pengolahan Kedelai**

| BAKU MUTU AIR LIMBAH<br>UNTUK INDUSTRI KECAP, TAHU DAN TEMPE |                       |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|  | Kecap                 | Tahu                  | Tempe                 |
| Parameter  | Kadar maksimum (mg/L) | Kadar maksimum (mg/L) | Kadar maksimum (mg/L) |
| BOD <sub>5</sub>   | 150                   | 150                   | 150                   |
| COD  | 300                   | 300                   | 300                   |
| TSS  | 100                   | 100                   | 100                   |
| pH   | 6,0 - 9,0             |                       |                       |
| Volume Air Limbah Maksimum (M <sup>3</sup> /ton kedelai)     | 10                    | 20                    | 10                    |

**32. Industri Mie dan Kerupuk**

| BAKU MUTU AIR LIMBAH<br>UNTUK INDUSTRI MIE DAN KRUPUK<br>MIE : 2 M <sup>3</sup> /ton produk<br>KRUPUK : 4 M <sup>3</sup> /ton produk |                      |        |
|--|----------------------|--------|
| Parameter  | Kadar Maximum (mg/L) |        |
|  | MIE                  | KRUPUK |
| BOD <sub>5</sub>   | 50                   | 50     |
| COD  | 120                  | 120    |
| TSS  | 50                   | 50     |
| Minyak dan lemak   | 20                   | 20     |
| pH   | 6-9                  |        |

33. Industri Pengolahan



**MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN  
REPUBLIK INDONESIA**

**PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN  
REPUBLIK INDONESIA**

**NOMOR: P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016**

**TENTANG**

**BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK**

**DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA**

**MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA,**

- Menimbang :
- a. bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 20 ayat (2) huruf b Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Menteri mengatur ketentuan mengenai baku mutu air limbah;
  - b. bahwa air limbah domestik yang dihasilkan dari skala rumah tangga dan usaha dan/atau kegiatan berpotensi mencemari lingkungan, sehingga perlu dilakukan pengolahan air limbah sebelum dibuang ke media lingkungan;
  - c. bahwa berdasarkan ketentuan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b, perlu menetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik;

LAMPIRAN I  
PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN  
REPUBLIK INDONESIA  
NOMOR P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016  
TENTANG  
BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK

BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK TERSENDIRI

| Parameter      | Satuan       | Kadar maksimum* |
|----------------|--------------|-----------------|
| pH             | -            | 6 - 9           |
| BOD            | mg/L         | 30              |
| COD            | mg/L         | 100             |
| TSS            | mg/L         | 30              |
| Minyak & lemak | mg/L         | 5               |
| Amoniak        | mg/L         | 10              |
| Total Coliform | jumlah/100mL | 3000            |
| Debit          | L/orang/hari | 100             |

Keterangan:

\*= Rumah susun, penginapan, asrama, pelayanan kesehatan, lembaga pendidikan, perkantoran, perniagaan, pasar, rumah makan, balai pertemuan, arena rekreasi, permukiman, industri, IPAL kawasan, IPAL permukiman, IPAL perkotaan, pelabuhan, bandara, stasiun kereta api, terminal dan lembaga pemasyarakatan.

Salinan sesuai dengan aslinya

KEPALA BIRO HUKUM,



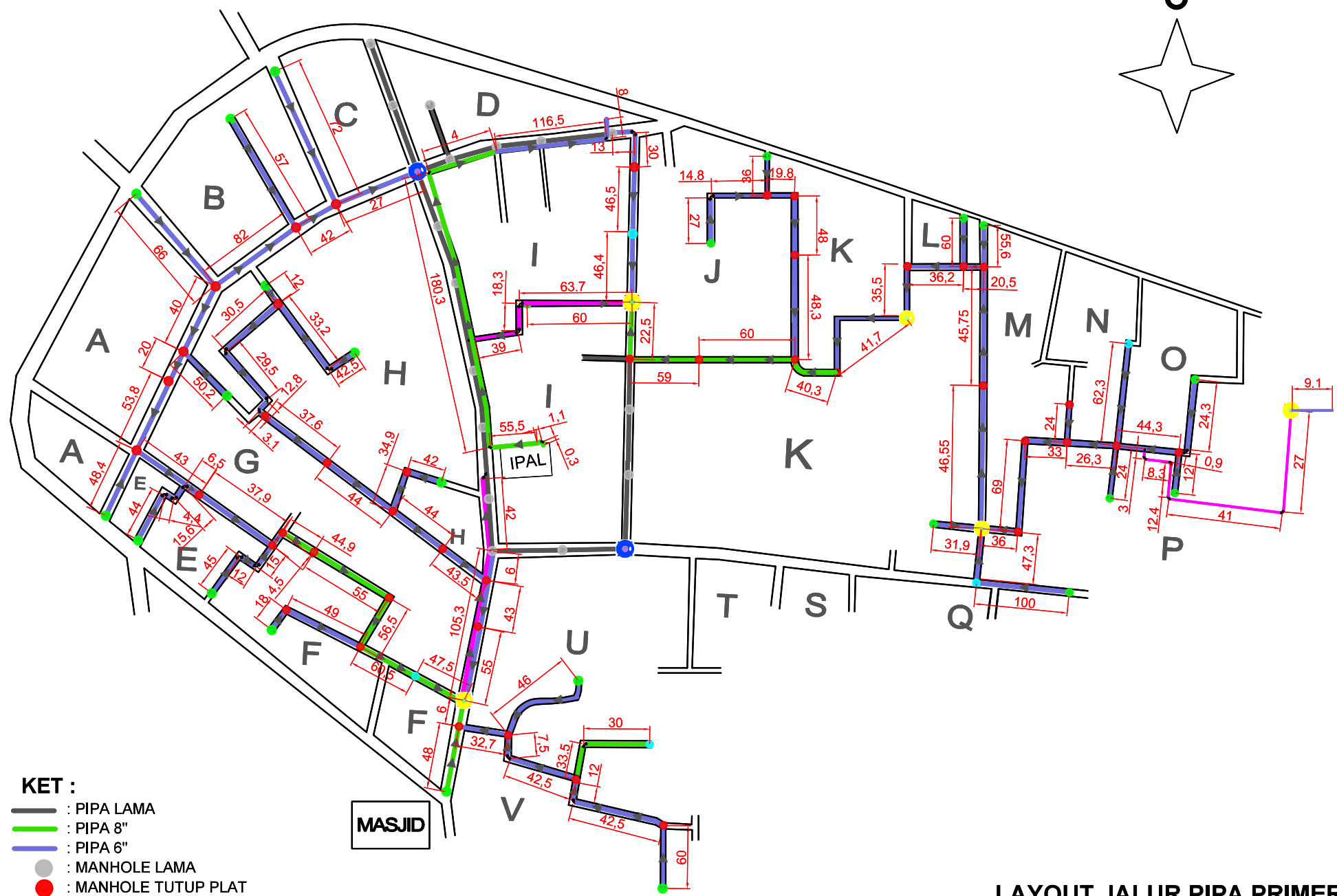
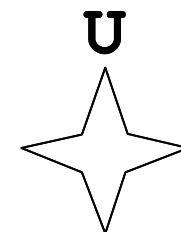
KRISNA RYA





MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN  
KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA,

ttd.

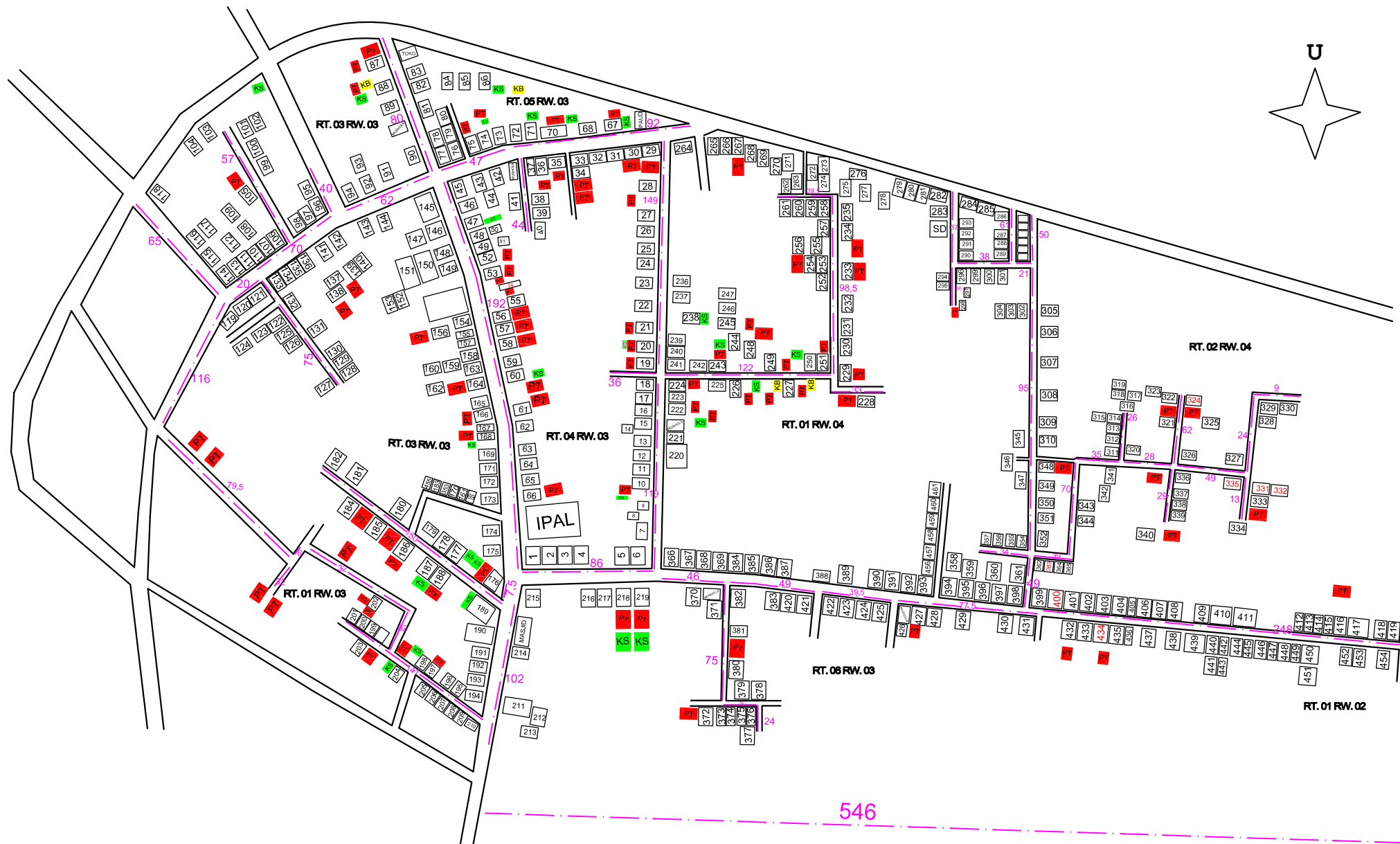
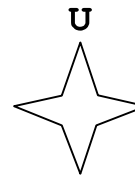
SITI NURBAYA

| <b>NO</b> | <b>NAMA GAMBAR</b>                               |
|-----------|--|
| 1.        | <i>Layout</i> Jalur Pipa Primer Menuju IPAL      |
| 2.        | Peta Posisi Sambungan Rumah                      |
| 3.        | Denah IPAL                                       |
| 4.        | Denah, Potongan A-A, Potongan B-B Bak Ekualisasi |
| 5.        | Denah dan Potongan A-A Biofilter Anaerobik Awal  |
| 6.        | Denah dan Potongan B-B Biofilter Anaerobik Awal  |
| 7.        | Denah dan Potongan A-A Biofilter Aerobik         |
| 8.        | Denah dan Potongan B-B Biofilter Aerobik         |
| 9.        | Denah, Potongan A-A, Potongan B-B Bak Penampung  |
| 10.       | Denah dan Potongan A-A Biofilter Anaerobik Akhir |
| 11.       | Denah dan Potongan B-B Biofilter Anaerobik Akhir |
| 12.       | Denah, Potongan A-A, Potongan B-B Bak Efluen     |






- KET :**
-  : PIPA LAMA
  -  : PIPA 8"
  -  : PIPA 6"
  -  : MANHOLE LAMA
  -  : MANHOLE TUTUP PLAT
  -  : MANHOLE TUTUP BETON
  -  : DOPEN
  -  : PS LAMA
  -  : PS BARU

**LAYOUT JALUR PIPA PRIMER  
PENGEMBANGAN IPAL KEL. LEDOK KULON  
KEC. BOJONEGORO**

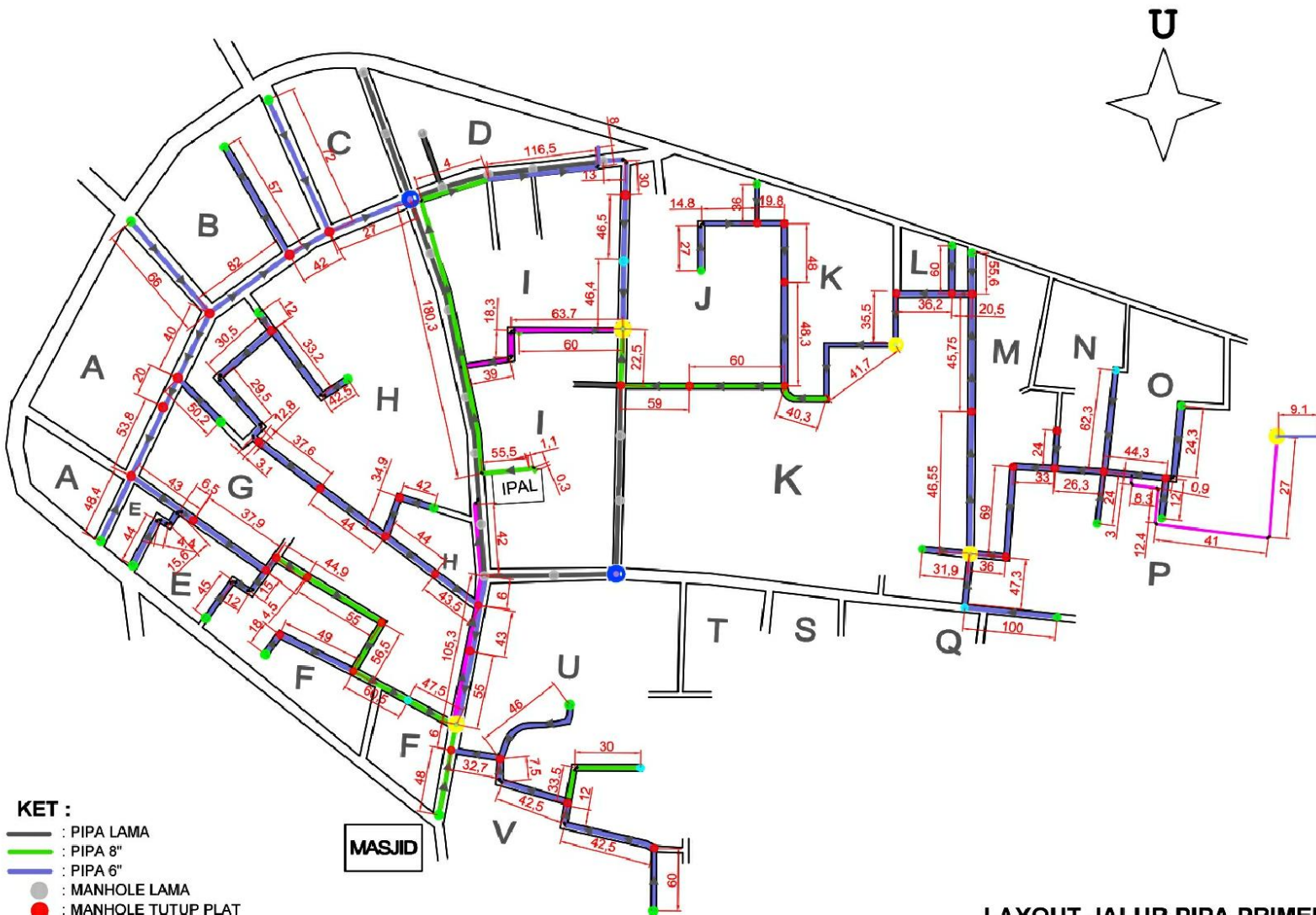


**KETERANGAN :**

-  Pabrik Tahu
-  Kandang Sapi
-  Kandang Kambing

**PETA LETAK / POSISI SAMBUNGAN RUMAH**

SKALA 1 : 1000



- KET :**
- : PIPA LAMA
  - : PIPA 8"
  - : PIPA 6"
  - : MANHOLE LAMA
  - : MANHOLE TUTUP PLAT
  - : MANHOLE TUTUP BETON
  - : DOPEN
  - : PS LAMA
  - : PS BARU

**LAYOUT JALUR PIPA PRIMER  
PENGEMBANGAN IPAL KEL. LEDOK KULON  
KEC. BOJONEGORO**



**TUGAS AKHIR**  
**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**  
**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**  
**Terisa Nur Fitriani  
NRP. 03211840000033**

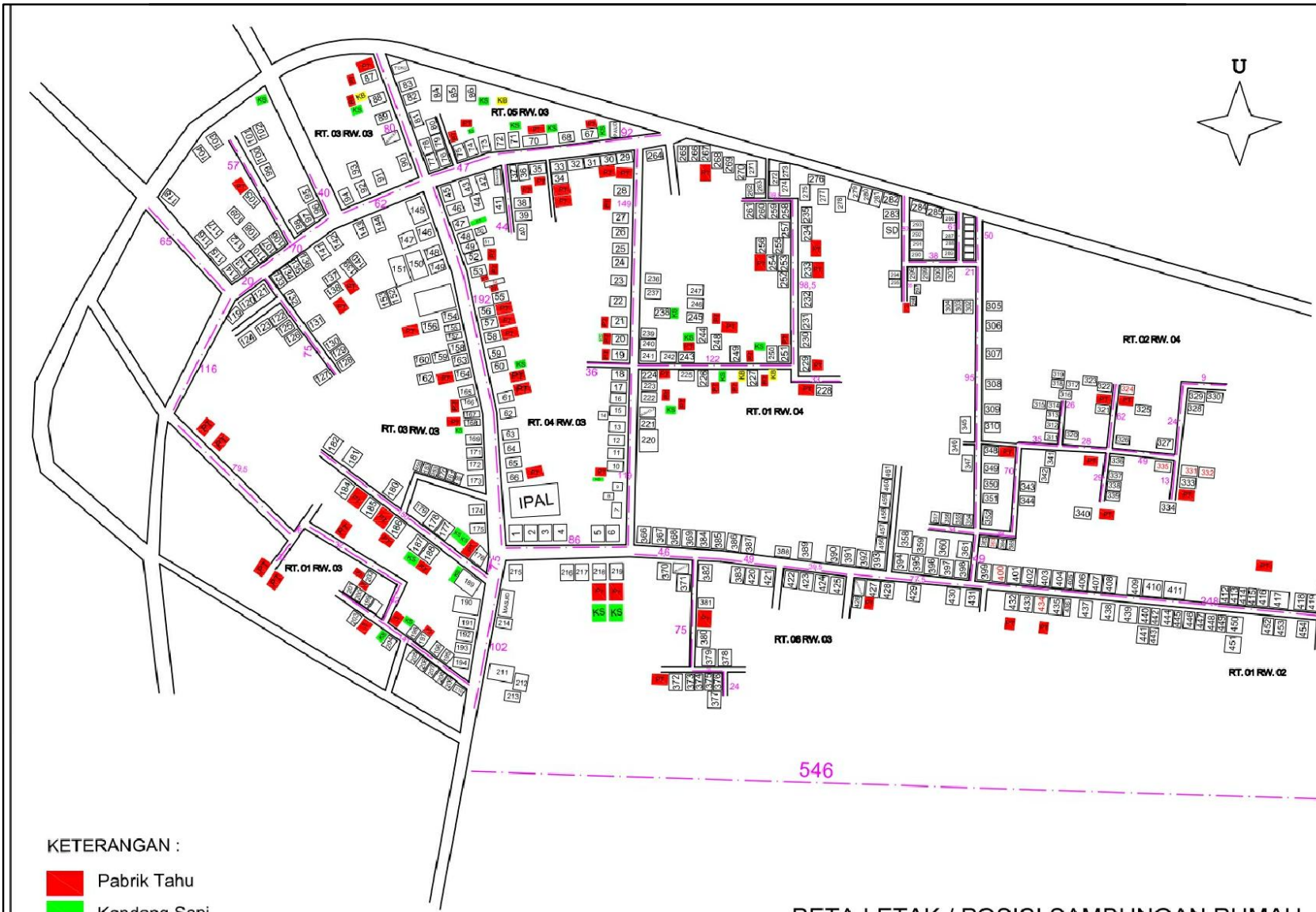
**DOSEN PEMBIMBING**  
**Alfan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 260004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**  
**Layout Jalur Pipa Primer Menuju IPAL**

**LEGENDA**

| LAMPIRAN | SKALA |
|----------|-------|
| 1        |       |





**KETERANGAN :**

- Pabrik Tahu
- Kandang Sapi
- Kandang Kambing

**PETA LETAK / POSISI SAMBUNGAN RUMAH**

SKALA 1 : 1000



**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**

**Terisa Nur Fitriani  
NRP. 03211840000063**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Alfan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 260004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**

**Peta Posisi Sambungan Rumah**

**LEGENDA**

**LAMPIRAN**

**SKALA**

**2**



**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**

**Tarisa Nur Fitriani  
NRP. 03211640600063**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Alfan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 200004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**

Denah IPAL

**LEGENDA**

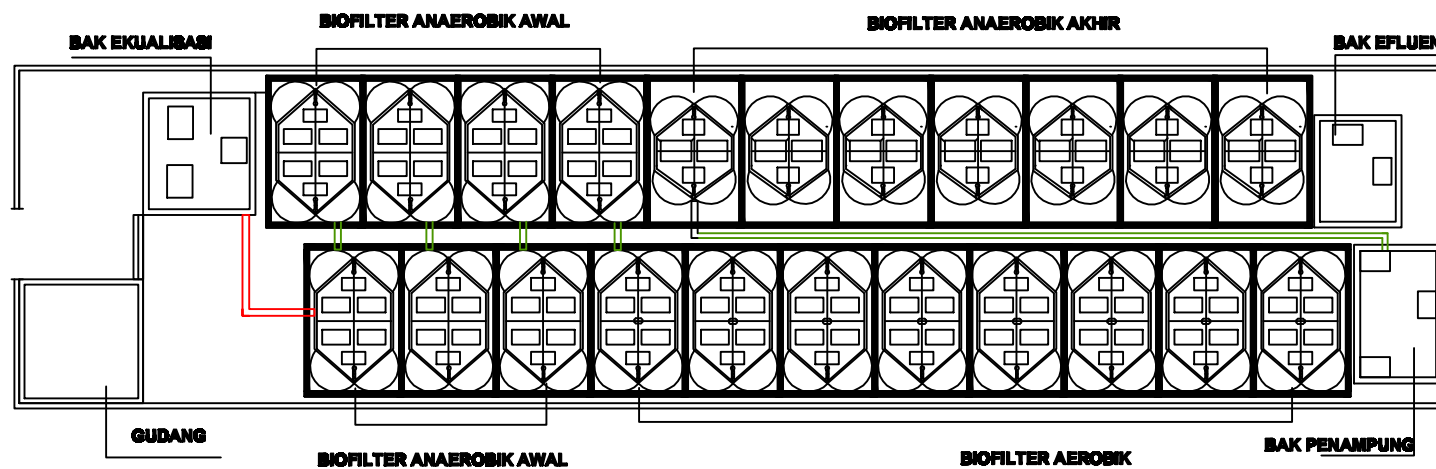
-  Beton Bertulang
-  Kolom
-  Mula Tanah
-  Mula Air

**LAMPIRAN**

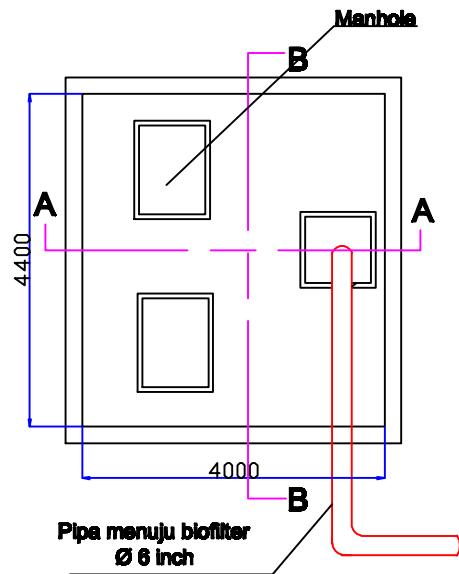
**SKALA**

3

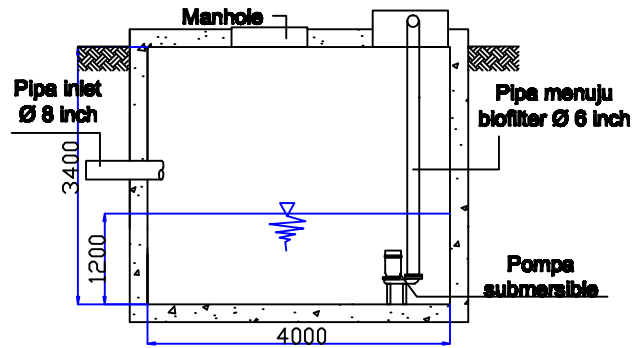
1:300



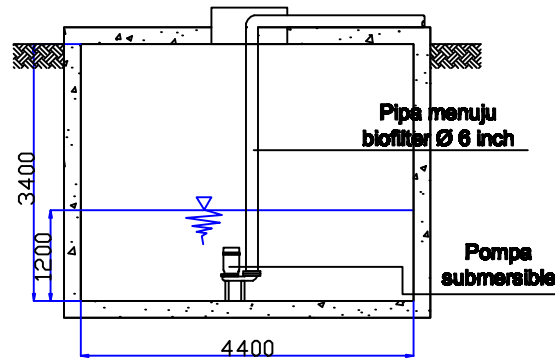
**DENAH IPAL**



**DENAH BAK EKUALISASI**



**POTONGAN A-A**



**POTONGAN B-B**



**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**

**Tarisa Nur Fitriani  
NRP. 03211640600063**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Alfan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 200004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**

**Denah Bak Ekualeasi  
Potongan A-A Bak Ekualeasi  
Potongan B-B Bak Ekualeasi**

**LEGENDA**

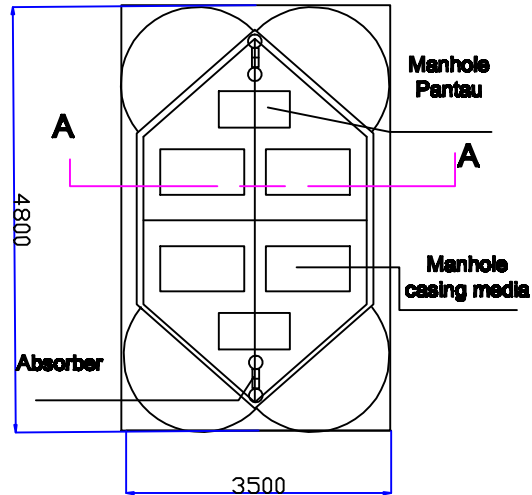
- Beton Bertulang
- Lantai
- Muka Tanah
- Muka Air

**LAMPIRAN**

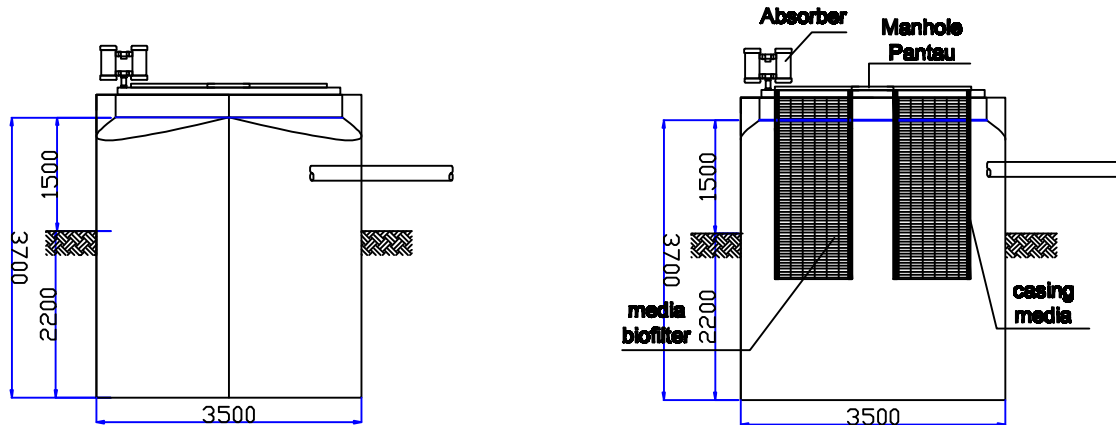
**SKALA**

**4**

**1:100**



**DENAH BIOFILTER ANAEROBIK AWAL**



**POTONGAN A-A BIOFILTER ANAEROBIK AWAL**



**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**

**Tarisa Nur Fitriani  
NRP. 03211640600063**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Alfan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 200004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**

**Denah Biofilter Anaerobik Awal  
Potongan A-A Biofilter Anaerobik Awal**

**LEGENDA**

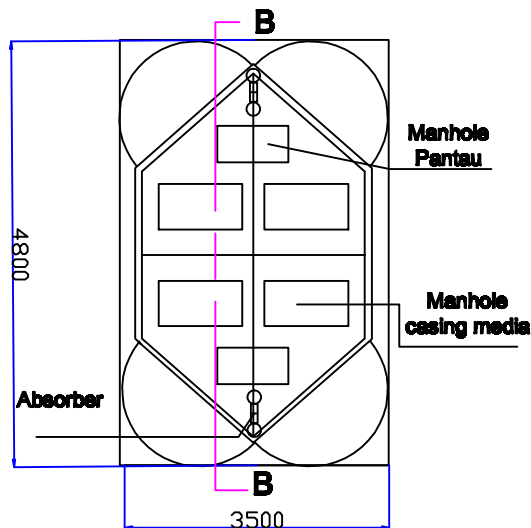
-  Beton Bertulang
-  Kekom
-  Media Tanah
-  Media Air

**LAMPIRAN**

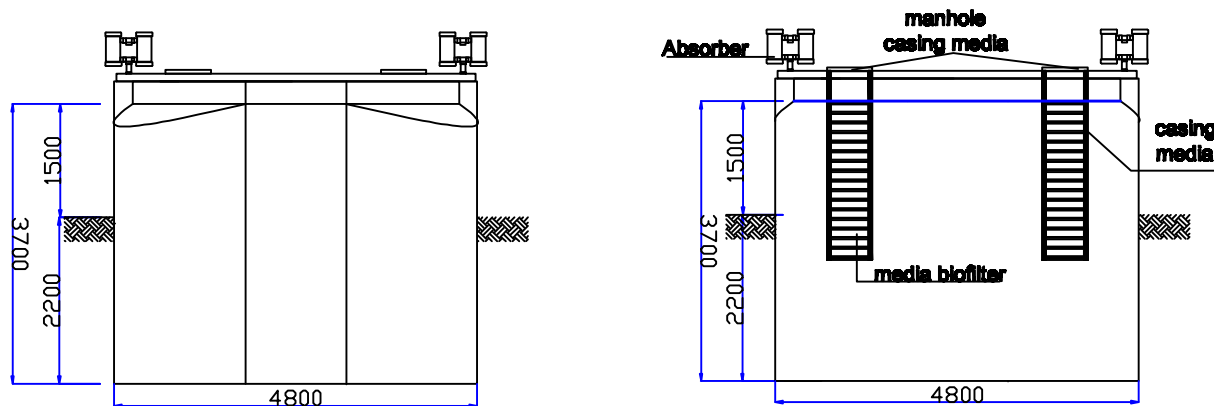
**SKALA**

**5**

**1:100**



**DENAH BIOFILTER ANAEROBIK AWAL**



**POTONGAN B-B BIOFILTER ANAEROBIK AWAL**



**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**

**Tarisa Nur Fitriani  
NRP. 0321184000003**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Alfan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 260004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**

**Denah Biofilter Anaerobik Awal  
Potongan B-B Biofilter Anaerobik Awal**

**LEGENDA**

-  **Beton Bertulang**
-  **Kolom**
-  **Salut Tanah**
-  **Salut Air**

**LAMPIRAN**

**SKALA**

**6**

**1:100**



**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**

**Tarisa Nur Fitriani  
NRP. 0321184000063**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Allan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 200004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**

**Denah Biofilter Aerobik  
Potongan A-A Biofilter Aerobik**

**LEGENDA**

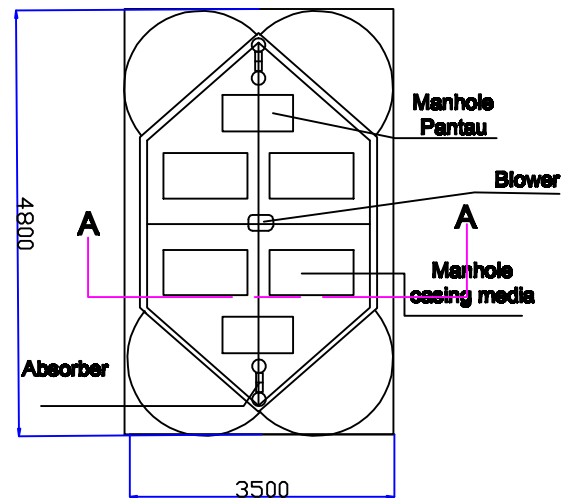
-  Beton Bertulang
-  Kolom
-  Mula Tanah
-  Mula Air

**LAMPIRAN**

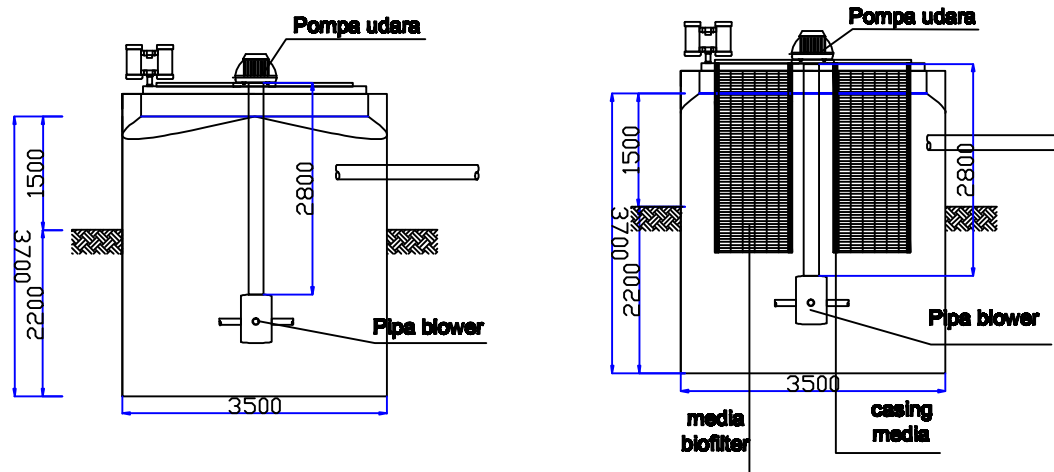
**SKALA**

**7**

**1:100**



**DENAH BIOFILTER AEROBIK**



**POTONGAN A-A**



**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**

**Tarisa Nur Fitriani  
NRP. 0321184000063**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Allan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 200004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**

**Denah Biofilter Aerobik  
Potongan B-B Biofilter Aerobik**

**LEGENDA**

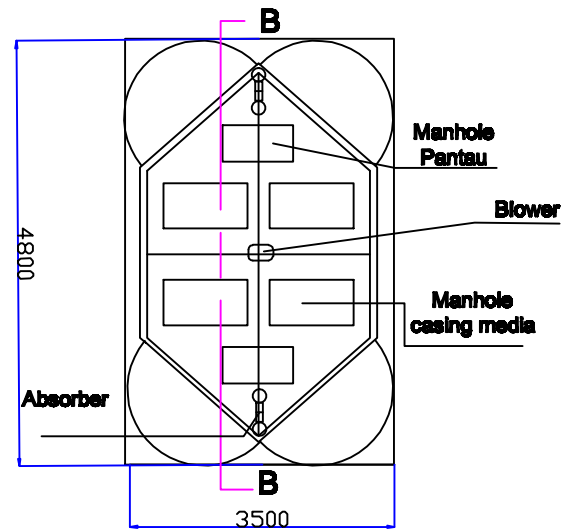
-  Beton Bertulang
-  Kotam
-  Muka Tanah
-  Muka Air

**LAMPIRAN**

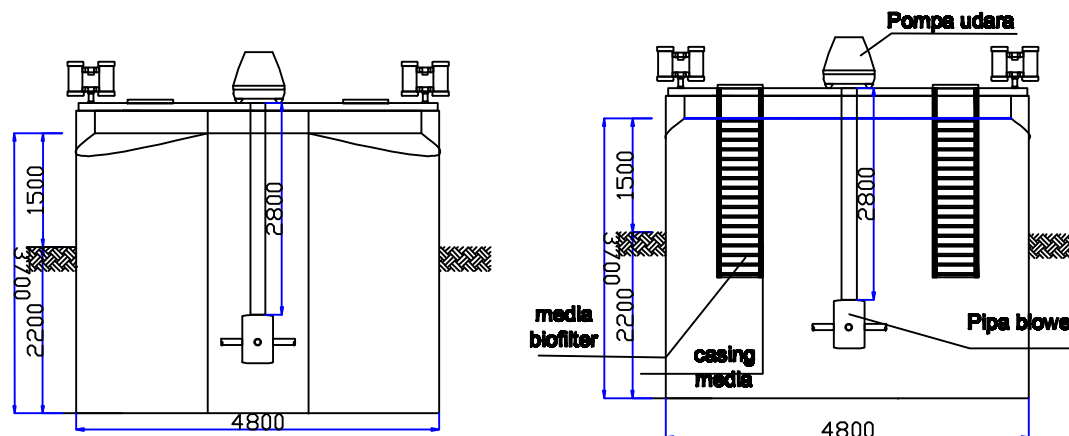
**8**

**SKALA**

**1:100**



**DENAH BIOFILTER AEROBIK**



**POTONGAN B-B**



**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**

**Tarisa Nur Fitriani  
NRP. 0321184000003**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Allan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 200004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**

**Denah Bak Penampung  
Potongan A-A Bak Penampung  
Potongan B-B Bak Penampung**

**LEGENDA**

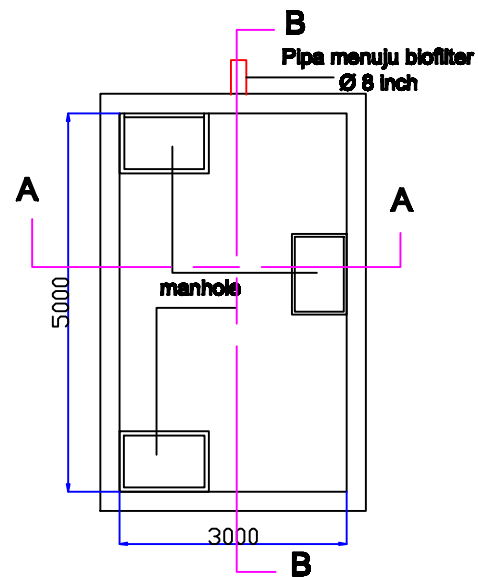
- Beton Bertulang**
- Kolom**
- Media Tanah**
- Media Air**

**LAMPIRAN**

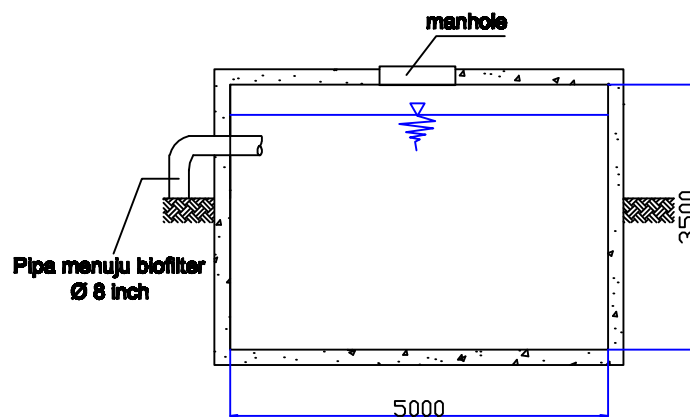
**SKALA**

**9**

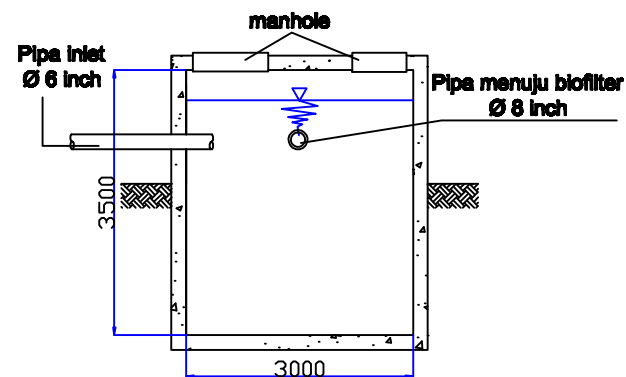
**1:100**



**DENAH BAK PENAMPUNG**



**POTONGAN A-A BAK PENAMPUNG**



**POTONGAN B-B BAK PENAMPUNG**





**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**

**Tarisa Nur Fitriani  
NRP. 03211840000063**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Allan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 200004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**

**Denah Biofilter Anaerobik Akhir  
Potongan A-A Biofilter Anaerobik Akhir**

**LEGENDA**

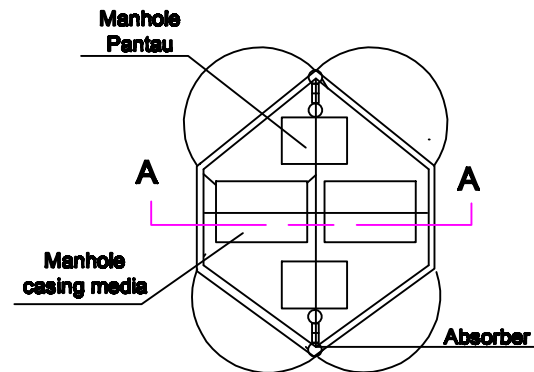
-  **Beton Bertulang**
-  **Kelom**
-  **Media Tanah**
-  **Media Air**

**LAMPIRAN**

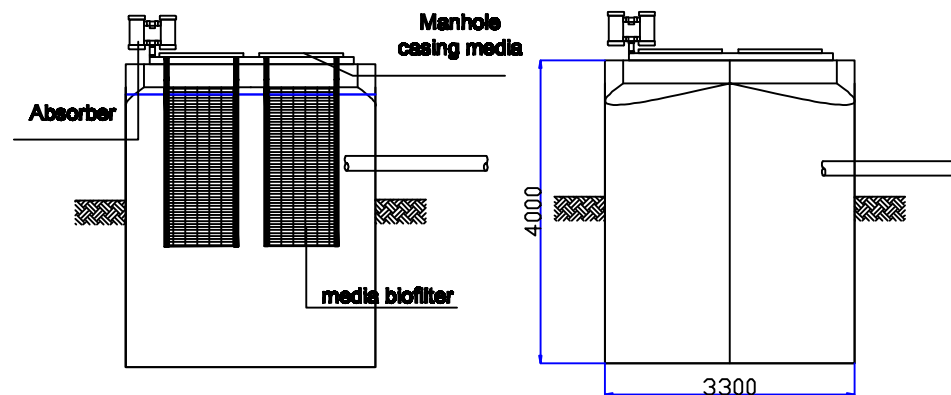
**10**

**SKALA**

**1:100**



**DENAH BIOFILTER ANAEROBIK AKHIR**



**POTONGAN A-A**



**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**

**Tarisa Nur Fitriani  
NRP. 0321184000003**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Allan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 200004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**

**Denah Biofilter Anaerobik Akhir  
Potongan B-B Biofilter Anaerobik Akhir**

**LEGENDA**

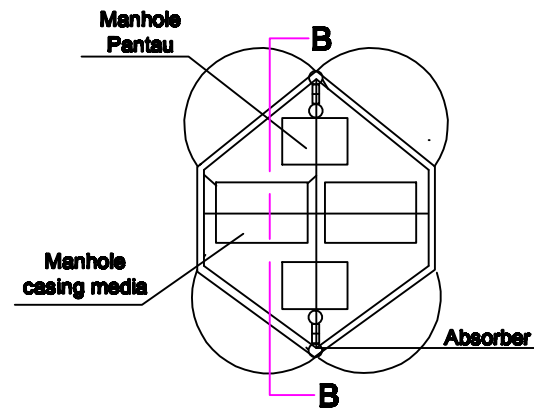
-  **Beton Bertulang**
-  **Kelom**
-  **Media Tanah**
-  **Media Air**

**LAMPIRAN**

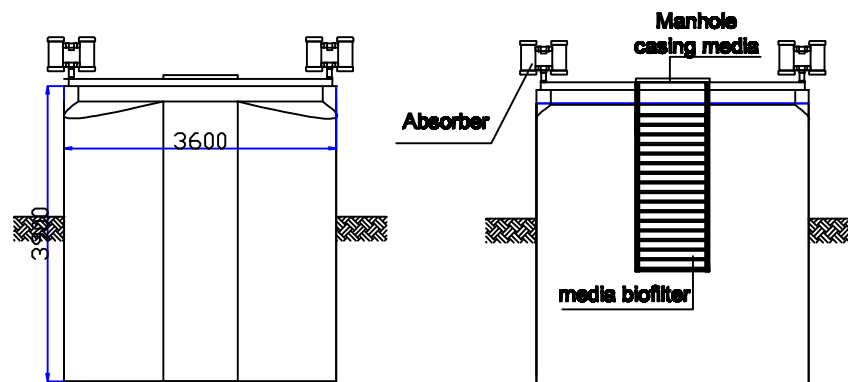
**11**

**SKALA**

**1:100**



**DENAH BIOFILTER ANAEROBIK AKHIR**



**POTONGAN B-B**



**TUGAS AKHIR**

**EVALUASI KINERJA INSTALASI  
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI  
TAHU DAN DOMESTIK DI KELURAHAN  
LEDOK KULON KABUPATEN  
BOJONEGORO**

**DEPARTEMEN**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN,  
DAN KEBUMAHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2022**

**MAHASISWA**

**Tarisa Nur Fitriani  
NRP. 03211840000063**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Alfan Purnomo, ST., MT.  
NIP. 19630304 200004 1 002**

**JUDUL GAMBAR**

**Denah Bak Efluen  
Potongan A-A Bak Efluen  
Potongan B-B Bak Efluen**

**LEGENDA**

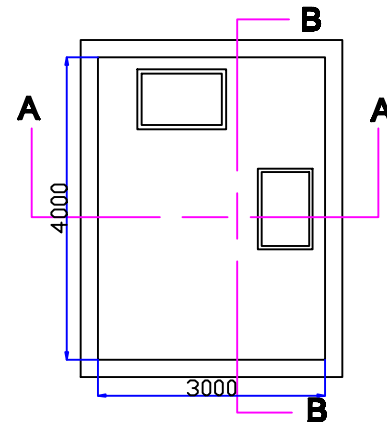
- Beton Bertulang**
- Kolom**
- Media Tanah**
- Media Air**

**LAMPIRAN**

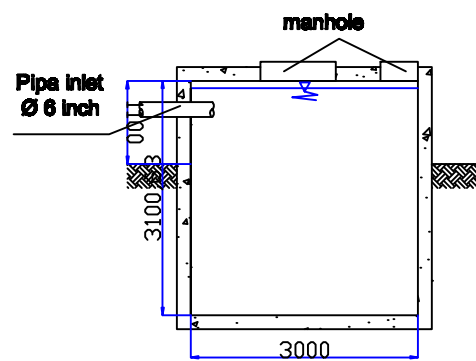
**12**

**SKALA**

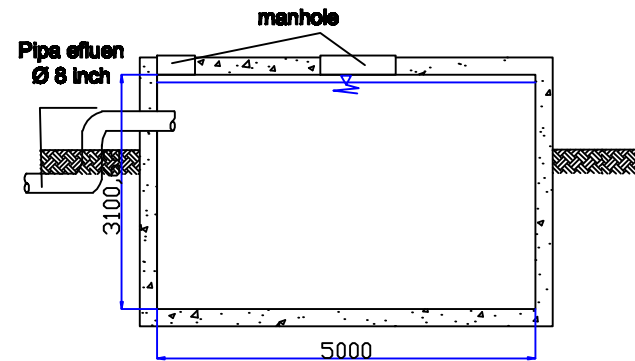
**1:100**



**DENAH BAK EFLUEN**



**POTONGAN A-A**



**POTONGAN B-B**

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bojonegoro, 31 Desember 2000 dan merupakan anak tunggal. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK ABA 1 Bojonegoro (2005-2006), SDN Kauman 1 Bojonegoro (2006-2012), SMP Plus Al-Fatimah Bojonegoro (2012-2015) dan SMAN 1 Bojonegoro (2015-2018). Setelah lulus dari SMA tahun 2018, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Lingkungan FTSPK- ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 03211840000063.

Penulis aktif mengikuti organisasi departemen pada tahun 2020 sebagai staf bidang Advokasi dan Akademik Divisi Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa dan Sekretaris-Bendahara Al-Kaun HMTL ITS 2020. Pada tahun 2021 penulis juga pernah aktif sebagai Sekretaris-Bendahara I Divisi Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa. Selain itu penulis juga aktif mengikuti beberapa kepanitiaan baik di departemen maupun ITS, diantaranya adalah Staff Media Ramadhan di Kampus (RDK ITS 41) pada tahun 2019, Staff Kesekretariatan Big Event ENVIRONATION HMTL ITS 2019 dan Staff Ahli Kesekretariatan ENVIRONATION HMTL ITS 2020. Penulis juga berkesempatan menerima Beasiswa Bakti BCA 2020-2021 dan mengikuti beberapa pelatihan dan seminar dalam rangka pengembangan diri. Pada tahun 2021, penulis melaksanakan kerja praktik di Unit Pengembangan Smart Eco Campus (PSEC) ITS. Penulis mengharapkan kritik dan saran membangun untuk memperbaiki diri kedepannya yang dapat dikirim melalui email [tarisanf54@gmail.com](mailto:tarisanf54@gmail.com)