



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Analisis Efisiensi Removal Mikroorganisme pada Sistem Pengolahan (IPAL) Komunal

Faza Erdhiraka Arkana
21513192

Dosen Pembimbing:
Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Analysis of Microorganism Removal Efficiency in Communal Wastewater Treatment Systems

Faza Erdhiraka Arkana

21513192

Supervisor:

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

**Analisis Efisiensi Removal Mikroorganismes pada Sistem
Pengolahan (IPAL) Komunal**

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

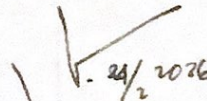
Faza Erdhiraka Arkana
21513192

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 27 November 2025 dan disetujui oleh:

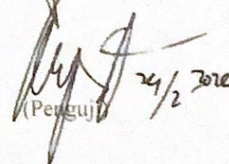
Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.


(Pembimbing I)

Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., I.P.M.


24/2/2026
(Penguji)

Dr. Eng. Ir. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng., I.P.M.


24/2/2026
(Penguji)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana

Any Juliana, S.T., M.Sc. (Res. Eng.), Ph.D.



PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.
Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 27 Februari 2026

Yang membuat pernyataan,



Faza Erdhiraka Arkana

21513192

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji serta syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang berjudul “**Analisis Efisiensi Removal Mikroorganisme pada Sistem Pengolahan (IPAL) Komunal**” dengan tepat waktu. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis memperoleh banyak bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Edi Ir Dwiyanto dan Ibu Ervita Martalya yang telah tiada henti mendoakan dan mendukung penulis dari seluruh aspek dengan tulus dan sepuh hati
2. Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktu, bimbingan, dan masukan selama pelaksanaan tugas akhir hingga penyusunan laporan. Terima kasih sebesar-besarnya atas bantuan yang Bapak berikan, serta doa-doa baik yang selalu diberikan setelah bimbingan. Sungguh kehormatan dapat berkesempatan menjadi mahasiswa bimbingan Bapak
3. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res. Eng), Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII
4. Seluruh dosen, staff akademik, dan karyawan Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII yang telah memberikan ilmu serta bantuan selama masa perkuliahan

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan laporan tugas akhir ini masih belum sepenuhnya sempurna, baik secara penulisan maupun materi.

Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan laporan tugas akhir ini. penulis sangat berharap bahwa tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya .

Sleman, 12 Oktober 2023

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'F' followed by a series of loops and a horizontal line extending to the right.

Faza Erdhiraka Arkana

Analisis Efisiensi Removal Mikroorganismes pada Sistem Pengolahan (IPAL) Komunal

Mahasiswa : Faza Erdhiraka Arkana
NIM : 21513192
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

Abstrak

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal di permukiman padat seringkali menghadapi tantangan operasional, termasuk tidak adanya unit desinfeksi tersier dan fluktuasi debit limbah, yang menyebabkan efisiensi removal bakteri fekal dan patogen menjadi tidak stabil. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi konsentrasi dan efisiensi removal fekal bakteri dan patogen bakteri pada tiga IPAL komunal di Ngaglik, Sleman. Parameter utama yang diuji meliputi bakteri indikator fekal (*Escherichia Coli* dan *Total Coliform*) dan bakteri patogen infeksius (*Salmonella Sp.* dan *Shigella Sp.*) dengan analisis menggunakan media selektif CCA dan SSA. Pengambilan sampel dilakukan pada *inlet* dan *outlet* IPAL Mendirol, Tirto Mili, Tirto Asri, selama empat bulan (September-Desember 2025). Hasil penelitian menunjukkan konsentrasi efluen masih sangat tinggi, yaitu *Salmonella Sp.* (38.500 CFU/mL), *Shigella Sp.* (175.000 CFU/mL), *Total Coliform* (525.000 CFU/mL), dan *E. Coli* (590.000 CFU/mL). Efisiensi penyisihan ditemukan sangat fluktuatif, dengan rentang *removal* antara 0% hingga 87%. Penyisihan tertinggi yaitu *Salmonella Sp.* (63%), *Shigella Sp.* (87%), *Total Coliform* (87%), dan *E. Coli* (81%). Fenomena efisiensi nol ini mengindikasikan kegagalan mekanisme kompetisi nutrisi dalam sistem anaerob serta terjadinya pelepasan biofilm yang membawa massa bakteri ke aliran keluar. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses fisik-biologis saja belum mampu menjamin keamanan air sesuai standar Permen LH No. 11 Tahun 2025. Oleh karena itu, penambahan unit desinfeksi tersier menjadi intervensi krusial untuk menstabilkan kualitas efluen dan memitigasi risiko kesehatan masyarakat secara komprehensif.

Kata kunci: bakteri fekal, patogen infeksius, efisiensi pengolahan, IPAL komunal, risiko kesehatan

Analysis of Microorganism Removal Efficiency in Communal Wastewater Treatment Systems

Student : Faza Erdhiraka Arkana
Student Number : 21513192
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

Abstract

Communal Wastewater Treatment Plants (CWTPs) in densely populated settlements frequently encounter operational challenges, including the absence of tertiary disinfection units and fluctuations in waste discharge, leading to unstable removal efficiencies of fecal bacteria and pathogens. This study aims to evaluate the concentration and removal efficiency of fecal indicator bacteria and pathogenic bacteria across three communal CWTPs in Ngaglik, Sleman. The primary parameters tested include fecal indicators (Escherichia coli and Total Coliform) and infectious pathogenic bacteria (Salmonella sp. and Shigella sp.) using selective media analysis (CCA and SSA). Sampling was conducted at the inlets and outlets of the Mendiro, Tirto Mili, and Tirto Asri CWTPs over a four-month period (September–December 2025). The results indicated persistently high effluent concentrations: Salmonella sp. (38,500 CFU/mL), Shigella sp. (175,000 CFU/mL), Total Coliform (525,000 CFU/mL), and E. coli (590,000 CFU/mL). Removal efficiencies were found to be highly fluctuated, ranging from 0% to 87%. The highest removal efficiencies achieved were 87% for Shigella sp., 87% for Total Coliform, 81% for E. coli, and 63% for Salmonella sp. The occurrence of zero efficiency indicates a failure in the nutrient competition mechanism within the anaerobic system and the presence of biofilm sloughing, which carries bacterial masses into the effluent stream. These conditions suggest that physical-biological processes alone are insufficient to ensure water safety in accordance with the standards of Minister of Environment Regulation (Permen LH) No. 11 of 2025. Therefore, the addition of a tertiary disinfection unit is a crucial intervention to stabilize effluent quality and comprehensively mitigate public health risks from waterborne diseases.

Key words: community wastewater treatment, Infectious Pathogens, fecal bacteria, health risk, removal efficiency

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
ABSTRAK.....	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	10
1.1 Latar Belakang.....	10
1.2 Perumusan Masalah.....	11
1.3 Tujuan Penelitian.....	11
1.4 Manfaat Penelitian.....	12
1.5 Ruang Lingkup	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	14
2.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal.....	14
2.1.1 Dampak Limbah Domestik pada IPAL Komunal bagi Lingkungan.....	15
2.2 Karakteristik Limbah Domestik	15
2.3 Parameter Mikrobiologi Air Limbah.....	16
2.3.1 Bakteri Patogen Infeksius.....	16
2.3.2 Bakteri Indikator Fekal.....	17
2.4 Dampak Bakteri Fekal terhadap Kesehatan Masyarakat	19
2.5 Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODE PENELITIAN	22

3.1	Waktu dan Lokasi.....	22
3.2	Alat dan Bahan	26
3.3	Prosedur Analisis Data	26
3.4	Metode Pengambilan Sampel Air IPAL Komunal	28
3.5	Metode Pengujian	28
3.6	Pengujian Bakteri	29
3.6.1.	Bakteri Escherichia Coli dan Total Coliform	29
3.6.2.	Bakteri Salmonella, Sp. dan Shigella, Sp.	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Gambaran Umum Sistem Pengolahan IPAL Komunal	31
4.2	Konsentrasi Bakteri Berdasarkan Kelompok Indikator Fekal dan Patogen Infeksius.....	32
4.2.1	Konsentrasi Bakteri Patogen Infeksius.....	32
4.2.2	Konsentrasi Bakteri Indikator Fekal.....	33
4.3	Efisiensi Pengolahan IPAL Komunal.....	36
4.3.1	Efisiensi Pengolahan Bakteri Patogen Infeksius	36
4.3.2	Efisiensi Pengolahan Bakteri Indikator Fekal	38
BAB V PENUTUP		41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran	41
DAFTAR PUSTAKA.....		42
LAMPIRAN		45
RIWAYAT HIDUP		1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Air Limbah Domestik Air Limbah Nonkaku, atau Gabungan Air Limbah Kaku dengan Air Limbah Nonkaku dan Dibuang ke Media Air	18
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu	21
Tabel 4. 1 Karakteristik IPAL Komunal.....	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 IPAL Komunal Mendiro	23
Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sampel IPAL Komunal Mendiro	23
Gambar 3. 3 IPAL Komunal Tirto Mili	24
Gambar 3. 4 Titik Pengambilan Sampel Tirto Mili	24
Gambar 3. 5 IPAL Komunal Tirto Asri	25
Gambar 3. 6 Titik Pengambilan Sampel Tirto Asri	25
Gambar 3. 7 Diagram Alir Penelitian	27
Gambar 3. 8 Pembuatan Media CCA	29
Gambar 3. 9 Pembuatan Media SSA	30
Gambar 4. 1 Konsentrasi Bakteri <i>Salmonella Sp.</i>	32
Gambar 4. 2 Konsentrasi Bakteri <i>Shigella Sp.</i>	33
Gambar 4. 3 Konsentrasi Bakteri <i>Total Coliform</i>	34
Gambar 4. 4 Konsentrasi Bakteri <i>Escherichia Coli</i>	35
Gambar 4. 5 Efisiensi Removal Bakteri <i>Salmonella Sp.</i>	36
Gambar 4. 6 Efisiensi Removal Bakteri <i>Shigella Sp.</i>	37
Gambar 4. 7 Efisiensi Removal Bakteri <i>Total Coliform</i>	38
Gambar 4. 8 Efisiensi Removal Bakteri <i>Escherichia Coli</i>	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Titik pengambilan sampel IPAL Komunal
Lampiran 2	Tabel parameter fisik
Lampiran 3	Tabel Total Plate Count
Lampiran 4	Tabel Hasil perhitungan Total Plate Count
Lampiran 5	Tabel Grafik <i>efisiensi removal</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sanitasi lingkungan dan pengelolaan limbah domestik sangat krusial terutama di kawasan permukiman padat penduduk karena volume limbah yang dihasilkan sangat besar dan potensi risiko kontaminasi meningkat signifikan. Di permukiman padat, fasilitas sanitasi individu seperti septik tank sering tidak mencukupi atau tidak dikelola dengan baik, sehingga diperlukan solusi pengolahan limbah skala komunitas. Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan adalah IPAL komunal, sistem ini dirancang untuk menjaga kualitas lingkungan sekaligus meningkatkan kesehatan masyarakat dengan mengendalikan polusi limbah cair rumah tangga (Suryani & Sasmita, 2022).

Namun praktik pengelolaan IPAL komunal sering menghadapi tantangan operasional. Beberapa studi melaporkan bahwa sistem IPAL komunal tidak selalu dikelola secara optimal, antara lain karena melebihi kapasitas, kebocoran, dan pemeliharaan yang kurang memadai (Indrawanto et al., 2020). Selain itu, dalam penelitian lokal juga ditemukan bahwa waktu tinggal (hydraulic retention time) limbah dalam sistem IPAL bisa menyimpang dari desain awal, dan tidak selalu dilakukan pemantauan mikrobiologis secara rutin, menjadikan kualitas efluen tidak konsisten (Hafidh et al., 2024).

Masalah mikrobiologis dalam air limbah menjadi perhatian serius. Bakteri seperti *Escherichia Coli* dan *Total Coliform* sering digunakan sebagai indikator kontaminasi fekal pada limbah domestik (Pratama et al., 2020). Penelitian di masyarakat lokal juga mengaitkan keberadaan *Escherichia Coli* dalam sumur dengan insiden diare, studi di Kalurahan Tirtonirmolo, Kabupaten Bantul, menemukan sebaran spasial kasus diare secara signifikan berkorelasi dengan konsentrasi *Escherichia Coli* di air sumur dan kepadatan penduduk. Selain itu, kontaminasi bakteri fekal semacam ini dapat mencemari air tanah jika sanitasi tidak aman, dan pada akhirnya meningkatkan kejadian penyakit berbasis air (*waterborne diseases*). Satu kajian sistematis di Indonesia menunjukkan bahwa sungai tercemar

dengan parameter bakteri koliform berhubungan dengan penyakit seperti diare dan tifoid.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan penelitian yang mampu menggambarkan konsentrasi mikroorganisme pada IPAL Komunal serta menilai potensi risiko kesehatan yang dapat timbul dari kontaminasi tersebut. Analisis terhadap bakteri indikator fekal seperti *Escherichia Coli*, *Total Coliform*, dan bakteri patogen infeksius seperti *Salmonella Sp.*, dan *Shigella Sp.* menjadi penting untuk memahami tingkat pencemaran mikrobiologis di lingkungan sekitar IPAL. Selain itu, hubungan antara keberadaan IPAL Komunal, sebaran bakteri indikator fekal, dan bakteri patogen infeksius serta potensi paparan masyarakat perlu dikaji secara komprehensif agar dapat memperjelas kontribusi faktor lingkungan terhadap penurunan kesehatan masyarakat. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menyediakan dasar ilmiah yang kuat untuk upaya pengendalian risiko bakteri indikator fekal dan bakteri patogen infeksius serta peningkatan perlindungan kesehatan masyarakat di kawasan permukiman sekitar IPAL Komunal.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan Masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1). Bagaimana konsentrasi bakteri pada IPAL Komunal, meliputi *Escherichia coli*, *Total Coliform*, *Salmonella sp.*, dan *Shigella sp.*?
- 2). Bagaimana tingkat risiko kesehatan masyarakat berdasarkan kualitas efluen (air hasil olahan) dan efektivitas IPAL dalam menyisihkan bakteri patogen?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1). Mengevaluasi konsentrasi bakteri pada IPAL Komunal, khususnya *Escherichia Coli*, *Total Coliform*, *Salmonella Sp.*, dan *Shigella Sp.* sebagai indikator pencemaran mikrobiologis.
- 2). Mengevaluasi korelasi antara efisiensi penyisihan tersebut dengan potensi risiko pencemaran biologis dan paparan penyakit bagi masyarakat sekitar.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat antara lain :

1) Bagi Mahasiswa

Meningkatkan pengetahuan dan pengalaman dalam melakukan evaluasi konsentrasi fekal bakteri pada IPAL Komunal serta memahami analisis risiko pencemaran biologis dan potensi paparan penyakit berbasis air.

2) Bagi Masyarakat

Memberikan informasi mengenai tingkat kontaminasi mikrobiologis pada lingkungan sekitar IPAL Komunal serta potensi risiko kesehatannya, sehingga dapat mendorong peningkatan kewaspadaan dan perilaku hidup bersih.

3) Bagi Pemerintah

Menyediakan data ilmiah terkait konsentrasi bakteri fekal dan risiko pencemaran biologis pada IPAL Komunal yang dapat dimanfaatkan dalam pemantauan kualitas sanitasi, penyusunan kebijakan pengelolaan IPAL, dan perencanaan program pencegahan penyakit berbasis air.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1). Lokasi penelitian dilakukan pada IPAL Komunal dengan tingkat risiko sedang, yaitu IPAL yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan dan kesehatan masyarakat akibat kondisi sanitasi yang kurang optimal.
- 2). Parameter utama yang diuji adalah indikator biologis, meliputi *Escherichia Coli*, *Total Coliform*, *Salmonella Sp.*, dan *Shigella Sp.* sebagai penanda kontaminasi mikrobiologis.
- 3). Data pendukung yang diuji mencakup parameter fisik, seperti pH, suhu, TDS, EC, dan ORP yang diukur langsung di lapangan, sedangkan parameter biologis (bakteri fekal) dianalisis di laboratorium mikrobiologi lingkungan.
- 4). Sampel diambil pada titik *inlet* dan *outlet* IPAL Komunal untuk memperoleh gambaran konsentrasi biologis sebelum dan sesudah proses pengolahan.

- 5). Analisis dilakukan menggunakan metode pengujian mikrobiologi standar, termasuk uji MPN untuk *Coliform / Escherichia Coli* serta metode isolasi dan identifikasi bakteri patogen sesuai standar laboratorium.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal

Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik (IPAL Domestik) merupakan suatu rangkaian kegiatan yang terintegrasi, mencakup proses pengumpulan, pengolahan, hingga pembuangan air limbah domestik, lengkap dengan prasarana dan sarana pendukungnya. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2017, sistem ini diselenggarakan sebagai upaya untuk menjaga kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat dengan memastikan bahwa limbah cair rumah tangga diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

Sumber air limbah domestik umumnya berasal dari aktivitas harian rumah tangga seperti mencuci pakaian, mandi, mencuci peralatan dapur, hingga kegiatan di toilet. Berdasarkan karakteristiknya, limbah ini dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama, yaitu black water dan grey water. Black water merujuk pada limbah yang mengandung kotoran manusia dan biasanya dibuang melalui sistem septic tank, sementara grey water adalah limbah cair dari aktivitas non-kakus seperti mencuci dan mandi.

Dalam praktiknya, IPAL Komunal dapat dirancang dengan pendekatan aerob maupun anaerob, tergantung pada kondisi lingkungan dan kebutuhan pengolahan. Sistem aerobik bekerja dengan cara menambahkan oksigen ke dalam proses pengolahan, sehingga mikroorganisme aerob dapat menguraikan bahan organik terlarut dalam air limbah. Sebaliknya, sistem anaerobik tidak memerlukan penambahan oksigen terlarut dan memanfaatkan mikroorganisme yang mampu melakukan dekomposisi bahan organik dalam kondisi tanpa oksigen. Kedua sistem ini memiliki kelebihan masing-masing, baik dari segi efisiensi pengolahan maupun biaya operasional (Selintung et al., 2015).

Secara umum, keberadaan IPAL komunal sangat penting terutama di daerah padat penduduk atau kawasan yang belum terjangkau sistem pengelolaan limbah terpusat. Sistem ini mampu meminimalkan pencemaran lingkungan serta mendukung upaya pengelolaan air limbah yang lebih terkontrol.

2.1.1 Dampak Limbah Domestik pada IPAL Komunal bagi Lingkungan

IPAL Komunal sebagai sistem pengolahan air limbah skala menengah memiliki peran penting dalam mengurangi pencemaran air domestik di wilayah padat penduduk. Namun, keterbatasan dalam desain teknis, kapasitas pengolahan, dan sistem disinfeksi menyebabkan banyak IPAL Komunal belum mampu secara efektif mengeliminasi mikroorganisme patogen, termasuk virus enterik yang bersifat infeksius. Virus-virus ini berasal dari ekskresi manusia yang masuk ke saluran air limbah dan dapat bertahan hingga ke efluen jika tidak diolah dengan teknologi yang memadai.

Beberapa jenis virus patogen yang umum ditemukan di air limbah domestik antara lain norovirus, enterovirus, adenovirus, dan rotavirus, yang kesemuanya merupakan penyebab utama penyakit diare dan infeksi saluran pencernaan (Kitajima et al., 2014). Virus-virus ini memiliki ukuran sangat kecil (20–100 nm), kapsid yang tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan, serta kemampuan untuk tetap infeksius meskipun telah melewati beberapa tahap pengolahan air limbah.

Penelitian yang dilakukan oleh Jofre et al. (2016) menunjukkan bahwa banyak WWTP (*wastewater treatment plant*) dan sistem pengolahan skala komunal di negara berkembang gagal dalam menurunkan konsentrasi virus hingga tingkat aman, terutama karena keterbatasan unit disinfeksi dan beban organik tinggi. Selain itu, virus dapat membentuk agregat atau menempel pada partikel padatan tersuspensi, sehingga terhindar dari proses filtrasi konvensional. Hal ini menjadikan IPAL Komunal berpotensi sebagai titik sebar virus patogen ke lingkungan, khususnya jika efluen dibuang langsung ke badan air tanpa proses disinfeksi lanjut.

2.2 Karakteristik Limbah Domestik

Limbah domestik rumah tangga berasal dari berbagai aktivitas, termasuk buangan dapur, kamar mandi, cuci-mencuci, dan air WC (Suryani & Sasmita, 2022). Limbah ini memiliki sifat fisik seperti kekeruhan, warna, bau, serta kandungan padatan tersuspensi dan total padatan. Secara kimia, limbah domestik mengandung bahan organik seperti protein, karbohidrat, minyak, dan lemak, yang memengaruhi nilai BOD, COD, dan pH air limbah (Indrawanto, Subadyo, & Budiyanto, 2020). Sifat-sifat ini penting untuk merancang IPAL komunal yang

efektif, karena sifat fisik dan kimia menentukan proses pemisahan padatan dan kebutuhan oksigen, sedangkan kandungan biologis menentukan perlunya disinfeksi. Selain itu, limbah ini mengandung mikroorganisme dari tinja dan urin yang menjadi perhatian utama dalam kesehatan masyarakat.

Variasi komposisi limbah juga dipengaruhi oleh jumlah penghuni rumah tangga, tipe kegiatan domestik, dan musim, sehingga perencanaan IPAL perlu mempertimbangkan faktor-faktor ini agar efektif dan aman bagi warga sekitar (Pratama et al., 2020). Kondisi ini menguatkan bahwa pemahaman karakteristik fisik, kimia, dan biologis limbah menjadi langkah awal yang penting sebelum menentukan desain sistem pengolahan dan strategi sanitasi berbasis komunitas.

2.3 Parameter Mikrobiologi Air Limbah

Dalam limbah domestik, mikroorganisme indikator digunakan untuk menilai tingkat kontaminasi fekal dan potensi adanya patogen. *Escherichia Coli* merupakan indikator utama karena hampir selalu berasal dari tinja manusia atau hewan, sehingga keberadaannya menandakan potensi adanya patogen lain (Hafidh, Kartika, & Farahdiba, 2024). Selain itu, *Total Coliform* juga digunakan sebagai indikator awal kontaminasi fekal pada air limbah, yang memudahkan pemantauan kualitas efluen IPAL (Pratama et al., 2020). Selain *Coliform*, patogen seperti *Salmonella* dan *Shigella* kadang ditemukan pada limbah domestik yang tidak diolah dengan baik, menandakan risiko penyakit yang lebih serius bagi masyarakat sekitar (Hafidh, Kartika, & Farahdiba, 2024).

2.3.1. Bakteri Patogen Infeksius

Ditinjau dari aspek morfologi, *Salmonella Sp.* dan *Shigella Sp.* menunjukkan karakteristik yang serupa, yaitu keduanya termasuk dalam kelompok bakteri Gram negatif berbentuk batang (basil), tidak menghasilkan spora, serta memiliki sifat anaerob fakultatif. Kendati memiliki kemiripan struktur fisik, kedua patogen ini dapat dibedakan berdasarkan inang alaminya. *Salmonella Sp.* merupakan bakteri yang menghuni saluran pencernaan manusia maupun hewan, terutama unggas dan ternak (Winfield & Groisman, 2003). Di sisi lain, *Shigella Sp.* bersifat lebih spesifik karena inang utamanya hampir secara eksklusif berasal dari saluran pencernaan manusia, sehingga kehadirannya di perairan menjadi indikator kuat adanya kontaminasi langsung dari kotoran manusia (Kotloff et al., 2018).

Keberadaan kedua bakteri ini di lingkungan perairan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan material organik dan akumulasi sedimen yang menjadi tempat bertahan hidup bagi bakteri tersebut. Kondisi lingkungan di wilayah tropis, seperti fluktuasi pH yang netral dan suhu air yang hangat, turut memperpanjang masa persistensi keduanya di ekosistem perairan (Arisandi et al., 2020). Selain itu, distribusi *Salmonella Sp.* dan *Shigella Sp.* memiliki dinamika temporal yang berkaitan dengan perubahan musim. Konsentrasinya cenderung mengalami peningkatan signifikan pada musim hujan akibat fenomena limpasan permukaan (*run-off*) serta resuspensi sedimen tercemar yang terangkat kembali ke kolom air (Kusuma et al., 2017). Rendahnya dosis infeksi yang diperlukan oleh patogen ini, khususnya *Shigella Sp.*, menuntut standar konsentrasi nol atau negatif dalam efluen air limbah domestik demi menjamin keamanan kesehatan masyarakat (Said & Marsidi, 2017).

2.3.2. Bakteri Indikator Fekal

Total Coliform merupakan kelompok bakteri indikator yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kebersihan air serta mendeteksi adanya kontaminasi organik maupun fekal. Kelompok ini mencakup berbagai genus seperti *Klebsiella*, *Citrobacter*, dan *Enterobacter* yang habitat alaminya dapat berasal dari tumbuhan, tanah, maupun tinja (Zubaidah et al., 2022). Keberadaan *Total Coliform* dalam konsentrasi tinggi, terutama pada badan air di kawasan padat penduduk, mengindikasikan bahwa perairan tersebut telah menerima beban limbah domestik yang signifikan. Sebagai parameter kualitas air, *Total Coliform* berfungsi untuk memperkirakan probabilitas keberadaan bakteri patogen; semakin tinggi konsentrasinya, maka risiko ditemukannya bakteri penyebab penyakit juga akan meningkat.

Di dalam kelompok *fecal coliform*, *Escherichia coli* menempati posisi sebagai indikator pencemaran fekal yang paling spesifik. Hal ini dikarenakan *E. coli* jarang ditemukan tumbuh secara alami di lingkungan tanpa adanya kontaminasi tinja, sehingga keberadaannya menjadi bukti konkrit adanya polusi feses manusia atau hewan berdarah panas. Secara morfologi, *E. coli* merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang yang bersifat fakultatif anaerob, sehingga mampu beradaptasi pada kondisi lingkungan dengan maupun tanpa oksigen.

Selain di saluran pencernaan, *E. coli* dapat ditemukan di tanah dan air, terutama pada area dengan pencemaran organik tinggi (nilai BOD tinggi) yang mendukung pertumbuhannya. Melalui mekanisme limpasan air hujan atau aliran air tanah, bakteri ini dapat berpindah menuju badan sungai. Oleh karena itu, tingginya densitas *E. coli* di perairan permukaan menjadi indikator penting terjadinya pencemaran pada tanah dan aliran sungai di wilayah tersebut (Sutiknowati, 2016).

Pemantauan indikator biologis ini penting karena mereka relatif mudah diukur dan dapat menjadi prediktor potensi infeksi di lingkungan pemukiman. Dengan mengetahui tingkat mikroorganisme indikator, manajemen IPAL dapat mengevaluasi efektivitas pengolahan limbah dan menentukan apakah limbah sudah aman sebelum dibuang ke lingkungan. Oleh karena itu, pemantauan mikroorganisme indikator secara rutin sangat penting dalam memastikan kualitas air olahan memenuhi standar kesehatan sebagaimana tercantum dalam Permen LH No. 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dan Standar Teknologi Pengolahannya pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Parameter Air Limbah Domestik Air Limbah Nonkaku, atau Gabungan Air Limbah Kaku dengan Air Limbah Nonkaku dan Dibuang ke Media Air

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum		
		Klasifikasi (berdasarkan volume Air Limbah Domestik yang dihasilkan dalam m ³ /hari)		
		X > 50	3<X<50	<3
Tingkat Keasaman (pH*)	-	6 - 9	6 - 9	6 - 9
BOD	mg/L	30	50	75
COD	mg/L	100	100	
TSS	mg/L	30	50	
Amoniak	mg/L	10	20	
Deterjen Total	mg/L	5	10	
Minyak & Lemak***	mg/L	5	10	10

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum		
		Klasifikasi (berdasarkan volume Air Limbah Domestik yang dihasilkan dalam m ³ /hari)		
		X > 50	3 < X < 50	< 3
Sisa Klorin*	mg/L	1	1**	1**
Salmonella**	-	Negatif	Negatif	
Shigella**	-	Negatif	Negatif	
Vibro Cholera**	-	Negatif	Negatif	
Streptococcus**	-	Negatif	Negatif	
Fecal Coliform	MPN/100mL	1000	1000	1000

Keterangan:

x = volume Air Limbah Domestik yang dihasilkan.

*) = diukur langsung pada titik penataan.

***) = khusus Pengolahan Air Limbah Domestik pada Fasilitas Pelayanan

Kesehatan yang tidak mengolah limbah bahan berbahaya dan beracun dan telah melakukan standar operasional prosedur pengelolaan Air Limbah sesuai peraturan perundang-undangan.

****) = sebagai *surfactant anionic* (MBAS), khusus untuk kegiatan yang melakukan kegiatan pencucian atau *laundry*.

2.4 Dampak Bakteri Fekal terhadap Kesehatan Masyarakat

Kehadiran mikroorganisme indikator dalam limbah domestik memiliki kaitan langsung dengan risiko penyakit di masyarakat. Paparan bakteri fekal melalui air, tanah, atau kontak langsung dapat menyebabkan penyakit berbasis air (*waterborne diseases*) seperti diare, tifus, dan infeksi saluran pencernaan (Widiyanti, 2019). Tingginya konsentrasi *Escherichia Coli* atau *Total Coliform* pada lingkungan pemukiman padat menunjukkan adanya kontaminasi fekal aktif, yang berpotensi meningkatkan insiden penyakit di komunitas sekitar (Siregar, 2021).

Penelitian epidemiologi di berbagai kota di Indonesia menunjukkan bahwa masyarakat yang tinggal di sekitar IPAL komunal dengan kualitas efluen buruk cenderung mengalami kasus diare lebih tinggi, terutama pada anak-anak dan balita yang rentan (Munawarah et al., 2022). Selain itu, survei kesehatan lingkungan

mengindikasikan bahwa paparan jangka panjang terhadap air limbah yang mengandung patogen dapat memicu penyakit saluran pencernaan berulang, infeksi kulit, dan kondisi gastrointestinal kronis (Salsabila et al., 2023).

Pendekatan epidemiologi lingkungan ini memungkinkan pengukuran hubungan antara konsentrasi bakteri fekal dengan dampak nyata terhadap kesehatan masyarakat. Dengan mengintegrasikan pemantauan indikator mikroba seperti *Escherichia Coli*, *Total Coliform*, *Salmonella*, dan *Shigella*, peneliti dapat menilai efektivitas IPAL dalam mengurangi beban penyakit di masyarakat. Misalnya, pengurangan *Escherichia Coli* efluen hingga ambang baku mutu dapat dikaitkan dengan penurunan insiden diare di pemukiman padat, sehingga menunjukkan manfaat langsung dari pengelolaan limbah yang baik (Munawarah et al., 2022).

Lebih lanjut, data epidemiologi juga menekankan pentingnya pemantauan rutin indikator bakteri fekal sebagai alat prediktif. Hal ini memungkinkan otoritas lokal merancang intervensi kesehatan berbasis risiko, seperti penyuluhan sanitasi, perbaikan IPAL, dan pengendalian akses air bersih. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya menilai kualitas efluen secara teknis, tetapi juga mengevaluasi dampaknya terhadap kesehatan masyarakat secara nyata, sehingga menjadi dasar kebijakan pengelolaan sanitasi berbasis bukti (Siregar, 2021).

Integrasi data mikrobiologi dan epidemiologi ini sangat relevan bagi pemukiman padat, karena keterbatasan infrastruktur dan tingginya kepadatan penduduk meningkatkan risiko penyebaran penyakit berbasis air. Dengan pemahaman yang komprehensif, pengelolaan IPAL komunal tidak hanya bertujuan menurunkan parameter fisik atau kimia limbah, tetapi juga mengurangi risiko infeksi patogen bagi masyarakat sekitar.

2.5 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

Penulis	Parameter Penelitian	Sampel	Hasil Penelitian
Muhammad L. Nugroho, Johan S. M. Ahmad. (2023)	COD, BOD, Amonia, <i>Total Coliform</i>	56 IPAL komunal di Sleman, Yogyakarta	Lebih dari 50% IPAL memenuhi baku mutu untuk COD, BOD, dan Amonia, tetapi semua 56 IPAL belum memenuhi baku mutu untuk <i>Total Coliform</i> . Efisiensi penyisihan polutan (COD, BOD, Amonia, <i>Total Coliform</i>) masih relatif rendah (< 80 %)
Novia Ratna Sari, Sunarto & Wiryanto (2022)	<i>Shigella Sp.</i> , <i>Salmonella Sp.</i>	<i>Inlet</i> dan <i>outlet</i> IPAL Semanggi & Mojosongo, Surakarta	<i>Salmonella</i> terdeteksi pada <i>inlet</i> (~82 ind/100 mL) dan <i>outlet</i> (~74 ind/100 mL), menunjukkan sistem belum sepenuhnya efektif menurunkan patogen.
Widiyanti, R. (2019)	<i>E. coli</i> , <i>Total Coliform</i>	Masyarakat di sekitar IPAL komunal	Kualitas air limbah yang buruk meningkatkan risiko penyakit berbasis air (diare, infeksi saluran pencernaan).
Hafidh, A., Kartika, F., & Farahdiba, A. (2024)	<i>E. coli</i> , <i>Total Coliform</i>	Efluen IPAL komunal di Sleman	Monitoring mikroba indikator menunjukkan potensi risiko paparan bagi masyarakat, meskipun studi langsung epidemiologi belum dilakukan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan September 2025 di area IPAL Komunal sebagai lokasi pengambilan sampel, serta di Laboratorium Bioteknologi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia sebagai tempat pengujian. Kegiatan penelitian diawali dengan persiapan alat dan bahan, kemudian dilanjutkan dengan analisis laboratorium terhadap sampel air limbah yang diambil dari IPAL Komunal tersebut.

Pengambilan sampel dilakukan sebanyak enam kali dalam periode empat bulan. Pengambilan dijadwalkan pada minggu pertama dan ketiga bulan September 2025, kemudian dilanjutkan pada minggu pertama dan ketiga bulan Oktober 2025, pada minggu pertama bulan November 2025, dan terakhir pada minggu pertama bulan Desember 2025. Penetapan titik pengambilan sampel mengacu pada sampel *survey method*, yaitu teknik pemilihan lokasi sampling dengan membagi area pengamatan menjadi beberapa titik representatif sesuai kondisi aliran limbah. Titik-titik tersebut dipilih untuk menggambarkan variasi konsentrasi bakteri seperti *Escherichia Coli*, *Total Coliform*, *Salmonella Sp.*, dan *Shigella Sp.* dalam sistem IPAL Komunal.

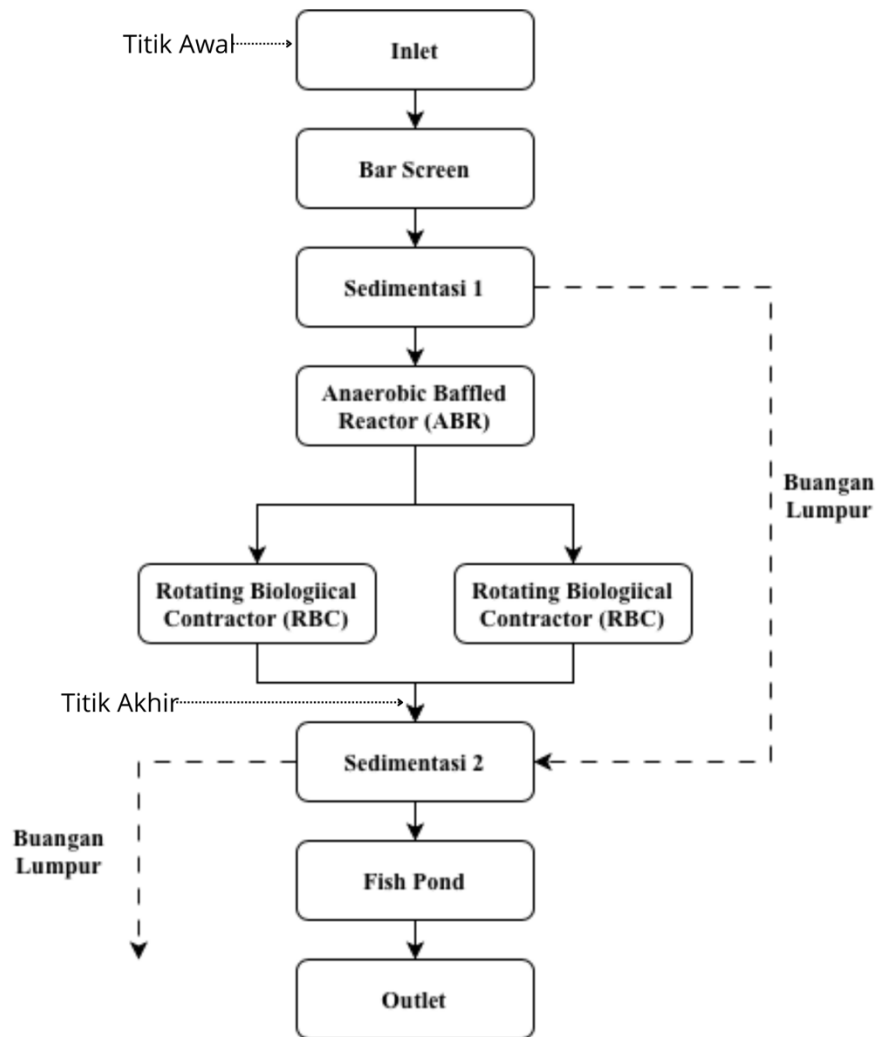
Adapun uraian dari setiap titik adalah sebagai berikut :

1) IPAL Komunal Mendiro

Pengambilan sampel dilakukan di IPAL Komunal Mendiro yang berlokasi di Jl. Mendiro Raya, Mendiro, Sukoharjo, Kec. Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 5558.



Gambar 3. 1 IPAL Komunal Mendiro



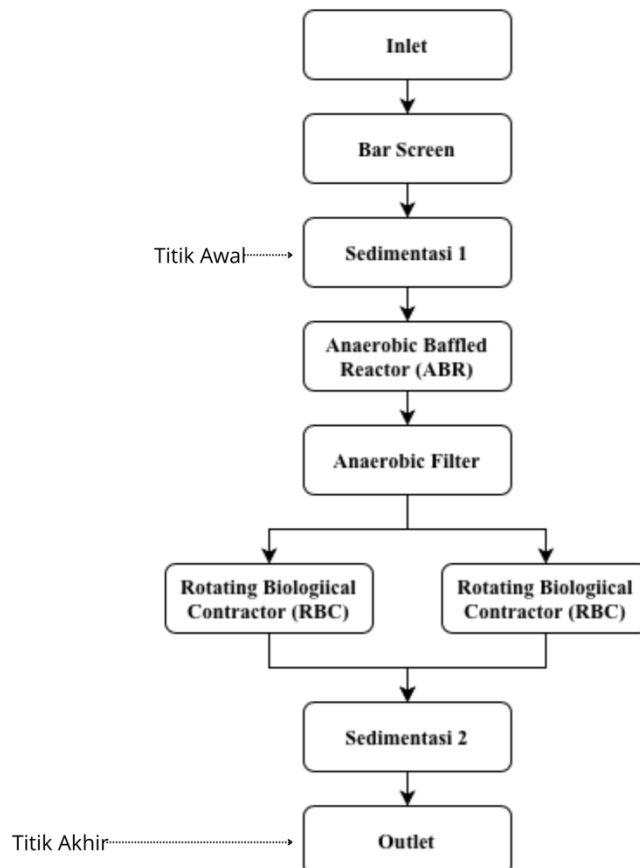
Gambar 3. 2 Titik Pengambilan Sampel IPAL Komunal Mendiro

2) IPAL Tirto Mili

Pengambilan sampel dilakukan di IPAL Komunal Tirto Mili yang berlokasi di Jongkang, Sariharjo, Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55581.



Gambar 3. 3 IPAL Komunal Tirto Mili



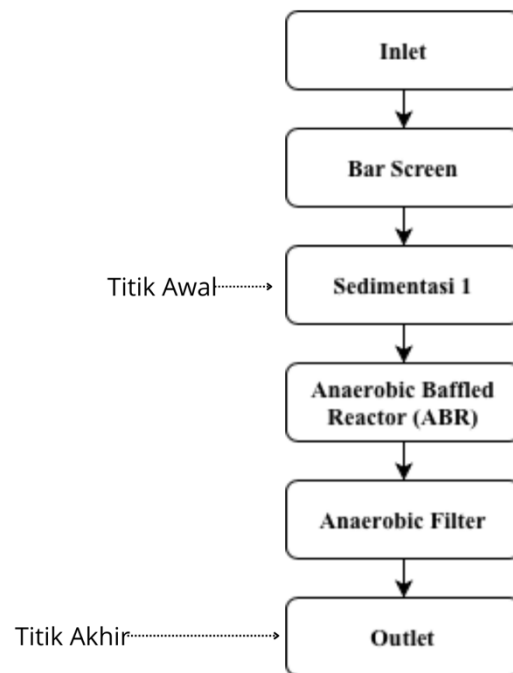
Gambar 3. 4 Titik Pengambilan Sampel Tirto Mili

3) IPAL Tirto Asri

Pengambilan sampel dilakukan di IPAL Komunal Tirto Asri yang berlokasi di Sembung, Sukoharjo, Kec. Ngaglik, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55581.



Gambar 3. 5 IPAL Komunal Tirto Asri



Gambar 3. 6 Titik Pengambilan Sampel Tirto Asri

3.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini alat dan bahan yang digunakan untuk pengujian sampel adalah sebagai berikut :

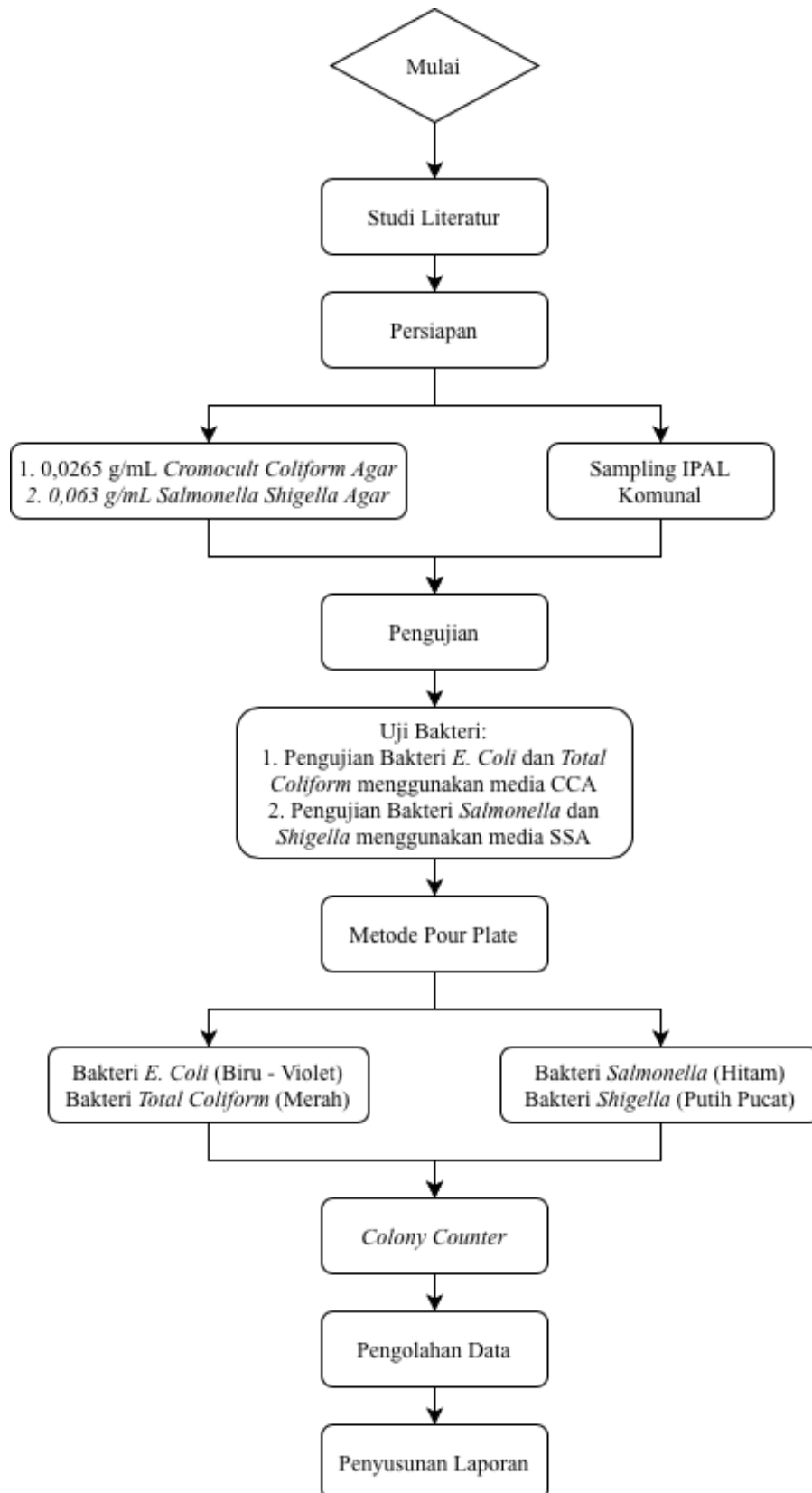
- a. Peralatan untuk sampling air IPAL Komunal, antara lain yaitu jirigen 1 liter untuk air sampel, *Coolbox*, *Ice pack*, *Multimeter Water Quality Tester* (pH, Suhu, DO, EC, TDS), Ember, Gayung, Aquadest Gelas Beaker 1000 mL.
- b. Peralatan untuk pengujian Laboratorium, antara lain yaitu tabung reaksi, Erlenmeyer, Mikropipet, Gelas ukur, *Petri Dish*, LAF, Api bunsen, Inkubator, Gelas beaker, *Stirrer bar*, *Magnetic stir plate*, *Vortex mixer*, Timbangan digital, Sendok sungsu, *Micropipette test tube* ukuran 10-200 mL , 100-1000 mL , *Autoclave*, *oven*, *Colony Counter*.
- c. Bahan untuk pengujian Laboratorium, antara lain yaitu Sampel air IPAL Komunal, Media *Cromocult Coliform Agar (CCA)*, Media *Salmonella Shigella Agar (SSA)*, Aquadest.

3.3 Prosedur Analisis Data

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bioteknologi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan pendekatan kuantitatif. Pendekatan ini digunakan untuk menguji hipotesis yang disusun berdasarkan landasan teori, kemudian divalidasi melalui data hasil pengukuran di lapangan. Tahapan awal penelitian dimulai dengan pengambilan sampel air limbah pada beberapa titik IPAL Komunal.

Sampel air limbah yang telah dikumpulkan selanjutnya dianalisis menggunakan media selektif *Cromocult Coliform Agar (CCA)* untuk mengidentifikasi keberadaan *Escherichia Coli* dan *Total Coliform*, serta *Salmonella Shigella Agar (SSA)* untuk mendeteksi kemungkinan adanya *Salmonella* dan *Shigella*. Hasil pengujian laboratorium ini memberikan gambaran mengenai tingkat kontaminasi fekal bakteri maupun bakteri enterik patogen pada air limbah yang sedang dan telah melalui proses pengolahan.

Tahapan penelitian disajikan pada diagram alir dibawah :



Gambar 3. 7 Diagram Alir Penelitian

3.4 Metode Pengambilan Sampel Air IPAL Komunal

Titik pengambilan sampel pada penelitian ini ditetapkan pada bagian *inlet* dan *outlet* dari masing-masing IPAL Komunal yang menjadi lokasi penelitian. Pada IPAL Mendiro, sampel diambil pada *inlet* sebagai titik masuk air limbah domestik dan pada *outlet* sebagai efluen hasil proses pengolahan. Pada IPAL Tirto Mili, pengambilan sampel dilakukan pada manhole akhir ABR yang berfungsi sebagai titik influen, serta pada *outlet* sebagai titik keluaran akhir sistem. Sementara itu, pada IPAL Tirto Asri, pengambilan sampel dilakukan pada manhole awal (manhole ABR) yang menerima aliran awal air limbah, dan pada *outlet* sebagai titik akhir efluen setelah melalui seluruh tahapan pengolahan.

Metode pengambilan sampel air limbah pada penelitian ini menggunakan teknik *Grab Sampling*, yaitu pengambilan sampel sesaat (*spot sampling*) yang mewakili kondisi air limbah pada waktu tertentu. Prosedur ini mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Sebelum pengambilan dilakukan, wadah sampel berupa botol atau jirigen steril berkapasitas 1 liter disiapkan terlebih dahulu. Wadah kemudian dibilas menggunakan aquades dan selanjutnya dibilas kembali dengan air limbah yang akan diambil untuk memastikan kondisi wadah sesuai dengan karakteristik sampel. Sampel dimasukkan ke dalam wadah, diberi label sesuai titik pengambilan, kemudian disimpan di dalam *coolbox* berisi *icepack* untuk menjaga aktivitas mikrobiologis tetap minimal selama transportasi menuju laboratorium.

Untuk parameter fisik seperti pH, suhu, daya hantar listrik (EC), dan *Total Dissolved Solids* (TDS), pengukuran dilakukan secara langsung di lokasi (*in situ*) menggunakan alat *Multimeter Water Quality Tester*, karena parameter tersebut mudah berubah apabila disimpan terlalu lama.

3.5 Metode Pengujian

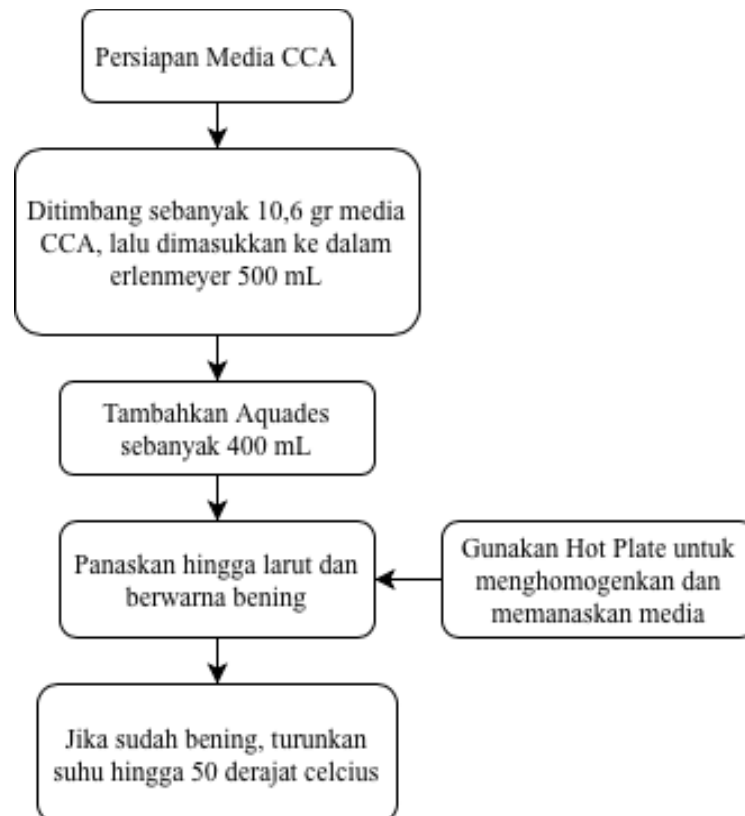
Pengujian sampel air limbah dilakukan secara *in-situ* dan *ex-situ*. Pengujian *in-situ* dilakukan langsung di titik sampling untuk mengukur parameter fisika seperti pH, suhu, DO, TDS, EC, dan ORP agar diperoleh kondisi aktual air limbah. Pengujian *ex-situ* dilakukan di laboratorium untuk menganalisis parameter mikrobiologi menggunakan media selektif, yaitu *Cromocult Coliform Agar* (CCA) untuk *Escherichia Coli* dan *Total Coliform*, serta *Salmonella Shigella Agar* (SSA)

untuk mendeteksi *Salmonella Sp.* dan *Shigella Sp.* Hasil pengujian ini memberikan gambaran mengenai tingkat kontaminasi bakteri fekal air limbah pada masing-masing tahap proses pengolahan di IPAL Komunal, sekaligus menjadi dasar untuk menilai efektivitas pengolahan dan potensi risiko kesehatan bagi masyarakat.

3.6 Pengujian Bakteri

3.6.1. Bakteri *Escherichia Coli* dan *Total Coliform*

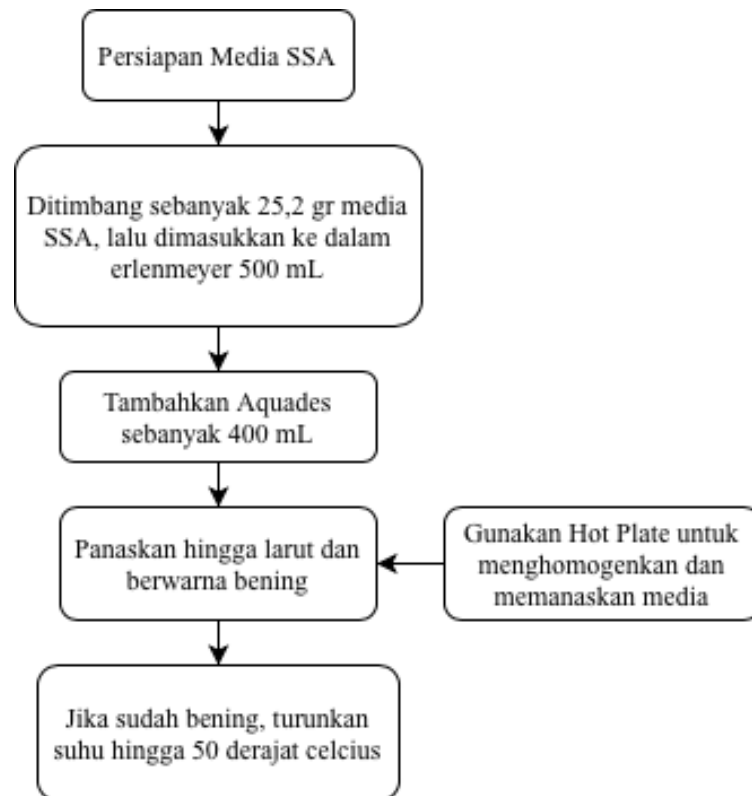
Media yang digunakan untuk menumbuhkan bakteri ini adalah *Cromocult Coliform Agar (CCA)*. Pembuatan media dimulai dengan menimbang 10,6 gram CCA, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer berkapasitas 500 mL dan ditambah dengan 400 mL air demineralisasi (aquades). Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan dipanaskan hingga larutan menjadi bening. Setelah mencapai kejernihan, suhu *hot plate* diturunkan hingga 50°C. Media kemudian dituangkan ke dalam cawan ketika suhunya sudah mencapai 50°C, Mengacu pada SNI 3554:2015 sebagai acuan standar nasional.



Gambar 3. 8 Pembuatan Media CCA

3.6.2. Bakteri *Salmonella, Sp.* dan *Shigella, Sp.*

Media yang digunakan untuk menumbuhkan bakteri ini adalah *Salmonella Shigella Agar* (SSA). Pembuatan media dimulai dengan menimbang 25,2 gram SSA, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer berkapasitas 500 mL dan ditambah dengan 400 mL air demineralisasi (aquades). Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan dipanaskan hingga larutan menjadi bening. Setelah mencapai kejernihan, suhu *hot plate* diturunkan hingga 50°C. Media kemudian dituangkan ke dalam cawan ketika suhunya sudah mencapai 50°C, Mengacu pada SNI 01-2332.2-2006 sebagai dasar metodologi deteksi *Salmonella*.



Gambar 3. 9 Pembuatan Media SSA

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Sistem Pengolahan IPAL Komunal

Pada penelitian ini, karakteristik utama dari tiga IPAL komunal yang menjadi lokasi studi berhasil diidentifikasi dan disajikan secara ringkas pada tabel 4.1 :

Tabel 4. 1 Karakteristik IPAL Komunal

Karakteristik Umum	IPAL Komunal		
	Mendiro	Tirto Mili	Tirto Asri
Debit (L/hari)	106.560	224.640	72.000
Jumlah Layanan (KK)	148	312	100
Teknologi	ABR+AF+RBC	ABR+RBC	ABR+AF
Tahun Konstruksi	2015	2015	2016

Sumber : Ani Fitri (2020)

Tabel di atas menunjukkan karakteristik tiga IPAL komunal yang menjadi lokasi penelitian, yakni IPAL Mendiro, IPAL Tirto Mili, dan IPAL Tirto Asri. Debit air limbah yang diolah bervariasi, mulai dari 72000 L/hari pada IPAL Tirto Asri hingga 224640 L/hari pada IPAL Tirto Mili, menyesuaikan kapasitas dan jumlah layanan yang dilayani. Jumlah layanan rumah tangga juga berbeda, dengan IPAL Tirto Mili melayani 312 KK, IPAL Mendiro 148 KK, dan IPAL Tirto Asri 100 KK.

Dari segi teknologi, ketiga IPAL mengadopsi sistem pengolahan biologis dengan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) sebagai komponen inti. IPAL Mendiro menggunakan kombinasi ABR, kolam aerasi (AF), dan *Rotating Biological Contactor* (RBC), IPAL Tirto Mili memanfaatkan ABR dan RBC, sedangkan IPAL Tirto Asri mengombinasikan ABR dan AF. Perbedaan konfigurasi ini dapat memengaruhi efisiensi pengolahan limbah, terutama dalam pengurangan kontaminan biologis.

Selain itu, ketiga IPAL dibangun dalam rentang tahun 2015-2016, sehingga usia fasilitas relatif serupa. Kombinasi perbedaan kapasitas, jumlah layanan, dan teknologi pengolahan menjadi faktor penting yang perlu diperhatikan dalam evaluasi performa IPAL, terutama terkait konsentrasi mikroba dan risiko kesehatan

masyarakat di sekitarnya. Karakteristik ini menjadi dasar dalam analisis selanjutnya mengenai efisiensi pengolahan dan kualitas efluen yang dihasilkan.

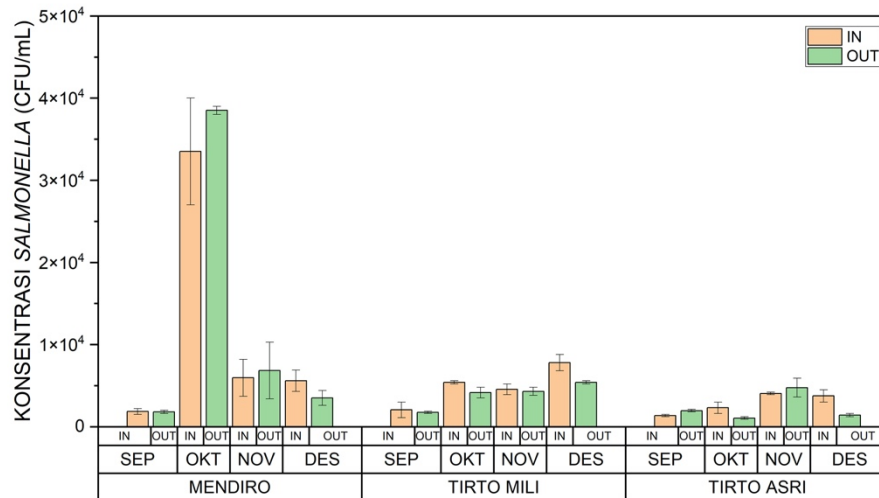
4.2 Konsentrasi Bakteri Berdasarkan Kelompok Indikator Fekal dan Patogen Infeksius

Dalam penelitian ini, bakteri fekal dikategorikan menjadi dua kelompok, yaitu bakteri indikator fekal (*Escherichia Coli* dan *Total Coliform*) yang merepresentasikan tingkat pencemaran tinja, serta bakteri patogen infeksius (*Salmonella Sp.* dan *Shigella Sp.*) yang mencerminkan risiko penyakit secara langsung kepada masyarakat. Pembagian ini digunakan untuk memudahkan interpretasi hasil terkait performa IPAL dan implikasi kesehatan.

4.2.1 Konsentrasi Bakteri Patogen Infeksius

a. Konsentrasi *Salmonella Sp.*

Variasi konsentrasi *Salmonella Sp.* di IPAL lokasi penelitian dapat diamati pada gambar berikut:



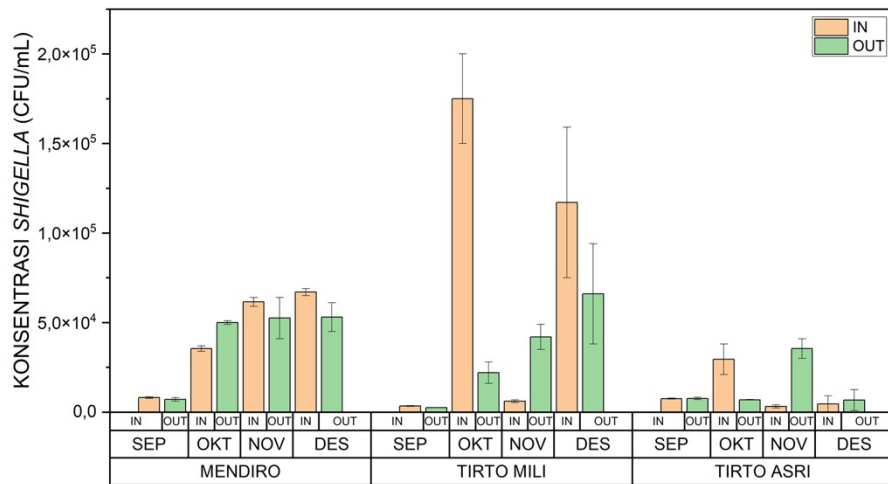
Gambar 4. 1 Konsentrasi Bakteri *Salmonella Sp.*

Berdasarkan hasil pengukuran yang disajikan pada gambar, konsentrasi *Salmonella Sp.* selama periode penelitian menunjukkan fluktuasi yang cukup dinamis dengan rentang nilai antara 1.350 hingga 38.500 CFU/mL. Secara umum, sebagian besar titik pengamatan menunjukkan konsentrasi yang relatif stabil, namun terdapat lonjakan signifikan pada IPAL Mendiro. Puncak konsentrasi tertinggi terdeteksi pada titik *outlet* IPAL Mendiro pada bulan Oktober, yakni

sebesar 38.500 CFU/mL. Tingginya angka pada titik *outlet* ini mengindikasikan adanya efektivitas pengolahan yang belum optimal dalam mengeliminasi bakteri patogen pada periode tersebut. Sebaliknya, konsentrasi terendah diidentifikasi pada titik *inlet* IPAL Tirto Asri pada bulan September dengan nilai 1.350 CFU/mL.

b. Konsentrasi *Shigella Sp.*

Variasi konsentrasi *Shigella Sp.* di IPAL lokasi penelitian dapat diamati pada gambar berikut:



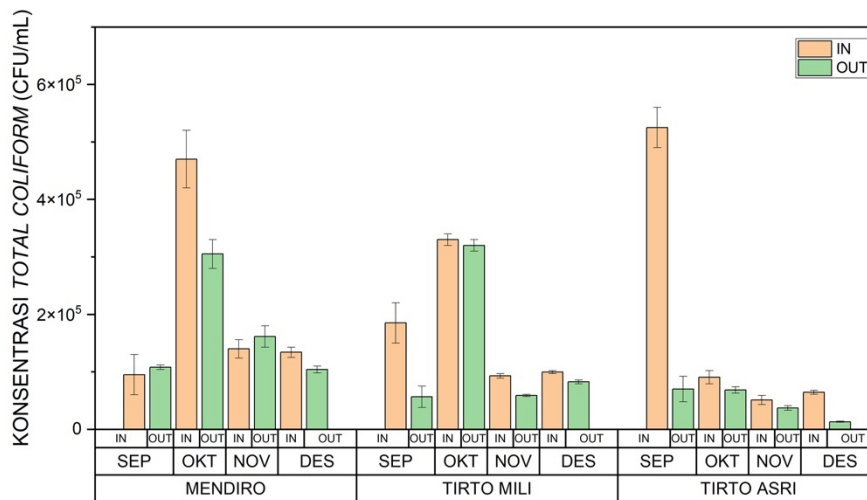
Gambar 4. 2 Konsentrasi Bakteri *Shigella Sp.*

Berdasarkan data yang disajikan pada gambar, konsentrasi *Shigella Sp.* pada ketiga IPAL menunjukkan distribusi nilai yang sangat variatif, berkisar antara 2.250 hingga 175.000 CFU/mL. Pada periode pengamatan bulan September, konsentrasi bakteri cenderung berada pada *level* yang relatif rendah dan stabil dengan rentang 2.250 hingga 8.100 CFU/mL. Namun, memasuki bulan Oktober, terjadi lonjakan konsentrasi yang sangat signifikan di seluruh lokasi penelitian. Puncak konsentrasi tertinggi ditemukan pada IPAL Tirto Mili yang mencapai 175.000 CFU/mL. Peningkatan drastis ini bertepatan dengan mulainya musim penghujan di lokasi penelitian.

4.2.2 Konsentrasi Bakteri Indikator Fekal

a. Konsentrasi *Total Coliform*

Variasi konsentrasi *Total Coliform* di IPAL lokasi penelitian dapat diamati pada gambar berikut:

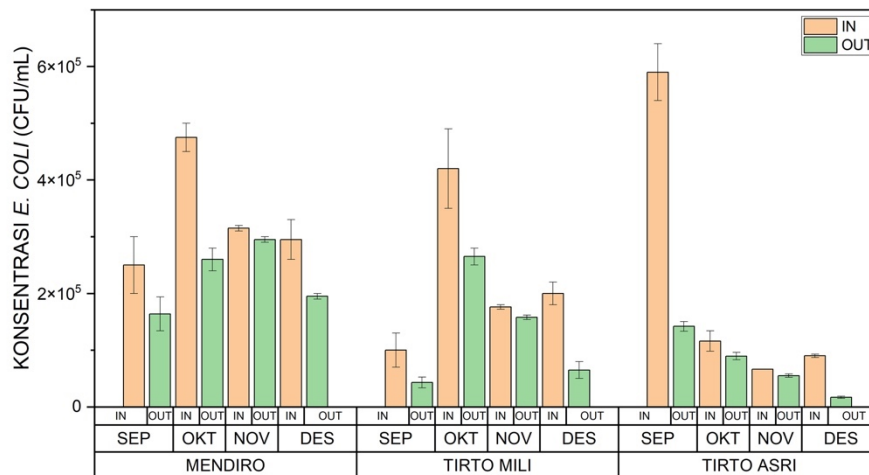


Gambar 4. 3 Konsentrasi Bakteri *Total Coliform*

Hasil analisis menunjukkan rentang konsentrasi yang signifikan, yaitu antara 13.000 hingga 525.000 CFU/mL. Konsentrasi tertinggi teridentifikasi pada IPAL Tirtomasi pada *inlet* periode sampling bulan September dengan nilai mencapai 525.000 CFU/mL dan nilai terendah pada *outlet* Desember. Penetapan nilai tersebut dilakukan melalui prosedur pengenceran yang lebih tinggi guna menghindari kondisi *Too Numerous To Count* (TNTC), di mana jumlah koloni pada cawan sebelumnya terlalu padat untuk dihitung secara akurat. Dengan meningkatkan faktor pengenceran, pertumbuhan koloni dapat dibatasi pada rentang standar perhitungan (*countable range*), sehingga data yang diperoleh tetap valid dan representatif terhadap beban bakteri yang sebenarnya pada lokasi tersebut. Langkah pengenceran ini sangat penting karena tingginya jumlah bakteri dalam limbah domestik sering kali melebihi batas hitung normal. Selain menjaga akurasi data, prosedur ini mencegah terjadinya *crowding effect*, yaitu kondisi di mana koloni tumbuh terlalu rapat dan saling menumpuk sehingga sulit dihitung atau dibedakan secara jelas.

b. Konsentrasi *Escherichia Coli*

Variasi konsentrasi *Escherichia Coli* di IPAL lokasi penelitian dapat diamati pada gambar berikut:



Gambar 4. 4 Konsentrasi Bakteri *Escherichia Coli*

Berdasarkan hasil konsentrasi pada ketiga lokasi IPAL menunjukkan sebaran nilai yang relatif stabil dengan rentang antara 17.000 hingga 590.000 CFU/mL. Profil konsentrasi ini menggambarkan beban mikrobiologis yang persisten di sepanjang periode penelitian. Konsentrasi terendah ditemukan pada titik *outlet* IPAL Tirto Asri pada bulan Desember dengan nilai 17.000 CFU/mL. Rendahnya angka ini pada bulan Desember diduga berkaitan dengan faktor pengenceran alami akibat tingginya intensitas curah hujan atau peningkatan efisiensi penyisihan pada unit pengolahan di akhir tahun. Sebaliknya, puncak konsentrasi tertinggi terdeteksi pada bulan September yang mencapai 590.000 CFU/mL.

Tingginya konsentrasi bakteri pada *outlet* menunjukkan bahwa proses pengolahan biologis belum berjalan optimal. Secara teoritis, sistem anaerob mereduksi patogen melalui kompetisi nutrisi dengan bakteri pengurai organik. Dalam kondisi stabil, patogen enterik akan mati karena kalah bersaing dan ketidakmampuan beradaptasi di luar inang manusia. Namun, efektivitas proses ini sangat bergantung pada Waktu Tinggal Hidrolik (*Hydraulic Retention Time*) yang cukup. Meskipun IPAL Komunal menggunakan saluran terpisah, potensi infiltrasi air hujan melalui pipa yang retak atau bak kontrol tetap ada (Boyle et al., 2013). Masuknya air hujan menciptakan beban kejut hidrolis yang mempercepat laju aliran, sehingga bakteri patogen hanyut keluar menuju *outlet* sebelum sempat terendap atau tereduksi secara biologis.

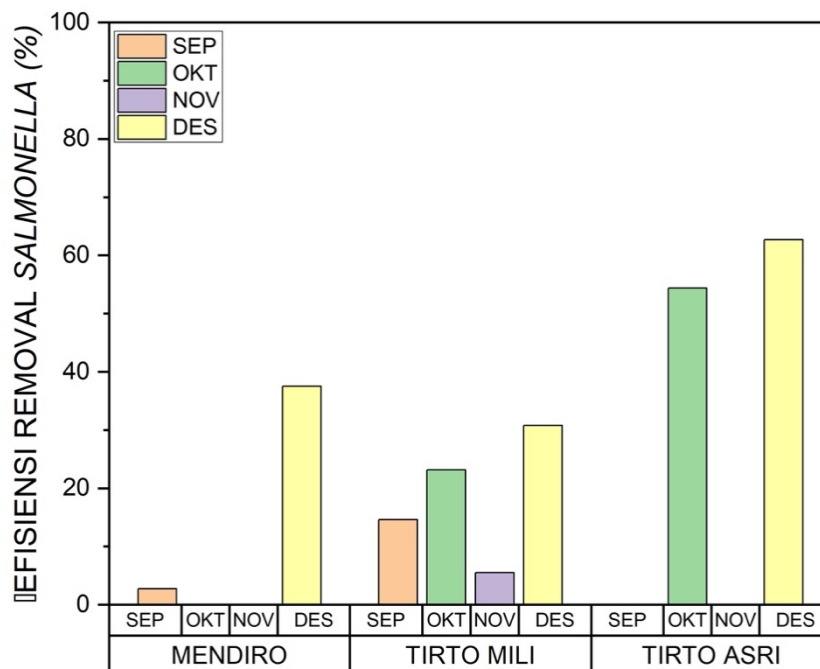
Selain faktor hidrolika, aspek teknis laboratorium seperti faktor pengenceran (*dilution factor*) juga memengaruhi akurasi data. Pengenceran yang terlalu tinggi berisiko menghasilkan jumlah koloni di bawah rentang ideal *Total Plate Count* (TPC), sehingga data yang tercatat berpotensi lebih rendah dari kondisi aktual (McMahan, 2006). Dengan demikian, tingginya bakteri pada efluen diduga kuat merupakan dampak dari tidak tercapainya waktu tinggal air yang ideal serta gangguan stabilitas biologis pada sistem anaerob.

4.3 Efisiensi Pengolahan IPAL Komunal

Efisiensi IPAL komunal menunjukkan seberapa baik sistem tersebut membersihkan air limbah dengan cara mengurangi polutan dan bakteri berbahaya, sebelum air dibuang ke lingkungan. Kualitas pembersihan ini sangat dipengaruhi oleh desain sistem, durasi air tinggal di dalamnya, dan kestabilan proses biologis yang terjadi.

4.3.1 Efisiensi Pengolahan Bakteri Patogen Infeksius

a. Efisiensi Bakteri *Salmonella Sp.*

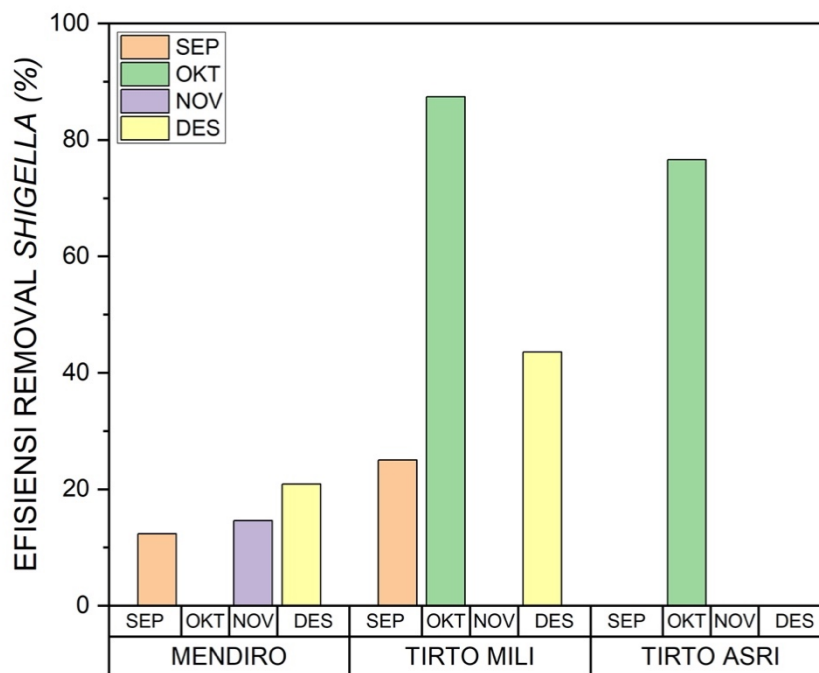


Gambar 4. 5 Efisiensi Removal Bakteri *Salmonella Sp.*

Analisis terhadap efisiensi penyisihan (*removal efficiency*) *Salmonella Sp.* menunjukkan bahwa ketiga IPAL belum mampu mengeliminasi bakteri tersebut

secara sempurna di seluruh periode pengamatan. Namun, tren positif terlihat pada bulan Desember, di mana ketiga IPAL mencatatkan tingkat penyisihan rata-rata tertinggi dibandingkan bulan-bulan sebelumnya. Pencapaian efisiensi penyisihan tertinggi secara poin ditemukan pada IPAL Tirto Asri pada bulan Desember dengan nilai sebesar 63%. Di sisi lain, IPAL Tirto Mili menunjukkan performa penyisihan yang cenderung lebih stabil setiap bulannya meskipun dengan angka yang lebih moderat. Efisiensi pada IPAL Tirto Mili tercatat konsisten berada pada rentang 5% hingga puncaknya sebesar 31%.

b. Efisiensi Bakteri *Shigella Sp.*



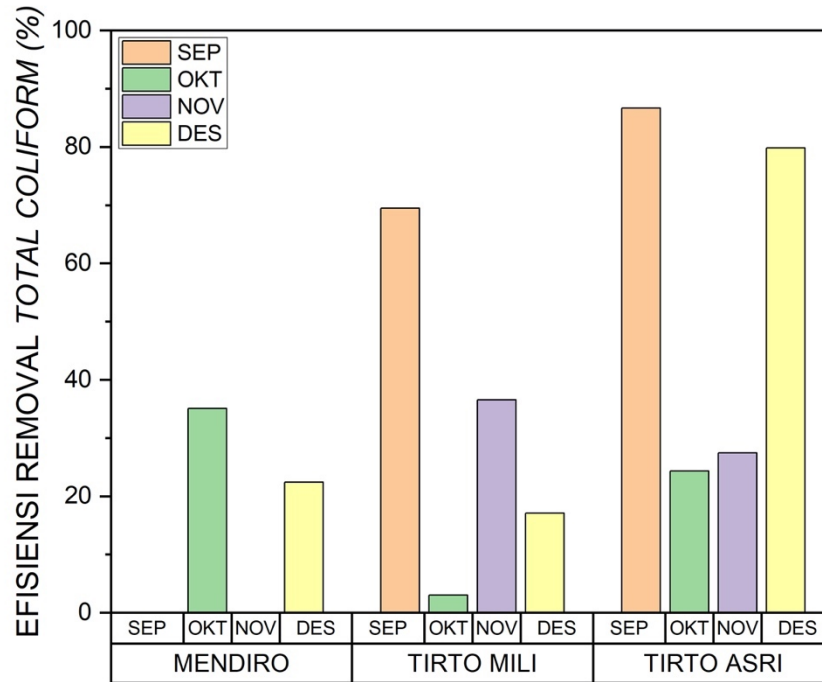
Gambar 4. 6 Efisiensi Removal Bakteri *Shigella Sp.*

Hasil analisis efisiensi penyisihan (*removal efficiency*) untuk parameter *Shigella Sp.* menunjukkan variasi yang kontras di antara lokasi penelitian. Efisiensi penyisihan tertinggi ditemukan pada IPAL Tirto Mili pada bulan Oktober, yang mampu mereduksi bakteri hingga mencapai 87%. Sebaliknya, fenomena berbeda teramati di IPAL Tirto Asri, di mana pada bulan September, November, dan Desember tidak terjadi penyisihan bakteri (*negative removal*). Hal ini disebabkan oleh konsentrasi bakteri pada titik *outlet* yang terdeteksi lebih tinggi dibandingkan dengan titik *inlet*. Meski demikian, IPAL Tirto Asri sempat menunjukkan performa penyisihan yang signifikan pada bulan Oktober dengan efisiensi mencapai 77%,

yang mengindikasikan adanya fluktuasi efektivitas pengolahan yang sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional bulanan.

4.3.2 Efisiensi Pengolahan Bakteri Indikator Fekal

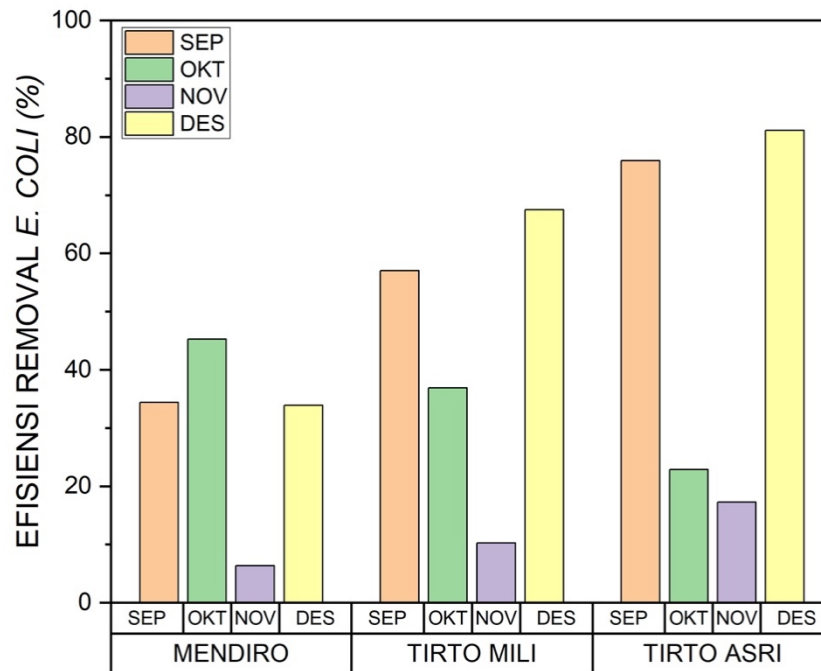
a. Efisiensi Bakteri *Total Coliform*



Gambar 4. 7 Efisiensi Removal Bakteri *Total Coliform*

Analisis efisiensi penyisihan (*removal efficiency*) untuk parameter *Total Coliform* menunjukkan karakteristik performa yang beragam pada ketiga IPAL pengamatan. IPAL Tirto Asri dan IPAL Tirto Mili tercatat konsisten melakukan penyisihan bakteri sepanjang empat bulan periode penelitian. Pada IPAL Tirto Asri, efisiensi penyisihan rata-rata dimulai dari 24% dan mencapai puncaknya hingga 87%. Sementara itu, IPAL Tirto Mili menunjukkan fluktuasi efisiensi pada rentang 3% hingga 69%. Konsistensi penyisihan pada kedua IPAL ini mengindikasikan bahwa unit pengolahan biologis masih berfungsi dalam mereduksi beban bakteri *Total Coliform* meskipun dengan tingkat efektivitas yang bervariasi setiap bulannya. Kondisi berbeda ditemukan pada IPAL Mendiرو, di mana tidak terdeteksi adanya penyisihan bakteri pada bulan September dan November. Fenomena ini ditandai dengan konsentrasi *Total Coliform* pada titik *outlet* yang lebih tinggi atau setara dengan titik *inlet*.

b. Efisiensi Bakteri *Escherichia Coli*



Gambar 4. 8 Efisiensi Removal Bakteri *Escherichia Coli*

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar, ketiga IPAL menunjukkan kemampuan dalam mereduksi konsentrasi *Escherichia Coli* secara berkelanjutan sepanjang periode penelitian. Efisiensi penyisihan (*removal efficiency*) yang tercatat bervariasi dalam rentang 6% hingga 81%. Secara spesifik, performa penyisihan tertinggi dicapai oleh IPAL Tirtosari pada bulan Desember dengan nilai efisiensi sebesar 81%.

Ketidakmampuan sistem dalam menurunkan beban mikrobiologis, yang terlihat dari fenomena konsentrasi *outlet* lebih tinggi dibanding *inlet* (efisiensi negatif), mengindikasikan adanya gangguan pada ekosistem mikroba di dalam reaktor anaerob. Secara biologis, reduksi patogen dalam IPAL bergantung pada kompetisi substrat dan amensalisme. Bakteri anaerob fungsional seharusnya mendominasi pemanfaatan nutrisi organik sehingga bakteri patogen seperti *Salmonella Sp.* dan *Shigella Sp.* mengalami fase kematian akibat kelaparan nutrisi dan ketidaksesuaian lingkungan (Sial et al., 2019). Namun, ketika sistem mengalami beban berlebih, keseimbangan ini hancur bakteri pengurai tidak lagi mampu menekan pertumbuhan patogen, sehingga reaktor anaerob justru beralih

fungsi menjadi tangki inkubasi yang memfasilitasi perkembangbiakan bakteri merugikan.

Kehadiran *Total Coliform* dalam jumlah masif berperan sebagai faktor pemicu utama ketidakstabilan ini. Populasi *Coliform* yang padat sering kali membentuk biofilm atau lapisan pelindung yang melindungi bakteri patogen dari kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Pada unit RBC, biofilm ini melekat pada media cakram yang berputar, namun ketika lapisan biologis tersebut terlalu tebal atau terkena beban hidrolis yang drastis, terjadilah fenomena *sloughing* (terkelupasnya lapisan biofilm dari media). Lapisan yang lepas ini membawa massa mikroorganisme dalam jumlah besar ke aliran efluen. Karena patogen sering kali terperangkap di dalam matriks biofilm tersebut, fenomena *sloughing* mengakibatkan bakteri yang seharusnya tersisih dan meningkatkan konsentrasi di titik *outlet*. Akibatnya, alih-alih tereduksi, bakteri patogen justru terakumulasi di dalam lumpur atau media dan mengalami resuspensi maupun pelepasan massa ke aliran *outlet* saat terjadi fluktuasi debit (Ahmad et al., 2018). Fenomena ini menjelaskan mengapa efisiensi penyisihan sering kali menyentuh angka nol atau bahkan negatif, karena bakteri yang keluar merupakan hasil akumulasi dari periode sebelumnya yang terdorong keluar secara mekanis maupun biologis.

Kegagalan biologis ini diperburuk oleh desain IPAL konvensional yang mengabaikan unit disinfeksi kimiawi, sebuah kelemahan fatal mengingat sistem biologis murni sangat rentan terhadap gangguan luar. Faktor teknis seperti Waktu Tinggal Hidrolis (HRT) yang terlalu singkat dan beban hidrolis yang melampaui kapasitas menyebabkan mekanisme kompetisi bakteri tidak sempat terjadi secara tuntas (Salsabila, 2023). Aliran limbah yang terlalu deras akibat faktor cuaca memaksa mikroorganisme keluar sebelum proses inaktivasi alami selesai. Secara sistemik, ketidakmampuan IPAL dalam memitigasi dinamika bakteri ini mencerminkan kegagalan infrastruktur dalam memenuhi standar regulasi terbaru (Permen LH No. 11 Tahun 2025) dan gagal melindungi masyarakat dari ancaman penyakit *waterborne diseases* (Widiyanti, 2019).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang sudah dibahas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Ketiga IPAL belum mampu mereduksi bakteri patogen (*Salmonella Sp.* dan *Shigella Sp.*) secara konsisten, bahkan mengalami fenomena efisiensi negatif akibat gagalnya mekanisme kompetisi nutrisi, akumulasi lumpur, serta fenomena *sloughing* pada unit RBC. Kondisi ini diperparah oleh fluktuasi cuaca dan beban puncak yang memperpendek waktu tinggal air (HRT), sehingga menciptakan beban kejut yang menghanyutkan mikroorganisme sebelum sempat tereduksi secara alami karena absennya unit disinfeksi (klorinasi/UV) sebagai benteng terakhir.
2. Variasi efisiensi yang fluktuatif menunjukkan bahwa kinerja IPAL masih memerlukan optimalisasi agar dapat memenuhi standar keamanan air limbah terbaru (Permen LH No. 11 Tahun 2025). Kondisi efluen yang belum stabil ini perlu menjadi perhatian khusus guna memitigasi potensi risiko penularan penyakit melalui media air (*waterborne diseases*) di lingkungan sekitar.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk melakukan analisis lebih mendalam mengenai pengaruh beban organik dan hidrolis terhadap efisiensi penyisihan bakteri, guna mengetahui kapasitas maksimal IPAL dalam mengolah limbah domestik.
2. Disarankan pada penelitian selanjutnya perlu memperluas cakupan parameter untuk mengidentifikasi keberadaan patogen serta dilakukan dalam jangka waktu yang lebih panjang. Hal ini penting untuk memetakan variasi terhadap waktu dan pola musiman yang lebih akurat guna memahami stabilitas kinerja IPAL secara menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA



- Ahmad, Z., et al. (2018). Effect of Hydraulic Retention Time (HRT) on the Performance of Activated Sludge System in Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Science and Technology*, 12(4), 185–195.
- APHA. (Tahun). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Edisi ke-Tahun). American Public Health Association.
- Boyle, J., Wessman, K., & et al. (2013). Impacts of Rainfall Events on Wastewater Treatment Processes. USF Water Institute, Technical Report.
- Cho, K. H., Kim, J. H., Kim, J. H., & Kim, M. S. (2010). Seasonal and hydrological event-based E. coli concentrations in urban stormwater runoff. *Water Science and Technology*, 61(4), 969–975.
- Fauzi, M. N. (2022). *Evaluasi Sistem Klorinasi pada Ipal Baru Bandara Adi Soemarmo-Boyolali*. Skripsi, Universitas Islam Indonesia. DSpace UII.
- Gautam, S., Basyal, S., Chhetri, R., Dhital, J., Jha, S. M., Shrestha, S., ... & Gami, P. M. (2015). Seasonal fluctuation of bacterial pathogens and associated physicochemical factors in wastewater of Kathmandu, Nepal. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(7).
- Hafidh, A., Kartika, F., & Farahdiba, A. (2024). Pemantauan mikroorganisme indikator dalam efluen IPAL komunal di Kota Sleman. *Jurnal Sanitasi dan Lingkungan*, 9(1), 45–56.
- Indrawanto, D., Subadyo, A. T., & Budiyanto, H. (2020). Rekayasa pengelolaan sanitasi air limbah domestik terpadu berbasis IPAL komunal di Kampung Selumit Pantai Kota Tarakan. *Mintakat: Jurnal Arsitektur*, 21(2), 105–115.
- Jofre, J., et al. (2016). Virus removal in wastewater treatment: Effectiveness of small-scale community systems. *Journal of Water and Health*, 14(4), 622–635.
- Kitajima, M., et al. (2014). Viral pathogens in domestic wastewater: Occurrence and removal. *Water Research*, 55, 1–15.
- McMahan, E. K. (2006). Impacts of Rainfall Events on Wastewater Treatment Processes [Master's Thesis, University of South Florida]. USF Digital Commons.



- Mekonnen, B. A., Hession, W. C., Gami, S. K., & Xia, M. (2018). Influence of hydrological conditions on the occurrence of fecal indicator bacteria in a mixed land use watershed in the Pacific Northwest. *Science of The Total Environment*, 640–641, 1083–1094.
- Munawarah, N. H., Amalia, R., Husein, A., & Istiqomah, S. H. (2022). Analisis spasial sebaran kejadian kasus diare dengan keberadaan *E. coli* pada air sumur dan kepadatan penduduk di Kalurahan Tirtonirmolo, Kecamatan Kasihan, Kab. Bantul. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(2), 73–87.
- Muhammad L. Nugroho, & Johan S. M. Ahmad. (2023). Analisis kualitas IPAL komunal di Sleman, Yogyakarta: COD, BOD, Amonia, dan Total Coliform. *Jurnal Sanitasi Komunal*, 5(2), 45–58.
- Mustafa, B. G., Ganaie, M. A., & Ahmad, S. (2018). The relationship between river water quality and rainfall in the river Ganga, India. *Environmental Earth Sciences*, 77(3).
- Novia Ratna Sari, Sunarto, & Wiryanto. (2022). Kajian Salmonella sp. dan Shigella sp. pada IPAL Semanggi & Mojosongo, Surakarta. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Surakarta*, 3(1), 33–42.
- Nur'aini, I. (2021). *Efisiensi Penyisihan Bakteri Indikator Fekal dan Bakteri Patogen pada IPAL Komunal di Kabupaten Sleman*. Skripsi, Universitas Islam Indonesia. DSpace UII.
- Patz, J. A., Ebi, C. L., Semenza, F. H., Smith, K. R., & Ezzati, M. (2008). The One Health aspect of climate events with impact on foodborne pathogens transmission. *Environmental Health Perspectives*, 116(10), 1391–1397.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 11 Tahun 2025 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Pratama, et al. (2020). Analisis kandungan biologi air limbah rumah tangga di beberapa pemukiman kota. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*.
- Salsabila, N. F., Raharjo, M., & Joko, T. (2023). Indeks pencemaran air sungai dan persebaran penyakit yang ditularkan air (waterborne diseases): Suatu kajian

- sistematis. *Environmental Occupational Health and Safety Journal*, 4(1), 101–110.
- Salsabila, S. (2023). *Evaluasi Kinerja Unit Rotating Biological Contactor (RBC) pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal Bakti Warga berdasarkan Debit dan Waktu Tinggal Air Limbah*. Skripsi, Universitas Islam Indonesia. DSpace UII
- Selintung, J., et al. (2015). *Teknologi pengolahan air limbah domestik*. Yogyakarta: Pustaka Ilmu Lingkungan.
- Sial, A., et al. (2019). The Efficacy of Disinfection in Removing Pathogens from Wastewater. *Water Quality, Exposure and Health*, 11, 239–250.
- Siregar, M. (2021). Analisis kadar coliform dan E. coli dalam air limbah serta hubungannya dengan penyakit berbasis air. *Jurnal Ilmu Kesehatan*, 15(1), 12–21.
- Suryani, I., & Sasmita, S. (2022). Keberlanjutan lingkungan pada program Sanimas IDB melalui pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal di Nagari Batuhampar. *FisiPublik: Jurnal Ilmu Sosial dan Politik*, 7(2), 269–280.
- Van Lieverloo, J. A. W. C. V., et al. (2017). Fate of Salmonella and Shigella in Conventional and Advanced Wastewater Treatment Processes: A Review. *Water Science and Technology*, 75(3), 525–534.
- Vanderzant, C., & Splittstoesser, D. F. (Eds.). (1992). *Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods* (3rd ed.). American Public Health Association.
- Widiyanti, R. (2019). Dampak kualitas air limbah terhadap kesehatan masyarakat di sekitar IPAL komunal. *Hamzanwadi Journal*, 6(2), 22–30.
- Wulandari, A. F. (2020). *Evaluasi Kinerja IPAL Komunal Ditinjau dari Tahap Konstruksi di Kecamatan Ngaglik dan Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman, D.I. Yogyakarta*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Titik pengambilan sampel IPAL Komunal

IPAL Mendiro	Titik Awal	
	Titik Akhir	

	<p>Titik Awal</p>	
<p>IPAL Tirto Mili</p>	<p>Titik Akhir</p>	

IPAL Tirto Asri	Titik Awal	
	Titik Akhir	

Lampiran 2 Tabel parameter fisik

SAMPLING 1							
Mendhiro							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	6,7	367	-115	182	27,8	6,5	
Outlet	7,2	377	-105	189	26,7	12,5	
Tirto Mili							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	7	777	-246	385	27	5,4	0,39
Outlet	7,3	745	-220	372	27,8	6	0,37
Tirto Asri							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	6,2	1037	-55	515	27,2	5,6	0,53
Outlet	6,7	250	-7	124	27,3	8,4	0,12

SAMPLING 2							
Mendhiro							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	7,08	519	-132	259	28,3	15,3	0,27
Outlet	7,41	532	-113	266	26,3	9,4	0,28
Tirto Mili							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	5,71	722	-236	256	29,8	6,2	0,37
Outlet	6,83	649	-225	350	30,4	7,5	0,35
Tirto Asri							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	5,52	1183	8,4	592	27,7	15	0,61
Outlet	6,87	236	11,6	117	29,6	2	0,12

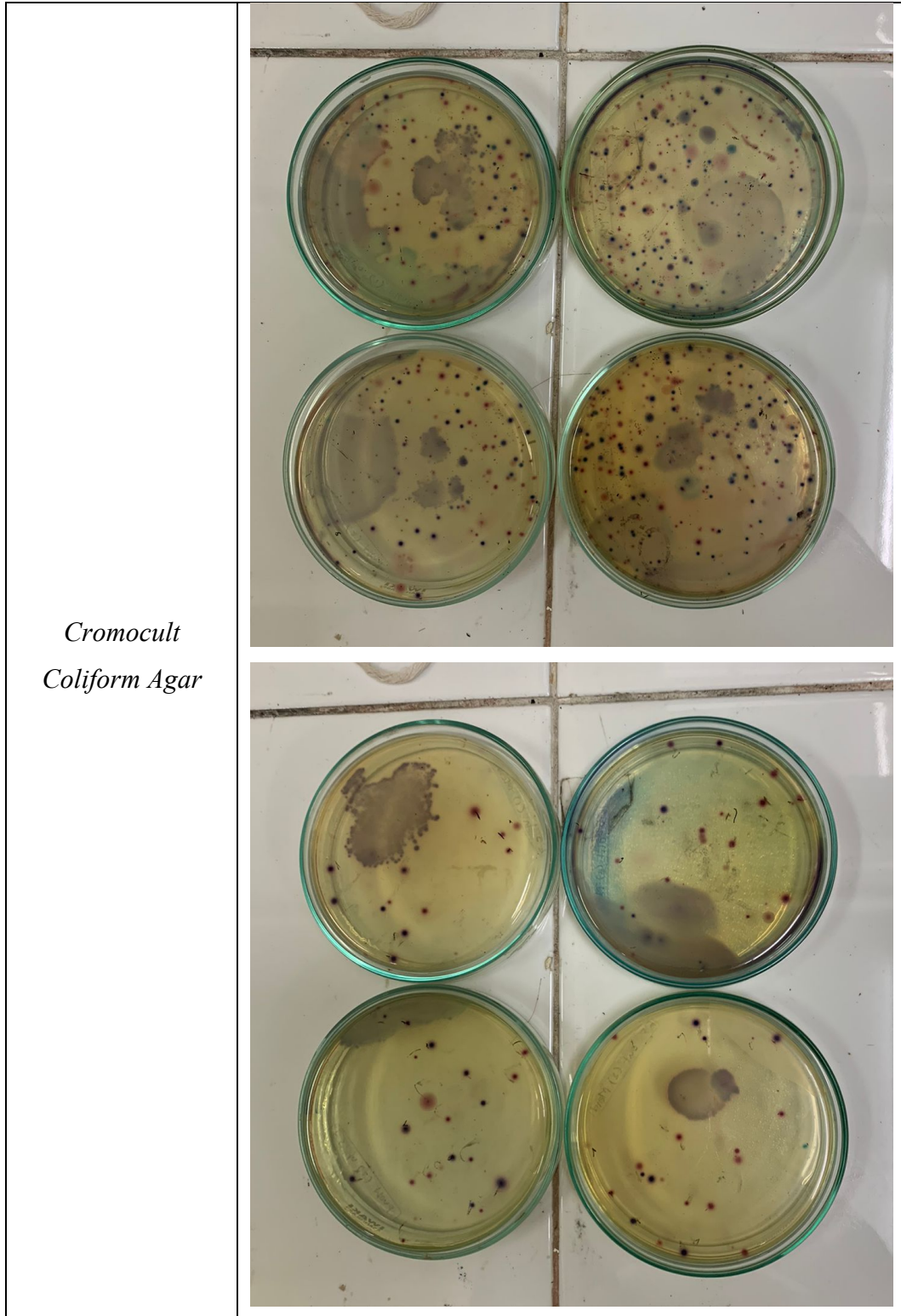
SAMPLING 3							
Mendhiro							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	7,09	540	-150	269	27,9	9,7	0,28
Outlet	6,8	440	-124	216	27,5	9,8	0,23
Tirto Mili							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	6,84	752	-238	370	29,4	7,9	0,4
Outlet	6,92	738	-229	361	29,3	7,7	0,38

Tirto Asri							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	6,65	605	-204	297	28	14,4	0,31
Outlet	6,62	760	-216	380	28,4	14,2	0,38

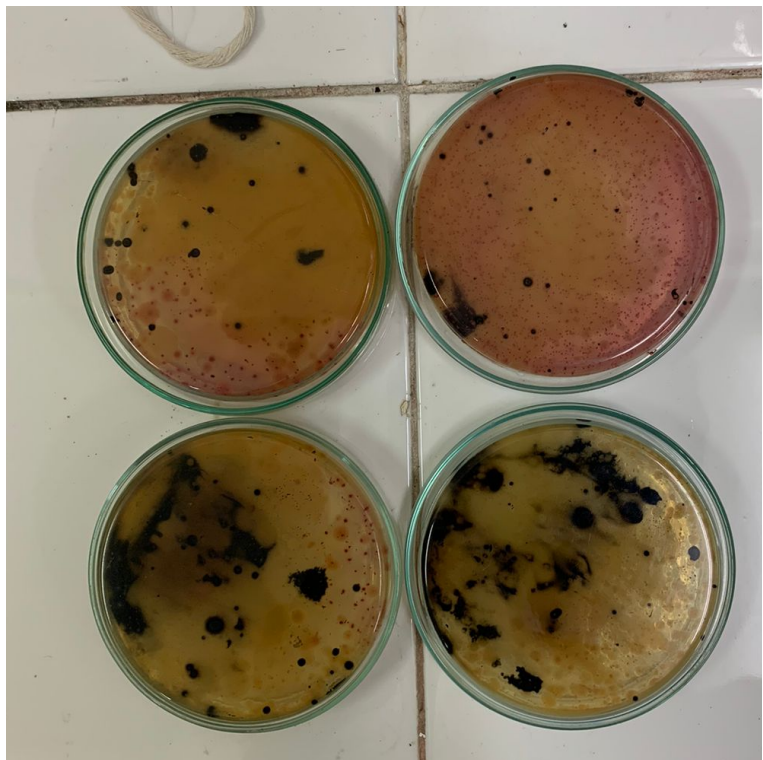
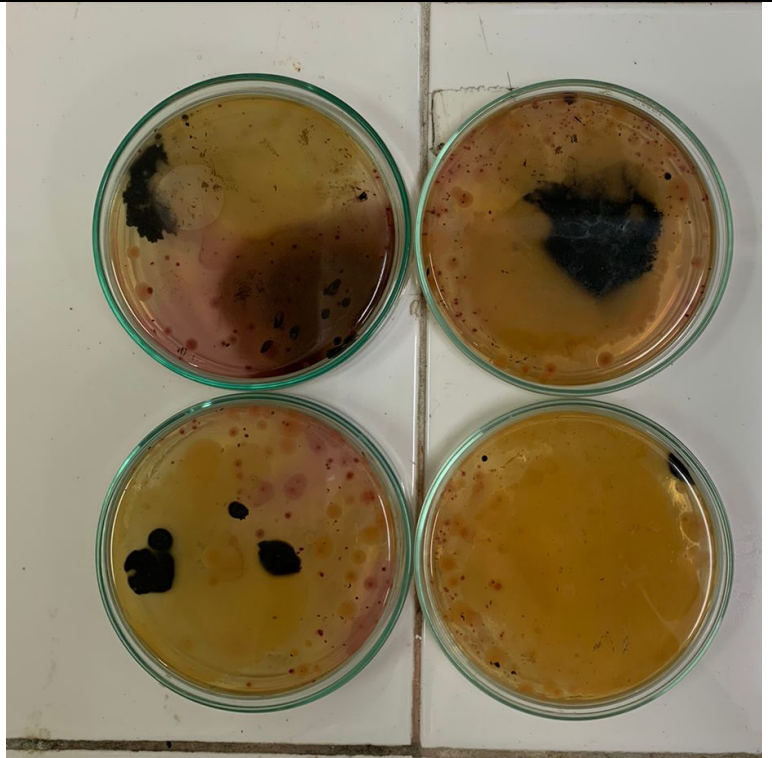
SAMPLING 4							
Mendhiro							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	7	483	-147	241	27,3	9,3	0,24
Outlet	6,66	543	-131	266	27,3	9	0,28
Tirto Mili							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	6,72	543	-222	272	28,2	5,5	0,28
Outlet	6,55	520	-189	260	27,8	11,9	0,27
Tirto Asri							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	6,36	857	-217	429	27,8	10,1	0,46
Outlet	6,13	327	-157	164	27,4	12,3	0,16

SAMPLING 5							
Mendhiro							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	6,98	575	-169	288	27,2	18,2	0,3
Outlet	6,94	492	-162	249	27,6	14,1	0,25
Tirto Mili							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	5,95	672	-228	333	28,8	6	0,34
Outlet	7,03	590	-200	293	29,1	6,6	0,3
Tirto Asri							
	pH	EC	ORP	TDS	Temp	DO	SALT
Inlet	6,18	985	-185	484	27,7	8,1	0,5
Outlet	6,89	384	-179	185	28,2	11	0,19

Lampiran 3 Tabel Total Plate Count



Salmonella
Shigella Agar



- Sampling 1

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	42	52	17	21	4	2	1	0		
IN TIRTO MILI	23	24	2	13	0	1	0	0		
IN TIRTO ASRI	15	21	5	8	2	1	0	0		

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	432	384	56	70	30	37	8	5		
IN TIRTO MILI	59	66	14	12	6	7	1	1		
IN TIRTO ASRI	49	37	15	19	1	3	0	1		

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	24	22	4	4	2	2	0	1		
OUT TIRTO MILI	2	4	1	0	0	0	0	0		
OUT TIRTO ASRI	11	14	3	4	0	1	0	0		

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	59	44	96	89	35	32	0	2		
OUT TIRTO MILI	33	34	16	7	1	2	1	0		
OUT TIRTO ASRI	21	27	12	9	2	0	0	0		

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO					57	62	9	3	0	2
IN TIRTO MILI					13	21	4	4	1	2
IN TIRTO ASRI					35	27	2	0	0	0

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO					23	20	2	9	0	0
IN TIRTO MILI					33	48	8	9	0	3
IN TIRTO ASRI					29	19	6	2	0	0

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			72	84	16	42	0	0		
OUT TIRTO MILI			33	54	17	12	2	0		
OUT TIRTO ASRI			87	75	9	5	0	0		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			208	148	18	20	0	3		
OUT TIRTO MILI			45	64	24	23	2	4		
OUT TIRTO ASRI			76	59	13	12				

- Sampling 2

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	15	22	2	1	0	0	0	0		
IN TIRTO MILI	30	11	4	7	1	1	0	0		
IN TIRTO ASRI	12	15	1	4	1	1	0	0		

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	76	86	10	13	4	5	0	1		
IN TIRTO MILI	31	37	13	19	8	4	1	1		
IN TIRTO ASRI	72	78	12	15	2	5	2	3		

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	20	16	0	0	0	0	0	0		
OUT TIRTO MILI	19	16	3	3	0	0	0	0		
OUT TIRTO ASRI	18	21	3	2	1	2	0	0		

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	61	81	14	16	2	3	1	2		
OUT TIRTO MILI	25	26	13	11	2	1	1	1		
OUT TIRTO ASRI	82	70	16	12	4	11	2	3		

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO					6	13	0	0	0	0
IN TIRTO MILI					15	22	1	2	1	1
IN TIRTO ASRI					49	56	10	7	2	1

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO					30	20	1	3	1	0
IN TIRTO MILI					13	7	1	1	0	1
IN TIRTO ASRI					54	64	4	5	2	0

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			104	112	19	26	2	4		
OUT TIRTO MILI			38	75	12	12	1	1		
OUT TIRTO ASRI			92	48	13	10	3	2		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			132	196	25	21	4	3		
OUT TIRTO MILI			28	58	13	6	1	0		
OUT TIRTO ASRI			172	112	18	14	4	8		

- Sampling 3

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	182	120	20	47	0	1				
IN TIRTO MILI	78	107	19	26	9	15				
IN TIRTO ASRI	25	19	3	1	0	0				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	1	1	1	1	42	46				
IN TIRTO MILI	1	1	1	1	56	34				
IN TIRTO ASRI	1	76	25	36	12	15				

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	1	1	34	21	4	3				
OUT TIRTO MILI	52	42	26	14	2	4				
OUT TIRTO ASRI	17	28	2	2	0	1				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	1	1	1	1	31	23				
OUT TIRTO MILI	1	1	1	1	59	19				
OUT TIRTO ASRI	98	85	37	42	19	21				

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO			208	276	62	93	35	45		
IN TIRTO MILI			25	32	3	4	0	0		
IN TIRTO ASRI			35	43	23	34	2	4		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO			532	616	89	100	10	13		
IN TIRTO MILI			43	56	6	6	3	2		
IN TIRTO ASRI			51	64	12	48	4	2		

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			35	43	20	12	11	12		
OUT TIRTO MILI			52	61	8	9	3	1		
OUT TIRTO ASRI			29	37	32	28	1	5		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			148	112	76	65	9	5		
OUT TIRTO MILI			64	72	11	10	1	2		
OUT TIRTO ASRI			42	57	47	48	4	2		

- Sampling 4

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	356	328	27	40	7	4				
IN TIRTO MILI	52	56	12	20	6	2				
IN TIRTO ASRI	30	16	6	4	0	0				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	1	1	34	37	28	18				
IN TIRTO MILI	1	1	8	2	15	20				
IN TIRTO ASRI	1	103	38	21	5	13				

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	312	248	39	38	4	2				
OUT TIRTO MILI	48	35	10	8	1	3				
OUT TIRTO ASRI	12	9	2	1	0	0				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	1	1	49	51	39	22				
OUT TIRTO MILI	1	1	28	16	12	9				
OUT TIRTO ASRI	67	71	23	28	7	5				

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO			460	428	52	42	8	13		
IN TIRTO MILI			252	260	34	32	5	2		
IN TIRTO ASRI			79	102	14	10	2	8		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO			700	644	45	50	7	10		
IN TIRTO MILI			392	348	49	35	4	2		
IN TIRTO ASRI			98	134	32	25	3	6		

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			312	344	28	33	21	15		
OUT TIRTO MILI			268	252	31	33	3	4		
OUT TIRTO ASRI			63	74	12	8	7	3		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			460	508	28	24	9	9		
OUT TIRTO MILI			292	328	25	28	2	1		
OUT TIRTO ASRI			83	96	12	17	2	11		

- Sampling 5

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	37	82	20	13	0	0				
IN TIRTO MILI	39	52	9	16	0	2				
IN TIRTO ASRI	42	39	12	8	0	0				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	300	348	64	59	28	19				
IN TIRTO MILI	53	69	67	45	18	9				
IN TIRTO ASRI	41	23	53	49	7	5				

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	34	103	13	11	1	0				
OUT TIRTO MILI	38	48	1	5	1	1				
OUT TIRTO ASRI	36	59	5	2	0	0				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	228	320	64	41	24	21				
OUT TIRTO MILI	344	204	49	35	11	4				
OUT TIRTO ASRI	280	340	41	30	6	6				

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO			124	156	45	76	6	5		
IN TIRTO MILI			97	89	25	22	1	0		
IN TIRTO ASRI			43	59	24	16	2	1		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO			336	176	31	32	3	2		
IN TIRTO MILI			172	180	41	14	2	1		
IN TIRTO ASRI			67	66	9	3	0	1		

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			143	180	47	47	9	3		
OUT TIRTO MILI			61	57	13	12	1	0		
OUT TIRTO ASRI			33	41	18	15	1	2		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			300	276	30	29	7	1		
OUT TIRTO MILI			154	162	10	5	2	1		
OUT TIRTO ASRI			52	58	5	4	0	0		

Lampiran 4 Tabel Hasil perhitungan Total Plate Count

- Sampling 1

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	4200	5200	17000	21000	40000	20000	100000	0		
IN TIRTO MILI	2300	2400	2000	13000	0	10000	0	0		
IN TIRTO ASRI	1500	2100	5000	8000	20000	10000	0	0		

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	43200	38400	56000	70000	300000	370000	800000	500000		
IN TIRTO MILI	5900	6600	14000	12000	60000	70000	100000	100000		
IN TIRTO ASRI	4900	3700	15000	19000	10000	30000	0	100000		

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	2400	2200	4000	4000	20000	20000	0	100000		
OUT TIRTO MILI	200	400	1000	0	0	0	0	0		
OUT TIRTO ASRI	1100	1400	3000	4000	0	10000	0	0		

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	5900	4400	96000	89000	350000	320000	0	200000		
OUT TIRTO MILI	3300	3400	16000	7000	10000	20000	100000	0		
OUT TIRTO ASRI	2100	2700	12000	9000	20000	0	0	0		

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO					570000	620000	900000	300000	0	2000000
IN TIRTO MILI					130000	210000	400000	400000	1000000	2000000
IN TIRTO ASRI					350000	270000	200000	0	0	0

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO					230000	200000	200000	900000	0	0
IN TIRTO MILI					330000	480000	800000	900000	0	3000000
IN TIRTO ASRI					290000	190000	600000	200000	0	0

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			72000	84000	160000	420000	0	0		
OUT TIRTO MILI			33000	54000	170000	120000	200000	0		
OUT TIRTO ASRI			87000	75000	90000	50000	0	0		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			208000	148000	180000	200000	0	300000		
OUT TIRTO MILI			45000	64000	240000	230000	200000	400000		
OUT TIRTO ASRI			76000	59000	130000	120000	0	0		

- Sampling 2

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	1500	2200	2000	1000	0	0	0	0		
IN TIRTO MILI	3000	1100	4000	7000	10000	10000	0	0		
IN TIRTO ASRI	1200	1500	1000	4000	10000	10000	0	0		

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	7600	8600	10000	13000	40000	50000	0	100000		
IN TIRTO MILI	3100	3700	13000	19000	80000	40000	100000	100000		
IN TIRTO ASRI	7200	7800	12000	15000	20000	50000	200000	300000		

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	2000	1600	0	0	0	0	0	0		
OUT TIRTO MILI	1900	1600	3000	3000	0	0	0	0		
OUT TIRTO ASRI	1800	2100	3000	2000	10000	20000	0	0		

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	6100	8100	14000	16000	20000	30000	100000	200000		
OUT TIRTO MILI	2500	2600	13000	11000	20000	10000	100000	100000		
OUT TIRTO ASRI	8200	7000	16000	12000	40000	110000	200000	300000		

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO					60000	130000	0	0	0	0
IN TIRTO MILI					150000	220000	100000	200000	1000000	1000000
IN TIRTO ASRI					490000	560000	1000000	700000	2000000	1000000

E. COLI											
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶		
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
IN MENDHIRO					300000	200000	100000	300000	1000000	0	
IN TIRTO MILI					130000	70000	100000	100000	0	1000000	
IN TIRTO ASRI					540000	640000	400000	500000	2000000	0	

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			104000	112000	190000	260000	200000	400000		
OUT TIRTO MILI			38000	75000	120000	120000	100000	100000		
OUT TIRTO ASRI			92000	48000	130000	100000	300000	200000		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			132000	196000	250000	210000	400000	300000		
OUT TIRTO MILI			28000	58000	130000	60000	100000	0		
OUT TIRTO ASRI			172000	112000	180000	140000	400000	800000		

- Sampling 3

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	18200	12000	20000	47000	0	10000				
IN TIRTO MILI	7800	10700	19000	26000	90000	150000				
IN TIRTO ASRI	2500	1900	3000	1000	0	0				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	100	100	1000	1000	420000	460000				
IN TIRTO MILI	100	100	1000	1000	560000	340000				
IN TIRTO ASRI	100	7600	25000	36000	120000	150000				

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	100	100	34000	21000	40000	30000				
OUT TIRTO MILI	5200	4200	26000	14000	20000	40000				
OUT TIRTO ASRI	1700	2800	2000	2000	0	10000				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	100	100	1000	1000	310000	230000				
OUT TIRTO MILI	100	100	1000	1000	590000	190000				
OUT TIRTO ASRI	9800	8500	37000	42000	190000	210000				

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			208000	276000	620000	930000	3500000	4500000		
OUT TIRTO MILI			25000	32000	30000	40000	0	0		
OUT TIRTO ASRI			35000	43000	230000	340000	200000	400000		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			532000	616000	890000	1000000	1000000	1300000		
OUT TIRTO MILI			43000	56000	60000	60000	300000	200000		
OUT TIRTO ASRI			51000	64000	120000	480000	400000	200000		

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			35000	43000	200000	120000	1100000	1200000		
OUT TIRTO MILI			52000	61000	80000	90000	300000	100000		
OUT TIRTO ASRI			29000	37000	320000	280000	100000	500000		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			148000	112000	760000	650000	900000	500000		
OUT TIRTO MILI			64000	72000	110000	100000	100000	200000		
OUT TIRTO ASRI			42000	57000	470000	480000	400000	200000		

- Sampling 4

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	35600	32800	27000	40000	70000	40000				
IN TIRTO MILI	5200	5600	12000	20000	60000	20000				
IN TIRTO ASRI	3000	1600	6000	4000	0	0				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	100	100	34000	37000	280000	180000				
IN TIRTO MILI	100	100	8000	2000	150000	200000				
IN TIRTO ASRI	100	10300	38000	21000	50000	130000				

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	31200	24800	39000	38000	40000	20000				
OUT TIRTO MILI	4800	3500	10000	8000	10000	30000				
OUT TIRTO ASRI	1200	900	2000	1000	0	0				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	100	100	49000	51000	390000	220000				
OUT TIRTO MILI	100	100	28000	16000	120000	90000				
OUT TIRTO ASRI	6700	7100	23000	28000	70000	50000				

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			460000	428000	520000	420000	800000	1300000		
OUT TIRTO MILI			252000	260000	340000	320000	500000	200000		
OUT TIRTO ASRI			79000	102000	140000	100000	200000	800000		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			700000	644000	450000	500000	700000	1000000		
OUT TIRTO MILI			392000	348000	490000	350000	400000	200000		
OUT TIRTO ASRI			98000	134000	320000	250000	300000	600000		

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			312000	344000	280000	330000	2100000	1500000		
OUT TIRTO MILI			268000	252000	310000	330000	300000	400000		
OUT TIRTO ASRI			63000	74000	120000	80000	700000	300000		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			460000	508000	280000	240000	900000	900000		
OUT TIRTO MILI			292000	328000	250000	280000	200000	100000		
OUT TIRTO ASRI			83000	96000	120000	170000	200000	1100000		

- Sampling 5

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	3700	8200	20000	13000	0	0				
IN TIRTO MILI	3900	5200	9000	16000	0	20000				
IN TIRTO ASRI	4200	3900	12000	8000	0	0				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO	30000	34800	64000	59000	280000	190000				
IN TIRTO MILI	5300	6900	67000	45000	180000	90000				
IN TIRTO ASRI	4100	2300	53000	49000	70000	50000				

SALMONELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	3400	10300	13000	11000	10000	0				
OUT TIRTO MILI	3800	4800	1000	5000	10000	10000				
OUT TIRTO ASRI	3600	5900	5000	2000	0	0				

SHIGELLA										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO	22800	32000	64000	41000	240000	210000				
OUT TIRTO MILI	34400	20400	49000	35000	110000	40000				
OUT TIRTO ASRI	28000	34000	41000	30000	60000	60000				

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO			124000	156000	450000	760000	600000	500000		
IN TIRTO MILI			97000	89000	250000	220000	100000	0		
IN TIRTO ASRI			43000	59000	240000	160000	200000	100000		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
IN MENDHIRO			336000	176000	310000	320000	300000	200000		
IN TIRTO MILI			172000	180000	410000	140000	200000	100000		
IN TIRTO ASRI			67000	66000	90000	30000	0	100000		

TOTAL COLIFORM										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			143000	180000	470000	470000	900000	300000		
OUT TIRTO MILI			61000	57000	130000	120000	100000	0		
OUT TIRTO ASRI			33000	41000	180000	150000	100000	200000		

E. COLI										
	10 ⁻²		10 ⁻³		10 ⁻⁴		10 ⁻⁵		10 ⁻⁶	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
OUT MENDHIRO			300000	276000	300000	290000	700000	100000		
OUT TIRTO MILI			154000	162000	100000	50000	200000	100000		
OUT TIRTO ASRI			52000	58000	50000	40000	0	0		

IPAL		Mendiro	Tirto Mili	Tirto Asri	
Penduduk		148	312	100	KK
Q Air Bersih	Penduduk*q	88800	187200	60000	L/hari
Q Air Limbah	Q AB * F AL	71040	149760	48000	L/hari
Q Puncak	Q AL * Fp	106560	224640	72000	L/hari

Salmonella				
Sampel 1		in	out	efisiensi removal (%)
MENDIRO	SEPTEMBER	1850	1800	3
	OKTOBER	33500	38500	-15
	NOVEMBER	5950	6850	-15
	DECEMBER	5600	3500	38
TIRTO MILI	SEPTEMBER	2050	1750	15
	OKTOBER	5400	4150	23
	NOVEMBER	4550	4300	5
	DECEMBER	7800	5400	31
TIRTO ASRI	SEPTEMBER	1350	1950	-44
	OKTOBER	2300	1050	54
	NOVEMBER	4050	4750	-17
	DECEMBER	3750	1400	63

Shigella				
Sampel 1		in	out	efisiensi removal (%)
MENDIRO	SEPTEMBER	8100	7100	12
	OKTOBER	35500	50000	-41
	NOVEMBER	61500	52500	15
	DECEMBER	67000	53000	21
TIRTO MILI	SEPTEMBER	3400	2550	25
	OKTOBER	175000	22000	87
	NOVEMBER	6100	42000	-589
	DECEMBER	117000	66000	44
TIRTO ASRI	SEPTEMBER	7500	7600	-1
	OKTOBER	29500	6900	77
	NOVEMBER	3200	35500	-1009
	DECEMBER	4600	6750	-47

Total Coliform				
Sampel 1		in	out	efisiensi removal (%)
MENDIRO	SEPTEMBER	95000	108000	-14
	OKTOBER	470000	305000	35
	NOVEMBER	140000	161500	-15
	DECEMBER	134000	104000	22
TIRTO MILI	SEPTEMBER	185000	56500	69
	OKTOBER	330000	320000	3
	NOVEMBER	93000	59000	37
	DECEMBER	99500	82500	17
TIRTO ASRI	SEPTEMBER	525000	70000	87
	OKTOBER	90500	68500	24
	NOVEMBER	51000	37000	27
	DECEMBER	64500	13000	80

E. Coli				
Sampel 1		in	out	efisiensi removal (%)
MENDIRO	SEPTEMBER	250000	164000	34
	OKTOBER	475000	260000	45
	NOVEMBER	315000	295000	6
	DECEMBER	295000	195000	34
TIRTO MILI	SEPTEMBER	100000	43000	57
	OKTOBER	420000	265000	37
	NOVEMBER	176000	158000	10
	DECEMBER	200000	65000	68
TIRTO ASRI	SEPTEMBER	590000	142000	76
	OKTOBER	116000	89500	23
	NOVEMBER	66500	55000	17
	DECEMBER	90000	17000	81

RIWAYAT HIDUP



Dalam Faza Erdhiraka Arkana merupakan nama lengkap penulis tugas akhir ini. Penulis lahir di Pemalang, 27 Juni 2003. Penulis merupakan anak pertama dari Bapak Edi Ir Dwiyanto dan Ibu Ervita Marthalya. Penulis menempuh pendidikan di SD Muhammadiyah Jepara, SMP Negeri 5 Jepara, dan SMA Negeri 1 Jepara. Kemudian penulis menempuh pendidikan strata-1 (S-1) pada Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.