

**TUGAS AKHIR**  
**KAJIAN KERAGAMAN DAN KARAKTERISTIK BAKTERI**  
**PATOGEN DOMINAN PADA IPAL KOMUNAL DI**  
**KABUPATEN SLEMAN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan**  
**Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**ALMIRA CLARISSA EMERALDINE**

**18513018**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**YOGYAKARTA**

**2022**

## TUGAS AKHIR

### KAJIAN KERAGAMAN DAN KARAKTERISTIK BAKTERI PATOGEN DOMINAN PADA IPAL KOMUNAL DI KABUPATEN SLEMAN

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



**ALMIRA CLARISSA EMERALDINE**  
18513018

Disetujui,  
Dosen Pembimbing :

**Annisa Nur Lathifah, S.Si., M. Biotech., Ph.D.**  
NIK. 155130505  
Tanggal: 25 Oktober 2022

Mengetahui,  
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

**Dr. Eng. Awaluddin Nurmianto, ST., M.Eng.**  
NIK. 095130403  
Tanggal: 25 Oktober 2022

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**KAJIAN KERAGAMAN DAN KARAKTERISTIK BAKTERI PATOGEN**  
**DOMINAN PADA IPAL KOMUNAL DI KABUPATEN SLEMAN**

**Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji**

**Hari :**

**Tanggal :**

**Disusun Oleh :**

**Almira Clarissa Emeraldine**

**18513018**

**Tim Penguji**

Annisa Nur Lathifah, S.Si., M. Biotech., M. Agr., Ph.D.

(  )

Dr. Andik Yulianto, ST., MT.

(  )

Dewi Wulandari, S.Hut., M.Agr., Ph.D.

(  )

## LEMBAR PERNYATAAN

Di bawah ini saya menyatakan bahwasanya :

1. Karya tulis laporan tugas akhir ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk menyelesaikan studi akademik apapun, termasuk di Universitas Islam Indonesia dan di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis laporan tugas akhir merupakan penelitian saya sendiri, buah pikiran dari gagasan, rumusan saya sendiri, tanpa melibatkan pihak manapun kecuali masukan dan arahan dari dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis laporan tugas akhir ini tidak tercantum karya dan/atau pendapat dan gagasan yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali tertulis dengan jelas sebagai acuan dalam pembuatan karya tulis laporan tugas akhir dengan menuliskan nama pengarang dan dituliskan ke dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini dibuat dengan sadar dengan sungguh-sungguh, apabila di kemudian hari didapatkan kesalahan dan penyimpangan dalam pernyataan ini, maka saya siap mendapatkan sanksi dari akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta hukuman sanksi lainnya sesuai dengan ketentuan peraturan yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan

Almira Clarissa Emeraldine

18513018

## PRAKATA

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Kajian Keragaman dan Karakteristik Bakteri Patogen Dominan pada IPAL Komunal di Kabupaten Sleman**. Penyusunan laporan tugas akhir ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Pendidikan Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini banyak hambatan serta rintangan yang penulis hadapi namun pada akhirnya dapat melaluinya berkat adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara moral maupun spiritual. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas kesempatan, ilmu pengetahuan, kesehatan, kelancaran, dan limpahan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
2. Ayah, Bunda, Adek Daffa dan seluruh keluarga penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Ibu Annisa Nur Lathifah, Ph.D selaku Dosen Pembimbing I Tugas akhir yang telah membagikan ilmu dan menyediakan waktunya untuk mendampingi serta membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen, staff dan keluarga besar Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia karena telah memberikan pengajaran dan pengalaman selama kuliah sehingga ilmu yang telah penulis peroleh dapat bermanfaat untuk penulisan laporan ini.
5. Mbak Rina Isnikartika, S.Si serta seluruh staff Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,

Universitas Islam Indonesia atas pendampingan dan bantuan selama penulis melakukan penelitian di Laboratorium.

6. Sahabat-sahabat penulis di masa perkuliahan, Anisah Yasmin, Ayu Sulistiawati, Farah Herwandari, Salma Firda, dan Wahyu Devi.
7. Rekan seperjuangan penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir, Salsabila Alodia Fatika, Rifa Nur Azizah, Nurul Maghfirah Istikhory, Afifah Nur Yunisha, Ardiani Seviana Putri, Safinatun Najah, dan Dea Anggraenny yang selalu menyemangati dan membantu penulis dalam melakukan penelitian Tugas Akhir.
8. Vanessa Luna Maulida, S.Psi, sahabat terdekat penulis sekaligus *support system* sejak duduk di bangku SMA yang tidak pernah putus memberikan semangat dan telah banyak membantu penulis terutama ketika melakukan *sampling*.
9. Ridho Alam Mulia, ST, senior yang telah memberikan banyak sekali ilmu, pengalaman dan bantuan kepada penulis selama berkuliah serta menjadi *support system* bagi penulis.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari kekurangan yang terdapat di dalam laporan tugas akhir ini serta tidak luput dari kesalahan dan keterbatasan ilmu pengetahuan dari penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk kemajuan penulis dan kelengkapan laporan ini. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Yogyakarta, Agustus 2021

Penulis,

(Almira Clarissa Emeraldine)

## **ABSTRACT**

*ALMIRA CLARISSA EMERALDINE. Study of Diversity and Characteristic of Dominant Pathogenic Bacteria in the Communal WWTPs in Sleman Regency. Supervised by Annisa Nur Lathifah, Ph.D.*

*Domestic wastewater is clean water that has decreased in quality due to various human activities. This domestic waste cannot be thrown into the environment directly because it contains contaminants that can potentially harmful to the ecosystem. One of the contaminants or pollutants is microbes, including pathogenic bacteria. To reduce the occurrence of pollution by domestic wastewater, the wastewater must be treated first by processing in the Communal WWTP. This study conducted to determine the levels of the dominant pathogenic bacteria, namely *Escherichia coli* using a method consisting 3 main stages, presumption test, confirmation test and completed test, and to calculate the total concentration of *Escherichia coli* that was reduced through treatment in the Communal WWTPs in Sleman Regency, also detected the presence of *Salmonella sp* bacteria by serial dilution method and cultured by pouring dish technique onto selective medium *Salmonella Shigella Agar (SSA)*. This research was conducted in April-July 2022 at Manunggal Pringgodani Sejati, Bakti Warga, and Tambakrejo Bersih Communal WWTP as the location for wastewater sampling. The results showed that three selected Communal WWTPs showed the presence of *Escherichia coli* bacteria, Manunggal Pringgodani Sejati WWTP 35.78 MPN/100 ml at the inlet and 18.34 MPN/100 ml at the outlet; Bakti Warga WWTP 26 MPN/100 ml at the inlet and 21.22 MPN/100 ml at the outlet; and Tambakrejo Bersih Communal WWTP 6 MPN/100 ml at the inlet and 1 MPN/100 ml at the outlet. The efficiency of the Communal WWTP unit in reducing *Escherichia coli* bacteria was 49%, 18% and 83%, sequentially. There were no *Salmonella sp* bacteria in the wastewater samples studied, but in the SSA media used, there were several other colonies of bacteria grew, *Escherichia coli* and *Shigella sp* bacteria based on the morphological shape of the observed colonies.*

*Keywords: Comunal WWTPs, Domestic Wastewater, Pathogenic Bacteria*





## ABSTRAK

ALMIRA CLARISSA EMERALDINE. Kajian Keragaman dan Karakteristik Bakteri Patogen Dominan pada IPAL Komunal di Kabupaten Sleman. Dibimbing oleh Annisa Nur Lathifah, Ph.D.

Air limbah domestik merupakan air bersih yang telah mengalami penurunan kualitas akibat berbagai aktivitas manusia dan tidak bisa dibuang begitu saja ke lingkungan secara langsung karena mengandung kontaminan yang berpotensi bahaya bagi ekosistem. Salah satu kontaminan atau pencemar adalah mikroba, termasuk di dalamnya adalah bakteri patogen. Untuk mencegah dan mengurangi terjadinya pencemaran badan air oleh air limbah domestik, air limbah harus diolah terlebih dahulu dengan pengolahan di IPAL Komunal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kadar bakteri patogen dominan yaitu *Escherichia coli* menggunakan metode yang terdiri dari 3 tahap utama yaitu tes pendugaan, tes penegasan dan tes pelengkap, serta menghitung efisiensi pengurangan bakteri *Escherichia coli* di IPAL Komunal dengan risiko sanitasi sangat tinggi pada Kabupaten Sleman, juga mendeteksi keberadaan bakteri *Salmonella sp* dengan metode pengenceran berseri dan dikultur dengan teknik cawan tuang ke media selektif *Salmonella Shigella Agar (SSA)*. Penelitian ini dilakukan bulan April-Juli 2022 di IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati, IPAL Komunal Bakti Warga, dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih. Hasil penelitian menunjukkan pada ketiga IPAL Komunal terpilih terdapat keberadaan bakteri *Escherichia coli*, yaitu pada IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati sebanyak 35,78 MPN/100 ml pada inlet dan 18,34 MPN/100 ml pada outlet; IPAL Komunal Bakti Warga sebanyak 26 MPN/100 ml pada inlet dan 21,22 MPN/100 ml pada outlet; dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih sebanyak 6 MPN/100 ml pada inlet dan 1 MPN/100 ml pada outlet. Hasil efisiensi unit IPAL Komunal dalam mereduksi bakteri *Escherichia coli* secara berturut-turut adalah 49%, 18% dan 83%. Tidak terdapat bakteri *Salmonella sp* pada sampel air limbah IPAL Komunal yang diteliti, melainkan pada media SSA yang digunakan, terdapat beberapa koloni lain bakteri yang tumbuh yaitu bakteri *Escherichia coli* dan *Shigella sp*.

Kata Kunci: IPAL Komunal, Limbah Domestik, Bakteri Patogen



## DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN.....	iv
PRAKATA .....	v
ABSTRACT .....	vii
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Gambaran Umum Kabupaten Sleman .....	4
2.2 Sistem IPAL Komunal dan Klasifikasinya.....	5
2.2.1 Sistem IPAL Komunal.....	5
2.2.2 Klasifikasi IPAL Komunal .....	8
2.2.3 Pemanfaatan Efluen IPAL Komunal .....	9
2.3 Bakteri.....	9
2.3.2 Bakteri pada IPAL Komunal .....	9
2.3.3 Bakteri Patogen.....	11
2.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik .....	12

2.5 Penelitian Terdahulu .....	15
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	17
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	18
3.3 Studi Literatur .....	19
3.4 Pengumpulan Data .....	20
3.4.1 Data Primer .....	20
3.4.2 Data Sekunder .....	20
3.5 Metode Penelitian .....	21
3.5.1 Metode Pemilihan IPAL Komunal .....	21
3.5.2 Metode Pengambilan Sampel Air Limbah.....	22
3.5.3 Metode Analisis Bakteri Patogen Pada Suatu Sampel.....	23
3.6 Metode Analisis Data.....	28
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>30</b>
4.1 Survei IPAL Komunal .....	30
4.2 Kondisi Eksisting IPAL Komunal .....	30
4.2.1 IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati.....	30
4.2.2 IPAL Komunal Bakti Warga .....	32
4.2.3 IPAL Komunal Tambakrejo Bersih.....	33
4.3 Pengambilan Sampel Air Limbah.....	34
4.3.1 Persiapan Alat Pengambilan Sampel .....	34
4.3.2 Pengambilan Sampel.....	35
4.4 Pengujian Laboratorium .....	38
4.4.1 Pengujian Bakteri <i>Escherichia coli</i> .....	38
4.4.2 Pengujian Bakteri <i>Salmonella sp</i> .....	42

4.4.3 Pewarnaan Gram Bakteri .....	45
4.5 Perhitungan Efisiensi Penghilangan Bakteri Patogen.....	47
4.5.1 Penghilangan Bakteri Patogen dengan Unit ABR dan RBC .....	49
4.6 Perbandingan Kualitas Air Limbah dengan Baku Mutu.....	49
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN A Proses Pengambilan Sampel Air Limbah IPAL Komunal.</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN B Proses Pengujian di Laboratorium .....</b>	<b>58</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>81</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Satuan MPN dan CFU, (Cho <i>et al.</i> , 2010).....	13
Tabel 2. 2 Hasil Penelitian Terdahulu.....	15
Tabel 3. 1 Tabel MPN.....	25
Tabel 4. 1 Konsentrasi Bakteri Escherichia coli pada Inlet dan Outlet IPAL Komunal.....	41
Tabel 4. 2 Contoh Perhitungan MPN Menggunakan Formula Thomas.....	41
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Koloni Bakteri Patogen pada Media SS AGAR dengan Metode TPC .....	42
Tabel 4. 4 Efisiensi Penghilangan Bakteri Escherichia coli pada IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati, Bakti Warga, dan Tambakrejo Bersih.....	47

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Kabupaten Sleman.....	5
Gambar 2.2 Unit Anaerobic Baffled Reactor.....	6
Gambar 2.3 Unit Rotating Biological Contactor Tampak Samping (Kiri) dan Tampak Depan (Kanan) .....	7
Gambar 2.4 Kurva Pertumbuhan Mikroba.....	11
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	17
Gambar 3.2 Komunal Manunggal Pringgodani Sejati, Kecamatan Depok .....	18
Gambar 3.3 IPAL Komunal Bakti Warga, Kecamatan Mlati .....	19
Gambar 3.4 IPAL Komunal Tambakrejo Bersih, Kecamatan Ngaglik .....	19
Gambar 3.5 Zat Pewarna Gram Bakteri.....	27
Gambar 3.6 Mikroskop dengan Perangkat Opti Lab .....	28
Gambar 4. 1 Unit Pengolahan IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati ...	31
Gambar 4.2 Unit Pengolahan IPAL Komunal Bakti Warga.....	33
Gambar 4.3 Unit Pengolahan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih.....	34
Gambar 4.4 Pengambilan Sampel Air Limbah di IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati .....	37
Gambar 4. 5 Pengambilan Sampel Air Limbah di IPAL Komunal Bakti Warga .	37
Gambar 4.6 Pengambilan Sampel Air Limbah di IPAL Komunal Tambakrejo Bersih .....	38
Gambar 4.7 Pembentukan Gas dan Asam pada Media LB Setelah Inkubasi 24 Jam .....	39
Gambar 4.8 Sampel yang Berfluoresens pada Media EC-MUG Setelah Inkubasi 24 Jam .....	40
Gambar 4.9 Koloni Bakteri Escherichia coli Berwarna Hijau Metalik pada Media EMB Setelah Inkubasi 24 Jam .....	40
Gambar 4.11 Proses Pengenceran Sampel dari Inlet dan Outlet Untuk Pengujian Bakteri Salmonella sp .....	43
Gambar 4.12 Koloni Bakteri yang Tumbuh pada Media SS Agar .....	44
Gambar 4.13 Proses Pewarnaan Gram Bakteri .....	45

Gambar 4.14 Hasil Pewarnaan Koloni Bakteri Escherichia coli (Perbesaran 100×)	46
Gambar 4.15 Hasil Pewarnaan Koloni Bakteri Escherichia coli (Perbesaran 400×)	46
Gambar 4.17 Perbandingan Konsentrasi Bakteri Escherichia coli pada Inlet dan Outlet IPAL Komunal dengan Baku Mutu oleh PerMenLHK Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016.	50





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air limbah atau air buangan merupakan air bersih yang telah mengalami penurunan kualitas akibat berbagai aktivitas manusia. Air limbah domestik umumnya dikategorikan menjadi *grey water* atau air limbah yang dihasilkan dari kegiatan domestik nonkaku seperti air bekas cuci piring, air bekas pel, dan aktivitas binatu, serta *black water* atau air limbah domestik yang berasal dari buangan biologis yang umumnya berasal dari pembilasan toilet (Murniati *et al.*, 2020). Limbah domestik ini tidak bisa dibuang begitu saja ke lingkungan atau ke badan air secara langsung karena mengandung kontaminan yang dapat mengakibatkan pencemaran dan berpotensi bahaya bagi ekosistem. Salah satu kontaminan atau pencemar adalah mikroba atau mikroorganisme yang terdiri atas bakteri, virus, alga mikroskopis, dan fungi. Beberapa jenis mikroba bersifat patogen sehingga harus dihindari agar tidak sampai dikonsumsi oleh manusia. Untuk mencegah dan mengurangi terjadinya pencemaran badan air oleh air limbah domestik, maka air limbah harus diolah terlebih dahulu, salah satunya adalah dengan pengolahan di IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) Komunal yang mampu melayani 10-100 rumah tangga (Harudyawati *et al.*, 2016).

Parameter limbah yang umumnya digunakan mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 68 tahun 2016, dimana parameter biologis yang diukur hanyalah *Total Coliform* dari limbah. Bakteri *Coliform* dijadikan parameter karena memiliki kepadatan atau densitas yang berbanding lurus dengan tingkat pencemaran pada air (Adrianto, 2018). Namun demikian, bakteri patogen apa saja yang menjadi pencemar pada air limbah tidak akan bisa diketahui karena bakteri *Coliform* hanya berperan sebagai indikator.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah keberadaan bakteri patogen yaitu *Escherichia coli* dan *Salmonella sp*, pada bagian inlet dan outlet pada IPAL Komunal dengan risiko sanitasi sangat tinggi di Kabupaten Sleman.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah menganalisis keberadaan bakteri *Escherichia coli* dan *Salmonella* pada inlet dan outlet serta mengetahui efisiensi penghilangan bakteri *Escherichia coli* pada IPAL Komunal dengan tingkat risiko sanitasi sangat tinggi di Kabupaten Sleman.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi terkait keberadaan bakteri patogen (*Escherichia coli* dan *Salmonella*) pada inlet dan outlet IPAL Komunal dengan risiko sanitasi sangat tinggi di Kabupaten Sleman sehingga dapat diketahui efisiensi penghilangan bakteri *Escherichia coli* pada masing-masing IPAL Komunal.
2. Menjadi bahan evaluasi untuk mengoptimalkan kinerja IPAL Komunal.
3. Dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya terkait kontaminan biologis pada IPAL Komunal.

## 1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Variabel yang akan digunakan dalam penelitian ini melingkupi :

1. Parameter yang diuji adalah keberadaan bakteri patogen yaitu *Escherichia coli* dan *Salmonella sp* dalam air limbah IPAL Komunal
2. Sampel akan diambil dari inlet dan outlet IPAL Komunal
3. Sampel akan diambil dari 3 lokasi IPAL Komunal dengan tingkat risiko sanitasi sangat tinggi di wilayah Kabupaten Sleman. Yaitu IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati di Kecamatan Depok, IPAL Komunal Bakti Warga di

Kecamatan Mlati, dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih di Kecamatan Ngaglik.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Gambaran Umum Kabupaten Sleman**

Kabupaten Sleman memiliki wilayah seluas 574,82 km<sup>2</sup> atau sekitar 18% dari luas Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, yang secara administratif terdiri dari 17 kecamatan dan 86 desa. Kecamatan terluas di Kabupaten Sleman adalah Kecamatan Cangkringan yang terletak di utara dengan luas wilayah 47,99 km<sup>2</sup> dan kecamatan terkecil adalah Kecamatan Berbah yang terletak di bagian selatan dengan luas wilayah 22,99 km<sup>2</sup>. Sementara kecamatan dengan jumlah penduduk terpadat adalah Kecamatan Depok yaitu dengan jumlah penduduk sebanyak 188.771 jiwa per tahun 2022 dan kecamatan dengan jumlah penduduk paling sedikit adalah Kecamatan Cangkringan dengan jumlah penduduk sebanyak 29.321 jiwa per tahun 2022 menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Sleman.

Kabupaten Sleman secara geografis terletak di antara 110° 33' 00" dan 110° 13' 00" Bujur Timur, 7° 34' 51" dan 7° 47' 30" Lintang Selatan.

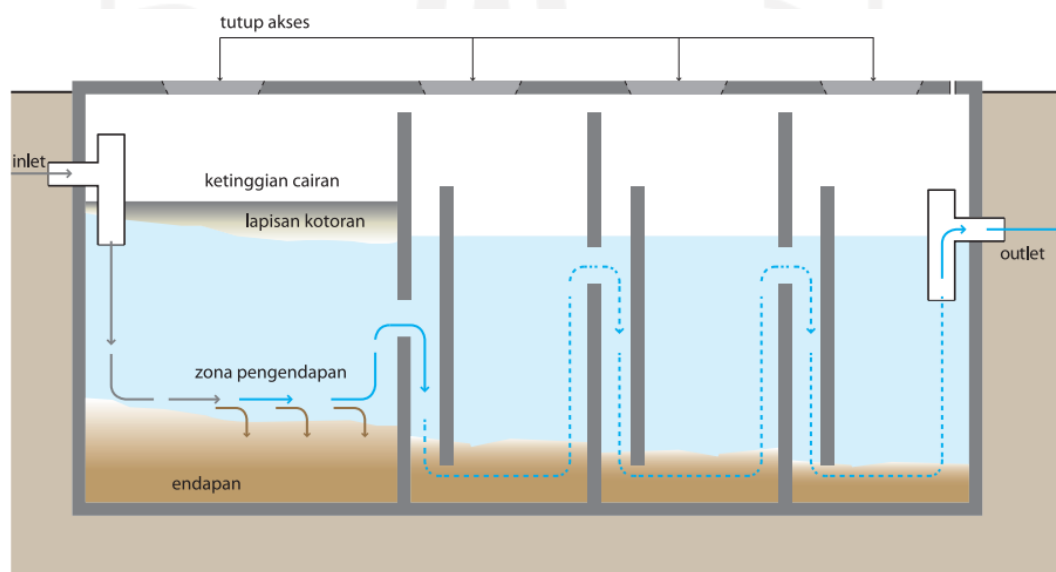
Berikut batas-batas wilayah Kabupaten Sleman:

- Batas Utara : Kabupaten Boyolali
- Batas Timur : Kabupaten Klaten
- Batas Selatan : Kota Yogyakarta dan Kabupaten Bantul
- Batas Barat : Kabupaten Kulonprogo dan Kabupaten Magelang



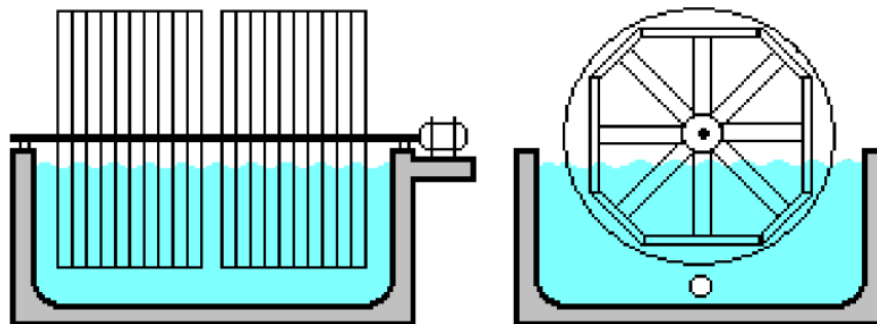
pengolahan yang berbeda, dimana ABR merupakan sistem pengolahan secara anaerobik dan RBC merupakan sistem pengolahan secara aerobik.

ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*) merupakan bentuk pengembangan dari tanki septik konvensional yang terdiri atas beberapa kompartemen, yaitu kompartemen pengendap yang diikuti beberapa sekat (*baffle*) dalam reaktor. *Baffle* digunakan pada sistem guna mengalirkan air ke atas (*upflow*) dengan melalui seri reaktor lumpur (*Sludge Blanket*). Dikarenakan pengolahannya yang bersifat anaerobic, setiap kompartemen akan menghasilkan gas (Luthfi, 2020). ABR dirancang dengan beberapa *baffle* vertikal yang membuat air limbah mengalir ke atas dengan melewati media lumpur aktif. Di dalam sistem pengolahan limbah ini terdapat tiga zona operasional yaitu, zona asidifikasi, zona fermentasi, dan zona buffer. Di dalam kompartemen pertama disebut sebagai zona asidifikasi karena pH air limbah akan menurun disebabkan oleh terbentuknya asam volatil dan selanjutnya pH akan meningkat lagi disebabkan peningkatan kapasitas buffer. Zona buffer digunakan untuk menjaga proses berjalan dengan baik serta optimal. Pada zona fermentasi, dihasilkan gas metana. Di dalam sistem ini, semakin banyak beban organik yang masuk, maka efisiensi pengolahan akan semakin tinggi (Nasr *et al.*, 2009). Berikut adalah gambar unit ABR dari tampak samping.



Gambar 2. 2 Unit *Anaerobic Baffled Reactor*

RBC (*Rotating Biological Contactor*) merupakan teknologi pengolahan air limbah dengan sistem perkembangbiakan melekat (*attached culture*). Prinsip kerja RBC adalah dengan mengontakkan air limbah yang mengandung polutan organik dengan lapisan mikroorganisme yang melekat pada permukaan media berputar di dalam suatu reaktor (Rizal *et al.*, 2014). Media tempat melekatnya *attached culture* berbentuk piringan yang terbuat dari bahan polimer atau plastik ringan kemudian disusun secara berjajar pada suatu poros tertentu. Kemudian, reaktor akan berputar secara perlahan tercelup ke air limbah yang mengalir di dalam reaktor guna mereduksi zat-zat organik yang terkandung di dalam limbah. Demikian, mikroorganisme dapat tumbuh pada permukaan media dan membentuk lapisan mikroorganisme yang disebut dengan biofilm. Berikut adalah gambar unit RBC dari potongan samping (Gambar 2.3).



Gambar 2. 3 Unit *Rotating Biological Contactor* Tampak Samping (Kiri) dan Tampak Depan (Kanan)

Kelebihan dan kekurangan dari teknologi ABR dan RBC menurut Buku Referensi Opsi Sistem dan Teknologi Sanitasi oleh Tim Teknis Pembangunan Sanitasi pada tahun 2010 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. 1 Kelebihan dan Kekurangan Teknologi ABR dan RBC (Tim Teknis Pembangunan Sanitasi, 2010)

Unit Teknologi	Kelebihan	Kekurangan
<i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tahan terhadap beban kejutan hidrolis dan zat organik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Memerlukan sumber air yang konstan</li> <li>Efluen memerlukan pengolahan sekunder</li> </ul>

Unit Teknologi	Kelebihan	Kekurangan
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak memerlukan energi listrik</li> <li>• <i>Grey water</i> dapat dikelola secara bersamaan</li> <li>• Dapat dibangun dan diperbaiki dengan material lokal yang tersedia</li> <li>• Umur pelayanan panjang</li> <li>• Penurunan zat organik tinggi</li> <li>• Biaya investasi dan operasi moderat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• atau dibuang ke tempat yang cocok</li> <li>• Penurunan zat patogen rendah</li> <li>• Pengolahan pendahuluan diperlukan untuk mencegah penyumbatan</li> </ul>
<i>Rotating Biological Contactor</i> (RBC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kebutuhan lahan kecil</li> <li>• Dapat bertahan terhadap kejutan beban organik dan hidrolis</li> <li>• Efisiensi penurunan BOD atau pengolahan tinggi (90-95%)</li> <li>• Kebutuhan pemeliharaan dan energi rendah</li> <li>• Pengeringan kelebihan lumpur mudah dilakukan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bahan tidak siap tersedia di pasar</li> <li>• Biaya investasi peralatan tinggi</li> <li>• Harus dibangun dalam ruangan tertutup untuk mencegah hujan, angin, sinar matahari dan pengrusakan</li> <li>• Kerusakan pada peralatan pemutar (<i>shaft</i>) dan media</li> <li>• Masalah bau</li> </ul>

### 2.2.2 Klasifikasi IPAL Komunal

Penentuan klasifikasi IPAL Komunal dimulai dengan melakukan survei dan pencarian data terkait IPAL Komunal. Terdapat 4 poin kriteria penilaian IPAL Komunal yang mengacu pada buku panduan praktis pelaksanaan EHRA serta buku panduan perencanaan teknik pengolahan IPAL Komunal (Maulida, 2021), yaitu :

- Kepadatan penduduk > 25 Jiwa/Ha



- Rasio cakupan pelayanan  $> 75$  KK
- Debit puncak IPAL Komunal berada lebih dari  $50 \text{ m}^3/\text{hari}$
- Usia IPAL Komunal  $\geq 8$  tahun

Dari keempat poin kriteria penilaian IPAL Komunal tersebut, maka IPAL Komunal dapat diklasifikasikan menjadi 4 strata sebagai berikut :

1. Strata 1 (IPAL Komunal yang memenuhi 1 kriteria)
2. Strata 2 (IPAL Komunal yang memenuhi 2 kriteria)
3. Strata 3 (IPAL Komunal yang memenuhi 3 kriteria)
4. Strata 4 (IPAL Komunal yang memenuhi 4 kriteria)

### **2.2.3 Pemanfaatan Efluen IPAL Komunal**

Efluen atau hasil buangan dari IPAL Komunal berupa zat cair dan zat padat yang dapat dimanfaatkan kembali tanpa menimbulkan bahaya bagi lingkungan sekitarnya (Widiwati, 2018). Efluen berupa cairan dapat diperuntukkan sebagai air minum, rekreasi, pembudidayaan air, serta irigasi. Sementara efluen berupa padatan dapat dimanfaatkan untuk perbaikan struktur tanah, makanan ternak, dan energi.

## **2.3 Bakteri**

Bakteri dapat diklasifikasikan menjadi 2 berdasarkan kemampuan dalam menimbulkan penyakit yaitu bakteri patogen dan bakteri non patogen (apatogen). Bakteri patogen adalah bakteri yang dapat menimbulkan penyakit, sementara bakteri apatogen adalah bakteri yang tidak menyebabkan penyakit serta dapat memiliki manfaat (Rahayuningtyas *et al.*, 2017).

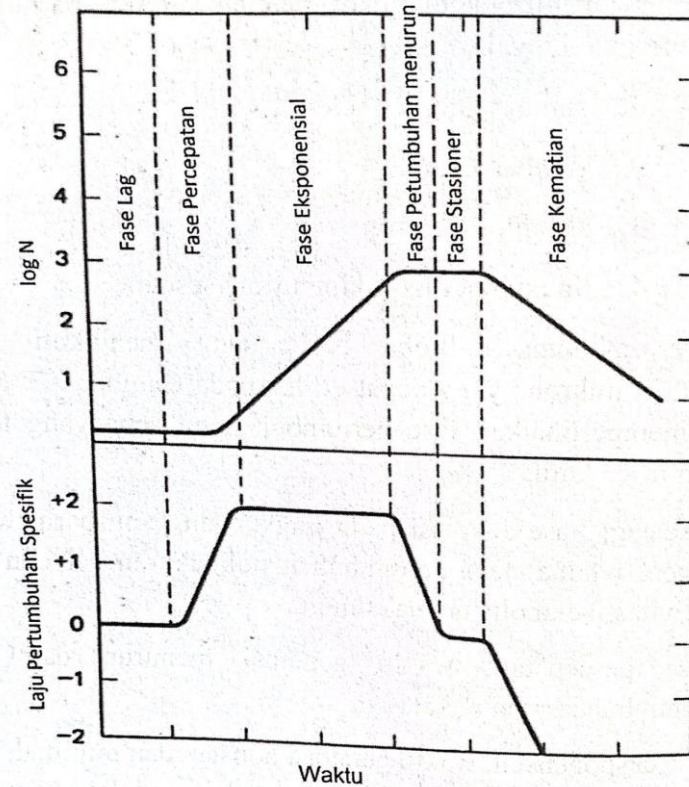
### **2.3.2 Bakteri pada IPAL Komunal**

Bakteri yang umumnya terdapat di limbah IPAL dan kerap dijadikan acuan baku mutu adalah bakteri *Coliform*. Bakteri *Coliform* dapat berfungsi sebagai indikator karena jumlah koloninya berkorelasi positif dengan keberadaan bakteri patogen (Wiliantari *et al.*, 2018).

Menurut buku Operasi dan Proses Pengolahan Air (Masduqi *et al.*, 2012), pertumbuhan bakteri dalam air dan air limbah terdiri dari enam fase, yaitu:

1. Fase lag: fase adaptasi pada lingkungan yang baru, waktu generasi lama, laju pertumbuhan nol, ukuran sel dan laju aktivitas metabolisme maksimum.
2. Fase percepatan: waktu generasi menurun dan laju pertumbuhan meningkat.
3. Fase eksponensial: waktu generasi konstan dan minimal, laju pertumbuhan spesifik maksimum dan konstan, laju konversi substrat maksimum dan terjadi penambahan jumlah mikroba secara eksponensial.
4. Fase pertumbuhan menurun: kenaikan waktu generasi dan penurunan laju pertumbuhan spesifik karena terjadi penurunan konsentrasi substrat secara perlahan.
5. Fase stasioner: terjadi penurunan konsentrasi substrat secara tajam dan adanya akumulasi senyawa toksik hasil proses metabolisme. Terjadi keseimbangan antara laju kematian dan pertumbuhan.
6. Fase kematian: terjadi respirasi dan metabolisme *endogeneous*, laju kematian meningkat.

Fase pertumbuhan bakteri dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



Sumber: Operasi dan Proses Pengolahan Air (Masduqi, Ali dkk, 2012)

Gambar 2. 4 Kurva Pertumbuhan Mikroba

### 2.3.3 Bakteri Patogen

Bakteri patogen dalam air limbah dapat dikelompokkan dalam beberapa grup (Said *et al.*, 2017), yaitu:

1. Kelompok gram negatif fakultatif anaerobik, misalnya *Aeromonas*, *Plesiomonas*, *Vibrio*, *Enterobacter*, *Eschericia*, *Klebsiella*, *Salmonella* dan *Shigella*.
2. Kelompok bakteri gram negatif aerobik, misalnya *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Flavobacterium*, dan *Acinobacter*.
3. Kelompok bakteri gram positif yang membentuk spora, misalnya *Bacillus sp.*
4. Kelompok bakteri gram positif yang tidak membentuk spora, misalnya *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, dan *Rhodococcus*.

#### 2.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Di Indonesia belum terdapat regulasi yang mengatur baku mutu keberadaan bakteri patogen secara khusus, melainkan hanya mengatur tentang keberadaan bakteri *coliform*. Sementara bakteri *coliform* hanya berperan sebagai indikator adanya kandungan bakteri patogen pada air dan air limbah. Meskipun bakteri patogen yang termasuk dalam kelompok bakteri *coliform* sebagian besar berasal dari kotoran yang dihasilkan tubuh manusia dan sebagian besar penyakit yang diakibatkan oleh bakteri *coliform* yang terkonsumsi adalah penyakit pada pencernaan, namun terdapat perbedaan lain pada masing-masing bakteri terutama pada penyakit yang disebabkan. Contohnya pada bakteri *Escherichia coli* yang selain mengakibatkan penyakit *colibacillosis* yang menyebabkan diare berdarah hingga infeksi saluran kemih, juga dapat menyebabkan penyakit meningitis pada bayi. Sementara bakteri *Salmonella sp* dapat menyebabkan penyakit gastroenteritis atau flu perut pada manusia, dan bakteri *Shigella sp* yang dapat menyebabkan penyakit disentri atau *Shigellosis* (Husna, 2020). Oleh karena itu, dapat menjadi pertimbangan bagi pemerintah Indonesia untuk membuat regulasi terkait baku mutu air dan air limbah dengan parameter mikrobiologis yang lebih detail, tidak hanya parameter *coliform* yang hanya berperan sebagai indikator keberadaan bakteri patogen. Dengan adanya parameter yang lebih detail, maka apabila terjadi kerusakan unit pada IPAL Komunal maupun kebocoran pipa yang menyalurkan air limbah dan mencemari lingkungan, dapat diketahui risiko bahaya ataupun penyakit yang diakibatkan oleh adanya keberadaan masing-masing bakteri patogen pada IPAL Komunal. Sehingga masyarakat terdampak terutama masyarakat yang menggunakan air sungai maupun air sumur yang lokasinya dekat dengan IPAL Komunal dapat lebih berhati-hati karena mengetahui risiko yang ada serta lebih cepat melakukan penanggulangan maupun mendapatkan penanganan yang tepat.

Regulasi yang mengatur tentang parameter *coliform* biasanya menggunakan satuan MPN/100 ml karena dipengaruhi oleh metode yang digunakan untuk menghitung konsentrasi *coliform* pada sampel air yaitu dengan metode *multiple tube fermentation* atau fermentasi beberapa tabung. Umumnya menggunakan tiga set

tabung yang mengandung media kultur yang diinokulasi dengan tiga volume sampel yang berbeda yaitu 10 ml, 1 ml, dan 0,1 ml dan diinkubasi dengan suhu dan waktu tertentu sehingga bakteri yang dimaksudkan tumbuh. Setelah masa inkubasi, tabung diamati dan diberi tanda + (positif) atau – (negatif) tergantung ada atau tidaknya bakteri yang tumbuh dilihat dari beberapa ciri tertentu. Metode pengujian *coliform* pada dasarnya mirip dengan pengujian bakteri *Escherichia coli* yaitu dengan menggunakan tiga set tabung dengan volume sampel 10 ml, 1 ml, dan 0,1 ml. Yang membedakan adalah pada jenis media yang digunakan. Sehingga dalam hal ini baik pada hasil pengujian *coliform* maupun *Escherichia coli* dapat lebih mudah dibandingkan karena menggunakan satuan yang sama yaitu MPN/100 ml. Sementara itu, bakteri patogen lainnya seperti *Salmonella sp* dan *Shigella sp* tidak dapat dihitung menggunakan tabel MPN karena kedua bakteri tersebut bukan termasuk golongan bakteri *Coliform* (Wiliantari *et al.*, 2018) sehingga metode pengujian yang dapat dilakukan berbeda dan berpengaruh pula dengan satuan yang dapat digunakan. Untuk menguji keberadaan bakteri *Salmonella sp* dan *Shigella sp* dapat menggunakan teknik cawan sebar (*spread plate*) atau teknik cawan tuang (*pour plate*) menggunakan media yang memiliki kemampuan selektifitas tinggi sehingga hanya bakteri tertentu yang dapat tumbuh, yaitu contohnya adalah media *Salmonella Shigella Agar* (SSA). Sehingga bakteri yang tumbuh dapat dihitung langsung jumlah koloninya dan diberi satuan CFU/ml. Meskipun keduanya merupakan satuan yang digunakan untuk menghitung jumlah atau konsentrasi bakteri pada suatu sampel, MPN/100 ml dan CFU/ml tidak bisa dikonversi satu sama lain karena pada dasarnya sangat berbeda. Perbedaan satuan MPN/100 ml dan CFU/ml dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 2 Perbedaan Satuan MPN dan CFU, (Cho *et al.*, 2010)

<b>Pembeda</b>	<b>MPN</b>	<b>CFU</b>
Objek yang dihitung	Tabung positif	Setiap koloni
Jenis metode	Semi Kuantitatif	Kuantitatif
Metode yang dilingkupi	Metode MPN: 3 seri, 5 seri, 8 seri, atau 10 seri	<i>Spread/pour plate</i> pada media padat (agar), membran filtrasi,

<b>Pembeda</b>	<b>MPN</b>	<b>CFU</b>
	tabung. Metode MPN terotomatisasi	penanaman pada <i>dry rehydratable film, spiral plate count</i> .
Dasar perhitungan	Teori probabilitas berdasarkan positif-negatif. Presisi kurang	Satu koloni menggambarkan satu “sel” (unit tumbuh).  Lebih presisi
Dasar pemilihan pengenceran	Frekuensi tabung positif yang kadang-kadang tetapi tidak selalu.	Kisaran jumlah koloni yang memenuhi syarat statistik (25-250, 30-300, <150 dll).
Media pertumbuhan	Broth/cair pada tabung.  Lebih banyak membutuhkan media.	Agar/padat pada cawan.  Lebih sedikit membutuhkan media.
Mikroorganisme target	Sel bersifat terpisah seperti <i>Coliform, E. Coli, Enterococci, S. Aureus,</i> dan <i>Listeria</i> .	Semua jenis mikroorganisme tergantung media selektif yang dipakai.
Penyebab kesalahan atau positif palsu	Bakteri non target yang memiliki ciri metabolisme sama.	Koloni tidak terhitung atau terhitung ganda, antagonisme, kompetisi.
Inokulum	10 ml ( <i>double strength</i> ) 1 ml ( <i>single strength</i> )	1 ml ( <i>pour plate</i> ) 0,1 ml ( <i>spread plate</i> ) 100 ml ( <i>membrane filter</i> )
Pengaruh waktu inkubasi	Tidak mengubah hasil jika diinkubasi melebihi waktu yang ditentukan.	Koloni dapat terus tumbuh jika terlalu lama diinkubasi.

Untuk saat ini, regulasi yang dapat digunakan sebagai acuan adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor

P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Di mana parameternya adalah bakteri *Coliform* dengan kadar maksimum 3000 MPN/100 ml.

## 2.5 Penelitian Terdahulu

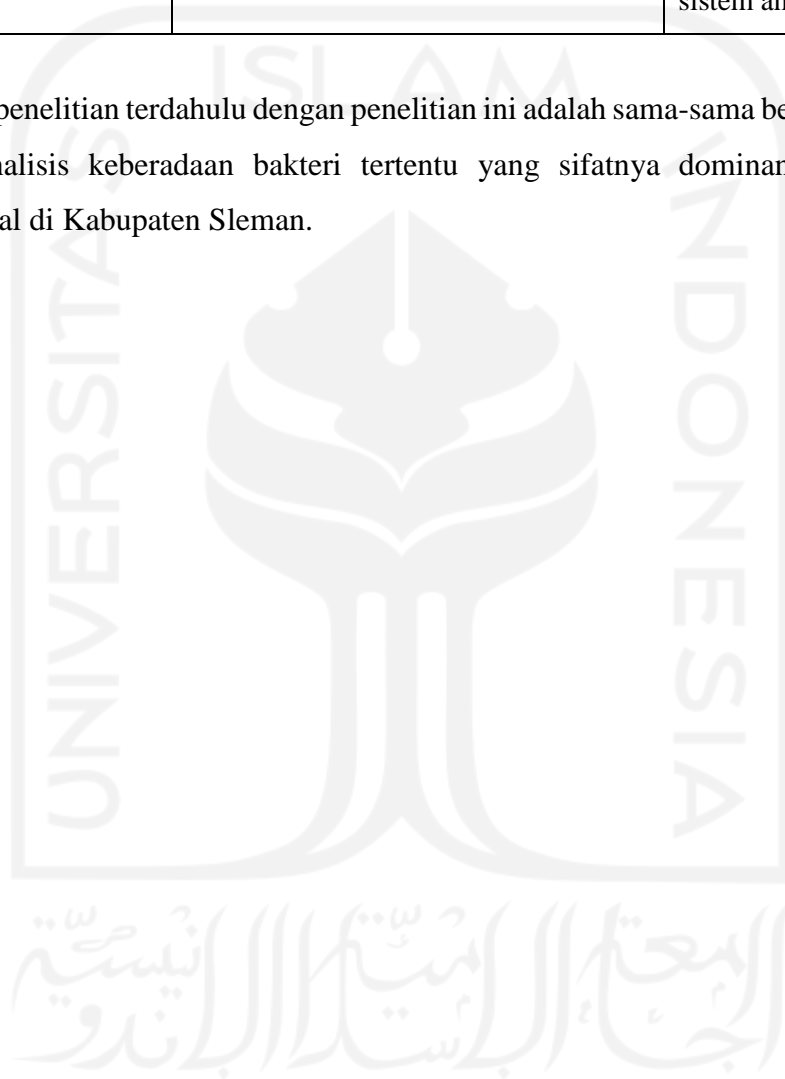
Penelitian ini dilakukan untuk memperkaya dan melengkapi penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Berikut merupakan beberapa hasil dari penelitian yang telah dilakukan terkait dengan keberadaan bakteri patogen maupun bakteri dominan pada IPAL:

Tabel 2. 3 Hasil Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian Secara Umum
1.	Cahyani, 2021	Analisis Bakteri Dominan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal dengan Tingkat Resiko Sangat Tinggi di Kabupaten Sleman.	Pada IPAL Komunal dengan tingkat resiko sangat tinggi ditemukan bahwa jenis bakteri patogen yang mendominasi di antaranya adalah <i>Advenella faeciporci</i> , <i>Ruminococcus albus</i> , <i>Methanogenic Bacteria</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Nocardia Farcinica</i> , dan <i>Thiothrix</i> (Cahyani, 2021).
2.	Maulida, 2021	Identifikasi Mikroba Dominan pada IPAL Komunal di Area dengan Tingkat Resiko Sanitasi Tinggi di Kabupaten Sleman.	Dari 3 IPAL Komunal yang terdapat di Kabupaten Sleman, diasumsikan bakteri dominan yang ditemukan mencakup <i>Methanobacterium</i> , <i>Methanobacillus</i> , <i>Methanococcus</i> , <i>Methanosarcina</i> , <i>Microthrix</i> , dan <i>Clostridium</i> . (Maulida, 2021)
3.	Irfani, 2021	Analisis Mikroba Dominan pada IPAL Komunal Kabupaten Sleman.	Berdasarkan hasil pengujian sampel pada 3 IPAL Komunal di Kabupaten Sleman, ditemukan bakteri <i>Microthrix</i> yang tergolong

No.	Nama Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian Secara Umum
			sebagai bakteri pencemar filamen pada sistem anaerobik dan <i>Methanobacteria</i> yang tergolong sebagai bakteri pengurai pada sistem anaerobik (Azhari, 2021) .

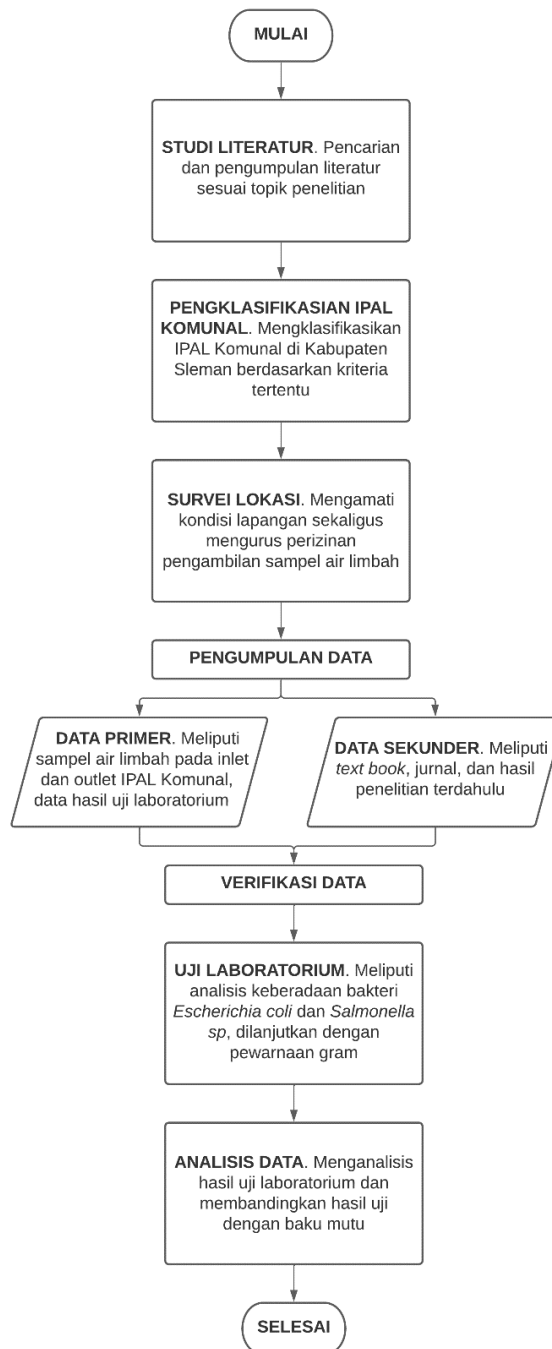
Kaitan penelitian terdahulu dengan penelitian ini adalah sama-sama bertujuan untuk menganalisis keberadaan bakteri tertentu yang sifatnya dominan pada IPAL Komunal di Kabupaten Sleman.





## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dimulai pada bulan April 2022 dengan melakukan survei ke lokasi masing-masing IPAL Komunal. Setelah melakukan survei dan mendapatkan izin dari pengurus IPAL Komunal, dilanjutkan dengan melakukan pengambilan sampel air limbah pada masing-masing inlet dan outlet IPAL Komunal dimulai dari bulan Mei 2022 dan pengujian keberadaan bakteri patogen *Escherichia coli* dan *Salmonella sp* hingga bulan Agustus 2022.

Penelitian dilaksanakan di tiga lokasi IPAL Komunal di Kabupaten Sleman. IPAL Komunal yang diteliti tersebar di tiga kecamatan berbeda, yaitu IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati di Kecamatan Depok, IPAL Komunal Bakti Warga di Kecamatan Mlati, dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih di Kecamatan Ngaglik. Sementara untuk penelitian terkait keberadaan bakteri patogen dilakukan di Laboratorium Bioteknologi Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang berada di Kecamatan Ngemplak. Lokasi IPAL Komunal tempat dilaksanakannya pengambilan sampel air limbah disajikan dalam bentuk peta sebagai berikut.



Gambar 3.2 Komunal Manunggal Pringgodani Sejati, Kecamatan Depok



Gambar 3.3 IPAL Komunal Bakti Warga, Kecamatan Mlati



Gambar 3.4 IPAL Komunal Tambakrejo Bersih, Kecamatan Ngaglik

### 3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan data maupun informasi terkait tema penelitian agar dapat diperoleh dasar teori yang relevan dan akurat untuk

menunjang penelitian yang dilakukan. Studi literatur bisa diperoleh melalui jurnal ilmiah, peraturan/regulasi yang masih berlaku, *text book*, maupun tugas akhir dengan tema serupa.

### **3.4 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penelitian mencakup data primer dan data sekunder.

#### **3.4.1 Data Primer**

Data primer dalam penelitian ini mencakup data terkait IPAL Komunal yang diperoleh dari hasil survei ke lokasi secara langsung dan melakukan wawancara kepada masing-masing pengurus IPAL Komunal, yaitu IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati, IPAL Komunal Bakti Warga, dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih. Sampel air limbah yang diambil dari tiap IPAL Komunal juga termasuk dalam data primer. Dari sampel air limbah yang diambil dari inlet dan outlet masing-masing IPAL Komunal inilah yang diteliti apakah terdapat bakteri patogen atau tidak, serta dapat diketahui efisiensi pengolahan unit IPAL Komunal dalam penghilangan kontaminan biologis.

#### **3.4.2 Data Sekunder**

Data sekunder diperoleh melalui sumber yang memuat data-data yang dibutuhkan, seperti profil Kabupaten Sleman, teknik atau metode pengambilan sampel dan pengujian kandungan bakteri patogen pada air limbah dan data-data lainnya yang relevan. Sumber data sekunder meliputi Buku Putih Sanitasi Kabupaten Sleman serta media cetak maupun media elektronik yang menyediakan jurnal-jurnal penelitian dengan tema terkait penelitian serupa.

### 3.5 Metode Penelitian

#### 3.5.1 Metode Pemilihan IPAL Komunal

Pengklasifikasian IPAL Komunal didasarkan pada empat kriteria yang terdapat pada buku panduan praktis pelaksanaan studi penilaian risiko lingkungan atau EHRA (*Environmental Health Risk Assessment*) dan melakukan survei untuk memperoleh data IPAL Komunal mana sajakah di Kabupaten Sleman yang termasuk dalam strata satu, dua, tiga, dan empat. Strata satu adalah IPAL Komunal yang memenuhi salah satu kriteria dari keempat kriteria klasifikasi IPAL, sementara IPAL Komunal strata dua adalah IPAL Komunal yang memenuhi dua kriteria IPAL Komunal dan seterusnya hingga strata keempat. Keempat kriteria yang dimaksud adalah sebagai berikut :

1. Kepadatan penduduk  $> 25$  Jiwa/Ha

Dalam tingkat kabupaten yang jumlah penduduknya tidak merata, maka penelitian harus diutamakan untuk dilaksanakan di wilayah yang kepadatan penduduknya lebih dari 25 Jiwa/Ha.

2. Rasio cakupan pelayanan  $> 75$  KK

Apabila IPAL Komunal melayani lebih dari rasio cakupan pelayanan maka akan berpengaruh pada kerentanan fisik IPAL Komunal maupun kualitas efluen yang dihasilkan.

3. Debit puncak IPAL Komunal lebih dari  $50 \text{ m}^3/\text{Hari}$

Kriteria ini dapat dihitung dengan perkiraan 1 KK terdiri dari empat orang yang menggunakan pendekatan penggunaan air bersih harian yaitu 140 L/orang/hari dan air limbah yang dihasilkan adalah 80% dari air bersih yang digunakan.

4. Usia IPAL Komunal  $> 8$  tahun

Waktu normal untuk penggantian suku cadang IPAL Komunal adalah 8 tahun, sehingga dapat dijadikan perkiraan usia optimal IPAL Komunal adalah sampai rentang waktu kurang lebih 8 tahun.

Suatu IPAL Komunal yang memiliki kriteria di atas semakin banyak kriterianya dimiliki maka semakin tinggi pula risiko sanitasinya. IPAL Komunal yang masuk dalam strata satu merupakan IPAL dengan tingkat risiko sanitasi rendah, IPAL

Komunal strata dua merupakan IPAL dengan tingkat risiko sanitasi sedang, IPAL Komunal strata tiga merupakan IPAL dengan tingkat risiko sanitasi tinggi dan IPAL Komunal strata empat merupakan IPAL dengan tingkat risiko sanitasi sangat tinggi.

Kabupaten Sleman terdiri atas beberapa kecamatan, dan setiap kecamatannya terdapat IPAL Komunal dengan berbagai strata. Pemilihan IPAL Komunal berdasarkan kepadatan penduduk di kecamatan yang ada pada Kabupaten Sleman. Berdasarkan data yang diperoleh dari dokumen Kabupaten Sleman dalam angka 2022, didapatkan bahwa terdapat empat kecamatan dengan kepadatan penduduk terpadat di Kabupaten Sleman yaitu Kecamatan Depok, Kecamatan Ngaglik, Kecamatan Mlati, dan Kecamatan Gamping. Namun IPAL Komunal yang dipilih hanya dari tiga kecamatan yaitu Kecamatan Depok, Kecamatan Ngaglik, dan Kecamatan Mlati yang dianggap sudah cukup merepresentasi daerah dengan jumlah penduduk terpadat di Kabupaten Sleman. Serta pemilihan IPAL Komunal yang diteliti juga didasarkan dengan strata yang sama yaitu strata empat dengan risiko sanitasi sangat tinggi. Maka IPAL Komunal yang terpilih untuk diteliti adalah IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati di Kecamatan Depok, IPAL Komunal Bakti Warga di Kecamatan Mlati, dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih di Kecamatan Ngaglik.

### **3.5.2 Metode Pengambilan Sampel Air Limbah**

Pengambilan sampel air limbah dilaksanakan di tiga lokasi IPAL Komunal di Kabupaten Sleman yang tersebar di tiga kecamatan berbeda. Ketiga IPAL Komunal yang menjadi lokasi pengambilan sampel air limbah adalah IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati di Kecamatan Depok, IPAL Komunal Bakti Warga di Kecamatan Mlati, dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih di Kecamatan Ngaglik. Titik pengambilan sampel pada masing-masing IPAL Komunal yaitu pada inlet dan outlet agar dapat diketahui kadar jumlah bakteri patogen sebelum dan setelah melalui pengolahan di IPAL Komunal.

Metode pengambilan sampel air limbah menggunakan *Grab Sampling* (SNI, 2008) yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 6989.59.2008 tentang Air dan Air Limbah – Bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Sebelum melakukan pengambilan sampel di lapangan, alat yang digunakan disterilisasi terlebih dahulu agar terhindar dari kontaminasi yang berasal dari luar sampel.

### **3.5.3 Metode Analisis Bakteri Patogen Pada Suatu Sampel**

Metode yang digunakan untuk menganalisis keberadaan bakteri *Escherichia coli* berbeda dengan metode yang digunakan untuk menganalisis bakteri *Salmonella sp.* Namun, seluruh tahapan pengujian harus dilakukan dengan teknik aseptis untuk menghindari adanya kontaminasi yang tidak diinginkan pada sampel yang diuji.

#### **3.5.3.1 Metode Analisis Bakteri *Escherichia coli***

Mengacu kepada modul praktikum Mikrobiologi Lingkungan oleh Lathifah, dkk (2019), analisis keberadaan bakteri *Escherichia coli* dalam suatu sampel terdiri dari tiga tahapan utama yaitu tes pendugaan (*presumptive test*), tes penegasan (*confirmed test*), dan tes pelengkap (*completed test*).

Tes pendugaan dilakukan dengan menyiapkan 5 tabung media *Lactosa Broth* steril ganda 10 ml dan 10 tabung reaksi berisi *Lactosa Broth* steril tunggal 10 ml yang semuanya telah diisi tabung durham dengan posisi terbalik. Kemudian sampel air limbah dipindahkan menggunakan pipet steril sebanyak 10 ml pada masing-masing *Lactosa Broth* steril ganda, 1 ml pada 5 tabung *Lactosa Broth* steril tunggal, dan sebanyak 0,1 ml pada 5 tabung *Lactosa Broth* steril tunggal. Setelah dipindahkan, kelima belas tabung media yang sudah dimasukkan sampel air limbah diinkubasi pada suhu 37° C selama 24 jam. Setelah 24 jam, tabung-tabung tersebut diamati apakah terbentuk gas serta asam atau tidak. Jika ada tabung yang tidak menghasilkan gas maupun asam dalam waktu 24 jam, tabung tersebut diinkubasi lagi hingga 48 jam dan diamati kembali. Setelah masa inkubasi selesai dan telah

dilakukan pengamatan, maka hasil pengamatan dicatat dan dilanjutkan ke tes penegasan.

Tes penegasan dilakukan dengan menyiapkan 10 ml media EC-MUG Broth pada tabung reaksi sejumlah banyaknya tabung reaksi yang positif menghasilkan gas dan asam pada tes sebelumnya yaitu tes pendugaan. Kemudian sampel dari tes pendugaan diinokulasi menggunakan jarum ose steril ke media EC-MUG yang di dalamnya sudah terdapat tabung Durham dalam posisi terbalik. Setelah itu sampel diinkubasi pada suhu 44,5° C selama 24 jam. Setelah 24 jam sampel diuji menggunakan lampu UV. Apabila sampel berwarna biru pendar atau berfluoresens maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya yaitu tes pelengkap.

Tes pelengkap merupakan rangkaian akhir dari tahap pengujian bakteri *Escherichia coli*. Diawali dengan menyiapkan media EMB (*Eosin Methylen Blue*) Agar pada cawan petri sebanyak jumlah sampel yang berfluoresens pada media EC-MUG di tes penegasan. Pemindahan sampel dengan metode *streak plate*. Kemudian sampel pada media EMB Agar diinkubasi pada suhu 37° C selama 24 jam. Apabila setelah diinkubasi terbentuk koloni bakteri berwarna hijau metalik maka menandakan pada sampel tersebut terdapat bakteri *Escherichia coli*.

Setelah rangkaian pengujian keberadaan bakteri *Escherichia coli* selesai dilakukan, maka dapat dihitung konsentrasi bakteri *Escherichia coli* pada masing-masing sampel air limbah dari inlet maupun outlet IPAL Komunal dengan cara menghitung jumlah cawan petri yang terdapat koloni *Escherichia coli* yang ditandai dengan munculnya koloni berwarna hijau metalik kemudian dicocokkan sesuai dengan jumlah yang mengacu pada tabel MPN (*Most Probably Number*).



Tabel 3. 1 Tabel MPN

VOLUME			Indeks MPN/100 mL	VOLUME			Indeks MPN/100 mL
1 0	1	0,1		10	1	0,1	
0	0	0	<2	4	2	1	26
0	0	1	2	4	3	0	27
0	1	0	2	4	3	1	33
0	2	0	4	4	4	0	34
1	0	0	2	5	0	0	23
1	0	1	4	5	0	1	31
1	1	0	4	5	0	2	43
1	1	1	6	5	1	0	33
1	2	0	6	5	1	1	46
2	0	0	5	5	1	2	63
2	0	1	7	5	2	0	49
2	1	0	7	5	2	1	70
2	1	1	9	5	2	2	94
2	2	0	9	5	3	0	79
2	3	0	12	5	3	1	110
3	0	0	8	5	3	2	140
3	0	1	11	5	3	3	180
3	1	0	11	5	4	0	130
3	1	1	14	5	4	1	170
3	2	0	14	5	4	2	220
3	2	1	17	5	4	3	280
3	3	0	17	5	4	4	350
4	0	0	13	5	5	0	240
4	0	1	17	5	5	1	350
4	1	0	17	5	5	2	540
4	1	1	21	5	5	3	920
4	1	2	26	5	5	4	1600
4	2	0	22	5	5	5	2400

Apabila rangkaian angka tabung positif tidak terdapat dalam tabel MPN, maka konsentrasi bakteri dapat dihitung dengan menggunakan formula Thomas, yaitu :

$$\text{MPN/100 ml} = (100 \times P) / (N \times T)^{1/2} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

P = Jumlah tabung positif

N = Volume sampel dari semua kombinasi tabung negatif

T = Volume total sampel pengencer yang dipilih

### 3.5.3.2 Metode Analisis Bakteri *Salmonella sp*

Analisis bakteri *Salmonella sp* menggunakan media SSA (*Salmonella Shigella Agar*). Diawali dengan melakukan pengenceran berseri (*serial dillution*) pada

masing-masing sampel air limbah dari inlet dan outlet sebanyak enam kali pengenceran. Pada hasil pengenceran kelima dan keenam, masing-masing diambil sebanyak 1 ml dan dikultur pada media SS Agar dengan metode *pour plate*. Yaitu dengan menuangkan 1 ml sampel ke dalam cawan petri steril, lalu menuangkan 10 ml media SS Agar yang masih dalam keadaan cair. Kemudian cawan petri ditutup kembali dan ditunggu hingga media mengeras. Lalu cawan petri diinkubasi pada suhu 37° C selama 24 jam dalam posisi terbalik. Setelah 24 jam, cawan petri diamati apakah tumbuh koloni bakteri atau tidak. Jika terdapat koloni bakteri, jumlah koloni dihitung menggunakan alat *colony counter* dan dihitung densitasnya menggunakan rumus berikut :

$$10^{-5} \rightarrow \frac{\text{jumlah koloni yang tumbuh} \times 10^{-5}}{\text{volume sampel}} \dots\dots\dots(2)$$

$$10^{-6} \rightarrow \frac{\text{jumlah koloni yang tumbuh} \times 10^{-6}}{\text{volume sampel}} \dots\dots\dots(3)$$

Metode ini cukup akurat apabila jumlah koloni terhitung berada dalam rentang 30-300 koloni. Apabila koloni terhitung kurang dari 30 maka kondisi tersebut dinamakan TFTC (*too few too count*), dan sebaliknya apabila jumlah koloni terhitung lebih dari 300 koloni maka kondisi tersebut dianggap TNTC (*too numerous too count*).

### 3.5.3.3 Metode Pewarnaan Gram Bakteri

Untuk memastikan bahwa bakteri yang didapatkan dari hasil kultur pada masing-masing media tertentu merupakan bakteri yang dicari, perlu dilakukan pewarnaan gram. Dengan melakukan pewarnaan gram, bakteri akan lebih mudah diamati morfologinya dan dicocokkan dengan kriteria bakteri yang ditargetkan, sekaligus mengetahui sifat bakteri apakah termasuk dalam bakteri gram positif atau gram negatif. Pewarnaan gram bakteri menggunakan 4 jenis bahan pewarna yaitu kristal violet, iodine, alkohol 96% dan safranin.

Dalam pewarnaan bakteri dapat menggunakan pengenceran yaitu dengan mengambil empat tetes aquades steril yang disebar menjadi empat titik pada kaca preparat menggunakan jarum ose steril. Kemudian biakan bakteri yang akan

diwarnai diambil sejumlah satu koloni menggunakan jarum ose steril dan dicampurkan dengan aquades pada titik pertama, kemudian jarum ose disterilkan lagi dengan cara dipijarkan pada api bunsen dan diambil sedikit dari aquades yang sudah bercampur dengan biakan bakteri di titik pertama untuk dicampurkan dengan aquades pada titik kedua, begitu seterusnya hingga titik keempat. Kemudian kaca preparat difiksasi atau dikering anginkan menggunakan api bunsen.



Gambar 3. 5 Zat Pewarna Gram Bakteri

Setelah difiksasi, dilanjutkan pada tahap berikutnya yaitu pemberian zat warna. Zat warna yang pertama adalah kristal violet, dengan cara diteteskan menggunakan pipet tetes dengan posisi kaca preparat miring dan diteteskan dari sisi pinggir atas hingga mengalir melewati keempat titik aquades yang telah bercampur dengan sampel. Kemudian ditunggu selama 30 detik, lalu dibilas dengan aquades dengan cara yang sama seperti saat meneteskan zat warna kristal violet. Kemudian kaca preparat difiksasi kembali dan dilanjutkan ke zat pewarna selanjutnya yaitu iodine. Tahap pewarnaan menggunakan iodine serupa dengan kristal violet, setelah diteteskan menggunakan pipet tetes lalu ditunggu selama 30 detik. Setelah itu, dibilas menggunakan aquades dan difiksasi. Pada zat ketiga yaitu menggunakan alkohol 96% juga sama tahapannya, hanya saja perbedaannya terletak pada waktu tunggu zat pewarna yang dibiarkan menempel pada sampel, yaitu 15 detik. Yang terakhir adalah zat pewarna safranin, untuk tahapannya sama persis dengan tahapan pada pemberian zat pewarna kristal violet dan iodine. Setelah bakteri selesai diwarnai dan difiksasi untuk yang terakhir kali, bakteri pada kaca preparat sudah

bisa diamati morfologinya menggunakan mikroskop. Pada penelitian ini menggunakan mikroskop yang dilengkapi dengan Opti Lab sebagai kamera eksternal yang terpasang pada lensa okuler mikroskop, yang hasil pengamatannya dapat dilihat pada monitor komputer yang tersambung menggunakan perangkat lunak yang bernama sama, sehingga hasil pengujian dapat terlihat dengan lebih jelas dan lebih mudah dalam menyimpan gambar-gambar bakteri yang telah diamati.



Gambar 3. 6 Mikroskop dengan Perangkat Opti Lab

### 3.6 Metode Analisis Data

Dalam penelitian ini digunakan metode analisis deskriptif kuantitatif. Yaitu dengan mengemukakan hipotesis yang diturunkan dari suatu teori dan diuji keabsahannya berdasarkan data empiris atau data yang diperoleh dari suatu penelitian. Penelitian diawali dengan pengambilan sampel air limbah IPAL Komunal pada inlet dan outlet di tiga lokasi berbeda dan diuji di Laboratorium Bioteknologi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia. Dari hasil pengujian tersebut lalu dapat ditarik kesimpulan apakah terdapat bakteri *Escherichia coli* dan *Salmonella sp* atau tidak. Data kuantitatif berdasarkan hasil perhitungan jumlah bakteri pada masing-masing inlet dan outlet IPAL Komunal, serta hasil pengamatan morfologi dan sifat bakteri untuk memastikan bakteri yang dikultur sesuai dengan yang ditargetkan

menggunakan pewarnaan gram. Untuk menghitung jumlah bakteri *Escherichia coli* menggunakan metode MPN (*Most Probably Number*) dengan satuan MPN/100 ml. Sementara perhitungan bakteri *Salmonella sp* dengan menggunakan CFU (*Colony Forming Unit*) dan dihitung jumlah koloni yang tumbuh menggunakan alat *Colony Counter* serta mencari densitasnya hingga didapatkan jumlah koloni dengan satuan CFU/ml. Kemudian pada hasil pewarnaan bakteri dapat lebih mudah diamati morfologi bakteri sekaligus mengetahui sifat bakteri.

Setelah tahapan analisis dan perhitungan konsentrasi bakteri pada tiap IPAL Komunal selesai dilakukan, maka dapat dilanjutkan dengan menghitung efisiensi penghilangan bakteri *Escherichia coli* pada IPAL Komunal yang diteliti menggunakan rumus berikut:

$$(\%) = \frac{(\text{konsentrasi bakteri inlet} - \text{konsentrasi bakteri outlet}) \times 1}{\text{konsentrasi bakteri outlet}} 100 \% \dots\dots\dots(4)$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung efisiensi penghilangan bakteri adalah sama untuk semua jenis bakteri. Yang membedakan hanyalah satuan konsentrasi bakteri yang digunakan. Selain menghitung efisiensi penghilangan bakteri, diperlukan juga untuk membandingkan hasil uji kualitas air limbah pada outlet dengan baku mutu air limbah agar dapat dipastikan bahwa air limbah yang sudah terkelola aman untuk dibuang ke lingkungan.

Bakteri *Coliform* 90% dikeluarkan dari tubuh manusia dan didominasi keberadaannya oleh bakteri *Escherichia coli* (Khotimah, 2013). Sehingga pada penelitian ini efisiensi penghilangan bakteri hanya akan dihitung pada bakteri *Escherichia coli* saja dan bakteri temuan lainnya akan digunakan sebagai data pelengkap.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Survei IPAL Komunal**

Sebelum melakukan pengambilan sampel air limbah pada IPAL Komunal, diperlukan survei lokasi IPAL Komunal di terlebih dahulu untuk melihat kondisi lapangan sekaligus memastikan apakah pada IPAL Komunal yang dipilih boleh dilakukan pengambilan sampel atau tidak oleh pengurus masing-masing IPAL Komunal. Setelah memastikan IPAL yang dituju sudah sesuai dengan kriteria yang dipilih yaitu IPAL Komunal strata 4 atau IPAL Komunal dengan risiko sanitasi sangat tinggi serta telah mendapatkan izin dari pengurus untuk kegiatan pengambilan sampel air limbah, maka dipilihlah ketiga IPAL Komunal yang akan dijadikan lokasi pengambilan sampel air limbah yaitu di IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati di Kecamatan Depok, IPAL Komunal Bakti Warga di Kecamatan Mlati, dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih di Kecamatan Ngaglik. Kemudian penulis melakukan koordinasi dengan pengurus IPAL agar mendapat pendampingan pada saat melakukan pengambilan sampel. Survei IPAL Komunal dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pada tanggal 03 April 2022 dan 15 April 2022.

#### **4.2 Kondisi Eksisting IPAL Komunal**

Setelah melakukan survei dan memperoleh data yang diperlukan hingga dapat terpilih tiga lokasi IPAL Komunal yang akan diteliti, maka akan dijabarkan kondisi eksisting IPAL Komunal terpilih yaitu IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati di Kecamatan Depok, IPAL Komunal Bakti Warga di Kecamatan Mlati, dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih di Kecamatan Ngaglik.

##### **4.2.1 IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati**

IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati terletak di Gang Arimbo Nomor 7, Dusun Mrican, RT 16/RW 06, Caturtunggal, Kecamatan Depok dengan titik

koordinat  $-7.772663^{\circ}$  dan  $110.394552^{\circ}$ . IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati dibangun pada tahun 2013 dan melayani 370 jiwa. IPAL Komunal ini menggunakan teknologi pengolahan ABR (*Anarobic Baffled Reactor*) dengan tujuh sekat di dalamnya (Cahyani, 2021). Kondisi IPAL Komunal cukup baik dan terawat namun sayangnya terletak terlalu dekat dengan rumah-rumah milik warga sekitar, bahkan ada warga yang tinggal tepat di lokasi IPAL. Untuk lokasi sekitar IPAL agak kurang terawat karena banyak ditemukan tumpukan material bangunan bekas atau yang sudah rusak dan tidak terpakai. Di seberang IPAL juga terdapat lahan kosong yang dijadikan tempat pembuangan sampah oleh warga sekitar hingga sampah cukup menggunung dan menimbulkan bau tidak sedap terutama jika terbawa tiupan angin. Efluen IPAL dibuang langsung ke badan air dan kualitasnya sudah cukup baik dilihat dari warna air limbah yang cukup jernih dan aroma tidak sedap yang sudah jauh berkurang. Kondisi eksisting IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati dapat dilihat pada Gambar 4. 1.



Gambar 4. 1 Unit Pengolahan IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati

#### 4.2.2 IPAL Komunal Bakti Warga

IPAL Komunal Bakti Warga terletak di Mulungan Kulon, RT 04/RW 12, Sendangadi, Kecamatan Mlati dengan titik koordinat  $-7.730378^{\circ}$  dan  $110.362177^{\circ}$ . IPAL Komunal Bakti Warga dibangun pada tahun 2012 oleh kerjasama warga Mulungan dengan PUSTEKLIM dan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman, dibantu oleh Kementerian Luar Negeri Pemerintah Jepang dalam Skema Proyek Bantuan Hibah untuk Lembaga Swadaya Masyarakat Jepang. IPAL Komunal Bakti Warga berkapasitas 150 KK namun hingga saat ini sedang melayani hingga 164 KK. IPAL Komunal ini menggunakan teknologi pengolahan RBC (*Rotating Biological Contactor*). Kondisi eksisting IPAL Komunal Bakti Warga dapat dikatakan sangat baik dan terawat. Di area IPAL terdapat sebuah pendopo dan taman sehingga IPAL Komunal ini memiliki nilai estetika. Pada pendopo terdapat papan informasi yang memuat beberapa informasi terkait IPAL Komunal. Lokasi IPAL Komunal cukup berjarak dari rumah warga di sekitarnya. Kondisi efluen secara kasat mata juga cukup baik, dibandingkan dengan influennya, air limbah pada outlet sudah berwarna cukup jernih dan bau yang dihasilkan juga sudah berkurang jauh. Kondisi eksisting IPAL Komunal Bakti Warga dapat dilihat pada Gambar 4.2.





Gambar 4.2 Unit Pengolahan IPAL Komunal Bakti Warga

### 4.2.3 IPAL Komunal Tambakrejo Bersih

IPAL Komunal Tambakrejo Bersih berlokasi di Dusun Tambakrejo, RT 06/RW 12, Sariharjo, Kecamatan Ngaglik dengan titik koordinat  $-7.714398^{\circ}$  dan  $110.375846^{\circ}$ . IPAL Komunal Tambakrejo Bersih dibangun pada tahun 2012. Teknologi pengolahan yang digunakan pada IPAL Komunal ini adalah ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*) dengan 7 sekat (Cahyani, 2021). Kondisi eksisting IPAL cukup terawat dan terletak sangat dekat dengan kolam ikan serta kandang kambing milik warga setempat. Pada inlet tidak hanya terdapat lumpur dan air limbah tapi juga terdapat bangkai hewan tikus dan beberapa sampah yang ikut masuk dari saluran. Efluen pada outlet menunjukkan hasil pengolahan yang cukup baik karena dilihat secara kasat mata air limbah sudah cukup jernih dan bau tidak sedap juga berkurang. Kondisi eksisting IPAL Komunal Tambakrejo Bersih dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Unit Pengolahan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih

### 4.3 Pengambilan Sampel Air Limbah

#### 4.3.1 Persiapan Alat Pengambilan Sampel

Sebelum melakukan pengambilan sampel air limbah pada lokasi, perlu dipersiapkan alat-alat yang dibutuhkan terlebih dahulu yang melingkupi botol sampel, *cool box*, *ice pack*, ciduk, aluminium foil, gunting, korek api, spidol, alkohol semprot 70% dan sarung tangan latex.

Botol sampel diperlukan sebagai wadah sampel air limbah yang akan diteliti. Botol sampel sebelumnya harus disterilkan terlebih dahulu dengan cara dicuci bersih lalu dikeringkan, kemudian dibungkus rapat dengan aluminium foil. Kemudian botol sampel yang telah dibungkus disterilkan menggunakan autoklaf. *Cool box* dan *ice pack* berfungsi untuk menjaga kualitas air limbah yang diambil selama perjalanan dari IPAL Komunal menuju laboratorium ataupun kulkas sementara apabila pengambilan sampel dilakukan saat akhir minggu dimana laboratorium tidak dapat diakses. *Cool box* dan *ice pack* juga perlu disterilkan dengan cara disemprotkan desinfektan atau alkohol sebelum dan setelah digunakan. Ciduk digunakan untuk

menimba air limbah dari inlet dan outlet IPAL Komunal. Ciduk perlu dibersihkan dan disterilkan sebelum dan sesudah dipakai dengan cara dibilas menggunakan air mengalir dan disemprotkan alkohol lalu dilap bersih. Aluminium foil diperlukan untuk membungkus lagi botol sampel setelah dilakukan pengambilan sampel. Gunting dibutuhkan untuk menggunting aluminium foil sesuai kebutuhan di lapangan. Korek api diperlukan untuk memanaskan mulut botol tepat sebelum mengisi air limbah ke dalam botol untuk menghindari kontaminasi dari luar sampel. Spidol digunakan untuk menulis atau memberi tanda pada botol sampel agar sampel dari inlet dan outlet tidak tertukar. Alkohol semprot 70% untuk mensterilkan tangan dan alat pengambil sampel di lapangan. Serta sarung tangan latex untuk melindungi peneliti dari kontak langsung dengan air limbah dan agar pengambilan sampel dapat dilakukan secara aseptis.

#### **4.3.2 Pengambilan Sampel**

Pengambilan sampel dilakukan secara bertahap per lokasi, artinya dalam satu hari hanya dilakukan satu kali pengambilan sampel pada satu IPAL Komunal, lalu sampel akan langsung dibawa untuk diuji. Setelah rangkaian pengujian selesai barulah sampel pada IPAL Komunal berikutnya diambil. Metode seperti ini dilakukan karena adanya keterbatasan jumlah alat di laboratorium, serta agar pengujian bisa terlaksana dengan lebih efektif karena tidak terlalu banyak sampel yang diuji sekaligus dalam satu kali pelaksanaan pengujian. Pengambilan sampel pertama dilakukan di IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati pada tanggal 30 Mei 2022 pengambilan sampel kedua di IPAL Komunal Bakti Warga pada tanggal 26 Juni 2022, dan pengambilan sampel terakhir di IPAL Komunal Tambakrejo Bersih pada tanggal 18 Juli 2022.

Titik pengambilan serta prosedur pengambilan sampel air limbah pada setiap IPAL Komunal adalah sama. Titik pengambilan sampel air limbah dilakukan di bagian inlet dan outlet. Prosedur pengambilan sampel air limbah diawali dengan membuka terlebih dahulu *manhole* inlet dan outlet, mensterilkan tangan menggunakan alkohol, kemudian memakai sarung tangan dan disemprotkan lagi dengan alkohol.

Botol sampel yang sudah disediakan kemudian disemprot dengan alkohol 70% lalu dibuka tutupnya dan pada mulut botol dipanaskan beberapa saat di dekat api dari korek. Lalu air limbah ditimba menggunakan ciduk steril, namun hasil timbaan yang pertama tidak langsung dimasukkan ke dalam botol sampel melainkan digoyang-goyangkan terlebih dahulu sehingga mengenai seluruh bagian dalam ciduk agar suasananya homogen. Kemudian air limbah tersebut dibuang kembali ke dalam *manhole* lalu ditimba ulang. Hasil timbaan kedua yang dimasukkan ke dalam botol sampel dan penuangan sampel air limbah kedua tersebut dilakukan tepat di atas *manhole* agar apabila ada air limbah yang tidak sengaja tumpah saat proses penuangan ke dalam botol sampel, air limbahnya akan langsung jatuh kembali ke dalam inlet atau outlet. Setelah itu botol sampel ditutup rapat kembali dan dibungkus dengan aluminium foil lagi yang sudah disiapkan sebelumnya. Setelah terbungkus rapat, botol sampel disemprot lagi dengan alkohol 70%. Terakhir, botol sampel diberi tanda atau diberi tulisan untuk menandai sampel air limbah tersebut berasal dari inlet atau outlet dan dimasukkan ke dalam *cool box* yang di dalamnya sudah terdapat *ice pack*. Pengambilan sampel sebaiknya dilakukan di outlet terlebih dahulu baru mengambil sampel di inlet karena dengan demikian ciduk yang digunakan tidak perlu dibilas, karena bekas dari outlet tidak akan mempengaruhi inlet maupun hasil pengambilan air sampel di inlet. Dengan catatan tetap harus menghomogenkan ciduk yang dipakai menggunakan air sampel yang akan diambil. Proses pengambilan sampel air limbah pada masing-masing IPAL komunal dapat dilihat pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4. 6.



Gambar 4.4 Pengambilan Sampel Air Limbah di IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati



Gambar 4.5 Pengambilan Sampel Air Limbah di IPAL Komunal Bakti Warga



Gambar 4. 6 Pengambilan Sampel Air Limbah di IPAL Komunal Tambakrejo Bersih

#### 4.4 Pengujian Laboratorium

Pengujian di laboratorium meliputi pengujian keberadaan bakteri *Escherichia coli* dan *Salmonella sp* sekaligus menghitung konsentrasi bakteri dalam sampel air limbah dilanjutkan dengan pewarnaan gram.

##### 4.4.1 Pengujian Bakteri *Escherichia coli*

Analisis keberadaan bakteri *Escherichia coli* dalam suatu sampel terdiri dari tiga tahapan utama yaitu tes pendugaan (*presumptive test*), tes penegasan (*confirmed test*), dan tes pelengkap (*completed test*).

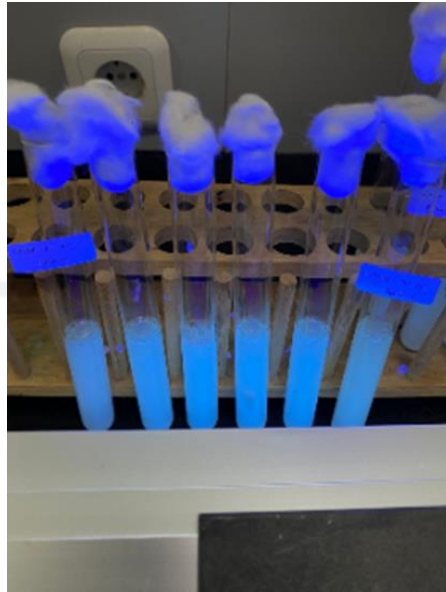
Tes pendugaan dilakukan dengan menggunakan media *Lactosa Broth*. Pada media *Lactosa Broth*, faktor selektif utamanya adalah laktosa, yang berperan untuk menyeleksi bakteri yang dapat memfermentasi gula ini. Bakteri *Coliform*, yang termasuk di dalamnya adalah bakteri *Escherichia coli* dapat memfermentasi laktosa sehingga bakteri tersebut dapat tumbuh pada media ini yang ditandai dengan terbentuknya gelembung pada tabung durham. Namun selain bakteri *Coliform* ada juga bakteri-bakteri lainnya yang dapat memfermentasi laktosa dapat ikut tumbuh pada media *Lactosa Broth*. Untuk itu perlu adanya tes lanjutan untuk menyeleksi lagi bakteri yang ditargetkan. Setelah inkubasi selama 24 jam, tabung-tabung

tersebut diamati apakah terbentuk gelembung pada tabung durham serta terbentuk asam atau tidak. Jika ada tabung yang tidak menghasilkan gelembung maupun asam dalam waktu 24 jam, tabung tersebut dapat diinkubasi lagi hingga 48 jam dan diamati kembali. Setelah masa inkubasi selesai dan telah dilakukan pengamatan, maka hasil pengamatan tersebut kemudian dicatat dan dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu tes penegasan.



Gambar 4. 7 Pembentukan Gas dan Asam pada Media LB Setelah Inkubasi 24 Jam

Tes penegasan dilakukan dengan menggunakan media EC-MUG. MUG adalah akronim untuk *4-methylumbelliferyl-beta-D-glucuronide*, yaitu substrat fluorogenik dari *beta-glucuronidase*. *Beta-D-glucuronidase* adalah enzim yang diproduksi sebagian besar strain *Escherichia coli* dan *Enterobacteriaceae* lainnya yang menghidrolisis turunan *beta-D-glucopyrasonid-uronic* menjadi aglikon dan asam *D-glukuronide*. Organisme yang mampu menghasilkan enzim *Beta-D-glucuronidase* memiliki kemampuan untuk membelah substrat *4-methylumbelliferyl-beta-D-glucuronide* dengan demikian menghasilkan gugus fluoresen *4-methylumbelliferyl* (4-MU). Maka apabila sampel berwarna biru pendar atau berfluoresens maka dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya yaitu tes pelengkap.



Gambar 4. 8 Sampel yang Berfluoresens pada Media EC-MUG Setelah Inkubasi 24 Jam

Tes pelengkap merupakan rangkaian akhir dari tahap pengujian bakteri *Escherichia coli*, yaitu dengan menggunakan media EMB (*Eosin Methylene Blue*). Terdapatnya pewarna *eosin* dan *methylene blue* pada media ini berperan untuk membedakan bakteri fermentasi laktosa dan bakteri fermentasi non-laktosa. Apabila setelah melewati fase inkubasi dan pada permukaan media EMB terbentuk koloni bakteri berwarna hijau metalik maka hal tersebut menandakan bahwa pada sampel tersebut terdapat bakteri *Escherichia coli*.



Gambar 4. 9 Koloni Bakteri *Escherichia coli* Berwarna Hijau Metalik pada Media EMB Setelah Inkubasi 24 Jam



Setelah rangkaian pengujian keberadaan bakteri *Escherichia coli* selesai dilakukan, maka dapat dihitung konsentrasi bakteri *Escherichia coli* pada masing-masing sampel air limbah dari inlet maupun outlet IPAL Komunal maka didapatkan hasil seperti yang ditampilkan pada Tabel 4. 1 berikut.

Tabel 4. 1 Konsentrasi Bakteri *Escherichia coli* pada Inlet dan Outlet IPAL Komunal

IPAL Komunal		Faktor Pengenceran			Konsentrasi E. coli (MPN/100 ml)
		10 ml	1 ml	0,1 ml	
IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati	Inlet	4	4	1	35,78
	Outlet	1	2	1	18,34
IPAL Komunal Bakti Warga	Inlet	4	2	1	26
	Outlet	2	3	1	21,22
IPAL Komunal Tambakrejo Bersih	Inlet	1	1	1	6
	Outlet	0	0	0	1

Contoh perhitungan konsentrasi bakteri *Escherichia coli* yang rangkaian angka tabung positifnya tidak terdapat pada tabel MPN menggunakan data hasil uji, yaitu misalnya yang terdapat pada inlet IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati, dimana rangkaian tabung positifnya adalah 4 – 4 – 1. Cara menghitung konsentrasi bakterinya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Contoh Perhitungan MPN Menggunakan Formula Thomas

Faktor Pengenceran	Jumlah Tabung (+)	Jumlah Tabung (-)	Vol. Sampel (-)	Vol. Total Sampel
	<b>P</b>		<b>N</b>	<b>T</b>
10	4	1	10	50
1	4	1	1	5
0,1	1	4	0,4	0,5
<b>MPN/100 ml</b>				<b>35,78</b>

$$\text{MPN/100 ml} = \frac{(100 \times 9)}{(11,4 \times 55,5)^{1/2}}$$

$$\text{MPN/100 ml} = \frac{(900)}{25,15}$$

$$\text{MPN/100 ml} = 35,78$$

Maka, konsentrasi bakteri *Escherichia coli* pada inlet IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati dengan rangkaian angka tabung positif 4 – 4 – 1 adalah 35,78 MPN/100 ml.

#### 4.4.2 Pengujian Bakteri *Salmonella sp*

Analisis bakteri *Salmonella sp* menggunakan media SSA (*Salmonella Shigella Agar*). Sesuai namanya, media SS Agar merupakan media khusus yang *highly selective*. Artinya tidak sembarangan bakteri yang bisa tumbuh pada media SS Agar kecuali bakteri yang masih sejenis atau berkerabat dekat dengan bakteri *Salmonella sp* dan *Shigella sp*. Beberapa jenis bakteri yang dapat tumbuh pada media SS Agar selain dari bakteri *Salmonella sp* dan *Shigella sp* adalah bakteri famili *Enterobacteriaceae* yaitu *Escherichia coli*, *Enterobacter sp*, *Klebsiella sp*, dan *Proteus sp* (Riga et al., 2015).

Setelah melalui proses pengujian yang terakhir yaitu inkubasi selama 24 jam pada suhu 37° C, jumlah koloni yang tumbuh pada permukaan media SS Agar kemudian diamati dan dihitung jumlahnya menggunakan alat *colony counter* serta dihitung pula densitasnya menggunakan rumus TPC (*Total Plate Counter*) sehingga didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4. 3 berikut.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Koloni Bakteri Patogen pada Media SS Agar dengan Metode TPC

IPAL	Unit	Faktor Pengenceran	Jumlah koloni/cawan A	Jumlah koloni/cawan B	Kerapatan sel (cfu/ml)
IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati	Inlet	10 <sup>-5</sup>	111	96	20.700.000
		10 <sup>-6</sup>	61	67	
	Outlet	10 <sup>-5</sup>	2	0	TFTC
		10 <sup>-6</sup>	1	4	
IPAL Komunal Bakti Warga	Inlet	10 <sup>-5</sup>	16	11	50.000.000
		10 <sup>-6</sup>	6	50	

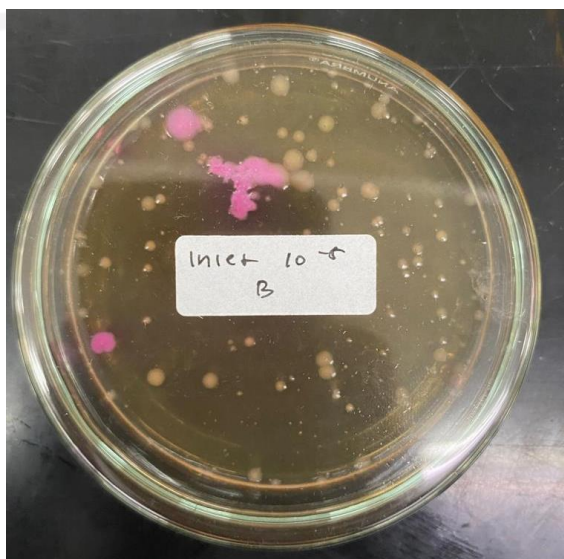
IPAL	Unit	Faktor Pengenceran	Jumlah koloni/cawan A	Jumlah koloni/cawan B	Kerapatan sel (cfu/ml)
	Outlet	$10^{-5}$	3	15	TFTC
		$10^{-6}$	1	0	
IPAL Komunal Tambakrejo Bersih	Inlet	$10^{-5}$	22	19	TFTC
		$10^{-6}$	7	12	
	Outlet	$10^{-5}$	9	0	TFTC
		$10^{-6}$	1	1	



Gambar 4. 10 Proses Pengenceran Sampel dari Inlet dan Outlet Untuk Pengujian Bakteri *Salmonella sp*

SS Agar terdiri dari garam empedu, natrium sitrat, *brilliant green*, enzim kasein, enzim pencernaan hewan, *beef extract*, tiosulfat, laktosa, *ferric* (besi) sitrat, *neutral red*, dan agar. Adanya garam empedu, natrium sitrat, dan *brilliant green* berfungsi untuk menghambat pertumbuhan organisme gram positif. Sementara laktosa berfungsi sebagai sumber karbohidrat, serta *beef extract*, enzim kasein, dan enzim pencernaan hewan menyediakan sumber nitrogen, karbon, dan vitamin yang mendukung pertumbuhan bakteri khusus pada media SS Agar. Bakteri yang memfermentasi laktosa dapat menghasilkan asam yang membentuk koloni berwarna merah atau merah muda dengan adanya indikator *neutral red*, dimana ciri koloni yang terbentuk seperti ini adalah bakteri *Escherichia coli* yang tumbuh pada permukaan media SS Agar. Sementara non-fermentator laktosa umumnya membentuk koloni tidak berwarna atau putih kekuningan transparan pada permukaan media SS Agar, seperti contohnya adalah koloni bakteri *Shigella sp*.

Sementara sodium tiosulfat dan besi sitrat memungkinkan deteksi hidrogen sulfida dengan produksi koloni transparan tidak berwarna dengan pusat berwarna hitam dimana ciri koloni yang tumbuh seperti demikian pada permukaan media SS Agar adalah bakteri *Salmonella sp.*



Gambar 4. 11 Koloni Bakteri yang Tumbuh pada Media SS Agar

Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat bahwa bakteri yang tumbuh pada media SS Agar tidak hanya satu jenis bakteri namun lebih. Terdapat perbedaan warna dan bentuk koloni yang muncul pada permukaan media. Berdasarkan ciri morfologisnya, adanya bakteri *Salmonella sp* ditandai dengan terbentuknya koloni yang cenderung transparan tidak berwarna dan terdapat spot atau pusat berwarna hitam di bagian tengah apabila terbentuk H<sub>2</sub>S. Pada hasil pengujian ini sama sekali tidak terdapat adanya bakteri *Salmonella sp* pada sampel air limbah dari ketiga IPAL Komunal yang diteliti. Pada media SS Agar terdapat koloni bakteri berwarna merah muda dengan ukuran kecil, berdasarkan ciri morfologis yang terlihat, diduga koloni tersebut adalah *Escherichia coli*. Sementara koloni bakteri lainnya yang tumbuh berwarna kuning transparan serupa dengan ciri morfologi bakteri *Shigella sp*. Hal ini lazim terjadi karena pada media SS Agar tidak menutup kemungkinan bagi bakteri selain *Salmonella* dan *Shigella sp* untuk tumbuh.

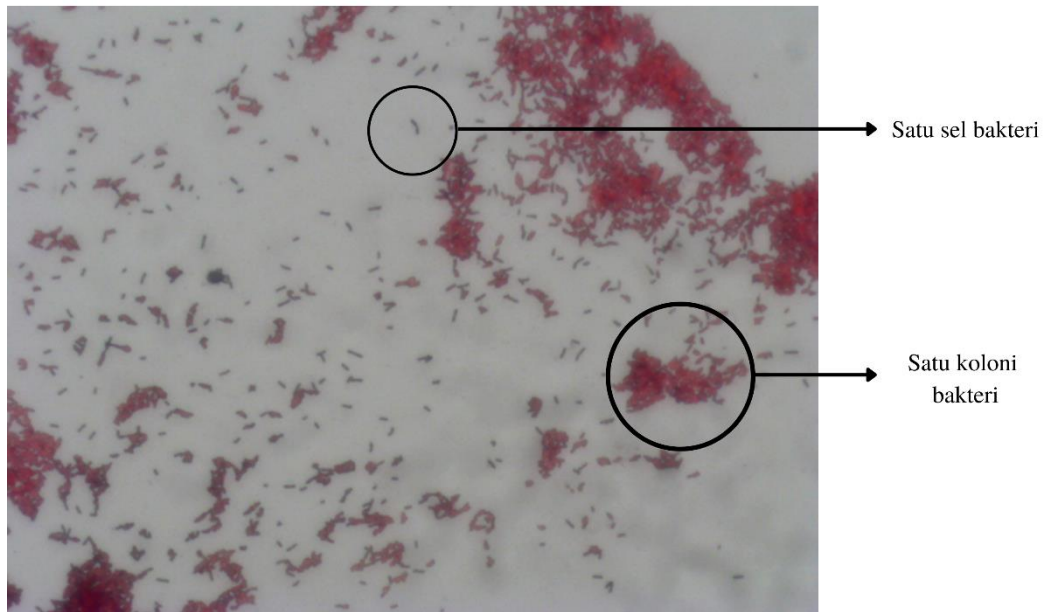
#### 4.4.3 Pewarnaan Gram Bakteri

Pada tahap ini, pengecatan atau pewarnaan gram bakteri bertujuan untuk memastikan bahwa bakteri yang didapatkan dari hasil kultur pada masing-masing media tertentu merupakan bakteri yang dicari. Yaitu dalam penelitian ini pewarnaan gram dilakukan untuk membuktikan atau memastikan bahwa bakteri yang tumbuh pada media EMB pada pengujian bakteri *Escherichia coli* adalah benar bakteri tersebut. Dengan melakukan pewarnaan gram, bakteri akan lebih mudah diamati morfologinya dan dicocokkan dengan ciri bakteri, sekaligus mengetahui sifat bakteri apakah termasuk dalam bakteri gram positif atau gram negatif. Pewarnaan gram bakteri menggunakan 4 jenis bahan pewarna yaitu kristal violet, iodine, alkohol 96% dan safranin.

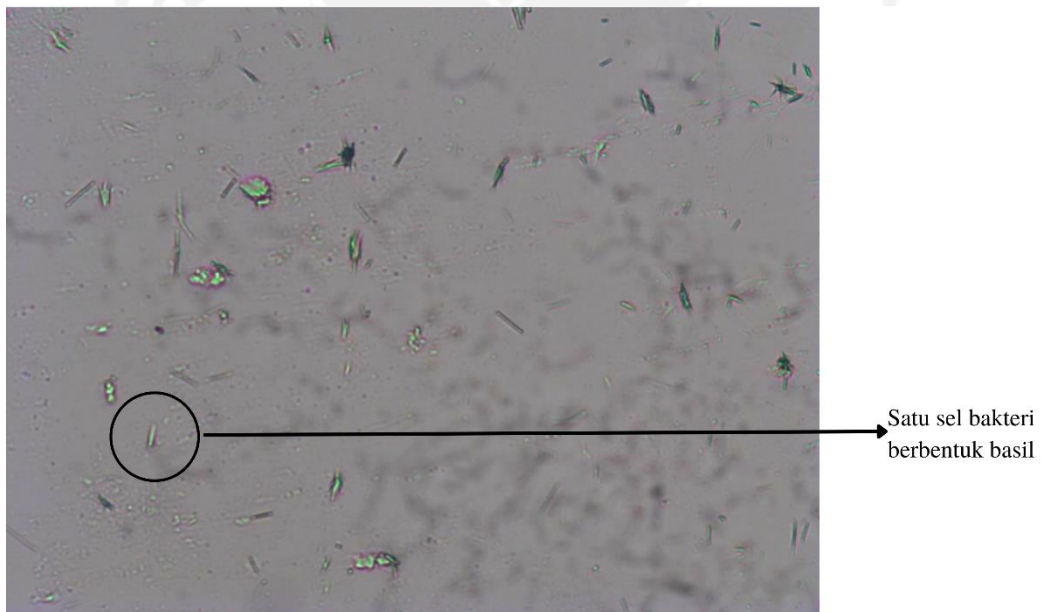


Gambar 4. 12 Proses Pewarnaan Gram Bakteri

Setelah bakteri selesai melewati tahapan pewarnaan dan telah difiksasi untuk yang terakhir kali, bakteri pada kaca preparat sudah bisa diamati morfologinya menggunakan mikroskop. Berikut merupakan hasil pengamatan bakteri yang telah melalui proses pewarnaan dari mikroskop dengan perbesaran 100× dan 400×



Gambar 4. 13 Hasil Pewarnaan Koloni Bakteri *Escherichia coli* (Perbesaran 100×)



Gambar 4. 14 Hasil Pewarnaan Koloni Bakteri *Escherichia coli* (Perbesaran 400×)

Dari hasil pewarnaan gram di atas, dapat dipastikan bahwa bakteri tersebut adalah *Escherichia coli* karena sesuai dengan cirinya, dilihat dari bentuknya yaitu bentuk basil dan hasil pewarnaan menunjukkan warna merah yang menandakan bakteri yang diamati adalah bakteri gram negatif karena mengikat warna merah dari

pewarna safranin yang dapat terjadi karena bakteri gram negatif memiliki struktur dinding sel dengan kandungan lipida yang tinggi (11-22%), polisakarida, dan protein. Dimana lipida dan polisakarida ini berkorelasi membentuk struktur yang khas bernama lipopolisakarida (LPS) (Widyaningsih *et al.*, 2016).

#### 4.5 Perhitungan Efisiensi Penghilangan Bakteri Patogen

Setelah menganalisis keberadaan bakteri *Escherichia coli* dan *Salmonella sp* pada masing-masing inlet dan outlet pada tiap IPAL Komunal serta menghitung konsentrasi bakteri pada tiap sampel, maka dapat dihitung efisiensi penghilangan bakteri pada tiap IPAL Komunal dengan hasil pada Tabel 4. 4.

Tabel 4. 4 Efisiensi Penghilangan Bakteri *Escherichia coli* pada IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati, Bakti Warga, dan Tambakrejo Bersih

IPAL Komunal	Sampel	Konsentrasi Bakteri (MPN/100 ml)	Efisiensi Penghilangan Bakteri
IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati	Inlet	35,78	49%
	Outlet	18,34	
IPAL Komunal Bakti Warga	Inlet	26	18%
	Outlet	21,22	
IPAL Komunal Tambakrejo Bersih	Inlet	6	83%
	Outlet	1	

Contoh perhitungan efisiensi penghilangan bakteri adalah sebagai berikut:

Pada IPAL Komunal Bakti Warga, telah diketahui bahwa konsentrasi bakteri *Escherichia coli* pada inlet adalah 26 MPN/100 ml sementara pada outlet adalah 21,22 MPN/100 ml. Maka efisiensi penghilangan bakteri *Escherichia coli* adalah:

$$\text{Removal Efficiency (\%)} = \frac{(26 - 21,22) \times 100}{21,22} \%$$

$$\text{Removal Efficiency (\%)} = 18 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa efisiensi penghilangan bakteri *Escherichia coli* pada IPAL Komunal Bakti Warga adalah sebesar 18%.

Terdapat perbedaan jumlah konsentrasi bakteri *Escherichia coli* yang cukup signifikan pada masing-masing inlet IPAL Komunal yang diteliti. Hal tersebut dimungkinkan oleh kondisi limbah pada inlet yang berbeda. Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri intestinal yaitu hidup di dalam saluran pencernaan manusia dan ikut keluar bersama tinja manusia (Widyaningsih *et al.*, 2016) sehingga jumlah bakteri *Escherichia coli* berkorelasi dengan banyaknya tinja manusia (Resel *et al.*, 2015) yang masuk pada inlet IPAL Komunal. Seperti pada IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati, konsentrasi bakteri *Escherichia coli* pada IPAL Komunal tersebut yang paling tinggi yaitu sebesar 35,78 MPN/100 ml karena berdasarkan pengamatan ketika mengambil sampel air limbah, terdapat padatan lumpur tinja yang cukup tebal sehingga untuk mengambil sampel airnya lumpur tersebut harus dipinggirkan terlebih dahulu dengan menggunakan alat bantu berupa kayu yang cukup panjang hingga dapat terlihat air limbah yang bisa diambil. Sementara pada IPAL Komunal Tambakrejo Bersih, kondisi inletnya sangat jauh berbeda dengan inlet pada IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati. Yaitu pada IPAL Komunal Tambakrejo Bersih di bagian inletnya tidak terdapat padatan lumpur tinja sama sekali sehingga konsentrasi bakteri *Escherichia coli* pada IPAL Komunal ini menjadi yang paling sedikit yaitu sebanyak 6 MPN/100 ml.

Sementara perbedaan jumlah konsentrasi bakteri *Escherichia coli* di bagian outlet dipengaruhi oleh perbedaan jumlah bakteri *Escherichia coli* yang masuk ke inlet hingga tahapan proses pengolahan yang berbeda. Pada IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih teknologi pengolahan air limbah yang digunakan adalah sama yaitu ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*). Namun meskipun teknologinya sama, efisiensi penghilangan bakteri belum tentu sama karena beban pengolahan yang berbeda dan kondisi unit yang bisa jadi berbeda. Perbedaan kondisi ini bisa diakibatkan oleh usia maupun keterawatan unit teknologi yang berpengaruh pada performa teknologi tersebut pada masing-masing IPAL Komunal.

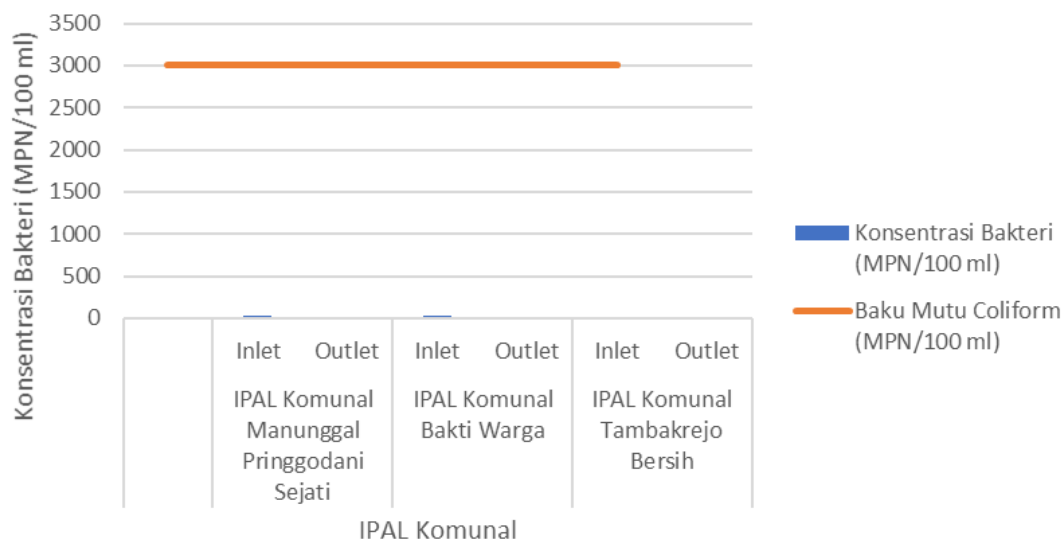


#### 4.5.1 Penghilangan Bakteri Patogen dengan Unit ABR dan RBC

Unit ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*) memiliki efisiensi penyisihan bakteri patogen yang rendah namun memiliki efisiensi penyisihan BOD yang cukup tinggi yaitu sekitar 70-95% (Dirjen Cipta karya, 2013). Sementara unit RBC (*Rotating Biological Filter*) bekerja secara aerob dan memiliki efisiensi penghilangan BOD yang lebih tinggi daripada unit ABR yaitu sekitar 90-95% (Tim Teknis Pembangunan Sanitasi, 2010). Walaupun tidak berkorelasi secara langsung, konsentrasi BOD (*Biological Oxygen Demand*) dalam air limbah juga berpengaruh terhadap jumlah bakteri *Escherichia coli* karena BOD merupakan oksigen yang digunakan bakteri untuk mendegradasi bahan organik, dan hasilnya yang berupa nitrat dan fosfat digunakan oleh bakteri *Escherichia coli* sebagai sumber energi (Asih *et al.*, 2019). Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri heterotrof yang kebutuhan nutrisinya tidak jauh berbeda dengan nutrisi yang dibutuhkan manusia yaitu berupa gula, protein, dan lemak (Sutiknowati, 2016). Dimana akhirnya bakteri *Escherichia coli* membutuhkan nutrisi lain seperti misalnya nitrat dan fosfat dari material organik pada air limbah untuk membantu pertumbuhan dan perkembangannya untuk mampu bertahan hidup dengan bantuan BOD karena sudah tidak mendapatkan sumber energi dari tubuh manusia. Sehingga apabila jumlah BOD berkurang setelah melalui pengolahan menggunakan teknologi ABR maupun RBC, maka tidak menutup kemungkinan konsentrasi atau jumlah bakteri *Escherichia coli* juga ikut berkurang karena kesulitan untuk mendegradasi bahan organik sebagai sumber energinya untuk bertahan hidup.

#### 4.6 Perbandingan Kualitas Air Limbah dengan Baku Mutu

Walaupun bakteri *Coliform* didominasi oleh bakteri *Escherichia coli*, tetap terdapat bakteri patogen lainnya yang masing-masing belum diketahui berapa persentasenya. Perbandingan konsentrasi bakteri *Escherichia coli* pada IPAL Komunal dengan baku mutu yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 4. 15 Perbandingan Konsentrasi Bakteri *Escherichia coli* pada Inlet dan Outlet IPAL Komunal dengan Baku Mutu oleh PerMenLHK Nomor P.68/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016

Jumlah *coliform* sudah termasuk dengan adanya bakteri *Escherichia coli* (Widyaningsih *et al.*, 2016). Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat bahwa jumlah bakteri *Escherichia coli* sebagai bakteri yang mendominasi pada *coliform* (Khotimah, 2013) menunjukkan persentase yang masih sangat jauh di bawah baku mutu. Apabila dihitung secara keseluruhan dengan bakteri patogen lainnya yang kemungkinan ada pada air limbah dan dengan persentase yang lebih kecil dibandingkan bakteri *Escherichia coli*. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa dari segi kontaminan mikrobiologis yaitu bakteri *Coliform*, output air limbah dari IPAL Komunal di Kabupaten Sleman sudah aman untuk dibuang ke lingkungan.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data bahwa dari ketiga lokasi IPAL Komunal di Kabupaten Sleman dengan tingkat risiko sanitasi sangat tinggi yaitu IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati di Kecamatan Depok, IPAL Komunal Bakti Warga di Kecamatan Mlati, dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih di Kecamatan Ngaglik terdapat bakteri *Escherichia coli* yang masuk dari inlet dan terolah oleh unit-unit di IPAL Komunal sehingga keluar dengan konsentrasi yang lebih rendah pada outletnya. yaitu pada IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati sebanyak 35,78 MPN/100 ml pada inlet dan 18,34 MPN/100 ml pada outlet; IPAL Komunal Bakti Warga sebanyak 26 MPN/100 ml pada inlet dan 21,22 MPN/100 ml pada outlet; dan IPAL Komunal Tambakrejo Bersih sebanyak 6 MPN/100 ml pada inlet dan 1 MPN/100 ml pada outlet. Sehingga didapat efisiensi unit IPAL Komunal dalam mereduksi bakteri *Escherichia coli* secara berturut-turut adalah 49%, 18% dan 83%.

Hasil pengujian *Salmonella sp* menunjukkan hasil bahwa tidak terdapat bakteri *Salmonella sp* pada sampel air limbah. Metode yang digunakan dan media spesifik tidak menjamin bahwa bakteri yang bisa tumbuh pada media *Salmonella Shigella Agar (SSA)* adalah sudah pasti *Salmonella* dan/atau *Shigella* saja namun bisa menunjukkan hasil bakteri lain yang beragam dan perlu diidentifikasi lebih lanjut. Dugaan sementara untuk bakteri yang tumbuh pada media SSA pada saat melakukan penelitian adalah bakteri *Escherichia coli* dan *Shigella sp* dilihat berdasarkan ciri morfologis yaitu bentuk koloni dan warnanya. Yaitu pada *Escherichia coli* berupa koloni kecil berwarna merah muda dan pada *Shigella sp* berupa koloni berwarna kuning transparan.

## 5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait mikroba spesifik pada IPAL Komunal di Kabupaten Sleman untuk mengetahui potensi atau risiko bahaya dari bakteri-bakteri tersebut terhadap lingkungan, manusia dan makhluk hidup lainnya terutama yang masih terdapat pada efluen IPAL Komunal karena efluen tersebut akan masuk ke badan air dan mencemari lingkungan.
2. Perlu adanya pemeriksaan secara berkala dan evaluasi untuk mengoptimalkan kinerja IPAL Komunal di Kabupaten Sleman terutama untuk penghilangan bakteri patogen mengingat potensi bahaya yang dapat terjadi apabila konsentrasi bakteri pada outlet melebihi baku mutu atau terjadi kerusakan pada unit maupun kebocoran pipa yang bisa menyebabkan air limbah dari IPAL Komunal masuk ke lingkungan.
3. Warga yang tinggal di sekitar IPAL Komunal wajib melakukan pengolahan atau sterilisasi terlebih dahulu apabila ingin menggunakan air sungai yang dijadikan tempat pembuangan efluen dari IPAL Komunal untuk mencegah terjadinya penyakit akibat adanya bakteri patogen pada air yang dikonsumsi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adrianto, R. (2018). Pemantauan Jumlah Bakteri Coliform di Perairan Sungai Provinsi Lampung. *Majalah TEGI*, 10(1), 1–6. doi: 10.46559/tegi.v10i1.3920
- Asih, D. P., Ain, C., & Widyorini, N. (2019). Analisis Total Bakteri Coliform di Sungai Banjir Kanal Barat dan Silandak, Semarang. *Journal of MAQUARES*, 8(4), 309–315.
- Azhari, R. (2021). Analisis Mikroba Dominan pada IPAL Komunal Kabupaten Sleman. *Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia*.
- Cahyani, A. N. (2021). Analisis Bakteri Dominan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal dengan Tingkat Resiko Sangat Tinggi di Kabupaten Sleman. *Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia*.
- Dirjen Cipta karya. (2013). *Buku a Panduan Perencanaan Teknik Terinci Bangunan Pengolahan Lumpur Tinja*. 1–237.
- Harudyawati, D. P., & Musayyarah, F. H. (2016). *Fakultasi Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta*. 2.
- Husna, H. (2020). Identifikasi Salmonella, Shigella dan E. coli pada Sie Balu, Bahan Pangan Olahan Asal Daging. *Journal of Public Health Research and Community Health Development*, 3(2), 88. doi: 10.20473/jphrecode.v3i2.14969
- Khotimah, S. (2013). Kepadatan Bakteri Coliform di Sunhai Kapuas Kota Pontianak. *Semirata FMIPA Universitas Lampung*. Retrieved from [www.arsip.pontianakpost.com](http://www.arsip.pontianakpost.com).
- Luthfi, Z. H. (2020). *Evaluasi IPAL Komunal di Kabupaten Sleman Provinsi D. I. Yogyakarta Ditinjau dari Teknologi IPAL Komunal*. 45–58.
- Masduqi, A., & Assomadi, A. F. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. In ITS Press (Vol. 2).
- Maulida, I. A. (2021). Identifikasi Mikroba Dominan pada IPAL Komunal di Area Dengan Tingkat Risiko Sanitasi Tinggi di Kabupaten Sleman. *Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia*.

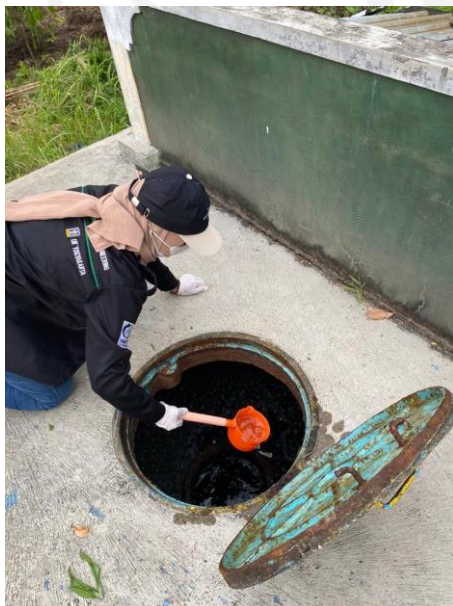
- Murniati, & Makkawaru, M. (2020). Waste Treat Garden Upaya Pemanfaatan Ipomoea Sp Untuk Mengurangi Pencemaran Limbah Rumah Tangga ( Greywater ) Dalam Mewujudkan Lingkungan yang Sehat. *Jurnal Penelitian Dan Penalaran*, 7(1), 94–102.
- Nasr, F. A., Doma, H. S., & Nassar, H. F. (2009). Treatment of Domestic Wastewater Using An Anaerobic Baffled Reactor Followed by A Duckweed Pond for Agricultural Purposes. *Environmentalist*, 29(3), 270–279. doi: 10.1007/s10669-008-9188-y
- Rahayuningtyas, A. D., Dewi, W., & Sudjarwo, I. (2017). Pemanfaatan Ekstrak Etil Asetat Buah Merah Sebagai Zat Pengganti Pewarna Primer pada Teknik Pengecatan Tunggal Bakteri Gram Negatif Batang. *Jurnal Kedokteran Gigi Universitas Padjadjaran*, 29(2). doi: 10.24198/jkg.v29i2.18583
- Resel, D., Sudrajat, S., & Kusumawati, E. (2015). Efisiensi kinerja sistem IPAL RBC (Rotating Biological Contactor) di Kelurahan Bontang Kuala, Kota Bontang dalam Menurunkan Nilai Total Fecal Coliform. *Journal Science East Borneo*, 3(4), 1–6.
- Riga, P. N., Buntuan, V., & Rares, F. (2015). Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Aerob Yang Dapat Menyebabkan Infeksi Nosokomial Di Ruang Instalasi Gizi Blu Rsup Prof. Dr. R. D. Kandou Manado. *Jurnal E-Biomedik*, 3(1). doi: 10.35790/ebm.3.1.2015.6644
- Rizal, & Weliyadi, E. (2014). Efektivitas Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik Sistem Rotating Biological Contactor (RBC) Kelurahan Sebengkok Kota Tarakan. *Harpodon Borneo*, 7(2), 159–169.
- Said, N. I., & Marsidi, R. (2017). Mikroorganisme Patogen Dan Parasit Di Dalam Air Limbah Domestik Serta Alternatif Teknologi Pengolahan. *Jurnal Air Indonesia*, 1(1). doi: 10.29122/jai.v1i1.2293
- SNI. (2008). Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. *Sni 6989.59:2008*, 59, 19. Retrieved from [http://ciptakarya.pu.go.id/plp/upload/peraturan/SNI\\_-6989-59-2008-\\_Metoda-Pengambilan-Contoh-Air-Limbah.pdf](http://ciptakarya.pu.go.id/plp/upload/peraturan/SNI_-6989-59-2008-_Metoda-Pengambilan-Contoh-Air-Limbah.pdf)
- Sudiarsa, I. G. N., Sujaya, I. N., & Jana, I. W. (2013). *Abuan Kecamatan Susut Kabupaten Bangli Tahun 2013*. 2005.

- Sutiknowati, L. I. (2016). "Bioindikator Pencemar, Bakteri Escherichia coli." *Jurnal Oseana*, 41(4), 63–71. Retrieved from oseanografi.lipi.go.id
- Tim Teknis Pembangunan Sanitasi. (2010). Opsi Sistem dan Teknologi Sanitasi. In Buku Referensi. Retrieved from <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Widiwati, C. S. (2018). *Konsep Partisipasi Masyarakat Dalam Operasional Dan Pemeliharaan Ipal Komunal Di Kel. Simokerto, Kec. Simokerto, Kota Surabaya*.
- Widyaningsih, W., Widyorini, N., Studi, P., Sumberdaya, M., Diponegoro, U., & Coliform, B. (2016). *Analisis Total Bakteri Coliform di Perairan Muara Kali Wiso Jepara*. 5, 157–164.
- Wiliantari, P., Besung, I. N. K., & Tono PG, K. (2018). Bakteri Coliform dan Non Coliform yang Diisolasi dari Saluran Pernapasan Sapi Bali. *Buletin Veteriner Udayana*, 10(1), 40. doi: 10.24843/bulvet.2018.v10.i01.p06

**LAMPIRAN A**  
**Proses Pengambilan Sampel Air Limbah IPAL Komunal**



Pengambilan sampel air limbah di IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati

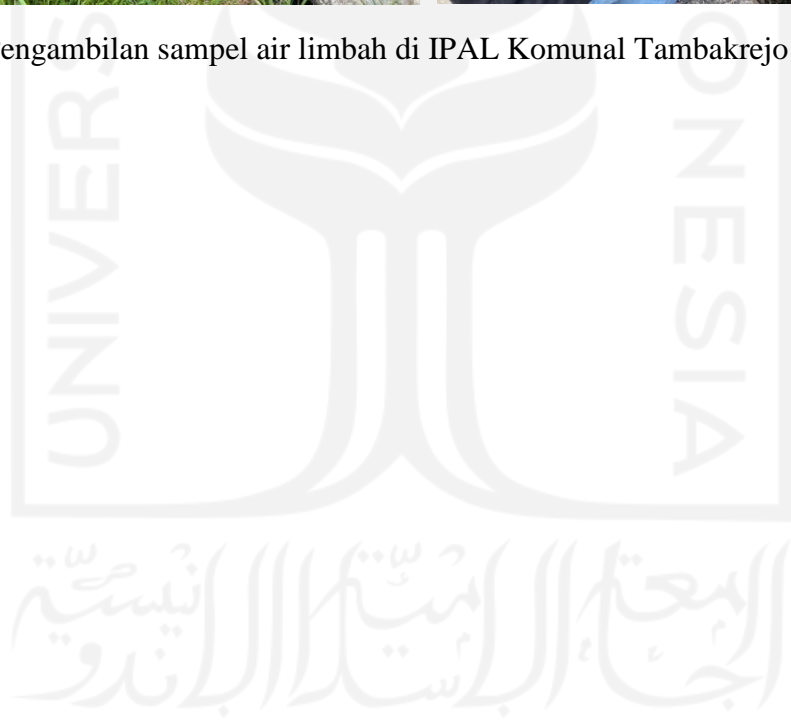


Pengambilan sampel air limbah di IPAL Komunal Bakti Warga





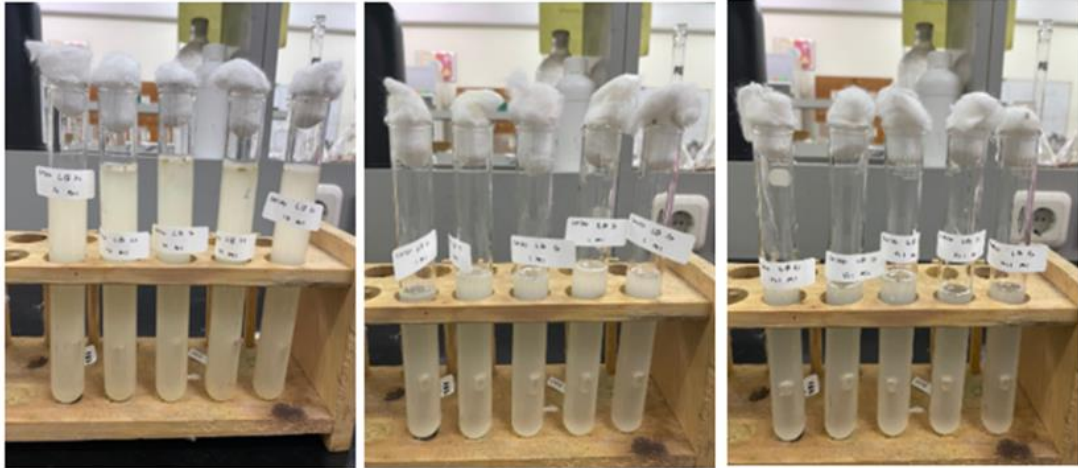
Pengambilan sampel air limbah di IPAL Komunal Tambakrejo Bersih



**LAMPIRAN B**  
**Proses Pengujian di Laboratorium**

**1. Sampel Air Limbah IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati**

**A. Pengujian bakteri *Escherichia coli***



Pembentukan gas dan asam pada *presumptive test* inlet

Presumptive Test E. Coli Inlet IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati :				
Tabung Fermentasi	Gas dan Asam		Tes Pendugaan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	

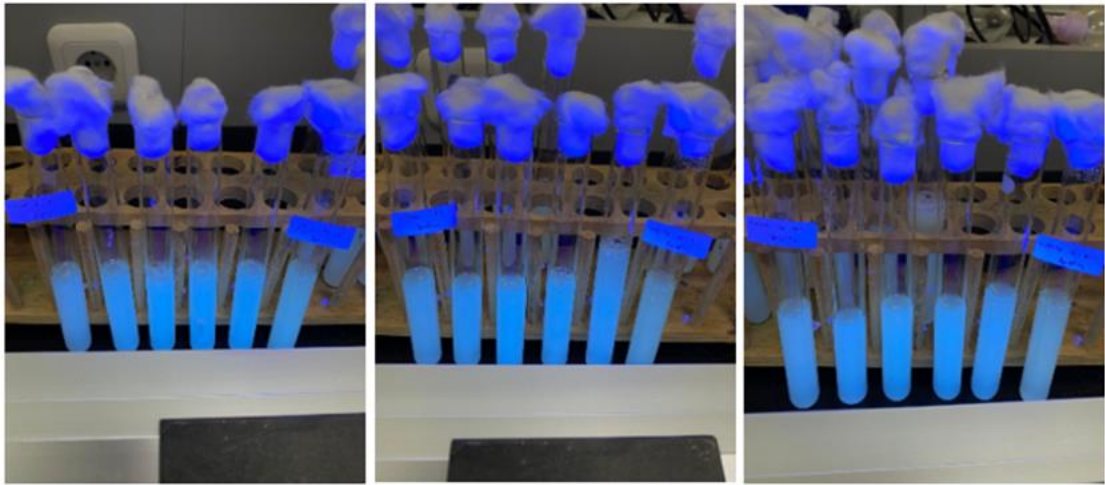
Hasil *presumptive test* pada inlet



Pembentukan gas dan asam pada *presumptive test* outlet

Presumptive Test E. Coli Outlet IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati :				
Tabung Fermentasi	Gas dan Asam		Tes Pendugaan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	

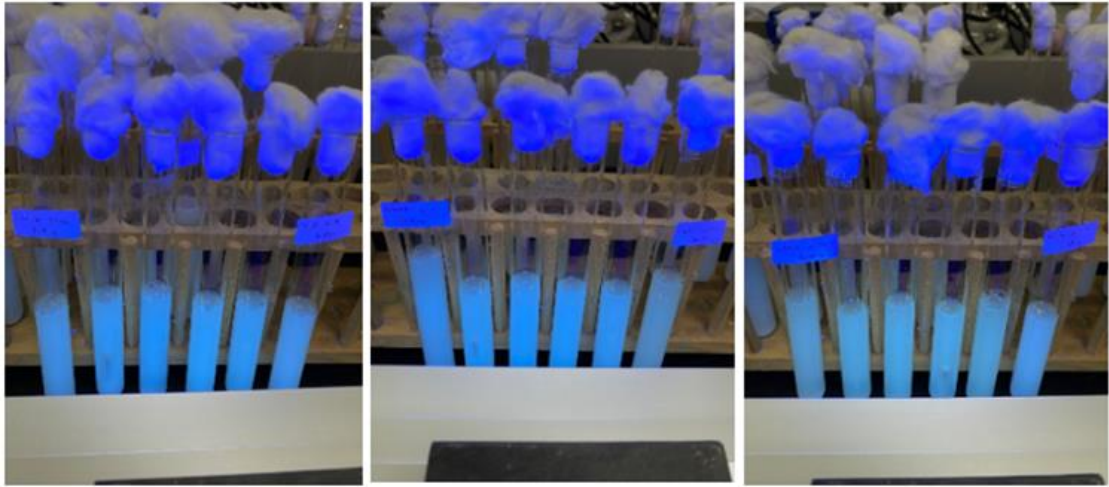
Hasil *presumptive test* pada outlet



Sampel yang berfluoresens pada *confirmed test* inlet

Confirmed Test E. Coli Outlet IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati :				
Tabung Fermentasi	Berfluorescent		Tes Penegasan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓

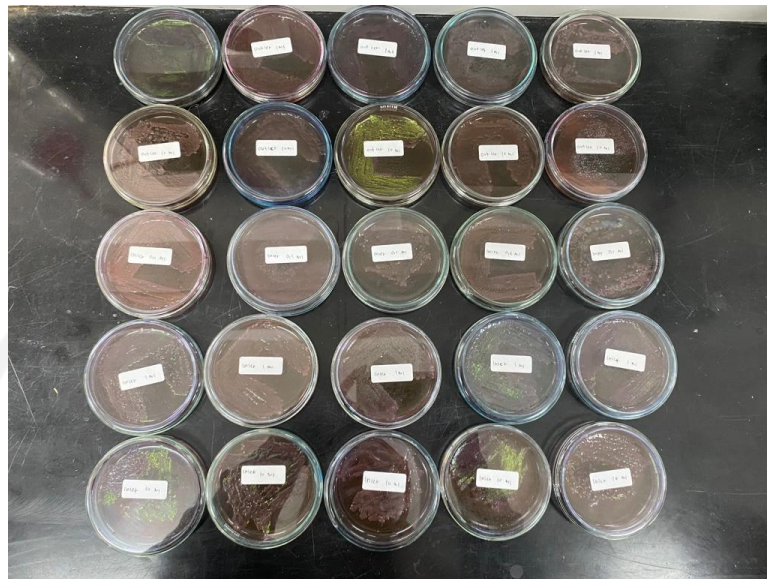
Hasil *confirmed test* pada inlet



Sampel yang berfluoresens pada *confirmed test* outlet

Confirmed Test E. Coli Inlet IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati :				
Tabung Fermentasi	Berfluorescent		Tes Pendugaan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓

Hasil *confirmed test* pada outlet



Pertumbuhan koloni berwarna hijau metalik pada *completed test*

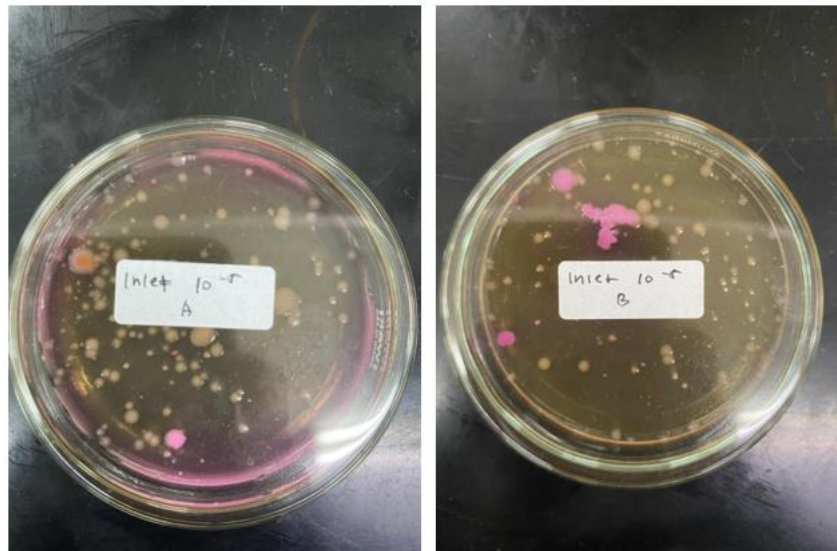
Completed Test E. Coli Inlet IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati :				
Tabung Fermentasi	Tumbuh Koloni Hijau Metalik		Tes Pelengkap	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	-	-		✓
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	-	-		✓
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓

Hasil *completed test* inlet

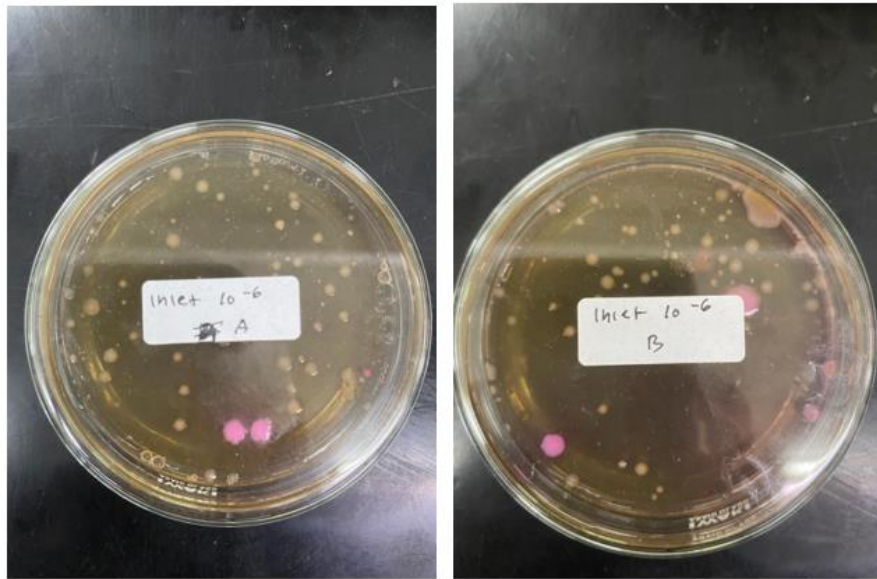
Completed Test E. Coli Outlet IPAL Komunal Manunggal Pringgodani Sejati :				
Tabung Fermentasi	Tumbuh Koloni Hijau Metalik		Tes Pelengkap	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	-	-		✓
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	-	-		✓
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓

Hasil *completed test* pada outlet

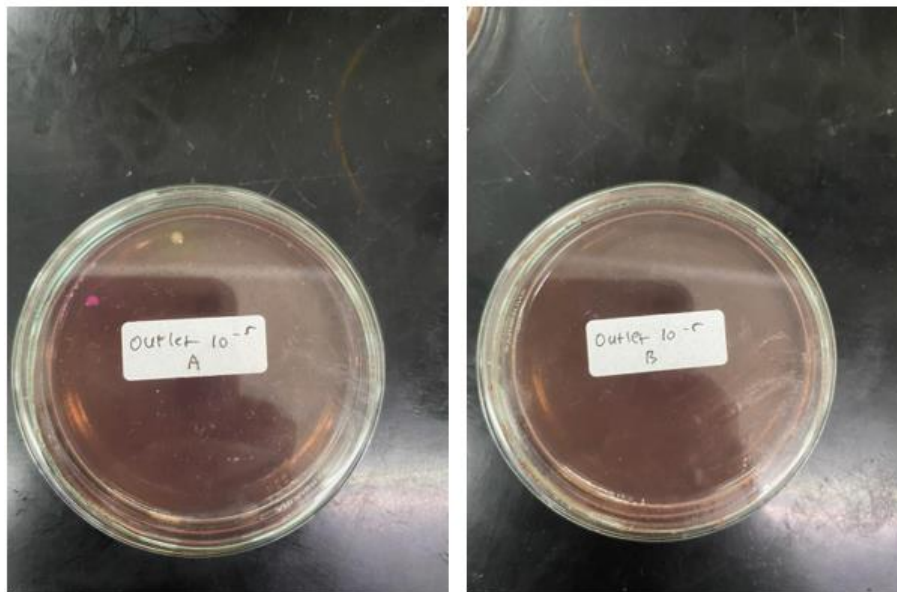
**B. Hasil pengujian bakteri *Salmonella sp***



Hasil SSA inlet pengenceran  $10^{-5}$

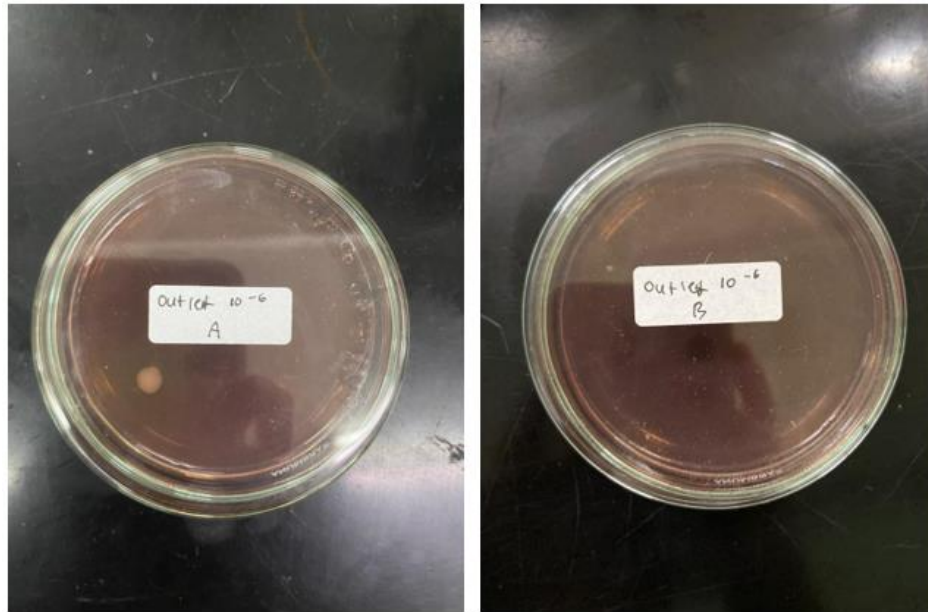


Hasil SSA inlet pengenceran  $10^{-6}$



Hasil SSA outlet pengenceran  $10^{-5}$

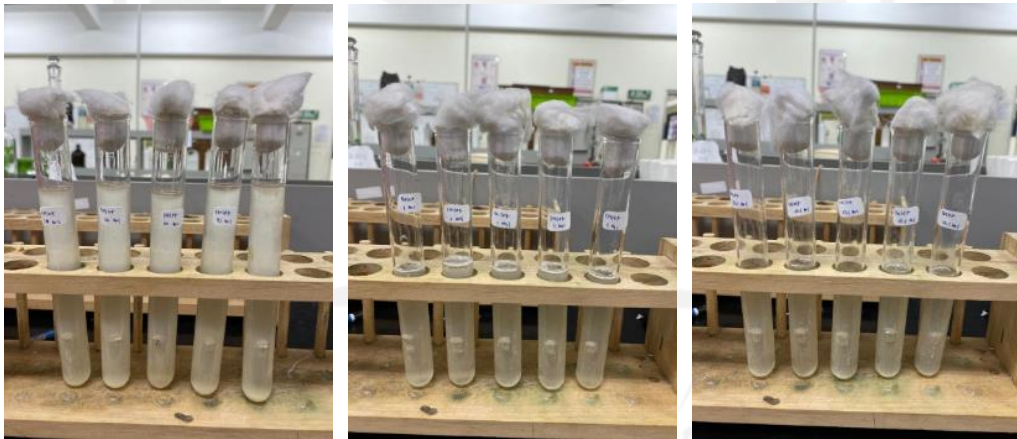




Hasil SSA outlet pengenceran 10<sup>-6</sup>

## 2. Sampel Air Limbah IPAL Komunal Bakti Warga

### A. Pengujian bakteri *Escherichia coli*



Pembentukan gas dan asam pada *presumptive test* inlet

Presumptive Test E. Coli Inlet IPAL Komunal Bakti Warga :				
Tabung Fermentasi	Gas dan Asam		Tes Pendugaan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	

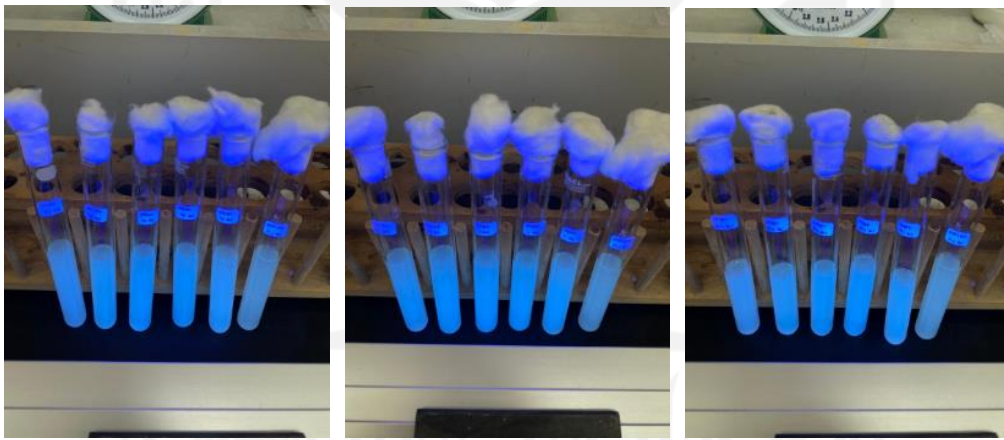
Hasil *confirmed test* pada inlet



Pembentukan gas dan asam pada *presumptive test* outlet

Presumptive Test E. Coli Outlet IPAL Komunal Bakti Warga :				
Tabung Fermentasi	Gas dan Asam		Tes Pendugaan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	

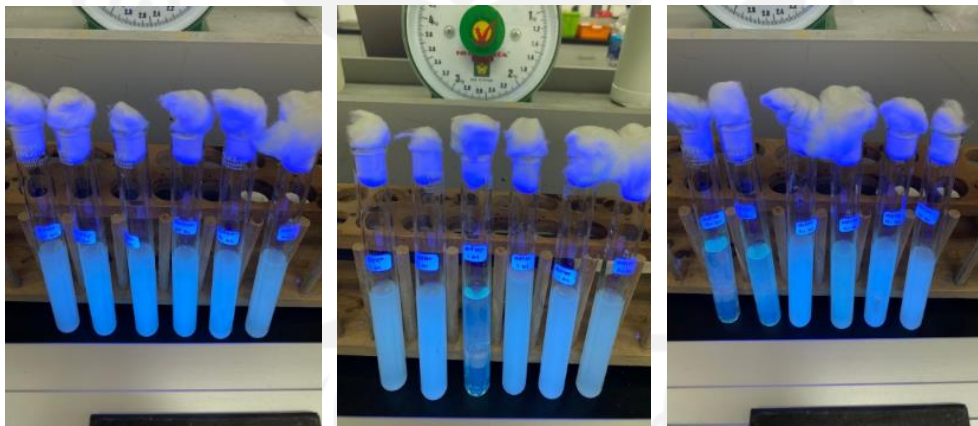
Hasil *confirmed test* pada outlet



Sampel yang berfluoresens pada *confirmed test* inlet

Confirmed Test E. Coli Inlet IPAL Komunal Bakti Warga :				
Tabung Fermentasi	Berfluorescent		Tes Penegasan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	

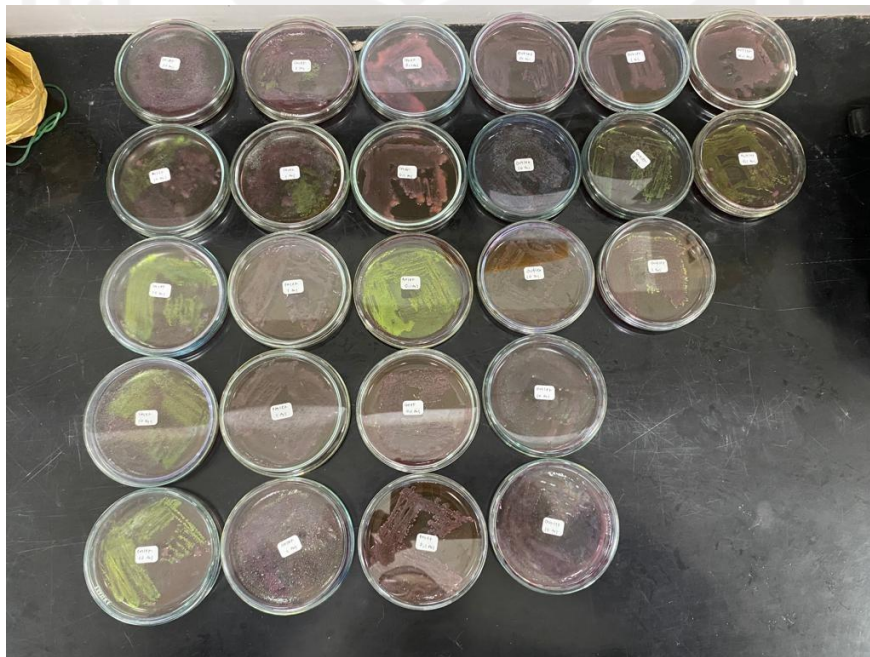
Hasil *confirmed test* pada inlet



Sampel yang berfluoresens pada *confirmed test* outlet

Confirmed Test E. Coli Outlet IPAL Komunal Bakti Warga :				
Tabung Fermentasi	Berfluorescent		Tes Penegasan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+		✓
1 ml	+	+		✓
0,1 ml	-	-	✓	
0,1 ml	-	-	✓	
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓

Hasil *confirmed test* outlet



Pertumbuhan koloni berwarna hijau metalik pada *completed test*

Completed Test E. Coli Inlet IPAL Komunal Bakti Warga :				
Tabung Fermentasi	Tumbuh Koloni Hijau Metalik		Tes Pelengkap	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	-	-		✓
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	-	-		✓
1 ml	-	-		✓
1 ml	-	-		✓
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	+	+	✓	

Hasil *completed test* pada inlet

Completed Test E. Coli Outlet IPAL Komunal Bakti Warga :				
Tabung Fermentasi	Tumbuh Koloni Hijau Metalik		Tes Pelengkap	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	-	-		✓
10 ml	-	-		✓
10 ml	-	-		✓
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	-	-		✓
1 ml	-	-		✓
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml				
0,1 ml				
0,1 ml				
0,1 ml				

Hasil *completed test* pada outlet

**B. Hasil pengujian bakteri *Salmonella* sp**



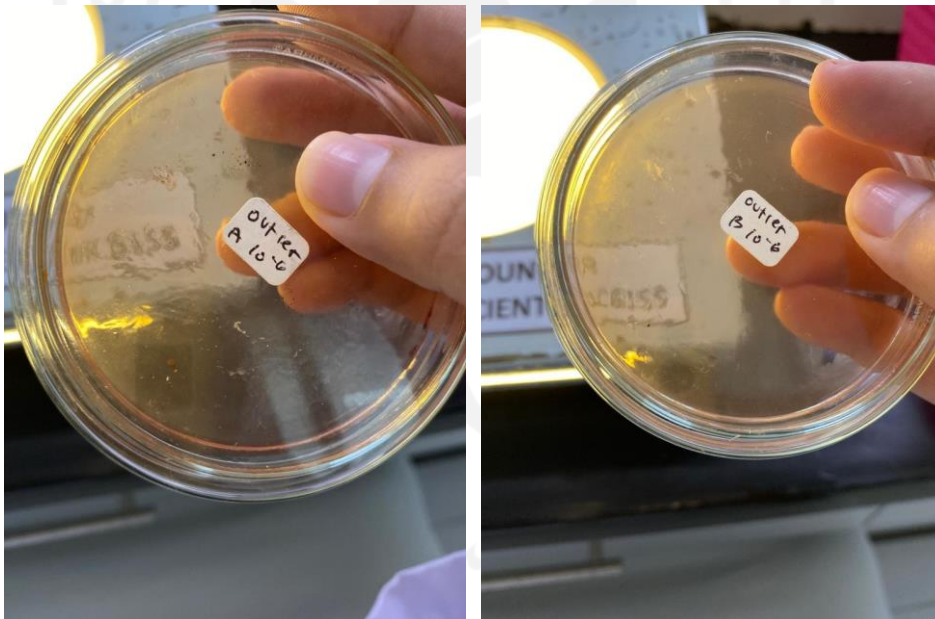
Hasil SSA inlet pengenceran  $10^{-5}$



Hasil SSA inlet pengenceran  $10^{-6}$



Hasil SSA outlet pengenceran  $10^{-5}$

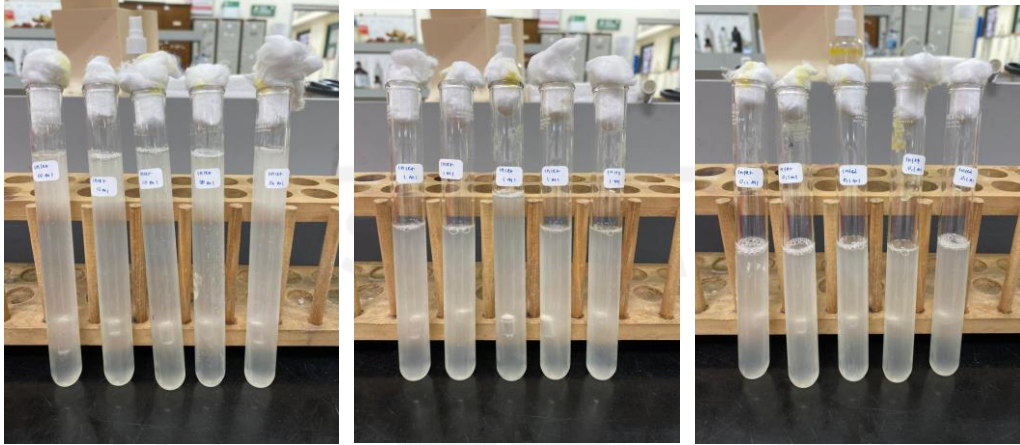


Hasil SSA outlet pengenceran  $10^{-6}$



### 3. Sampel Air Limbah IPAL Komunal Tambakrejo Bersih

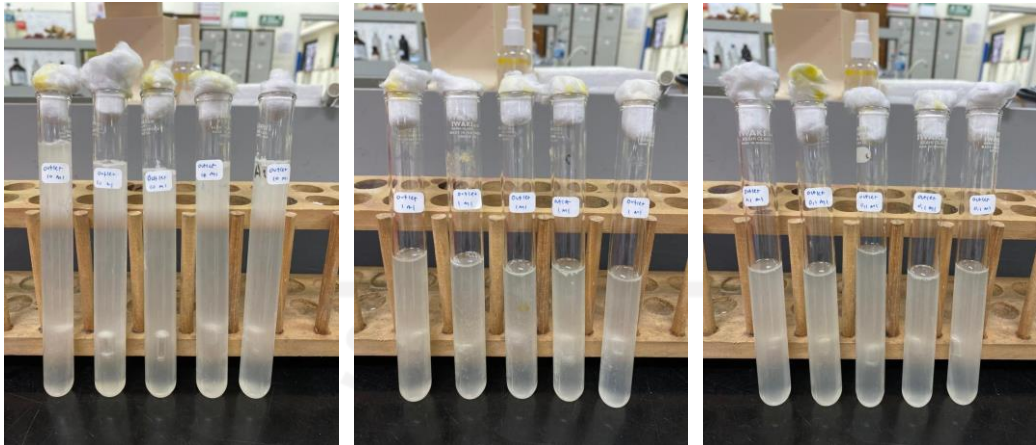
#### A. Pengujian bakteri *Escherichia coli*



Pembentukan gas dan asam pada *presumptive test* inlet

Presumptive Test E. Coli Inlet IPAL Komunal Tambakrejo Bersih :				
Tabung Fermentasi	Gas dan Asam		Tes Pendugaan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	

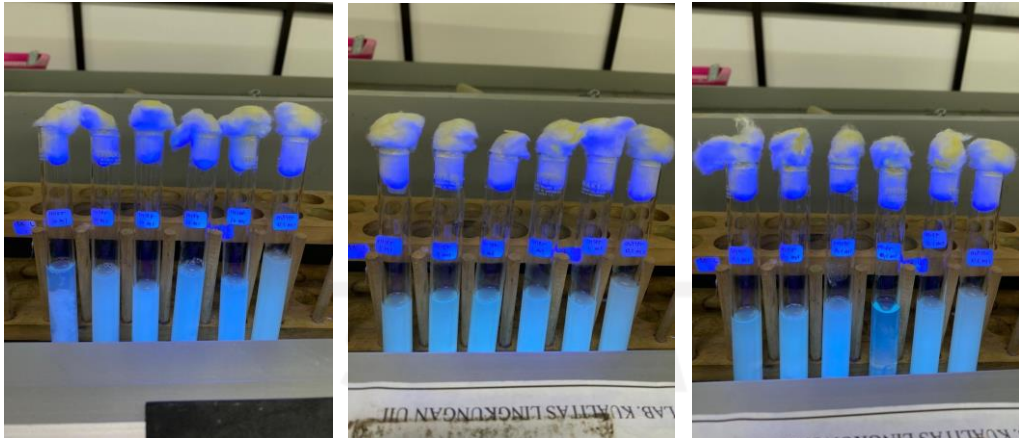
Hasil *presumptive test* pada inlet



Pembentukan gas dan asam pada *presumptive test* outlet

Presumptive Test E. Coli Outlet IPAL Komunal Tambakrejo Bersih :				
Tabung Fermentasi	Gas dan Asam		Tes Pendugaan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	

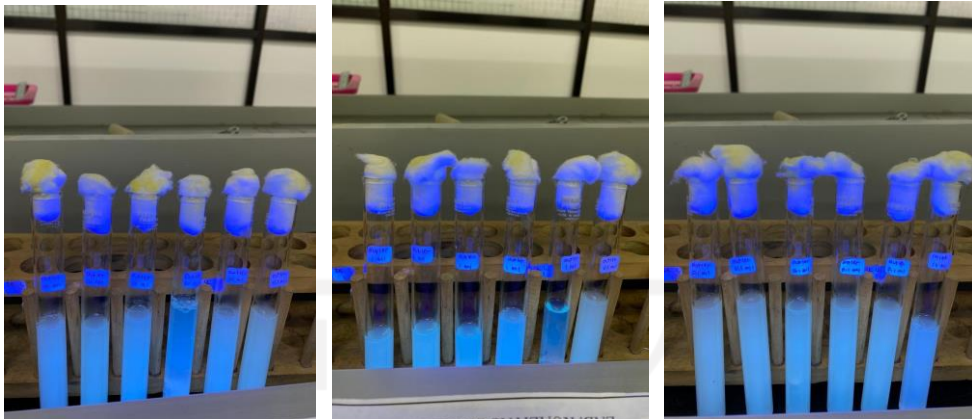
Hasil *presumptive test* pada outlet



Sampel yang berfluoresens pada *confirmed test* inlet

Confirmed Test E. Coli Inlet IPAL Komunal Tambakrejo Bersih :				
Tabung Fermentasi	Berfluorescent		Tes Penegasan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	+	+	✓	

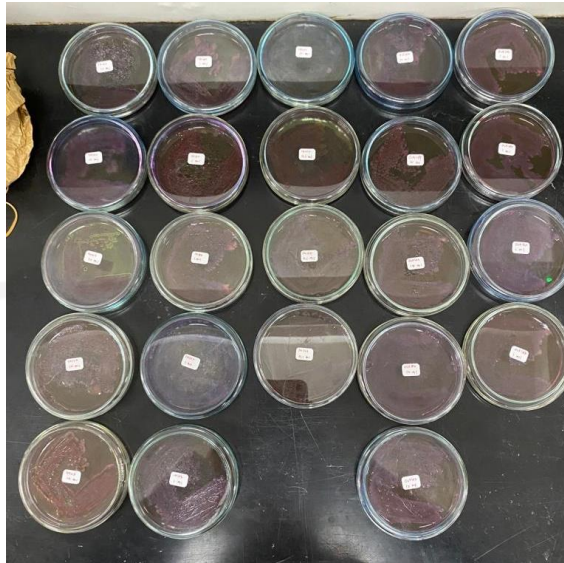
Hasil *confirmed test* pada inlet



Sampel yang berfluoresens pada *confirmed test* outlet

Confirmed Test E. Coli Outlet IPAL Komunal Tambakrejo Bersih :				
Tabung Fermentasi	Berfluorescent		Tes Penegasan	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
10 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+	✓	
1 ml	+	+		✓
1 ml	+	+		✓
0,1 ml	-	-	✓	
0,1 ml	-	-	✓	
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓

Hasil *confirmed test* pada outlet



Pertumbuhan koloni berwarna hijau metalik pada *completed test*

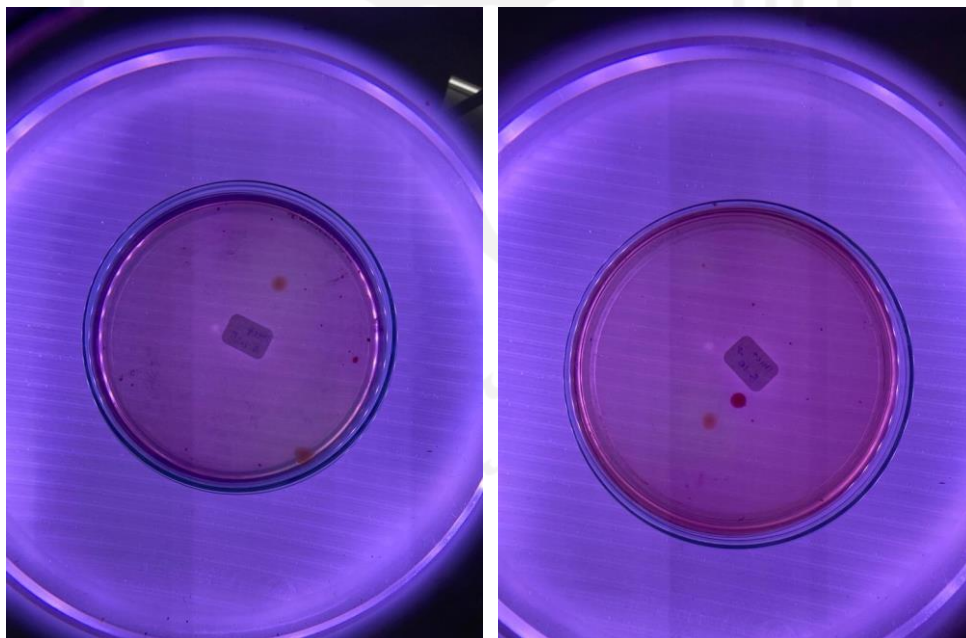
Completed Test E. Coli Inlet IPAL Komunal Tambak Rejo Bersih :				
Tabung Fermentasi	Tumbuh Koloni Hijau Metalik		Tes Pelengkap	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	+	+	✓	
10 ml	-	-		✓
10 ml	-	-		✓
10 ml	-	-		✓
10 ml	-	-		✓
1 ml	+	+	✓	
1 ml	-	-		✓
1 ml	-	-		✓
1 ml	-	-		✓
1 ml	-	-		✓
0,1 ml	+	+	✓	
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml	-	-		✓
0,1 ml				

Hasil *completed test* pada inlet

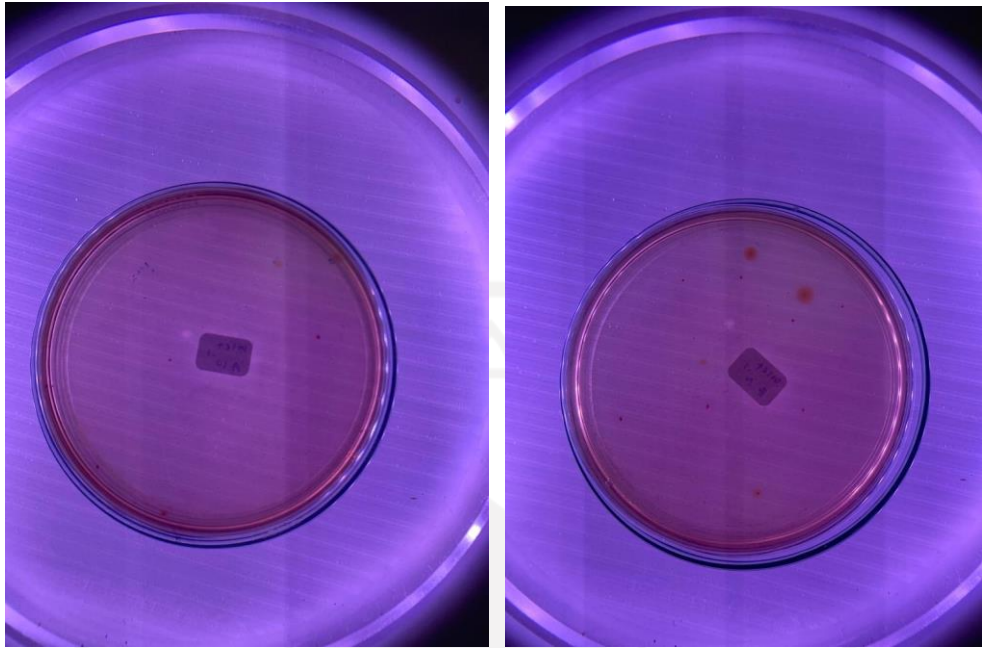
Completed Test E. Coli Outlet IPAL Komunal Tambak Rejo Bersih :				
Tabung Fermentasi	Tumbuh Koloni Hijau Metalik		Tes Pelengkap	
	24 Jam	48 Jam	Positif	Negatif
10 ml	-	-		✓
10 ml	-	-		✓
10 ml	-	-		✓
10 ml	-	-		✓
10 ml	-	-		✓
1 ml	-	-		✓
1 ml	-	-		✓
1 ml	-	-		✓
1 ml	-	-		✓
1 ml	-	-		✓
1 ml				
0,1 ml				
0,1 ml				
0,1 ml				
0,1 ml				
0,1 ml				

Hasil *completed test* pada outlet

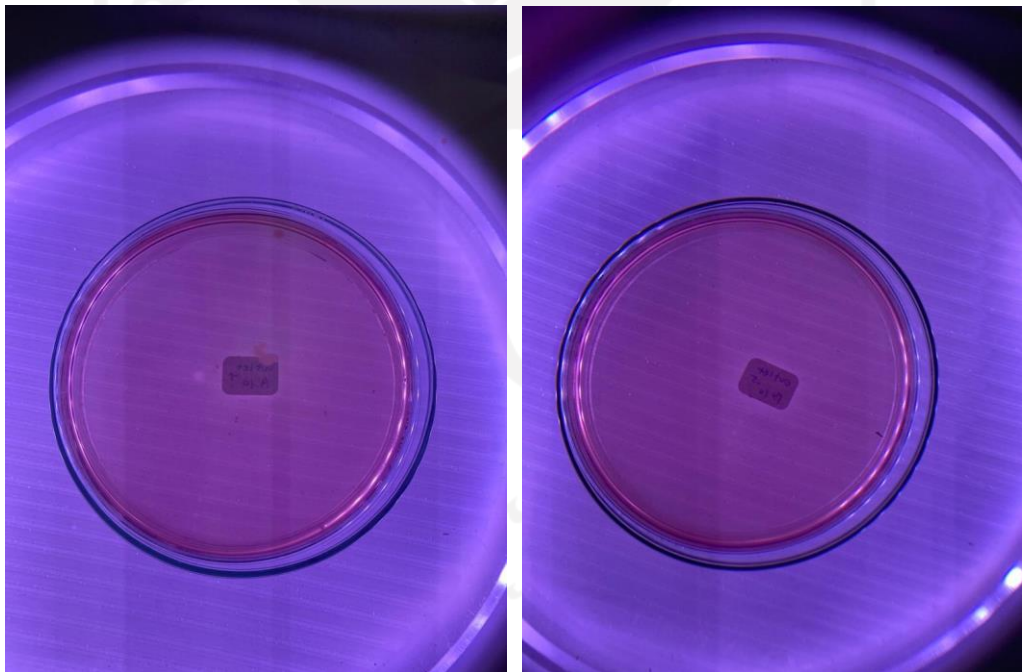
**B. Pengujian Bakteri *Salmonella sp***



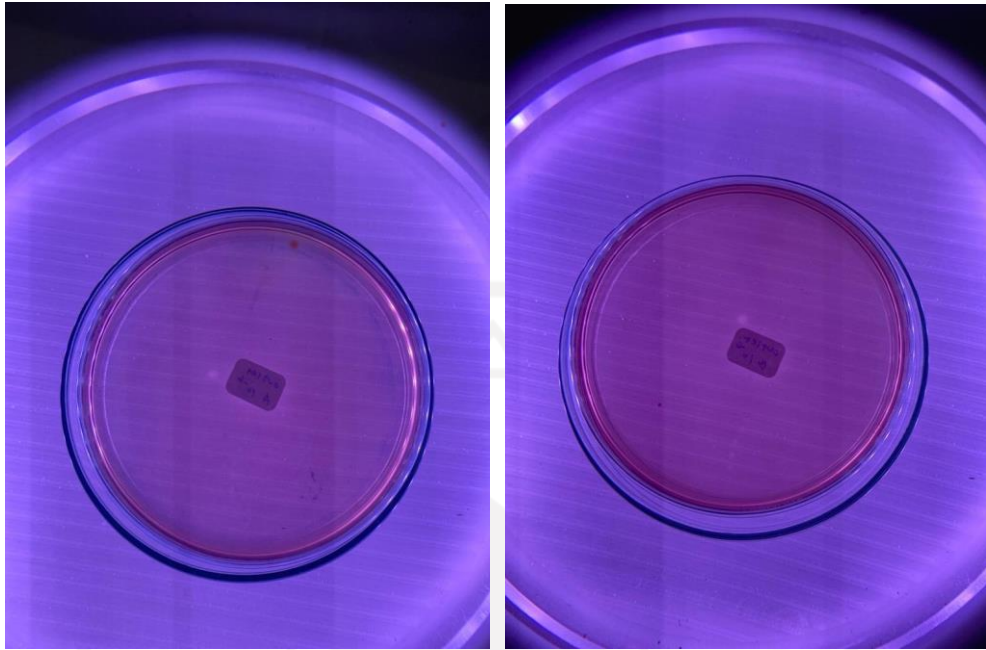
Hasil SSA inlet pengenceran  $10^{-5}$



Hasil SSA inlet pengenceran  $10^{-6}$



Hasil SSA outlet pengenceran  $10^{-5}$



Hasil SSA outlet pengenceran  $10^{-6}$





## RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Almira Clarissa Emeraldine Emeraldine yang lahir di Manokwari, 24 Maret 2000. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dengan satu adik laki-laki bernama Daffa Akmal Ghifary. Penulis lahir dari pasangan Muhammad Irwanto, S.Hut dan Ria Fajaria Pattisahusiwa, S.P yang keduanya berprofesi sebagai PNS di Kabupaten Manokwari. Penulis mengawali pendidikannya di TK Pertiwi Manokwari selama 2 tahun (2004-2006), lalu melanjutkan pendidikan ke jenjang Sekolah Dasar yaitu di SDN 01 Manokwari selama 6 tahun (2006-2012), kemudian masuk ke Sekolah Menengah Pertama yaitu SMPN 03 Manokwari selama 3 tahun (2012-2015), kemudian bersekolah di SMAN 01 Manokwari selama 1 tahun (2015-2016) dan pindah untuk melanjutkan pendidikan di SMA Islam Al-Azhar 9 Yogyakarta selama 2 tahun (2016-2018). Kemudian setelah lulus SMA pada tahun 2018, penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Islam Indonesia, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan program studi Teknik Lingkungan.

Tidak hanya fokus di bidang akademik, penulis juga aktif mengikuti kegiatan di *Start Up AiKite Indonesia* sebagai *Technical Officer*, salah satu pencapaian di *Start Up* tersebut adalah berhasil menjadi salah satu delegasi untuk kegiatan *Early Career Women in Water Conference* yang dilaksanakan di Cranfield University, Bedford, the United Kingdom pada tahun 2020. Penulis juga sempat menjabat sebagai Kepala Divisi Riset dan Teknologi di Organisasi Zero Waste FTSP UII pada tahun 2019-2020. Dan sejak November 2021 hingga sekarang, penulis aktif terlibat dalam berbagai proyek penyusunan AMDAL bersama salah satu dosen di jurusan Teknik Lingkungan UII. Penulis juga beberapa kali menjadi asisten laboratorium yaitu pada mata kuliah Mikrobiologi Lingkungan pada semester 4 dan semester 7, serta menjadi asisten laboratorium pada kegiatan *Laboratory Skill Upgrade* untuk mata kuliah Praktikum Mikrobiologi Lingkungan dan Praktikum Teknik Lingkungan II di semester 8. Penulis juga pernah menjadi asisten dosen pada mata kuliah Plambing di semester 8.