

TA/TL/2022/1586

TUGAS AKHIR
EVALUASI DESAIN INSTALASI
PENGOLAHAN AIR LIMBAH KOMUNAL TIRTO
MILI, YOGYAKARTA

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



OKTANA SINAR HARAPAN PUTRA
18513046

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022

TUGAS AKHIR
EVALUASI DESAIN INSTALASI PENGOLAHAN AIR
LIMBAH KOMUNAL TIRTO MILI, YOGYAKARTA

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



OKTANA SINAR AHARAPAN PUTRA
18513046

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


Dr.-Ing. Ir. Widodo Brontowiyono,
M.Sc.
875110107.
Tanggal:


Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.
165131306.
Tanggal: 13/2 2021



Mengetahui,*
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII
Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.
045130401.
Tanggal: 13 Februari 2023

HALAMAN PENGESAHAN*

**EVALUASI DESAIN INSTALASI PENGOLAHAN AIR
LIMBAH KOMUNAL TIRTO MILI, YOGYAKARTA**

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

**Hari : Rabu
Tanggal : 1 Februari 2023**

Disusun Oleh:

**OKTANA SINAR HARAPAN PUTRA
18513046**

Tim Penguji :

Dr. Ing Widodo Brontowiyono, S.T., M.Sc

(09-02-2023)

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

Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.



PERNYATAAN

Dengan ini saya 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 adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian 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. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 2022

Yang membuat pernyataan,



Oktana Sinar Harapan Putra

NIM: 18513046

PRAKATA

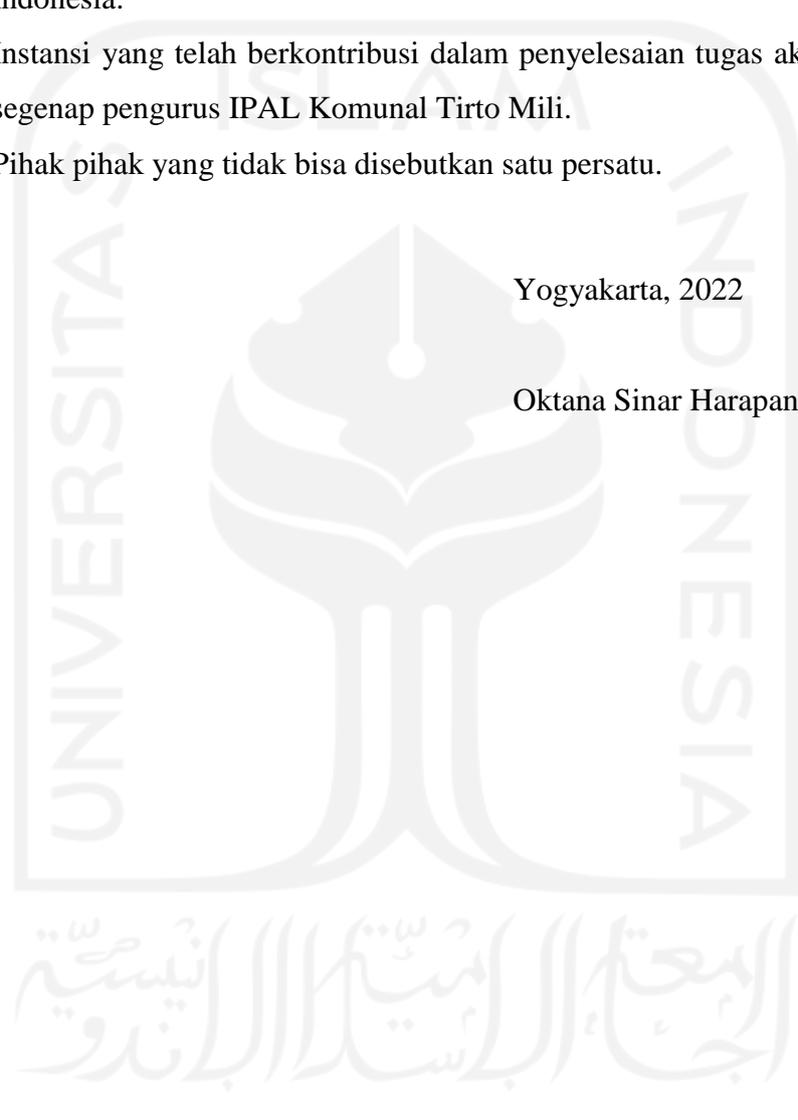
Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga tugas akhir ini berhasil diselesaikan. Judul penelitian yang dilaksanakan sejak Juni 2022 ini ialah Evaluasi Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Tirto Mili, Yogyakarta. Dalam penyusunan laporan ini penulis banyak mendapatkan semangat, doa, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini perkenankan penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah subhanahu wa ta'ala yang senantiasa memberikan kesehatan, kemampuan serta kekuatan sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan ini.
2. Kedua orang tua dan saudara saya yang tulus selalu mendoakan dan memberikan *support* yang luar biasa hingga saat ini.
3. Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng.
4. Bapak Dr. Ing Widodo Brontowiyono, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing 1 yang sabar membimbing, mendukung serta memberikan masukan selama tugas akhir ini berlangsung.
5. Ibu Adelia Anju Asmara, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing 2 dan Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing 2 (pengganti) yang juga sabar membimbing, membantu, mendukung serta memberikan masukan selama tugas akhir ini berlangsung.
6. Bapak Dr. Eng. Awaluddin Nurmiyanto, S.T., M.Eng. selaku dosen reviewer yang senantiasa memberikan masukan dan motivasi dari awal penelitian hingga saat ini.
7. Ibu Elita Nurfitriyani Sulisty, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik yang telah membantu memberi saran dan masukan selama perkuliahan.

8. Mas Heriyanto, A.Md yang sudah membantu administrasi selama masa perkuliahan.
9. Teman-teman masa seperkuliahan saya dari seluruh mahasiswa/i Teknik Lingkungan 2018.
10. Segenap Keluarga Besar Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
11. Instansi yang telah berkontribusi dalam penyelesaian tugas akhir ini, segenap pengurus IPAL Komunal Tirto Mili.
12. Pihak pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Yogyakarta, 2022

Oktana Sinar Harapan Putra





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

OKTANA SINAR HARAPAN PUTRA. **Evaluasi Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal Tirto Mili, Yogyakarta.** Dibimbing oleh Dr.Ing Widodo Brontowiyono, S.T., M.Sc dan Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal Tirto Mili mengolah air limbah pemukiman yang dihasilkan oleh aktivitas domestik. IPAL ini telah beroperasi selama 8 tahun sejak tahun 2014, pertumbuhan penduduk menambah beban pengolahan IPAL, sehingga diperlukan analisis untuk mengetahui efisiensi kinerja IPAL. IPAL Komunal Tirto Mili memiliki sistem pengolahan air limbah dengan kombinasi teknologi *anaerobic baffled reactor* (ABR), *anaerobic filter* (AF) dan *rotating biological contractor* (RBC). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis operasional IPAL dengan menguji parameter pH, DO, BOD, COD, TSS dan *total coliform* dari inlet hingga outlet dari IPAL dan membandingkannya dengan Permen LHK no 68 tahun 2016 untuk mengetahui efektivitas operasional IPAL. Berdasarkan pengujian parameter rata-rata data air limbah pada outlet dengan konsentrasi pH sebesar 7, DO sebesar 4,4 mg/L, BOD sebesar 32,5 mg/l, parameter COD sebesar 125,8 mg/l, parameter TSS sebesar 92,12 mg/l dan parameter *total coliform* sebesar >4600 APM/100ml. Kinerja keseluruhan IPAL sudah baik, namun masih ada parameter yang konsentrasinya melebihi baku mutu. Berdasarkan pengujian air limbah dengan sampel dari inlet dan outlet IPAL di laboratorium, parameter *total coliform* tidak memenuhi baku mutu. Sementara itu, dimensi unit pengolahan air limbah telah memenuhi kriteria desain yang ada. Dalam seluruh sistem pengolahan, perlu adanya evaluasi pengolahan dengan penambahan unit desinfeksi dengan bak desinfeksi menggunakan kaporit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$).

Kata kunci: Air Limbah, IPAL, Kinerja

ABSTRACT

OKTANA SINAR HARAPAN PUTRA. *Evaluation of Design for Tirto Mili Communal Wastewater Treatment Plant, Yogyakarta. Supervised by Dr.Ing Widodo Brontowiyono, S.T., M.Sc and Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.*

The Tirto Mili Communal Wastewater Treatment Plant (WWTP) treats residential area wastewater generated by domestic activities. This WWTP has been operating for 8 years since 2014, population growth adds to the loads on the WWTP, so an evaluation is needed to determine the efficiency of the WWTP performance. Tirto Mili Communal WWTP has a wastewater treatment system with an anaerobic baffled reactor (ABR), an anaerobic filter (AF) and an rotating biological contractor (RBC) system. This study aims to analyze the operation of the WWTP by testing the parameters of temperature, pH, DO, BOD, COD, TSS and total coliform from the inlet to the outlet of the WWTP and compare them with Permen LHK No. 68 of 2016 to determine the operational effectiveness of WWTPs. Based on the system parameter testing, it was found that the wastewater concentration at the outlet in the pH parameter was 7, the DO parameter was 4,4 mg/L, the BOD parameter was 32,5 mg/l, the COD parameter was 92,1 mg/l, the TSS parameter was 125,75 mg/l and total coliform parameter is >4600 MPN/100ml. The overall performance of the WWTP is good, but there are still parameters whose concentration exceeds the threshold value. Based on wastewater testing with samples from the inlet and outlet of the wastewater treatment plant in the laboratory, the total coliform parameter did not meet the quality standard. Meanwhile, the overall dimensions of the wastewater treatment units have met the existing design criteria. In all existing treatment systems, it is necessary to evaluate the treatment by adding a disinfection unit with a disinfection basin using chlorine ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$).

Keywords: *Performance, Wastewater, Wastewater Treatment Plant (WWTP)*



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Air Limbah Domestik	6
2.2 Dampak Air Limbah Terhadap Lingkungan	6
2.3 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal	7
2.4 Teknologi Pengolahan IPAL Komunal Tirto Mili	7
2.5 Faktor yang Mempengaruhi Pengolahan	12
2.6 Kualitas Air	13
2.7 Kaporit	14
2.8 <i>Breakpoint Chlorination</i> (BPC)	15
2.9 Penelitian Terdahulu	15
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	18
3.2 Prosedur Analisis Data	19
3.3 Sampling dan Pengujian Air Limbah	20
3.4 Pengukuran Debit dan Kriteria Desain	23
3.5 Uji Breakpoint Chlorine (BPC)	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Teknologi Pengolahan	26
4.2 Hasil Pengujian Air Limbah	29

4.3 Debit Air Limbah	35
4.4 Evaluasi Desain	37
4.5 Usulan Peningkatan Kinerja IPAL	45
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Simpulan	56
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	64
RIWAYAT HIDUP	72





DAFTAR TABEL

Table 2. 1 Kriteria desain unit ABR (PUPR no. 4 - 2017).....	9
Table 2. 2 Kriteria desain unit AF (PUPR no. 4 - 2017).....	10
Table 2. 3 Kriteria desain unit RBC (PUPR no. 4 - 2017).....	12
Table 2. 4 Penelitian terdahulu.....	15
Table 4. 1 Monitoring total coliform di inlet dan outlet IPAL Tirto Mili.....	34
Table 4. 2 Asumsi perencanaan debit harian maksimum IPAL Tirto Mili.....	37
Table 4. 3 Dimensi aktual unit ekualisasi	38
Table 4. 4 Dimensi aktual unit anaerobic baffled reactor	39
Table 4. 5 Dimensi aktual unit anaerobic filter.....	41
Table 4. 6 Dimensi aktual unit rotating biological contactor.....	42
Table 4. 7 Komponen unit rotating biological contactor	42
Table 4. 8 Hasil uji efektivitas klorin.....	49



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

الجامعة الإسلامية
الابستد الاندو

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram alir anaerobic baffled reactor (Safisani, 2018)	8
Gambar 2. 2 Diagram alir anaerobic filter (Safisani, 2018).....	9
Gambar 2. 3 Diagram alir rotating biological contactor	11
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian IPAL komunal Tirto Mili	18
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir	19
Gambar 4. 1 Unit pengolahan anaerobic baffled reactor	26
Gambar 4. 2 Unit pengolahan anaerobic filter	26
Gambar 4. 3 Unit pengolahan rotating biological contactor	27
Gambar 4. 4 Layout unit pengolahan IPAL Tirto Mili	27
Gambar 4. 5 Monitoring pH di inlet dan outlet IPAL Tirto Mili	29
Gambar 4. 6 Monitoring DO di unit pengolahan IPAL Tirto Mili	30
Gambar 4. 7 Monitoring BOD di inlet dan outlet IPAL Tirto Mili	31
Gambar 4. 8 Monitoring COD di inlet dan outlet IPAL Tirto Mili	32
Gambar 4. 9 Monitoring TSS di inlet dan outlet IPAL Tirto Mili	33
Gambar 4. 10 Neraca massa pengolahan IPAL Tirto Mili.....	35
Gambar 4. 11 Grafik pengukuran debit harian aktual IPAL Tirto Mili	36
Gambar 4. 12 Air di unit ekualisasi	38
Gambar 4. 13 Air di unit settlement anaerobic baffled reactor.....	40
Gambar 4. 14 Air di unit baffle anaerobic baffled reactor	40
Gambar 4. 15 Air di unit anaerobic filter	42
Gambar 4. 16 Hubungan efisiensi BOD dan TSS terhadap overflow rate dan waktu detensi (Buku SPALD-T)	45
Gambar 4. 17 Data BPC waktu kontak 15 menit	47
Gambar 4. 18 Data BPC waktu kontak 30 menit	47
Gambar 4. 19 Data BPC waktu kontak 45 menit	48
Gambar 4. 20 Desain perencanaan unit bak desinfeksi.....	54



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية
الاندونيسية

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil uji sample COD IPAL Tirto Mili	64
Lampiran 2 Hasil uji sample DO dan BOD IPAL Tirto Mili	64
Lampiran 3 Lampiran 1 PERMEN LHK no. 68 tahun 2016	65
Lampiran 4 Hasil uji sample TSS IPAL Tirto Mili	65
Lampiran 5 Rumah RBC IPAL Tirto Mili	66
Lampiran 6 Tampilan IPAL Tirto Mili	66
Lampiran 7 Permukaan reaktor RBC	66
Lampiran 8 Bak kontrol IPAL Tirto Mili	66
Lampiran 9 Kondisi sekitar IPAL (1)	66
Lampiran 10 Kondisi sekitar IPAL (2)	66
Lampiran 11 Pengukuran dimensi (1)	67
Lampiran 12 Pengukuran dimensi (2)	67
Lampiran 13 Pengambilan sample air limbah	67
Lampiran 14 Pengukuran debit air limbah	67
Lampiran 15 Uji TSS (penyaringan)	68
Lampiran 16 Uji TSS (penimbangan)	68
Lampiran 17 Pengukuran DO	68
Lampiran 18 Uji COD (pemanasan larutan)	68
Lampiran 19 Uji COD (pembacaan spektrofotometri)	69
Lampiran 20 Uji total coliform (pemindahan media)	69
Lampiran 21 Uji total coliform (pemeriksaan gelembung)	69
Lampiran 22 Uji BPC Titrasi	69
Lampiran 24 Spreadsheet kriteria desain AF (Sasse, 1998)	70
Lampiran 23 Spreadsheet kriteria desain ABR (Sasse, 1998)	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk setiap harinya terus bertambah. Hal tersebut menyebabkan kegiatan manusia juga ikut meningkat. Pada umumnya setiap kegiatan manusia menimbulkan limbah, salah satunya adalah limbah domestik (rumah tangga). Bertambahnya penduduk juga berdampak pada semakin banyaknya limbah dari kegiatan yang dihasilkan. Air limbah dapat menyebabkan penurunan kualitas air baku jika langsung dibuang ke badan air. Ketiadaan sanitasi dan sistem pengolahan sanitasi yang buruk menjadi penyebab dari masuknya air limbah tersebut ke badan air. Sanitasi yang buruk merupakan permasalahan yang diakibatkan dari pembangunan yang tidak merata dan terbatasnya kuota. Pada tahun 2011 sebanyak 72,54% rumah tangga perkotaan memiliki akses fasilitas sanitasi dasar layak, sedangkan hanya 38,97% dari rumah tangga di perdesaan yang memiliki sanitasi yang layak. Ketimpangan tersebut terjadi akibat dari program pembangunan pemerintah yang tidak merata (Elydis, 2018).

Sanitasi merupakan sebuah usaha untuk mengontrol semua aspek yang ada dalam lingkungan fisik manusia yang diperkirakan dapat menimbulkan berbagai hal yang dapat mempengaruhi perkembangan fisik, kesehatan dan kelangsungan hidup. Dalam kata lain sanitasi merupakan segala suatu usaha untuk menciptakan keadaan yang sehat. Contoh sanitasi sendiri dapat berupa saluran pembuangan limpasan hujan (drainase), instalasi pengolahan air limbah (IPAL) domestik atau non-domestik, penyediaan fasilitas peturasan hingga sistem pemrosesan sampah.

Untuk mengolah air limbah domestik dibangunlah IPAL komunal (Instalasi Pengolahan Air Limbah) dengan tujuan untuk mengurangi tingkat pencemar yang terkandung dalam air limbah ke tingkat yang dapat diterima ketika air disalurkan kembali ke alam. Akan tetapi, pada IPAL itu sendiri juga

timbul permasalahan seperti efisiensi yang tidak sesuai dengan yang telah direncanakan sebelumnya. Salah satu penyebab dari permasalahan tersebut adalah operasional IPAL itu sendiri. Operasional IPAL yang mampat atau bahkan terhenti merupakan sebuah risiko. Risiko tersebut menyebabkan terjadinya hal yang merugikan dan jika tidak dilakukan penanganan akan mempengaruhi efisiensi IPAL tersebut. (Tušer & Oulehlová, 2021).

Seiring dengan meningkatnya permintaan akan pelayanan kesehatan, maka kebutuhan akan fasilitas yang memenuhi kebutuhan juga semakin meningkat. IPAL komunal merupakan bagian dari infrastruktur pelayanan kesehatan yang mengolah air limbah domestik guna menurunkan kandungan polutan dan menghasilkan air olahan yang lebih aman ketika disalurkan kembali ke alam. IPAL komunal ini sendiri memiliki permasalahan yang serupa dengan fasilitas kesehatan lainnya seperti yang dipaparkan oleh Lola Amelia Direktur Riset 'The Indonesian Institute' pada tahun 2014 mengenai terbatasnya kuota pelayanan dan kurangnya pembangunan fasilitas kesehatan yang proper. (Herman, 2014).

IPAL komunal Tirto Mili merupakan IPAL komunal yang menggunakan kombinasi teknologi pengolahan *anaerobic baffled reactor (ABR)*, *anaerobic filter (AF)* dan *Rotating Biological Contractor (RBC)*. Fasilitas IPAL merupakan fasilitas atau sarana umum pengolahan limbah yang dalam penelitian ini adalah fasilitas sanitasi IPAL Komunal Tirto Mili. RBC merupakan proses pengolahan air limbah yang menggunakan metode dimana alat pengolahan air limbah ini berputar pada suatu poros atau as yang digerakkan oleh dinamo/motor listrik. Media terbuat dari plastik dan diatur sedemikian rupa sehingga bisa menjadi media melekatnya mikroba dengan penampang seluas mungkin kontak dengan limbah dan oksigen bergantian. Dimana prosedur melibatkan rotasi atau kontak dengan elemen biologis.

Dalam hal ini kami melakukan evaluasi desain IPAL komunal Tirto Mili dan keterkaitannya terhadap proses pengolahan air limbah dalam jumlah besar. Pemilihan IPAL komunal Tirto Mili ini didasarkan oleh evaluasi pra-survey

yang telah dilaksanakan pada April sampai dengan Juni 2022. Penelitian ini didasarkan pada kemampuan operasional IPAL komunal dalam mengolah air limbah dari pemukiman. Disamping itu juga terdapat beberapa permasalahan yang kerap terjadi, seperti pipa yang mampat akibat benda padat yang masuk jaringan IPAL. Beberapa dampak buruk yang terjadi akibat hal di atas yakni dapat mengakibatkan timbulnya bau tidak sedap dan juga terjadinya rembesan air limbah ke dalam tanah yang menyebabkan timbulnya penyakit.

Penelitian dengan fokus kajian IPAL komunal Tirto Mili sendiri telah dilakukan seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Zul Hazmi (2020) dan Panji (2021). Penelitian ini berpusat di Kabupaten Sleman pada beberapa IPAL komunal, salah satunya adalah IPAL komunal Tirto Mili yang menggunakan teknologi ABR, AF dan RBC. Kajian dilakukan dengan menggunakan metode kualitatif deskriptif guna mengindikasikan adanya kekurangan pada manajemen dan juga operasional IPAL yang diteliti. Hasil dari penelitian tersebut adalah data *scoring* perbandingan antara IPAL dengan teknologi yang berbeda di Kabupaten Sleman. Sedangkan di DIY evaluasi desain IPAL sendiri belum dilakukan, khususnya IPAL komunal Tirto Mili. Oleh karena itu, perlu adanya kajian desain pengolahan limbah komunal dan juga efisiensi pengolahan pada unit pengolahan IPAL.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah besaran efisiensi pengolahan parameter fisika, kimia dan biologis berdasarkan Permen LHK No. 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik serta pengkajian kriteria desain IPAL komunal Tirto Mili berdasarkan dimensi eksisting yang kemudian akan memberikan gambaran efektivitas pengolahan unit IPAL komunal.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi fasilitas IPAL komunal Tirto Mili di Kecamatan Ngaglik dengan tujuan utama yaitu:

1. Mengevaluasi kondisi operasional IPAL Komunal Tirto Mili baik beban pengolahan, waktu tinggal dan juga kualitas air berdasarkan baku mutu kualitas air limbah.
2. Mengevaluasi desain unit pengolahan IPAL Komunal Tirto Mili dengan kriteria desain.
3. Menentukan perbaikan ataupun peningkatan kinerja IPAL Komunal Tirto Mili.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi terkait kriteria desain serta besaran polutan dan efisiensi pengolahan unit IPAL Komunal Tirto Mili pada air hasil penyisihan.
2. Memberikan perbaikan desain ataupun peningkatan kinerja guna operasional IPAL yang sesuai dengan karakteristik air limbah yang masuk ke IPAL Komunal Tirto Mili.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian dilakukan pada IPAL Komunal Tirto Mili di Kecamatan Ngaglik, Yogyakarta
2. Parameter yang diamati meliputi pH, *dissolved oxygen* (DO), *biological oxygen demand* (BOD), *chemical oxygen demand* (COD), *total suspended solid* (TSS) dan *total coliform* berdasarkan Peraturan Kementrian LHK no. 68 tahun 2016

3. Penelitian ini meliputi semua unit pengolahan yang ada di IPAL Komunal Tirto Mili
4. Kriteria desain IPAL yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Peraturan Menteri PUPR no. 4 tahun 2017
5. Penelitian dilaksanakan pada Juni 2022 – Oktober 2022



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Domestik

Berdasarkan Permen LHK nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik disebutkan bahwa air limbah merupakan air sisa dari suatu hasil usaha dan/atau kegiatan. Semakin tinggi tingkat populasi maka semakin tinggi pula kegiatan yang dilakukan, hal tersebut mengakibatkan air limbah yang dihasilkan juga ikut meningkat jumlahnya. Air limbah terdiri dari dua jenis, yaitu air limbah domestik dan non domestik.

Dikutip dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik pada pasal 1 ayat 2 yang menyebutkan bahwa air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Karakteristik fisik dapat dilihat dari padatan, bau, warna, dan kekeruhan. Karakteristik biologi dapat ditentukan dari adanya mikroorganisme seperti bakteri, jamur, protozoa dan algae (Mubin et al., 2016).

2.2 Dampak Air Limbah Terhadap Lingkungan

Air limbah yang tidak diolah terlebih dahulu dan langsung dikembalikan akan menimbulkan dampak buruk pada lingkungan. Kandungan BOD yang tinggi dari air limbah yang berasal dari kegiatan domestik akan menyebabkan penurunan kualitas air karena semakin tinggi kandungan BOD maka kandungan oksigen pada air tersebut berkurang. Dampak buruk tersebut diantaranya terganggunya sistem pencernaan dan iritasi kulit. (Tarigan et al., 2013).

Terdapat berbagai kandungan seperti organik, anorganik, dan zat kimia pada air limbah yang tentu memiliki dampak berbeda-beda. Limbah dengan tingkat organik yang tinggi akan menyebabkan meningkatnya jumlah mikroorganisme terutama mikroba patogen yang berpotensi untuk

menyebarkan penyakit. Limbah dengan kandungan kimia yang tinggi dapat mengganggu dan membunuh biota yang ada di lingkungan dan juga manusia (Kadek et al., 2007).

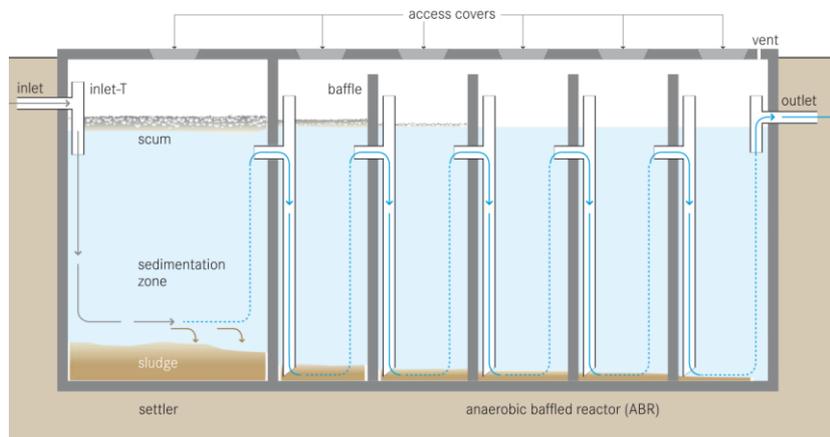
2.3 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah struktur bangunan yang dibangun untuk mengurangi kandungan beban pencemar yang terdapat pada limbah rumah tangga (biologis dan kimiawi) sehingga dapat diterima oleh lingkungan atau dimanfaatkan untuk keperluan lainnya. IPAL Komunal adalah bangunan yang digunakan untuk mengolah limbah yang berasal dari berbagai sumber secara bersama-sama. Perencanaan IPAL meliputi sarana pengumpulan dan sarana pengolahan. Dilihat dari sarana pengumpulan, air limbah dialirkan memanfaatkan gaya gravitasi melalui jaringan perpipaan (yang dilengkapi dengan bak grease and oil trap, bak kontrol, manhole) atau saluran ke tempat pengolahan (IPAL). Jika dilihat dari sarana pengolahan. Pengolahan air limbah terdiri dari pemilihan teknologi pengolahan, kapasitas, ketersediaan lahan, kemudahan operasi, biaya operasional dan maintenance serta efisiensi pengurangan pencemar. Terdapat 3 sistem pengolahan yaitu pengolahan secara anaerobik, pengolahan secara aerobik, dan pengolahan menggunakan kombinasi dari kedua pengolahan aerob dan anaerob (Safriani et al., 2017).

2.4 Teknologi Pengolahan IPAL Komunal Tirto Mili

Secara umum, IPAL komunal dirancang menggunakan teknologi yang murah dan relatif sederhana, seperti *anaerobic baffled reactor* dan *anaerobic filter*. Selain faktor investasi yang rendah, pilihan kedua teknologi tersebut tidak membutuhkan lahan yang luas, seperti halnya lahan yang tersedia di sekitar pemukiman yang berada di perkotaan.

2.4.1 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)



Gambar 2. 1 Diagram alir anaerobic baffled reactor (Safisani, 2018)

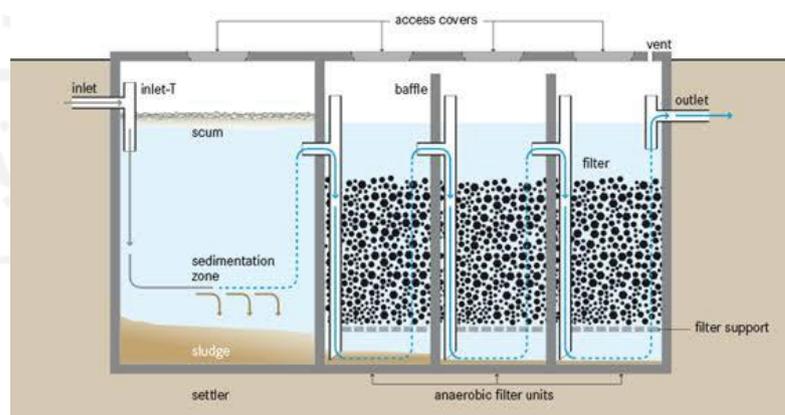
Anaerobic baffled reactor adalah varian dari septic tank konvensional. ABR terdiri dari bagian endapan diikuti oleh reaktor (sekat). Sekat ini menyebabkan air limbah naik (*upflow*) melalui beberapa rangkaian reaktor *sludge blanket*. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan waktu retensi atau waktu kontak yang lebih lama antara bakteri anaerob yang dikandungnya dengan air limbah. Oleh karena itu, kinerja pemrosesan lebih efisien. (McCarty and Bachmann, 1992)

ABR dapat dilakukan di area kecil. Reaktor dapat dirancang secara efisien untuk *inflow* harian, sehingga setara dengan limbah 1.000 orang (200.000 liter/hari). Dari segi konstruksinya relatif sederhana, tanpa bagian mekanis yang bergerak. Sedangkan dari segi pengoperasian, ABR memiliki *hydraulic retention time* (HRT) yang rendah, sehingga pengoperasiannya relatif stabil. Namun demikian, pemasangan ABR tidak dapat dilakukan di daerah dengan elevasi air yang tinggi, karena memungkinkan terjadinya kebocoran yang nantinya akan mencemari air tanah. (Barber, 1999)

Table 2. 1 Kriteria desain unit ABR (PUPR no. 4 - 2017)

Faktor perencanaan	Kriteria	Keterangan
Panjang	50 - 60%	Dari tinggi bak
Jumlah kompartemen	3 – 6 buah	
Penyisihan COD	65 – 90%	
Penyisihan BOD	70 – 95%	
Organic Loading	<3 kg BOD / m ³ .hari	
Hydraulic Retention Time	6 – 20 jam	

2.4.2 Anaerobic Filter (AF)



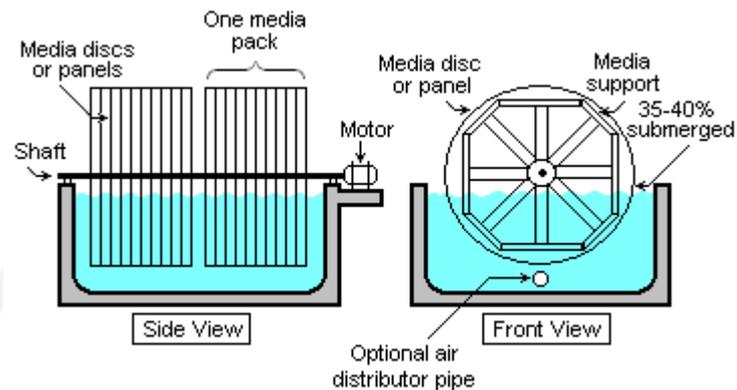
Gambar 2. 2 Diagram alir anaerobic filter (Safisani, 2018)

Anaerobic filter adalah bioreaktor stasioner. AF umumnya digunakan sebagai metode pengolahan sekunder skala rumah tangga, yang didalamnya terdapat substrat (batuan) untuk melekatkan mikroorganismenya yang berfungsi melakukan suspensi TSS untuk air limbah domestik. Ini untuk memulihkan biogas dari air limbah domestik untuk mengurangi kemungkinan pencemaran lingkungan. (Safisani, 2018)

Table 2. 2 Kriteria desain unit AF (PUPR no. 4 - 2017)

Faktor perencanaan	Kriteria	Keterangan
Kedalaman media dalam filter (H)	90 – 150 cm	
Air di atas media (h)	>20 cm	
Surface loading	2,8 m/hari	
Hydraulic Retention Time	1.5 - 2 hari	Minimal 0.2 hari untuk UAF yang mengolah grey water dan black water Minimal 0.5 hari untuk UAF yang mengolah black water
Beban organik (Organic loading rate)	0.2 – 15 kgCOD/m ³ .hari	
Efisiensi penyisihan BOD	70 – 90%	
Media filter	Ø2 – 6 cm	Batuan

2.4.3 Unit *Rotating Biological Contactor* (RBC)



Gambar 2. 3 Diagram alir rotating biological contactor

Rotating biological contactor (RBC) adalah teknologi pengolahan air limbah dengan sistem biakan melekat (*attached culture*). Prinsip operasi RBC adalah membawa air limbah yang mengandung polutan organik kontak dengan lapisan mikroorganisme yang menempel pada permukaan media berputar di tangki reaksi (Rizal, 2014). Media tempat biakan melekat berbentuk piringan yang terbuat dari polimer ringan atau plastik dan disusun berjejer pada sumbu tertentu. Kemudian tangki reaktor akan berputar perlahan-lahan dicelupkan ke dalam air limbah yang bersirkulasi di tangki reaksi untuk menghilangkan zat-zat organik yang ada di dalam limbah. Akibatnya, mikroorganisme dapat tumbuh pada permukaan substrat dan membentuk lapisan mikroorganisme yang disebut biofilm. (Asmadi, 2012)

Table 2. 3 Kriteria desain unit RBC (PUPR no. 4 - 2017)

Faktor perencanaan	Kriteria	Keterangan
Beban permukaan BOD gr BOD/ (m ² luas piringan . hari)	10 -15	gr/ m ² . hari (domestik)
	10 -50	gr/ m ² . hari (industri)
Beban hidrolis L/m ² /hari,	50 -100	jika BOD influent = 200 mg/L
	10- 20	jika BOD influent = 500- 1000 mg/L
Jarak antara piringan	3 - 5	cm
Diameter piringan	1.5 - 3	m
Waktu detensi	2 - 4	Jam
Kebutuhan listrik untuk rotor	8 - 10	KW.jam/(orang.Tahun)
Produk lumpur	0.4 - 0.5	Kg / Kg BOD removal.
Kecepatan putaran cakram	1 - 2	rpm
Diameter cakram	1 - 3.6	m
Kedalaman bak	40 %	Dari diameter cakram
Temperatur pengoperasian (°C)	15 - 40	

2.4.4 Bak Klorinasi

Air limbah mengandung berbagai jenis organisme yang dapat masuk ke dalam tubuh manusia dan berhubungan dengan penyakit yang ditularkan melalui air (*waterborne disease*). Disinfeksi adalah proses yang secara selektif menghancurkan patogen yang disebabkan oleh organisme yang ada dalam suplai air minum atau air limbah yang dibuang. Ada banyak jenis bahan kimia disinfektan yang digunakan untuk berbagai aplikasi. Dari berbagai jenis tersebut, klorinasi adalah yang paling umum digunakan, termasuk untuk pengolahan air limbah. (Qasim, 2018)

2.5 Faktor yang Mempengaruhi Pengolahan

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengolahan air limbah pada IPAL di antaranya adalah dimensi unit pengolah, debit dan waktu tinggal. Ketiga faktor ini memiliki hubungan yang erat satu sama lain sehingga mengetahui faktor-faktor tersebut dapat menganalisis kinerja instalasi pengolahan air limbah dalam mengolah air limbah.

2.6 Kualitas Air

Kualitas air adalah besaran dari sifat fisik air serta kandungan yang ada di dalam air. Kandungan tersebut dapat berupa mineral dan juga kandungan bahan kimia/biologis di dalam air tersebut. Kualitas air ditentukan berdasarkan pengujian terhadap beberapa parameter kualitas air baik biologi, kimia dan fisik diantaranya yaitu, kandungan TSS, BOD, COD, nitrit, nitrat, suhu, pH, minyak dan lemak dan *total coliform*. Standar yang digunakan pada parameter air limbah sendiri berdasarkan Permen LHK nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

2.6.1 pH (Derajat Keasaman)

Keasaman atau pH merupakan parameter yang digunakan untuk menganalisis kualitas air karena mempengaruhi proses biologi dan kimia (Hasrianti & Nurasia, 2016). Air limbah dengan konsentrasi tidak netral dapat menghambat proses biologis, sehingga menghambat pemurnian. pH yang baik untuk air limbah adalah 7, yang berarti netral (Mubin dkk., 2016).

2.6.2 Padatan

Padatan adalah materi yang tersuspensi atau terlarut dalam air atau air limbah. Padatan dapat mempengaruhi kualitas limbah dalam beberapa cara. Total padatan (total solids) adalah zat yang tersisa setelah penguapan dan pengeringan sampel dalam oven pada suhu tertentu (103 sampai 105°C). Total padatan pada dasarnya terdiri dari total padatan tersuspensi (*total suspended solid*), yaitu total padatan yang tertahan oleh filter dan diukur setelah pengeringan pada suhu 105°C (Metcalf & Eddy, 2014).

2.6.3 Biological Oxygen Demand (BOD)

BOD adalah jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme untuk memecah polutan organik dalam air. Semakin tinggi konsentrasi BOD dalam air, semakin tinggi pula konsentrasi bahan organik di dalam air (Yudo, 2018). Dengan demikian, kandungan oksigen yang cukup dalam air limbah

akan membantu mikroorganisme menguraikan polutan dalam air limbah dengan lebih mudah (Mubin dkk., 2016).

2.6.4 Chemical Oxygen Demand (COD)

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Indeks COD dapat digunakan sebagai ukuran pencemaran air oleh zat-zat organik yang dapat teroksidasi secara alami oleh proses mikroba dan menyebabkan penurunan jumlah oksigen terlarut dalam air (Mubin dkk., 2016).

2.6.5 Total Coliform

Sifat biologis air limbah penting untuk pengendalian penyakit yang disebabkan oleh patogen dan peran mikroorganisme dalam dekomposisi dan stabilisasi bahan organik di alam dan di pabrik pengolahan air. Organisme yang biasa ditemukan di air permukaan dan air limbah yang dapat membahayakan kehidupan manusia antara lain bakteri coliform (*E. coli* dan streptococci), fungi, protozoa, dan alga (Mubin dkk., 2016).

2.7 Kaporit

Kaporit atau kalsium hipoklorit selama disinfeksi dapat dengan cepat membunuh mikroorganisme dalam air. Kaporit adalah disinfektan yang umum digunakan dalam segala bentuk, baik kering/kristal maupun sebagai larutan. Dalam bentuk keringnya, kaporit biasanya berbentuk bubuk atau butiran, tablet, atau pil. Dalam bentuk basah, kristal yang ada biasanya dilarutkan dengan akuades tergantung keperluan sterilisasi. Kaporit terdiri lebih dari 70% klorin. Kaporit berbentuk butiran atau tablet cepat larut dalam air, disimpan di tempat kering, jauh dari bahan kimia korosif, pada suhu rendah dan relatif stabil. Kaporit adalah bahan yang mudah ditemukan, mudah digunakan, dan mudah ditemukan (Technobanoglous, G, 1991).

2.8 Breakpoint Chlorination (BPC)

Breakpoint chlorination (BPC) adalah penentuan jumlah klorin yang diperlukan untuk suatu reaksi, agar semua zat yang dapat teroksidasi teroksidasi. Jumlah klorin yang harus ditambahkan untuk mencapai tingkat residu yang diinginkan disebut permintaan residu klorin. Dari bagan BPC, permintaan residu klorin dapat digunakan untuk menghitung laju penghilangan mikroba. Konsentrasi klorin yang diperoleh dari hasil BPC akan dikalikan dengan jumlah air yang akan didesinfeksi untuk mencapai tingkat penghilangan mikroba yang optimal (Clesceri, L.S., et al., 1998).

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan sumber informasi atau referensi yang terkait dengan teori penelitian ini. Dalam penelitian ini, peneliti melakukan kajian penelitian sebelumnya, diantaranya:

Table 2. 4 Penelitian terdahulu

No.	Peneliti	Judul	Hasil
1	M Panji Pangestu, 2021	Pengaruh keberadaan IPAL Komunal Terhadap Area Resiko Tinggi Sektor Air Limbah di Kabupaten Sleman	1. Perbandingan kualitas hasil pengolahan berdasarkan teknologi IPAL 2. Pengklasifikasian IPAL terhadap area resiko sanitasi
2	Fitria Indaryani dan Alfian Purnomo, 2020	Evaluasi dan Desain Ulang Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Rumah Susun Sederhana Sewa Randu Kota Surabaya	1. Desain pengolahan IPAL belum memenuhi kriteria desainnya. 2. Rancangan ulang unit <i>anaerobic baffled reactor</i> (ABR)
3	Putri Husada	Evaluasi Desain Instalasi	1. Debit air limbah

No.	Peneliti	Judul	Hasil
	Batubara, 2019	Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Hotel Madani Medan	melebihi kapasitas perencanaan awal IPAL. 2. Rancangan desain IPAL yang sesuai dengan karakteristik limbah.
4	Indah Nur Pratiwi, 2019	Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal di Dusun Sukunan	1. Perbandingan efisiensi pengolahan antara IPAL teknologi RBC dan <i>contact aeration</i> .





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama 4 bulan terhitung mulai Juni 2022 sampai Oktober 2022. Penelitian dan pengambilan sample akan dilaksanakan di IPAL Komunal Tirto Mili yang terletak di Dusun Jongkang, Kecamatan Ngalik, Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Adapun lokasi IPAL komunal Tirto Mili berlokasi pada koordinat -7.749645 lintang selatan dan 110.371333 bujur timur. Pengambilan sample dilakukan pada 4 titik, yakni Inlet IPAL, outlet unit ABR, outlet unit AF dan outlet unit RBC.

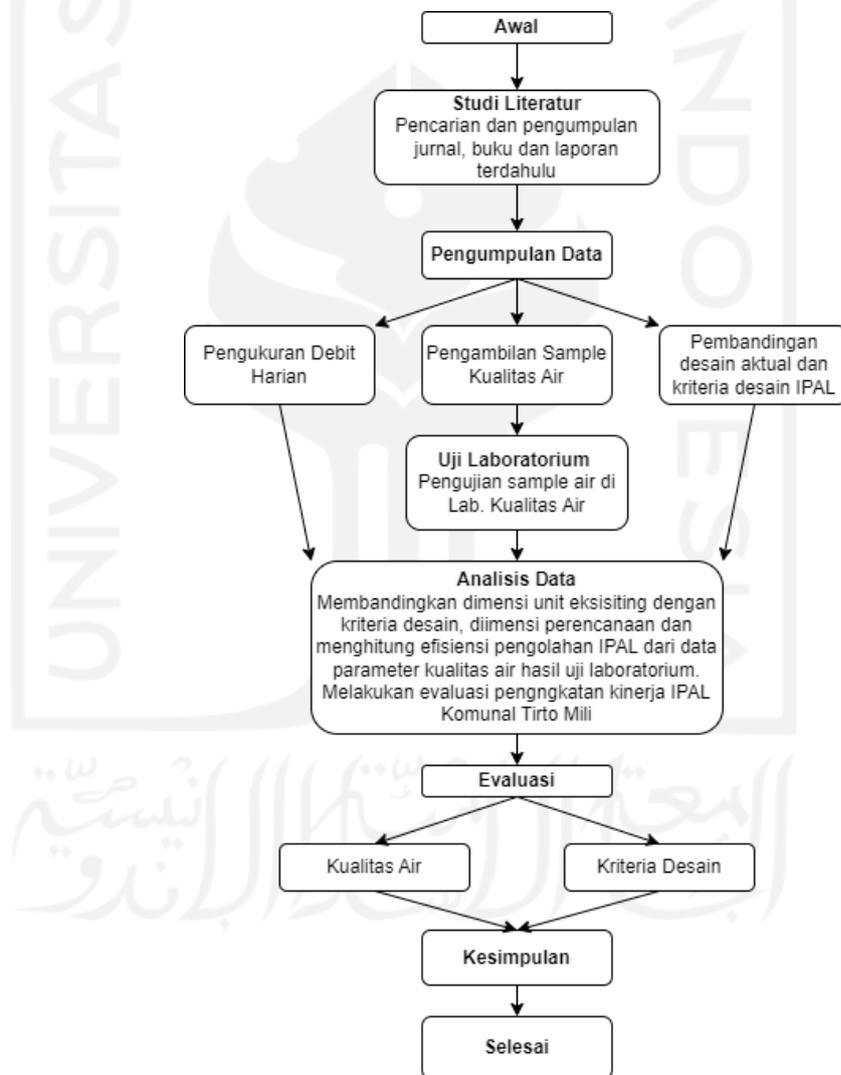


Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian IPAL komunal Tirto Mili

3.2 Prosedur Analisis Data

3.2.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir ini dibuat sebagai gambaran awal tahapan perencanaan diantaranya guna memudahkan kajian dan eksplorasi elemen-elemen untuk mencapai tujuan penelitian. Oleh karena itu, dibuatlah skema agar penelitian menjadi sistematis. Langkah-langkah perencanaan yang akan dilakukan ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Penelitian dimulai dari studi literatur dan penelusuran permasalahan yang hadir di lapangan. Setelah data sekunder dan teori telah terkumpul, selanjutnya yakni pengumpulan data lapangan yang berupa dimensi unit pengolahan IPAL Komunal Tirto Mili, debit harian dan juga sample kualitas air. Lalu data yang ada dianalisis dan dibandingkan dengan standar kriteria desain, beban pengolahan IPAL dan juga standar bakumutu kualitas air yang ada. Kemudian dari hasil analisis dapat dilakukan rancangan peningkatan kinerja IPAL jika diperlukan dan juga pembuatan kesimpulan.

3.2.2 Data Penelitain

Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data:

a. Data Primer

Data primer diperoleh dari hasil pengukuran dimensi unit pengolahan, debit harian dan kualitas air limbah.

b. Data Sekunder

Data sekunder diperoleh melalui studi pustaka yaitu, kriteria desain IPAL, standar sampling air limbah, standar uji air limbah, baku mutu kualitas air limbah dan jurnal penelitian terdahulu.

3.3 Sampling dan Pengujian Air Limbah

3.3.1 Pengambilan Sample Air Limbah

Pengambilan sampel dilakukan di empat titik instalasi pengolahan air limbah kota Tirto Mili. Keempat titik sampling tersebut adalah inlet IPAL, outlet unit ABR, outlet unit AF, dan outlet IPAL setelah unit RBC. Metode pengambilan sampel yang digunakan adalah metode *Grab Sampling*. *Grab Sampling* sendiri adalah metode pengambilan sample dengan menggunakan wadah (ember/baskom) yang diturunkan ke badan air dan diambil pada kedalaman kurang lebih 10 cm dari permukaan air. Sebelum pengambilan sampel lapangan, peneliti mendisinfeksi peralatan pengambilan sampel. Disinfeksi adalah proses pemusnahan semua organisme pada alat dan bahan yang digunakan dalam pekerjaan untuk menciptakan lingkungan yang steril.

Pada saat pengambilan sampel, peralatan terlebih dahulu harus didesinfeksi, hal ini dimaksudkan agar pekerjaan dilakukan secara aseptis atau tanpa cemaran mikroba yang tidak diinginkan dari luar sampel. Adapun pewadahan sample menggunakan wadah yang berbeda-beda, seperti sample uji DO dengan wadah botol winkler, uji BOD dengan wadah botol winkler, sample uji COD dengan wadah botol kaca, sample uji TSS dengan wadah botol kaca dan sample uji *Total Coliform* dengan wadah botol duran.

Sedangkan pada pengawetan sample digunakan pengawet berupa larutan H_2SO_4 pada parameter BOD, COD, DO dan TSS. Sistematika pengawetan pada tiap parameter menggunakan cara yang sama yakni dengan menambahkan sejumlah larutan H_2SO_4 pada sample hingga $pH < 3$. Standar pengambilan sample dan pengawetan air limbah yang digunakan berdasarkan SNI 6989.59:2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Pengambilan sample dilakukan 2 kali, yakni pada bulan Agustus dan September. Sample diambil sebanyak 2 kali (duplo). Hal ini dilakukan agar hasil pengujian dapat diperoleh nilai rata-rata.

3.3.2 Pengujian Sample Air Limbah

Parameter uji sampel air limbah adalah pH, suhu, BOD, COD, TSS dan *total coliform*. Pengujian sampel air limbah ada yang dilakukan langsung di lapangan dan pengujian di laboratorium. Analisis sampel air limbah yang dilakukan di laboratorium selanjutnya akan dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan UII. Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel dibawah ini :

Table 3. 1 Metode Pengujian Parameter Uji

No.	Parameter	Acuan Normatif	Metode / Alat	Satuan
1	Derajat keasaman (pH)	SNI 06-6989.11 : 2004	pH meter	-

2	DO	SNI 06-6989 14: 2004	DO meter	mg/L
3	BOD	SNI 6989.72 : 2009	Titration iodometry (winkler)	mg/L
4	COD	SNI 6989.2 : 2009	Spectrophotometry with reflux closed	mg/L
5	TSS	SNI 06- 6989.3 : 2004	Gravimetry	mg/L
6	<i>Total coliform</i>	SNI 01- 2332.1 : 2006	Most probable number (MPN)	APM/100mL

Hasil dari pengujian konsentrasi parameter kualitas air ini juga dilakukan untuk melihat kesesuaian kualitas air olahan (*outflow*) setelah proses pengolahan oleh IPAL sesuai peraturan Permen LHK no 68 tahun 2016. Dari data hasil uji sampel kemudian dapat dibandingkan persentase penyisihan konsentrasi polutan yang ada dalam air. Untuk evaluasi kinerja IPAL secara keseluruhan dilakukan dengan membandingkan kualitas sampel air pada di titik masuk dan keluar IPAL.

$$\% \text{ Efisiensi removal} = \frac{\text{influent} - \text{effluent}}{\text{influent}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

Melalui perhitungan operasional ini, kita dapat melihat efisiensi tingkat keberhasilan IPAL dalam mengolah air limbah domestik. Data yang diperoleh dari tahap awal pengolahan hingga tahap akhir IPAL dianalisis secara statistik dan disajikan secara deskriptif dalam bentuk grafik dan tabel.

3.4 Pengukuran Debit dan Kriteria Desain

3.4.1 Pengukuran Debit

Pengukuran debit dilakukan pada 4 titik, yaitu inlet IPAL, unit bak sedimentasi 1, inlet reaktor RBC dan outlet IPAL. Pengukuran debit dilakukan secara manual. Pengukuran debit dilakukan dengan menggunakan metode *volumetric method* (tampungan wadah) dan dihitung waktu pengisiannya. Standar yang digunakan dalam pengukuran debit aliran air ini adalah SNI 03-2414:1991 tentang Metode Pengukuran Debit Sungai dan Saluran Terbuka. Adapun alat yang digunakan dalam metode pengukuran ini adalah *stopwatch* dan wadah ember.

Pengukuran dilakukan pada interval 3 jam, yakni pada jam 06.00 WIB, 09.00 WIB, jam 12.00 WIB, jam 15.00 WIB dan 18.00 WIB. Pengukuran debit dilakukan 2 kali, yakni pada bulan Agustus dan September. Dilakukan 5 kali pengulangan pada pengukuran debit untuk menegaskan hasil yang diperoleh. Nilai yang diperoleh kemudian dirata-ratakan. Pengukuran debit eksisting dilakukan di saluran masuk IPAL untuk menentukan debit keseluruhan, sehingga jam puncak air limbah dapat ditentukan. Berikut rumus perhitungan pada tahapan pengukuran debit air limbah.

$$\text{Debit (Q)} = \frac{\text{Kecepatan aliran (m/s)}}{\text{Luas penampang unit pengolahan (m}^2\text{)}} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Debit rata-rata} = \frac{Q_1+Q_2+Q_n\dots(m^3/s)}{\text{Jumlah pengukuran (n)}} \dots\dots\dots(3)$$

3.4.2 Evaluasi Desain

Dalam evaluasi desain dilakukan perbandingan antara dimensi (panjang, lebar dan juga kedalaman saluran serta komponen penunjang pengolahan) dan desain unit pengolahan aktual (waktu detensi, *organic loading rate*, *hydraulic loading rate* dan *solids loading*) dengan kriteria desain yang ada seperti Permen PUPR no 4 (2017).

Evaluasi dimensi dilakukan pada unit-unit pengolahan baik. Perbandingan dimensi antara unit pengolahan eksisting dengan kriteria desain dilakukan guna melihat kesesuaian dimensi unit IPAL. Pengukuran dimensi ini dilakukan secara manual dengan menggunakan meteran. Pengukuran ini dilakukan untuk menentukan volume atau kapasitas unit pengolahan yang dibandingkan dengan standar kriteria desain unit pengolahan tersebut.

Sedangkan dalam evaluasi desain unit pengolahan, dilakukan perhitungan guna menghitung kesesuaian kriteria desain berdasarkan Permen PUPR no 4 (2017). Diantaranya waktu detensi, *organic loading rate*, *hydraulic loading rate* dan *solids loading* tiap unit pengolahan. Waktu tinggal unit IPAL diperoleh dari pembagian antara volume unit pengolahan dengan debit aliran pada masing-masing unit pengolahan. Waktu tinggal sendiri merupakan waktu yang dibutuhkan sebuah unit pengolahan \ IPAL untuk mendegradasi kandungan bahan organik dan anorganik. *Organic loading rate* (OLR) adalah jumlah bahan organik dalam air limbah yang diuraikan oleh mikroorganisme dalam unit pengolah per satuan volume per hari. *Hydraulic loading rate* (HLR) adalah faktor beban hidrolis dari luas permukaan yang mengandung limbah cair untuk satuan waktu tertentu. *Overflow rate* adalah kecepatan partikel mengendap di dasar saluran atau unit pengolahan. Rumus waktu detensi, OLR, HLR dan *overflow rate* dapat dilihat pada perhitungan berikut.

$$\text{Waktu detensi} = \frac{\text{vol unit pengolahan (m3)}}{\text{debit (m3/s)}} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Organic Loading Rate} = \frac{\text{debit (m3/s)} \times \text{BOD masuk}}{\text{vol unit pengolahan (m3)}} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Hydraulic Loading Rate} = \frac{\text{debit}}{\text{jumlah stage} \times \text{luas media}} \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Solid Loading} = \frac{\text{debit} \times \text{TSS masuk}}{\text{luas unit pengolahan}} \dots\dots\dots(7)$$

Dengan adanya perbandingan dimensi dan desain unit pengolahan dengan kriteria desain dapat diketahui perkiraan efektifitas pengolahan dalam sebuah IPAL. Perbandingan kriteria desain dibuat dalam bentuk tabel dan

dilakukan pada observasi dimensi IPAL. Detail terkait kriteria desain dari dimensi setiap unit pengolahan dapat dilihat pada bab 2.1, 2.2 dan 2.3.

3.5 Uji Breakpoint Chlorine (BPC)

Penentuan dosis optimum klorin untuk ditambahkan ke sampel air limbah didasarkan pada kurva *breakpoint chlorination*. Secara teoritis, titik BPC diwakili oleh kurva dengan titik puncak maksimum dan puncak minimum. Puncak minimum ini disebut titik BPC. Hal ini diperlukan agar semua zat pengoksidasi dapat teroksidasi, dengan residu klorin aktif yang terlarut pada konsentrasi yang dapat membunuh bakteri patogen dan mencegah pertumbuhan lumut

Pengujian dilakukan pada 15 tabung erlenmeyer yang ditambahkan 25 ml sampel air limbah dan ditambahkan larutan klorin dengan konsentrasi 5 gr/L, kemudian ditutup dengan penutup dan didiamkan selama 15, 30 dan 45 menit di tempat gelap. Selanjutnya ditambahkan berturut-turut 2,5 ml larutan asam asetat glasial, 1 sendok teh kristal KI dan 3 tetes larutan amilum. Kemudian dititrasi dengan larutan natrium tiosulfat 0,0102 N sampai warna kuning hilang dan catat volume reagen yang diperlukan.

$$\text{Residual klorin} = \frac{1000}{\text{Vol sample}} \times V \text{ titran} \times N \text{ titran} \times Ar \text{ Cl} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

Volume sample = volume sample yang digunakan (25 mL)

Volume titran = volume Na₂S₂O₃ yang digunakan

N titran = konsentrasi Na₂S₂O₃ yang digunakan (0,0102 N)

Ar Cl = massa atom relatif Cl (35,45)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Teknologi Pengolahan

IPAL komunal Tito Mili pada awalnya dirancang dengan teknologi pengolahan *anaerobic baffled reactor* (ABR) dan *anaerobic filter* (AF). Namun pada tahun 2017 seiring meningkatnya kebutuhan akan sistem sanitasi pemukiman setempat, maka ditambahkan unit *rotating biological contactor* (RBC). Penambahan unit RBC ini dimaksudkan untuk menurunkan kadar polutan yang akan bertambah sesuai dengan penambahan pengguna.



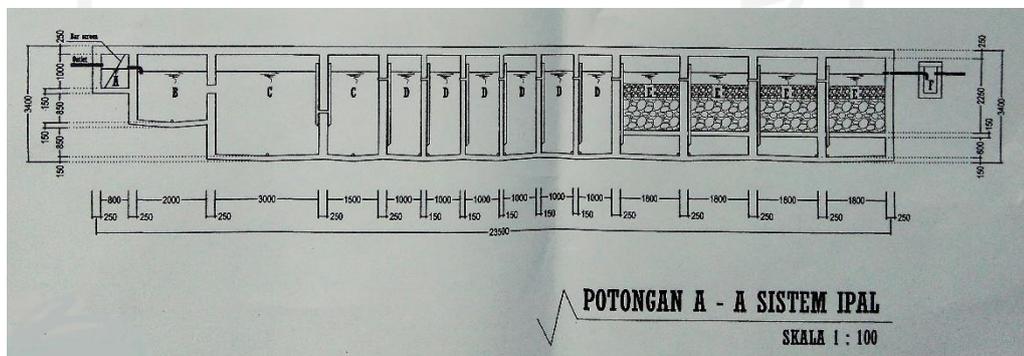
Gambar 4. 1 Unit pengolahan anaerobic baffled reactor



Gambar 4. 2 Unit pengolahan anaerobic filter



Gambar 4. 3 Unit pengolahan rotating biological contactor



Gambar 4. 4 Layout unit pengolahan IPAL Tirto Mili

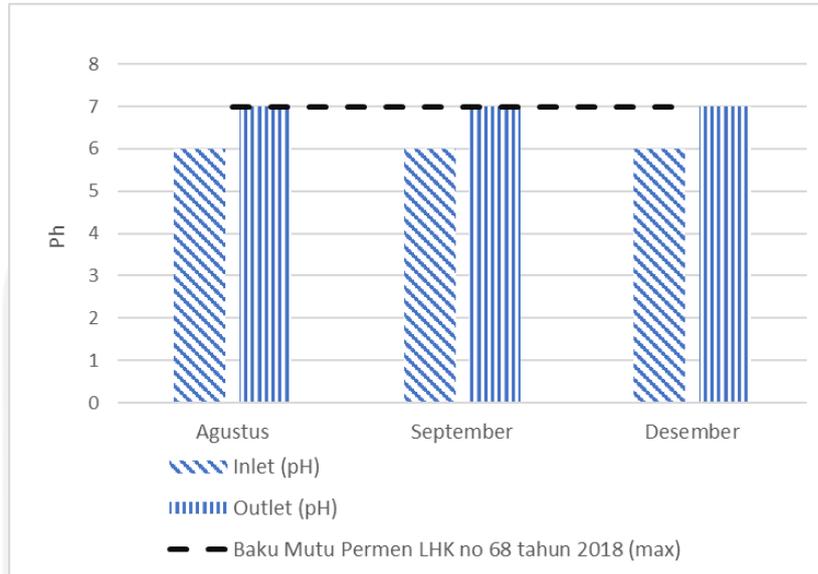
Anaerobic baffled reactor (ABR) adalah varian dari septic tank konvensional. ABR terdiri dari bagian pengendapan diikuti oleh *baffled* (sekat). IPAL komunal Tirto Mili mengadaptasi sistem ABR dengan 2 unit *settlement* (pengendap) dan 6 buah unit *baffled* (bersekat). Sekat ini menyebabkan air limbah naik melalui beberapa rangkaian sekat. Umumnya, penggunaan sistem ABR diterapkan pada air limbah dengan beban organik rendah atau pengolahan awal air limbah. Serangkaian sekat vertikal di dalam ABR dapat menyebabkan naik turunnya air limbah dari saluran inlet ke saluran outlet, sehingga terjadi kontak antara limbah cair dan biomassa aktif. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan waktu retensi atau waktu kontak yang lebih lama antara bakteri anaerob yang dikandungnya dengan air limbah. Oleh karena itu, kinerja pemrosesan lebih efisien.

Anaerobic filter (AF) adalah bioreaktor stasioner. Pada IPAL komunal Tirta Mili digunakan pengolahan AF dengan 4 kompartemen berisikan media batuan berukuran ± 5 cm dan platform. AF sendiri merupakan reaktor anaerobik tambahan, dimana air limbah akan mengalir melalui mikroorganisme di dalam reaktor yang dibagi menjadi 3 jenis, yaitu: biofilm tipis yang menempel pada permukaan media filter; mikroorganisme tersebar di celah media filter dan gumpalan flok di bagian bawah kompartemen, yang berada di bawah media filter. AF umumnya digunakan sebagai metode pengolahan sekunder skala rumah tangga, yang didalamnya terdapat substrat (batuan) untuk melekatkan mikroorganisme yang berfungsi melakukan suspensi TSS pada air limbah. Sama halnya dengan ABR, AF hanya difokuskan untuk menurunkan kandungan minyak dan lemak, senyawa organik (BOD, COD) dan padatan tersuspensi (TSS).

Rotating biological contactor (RBC) adalah teknologi pengolahan air limbah dengan sistem biakan melekat (*attached culture*). Prinsip operasi RBC adalah membawa air limbah yang mengandung polutan organik kontak dengan lapisan mikroorganisme yang menempel pada permukaan media berputar di tangki reaksi. Senyawa hasil metabolisme mikroorganisme tersebut akan lepas dari biofilm dan terbawa aliran air atau dalam bentuk gas akan terdispersi di udara melalui pori-pori media, sedangkan padatan suspensi (SS) akan tertahan di permukaan biofilm dan akan terurai menjadi bentuk yang larut dalam air.

4.2 Hasil Pengujian Air Limbah

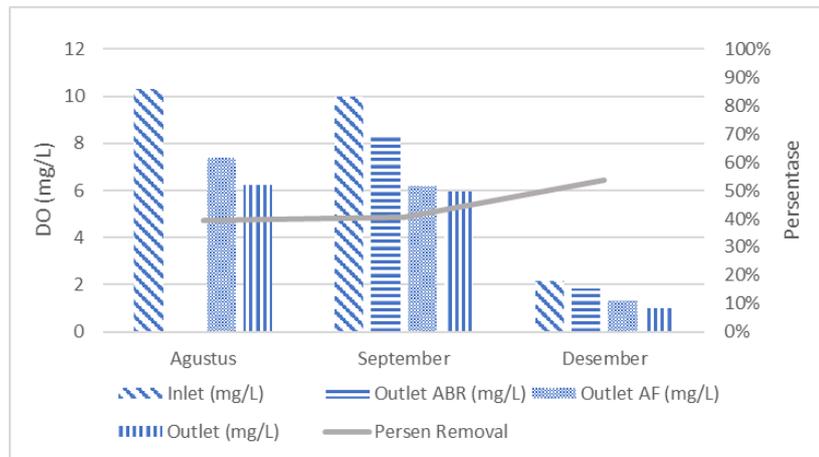
4.2.1 Derajat Keasaman (pH)



Gambar 4. 5 Monitoring pH di inlet dan outlet IPAL Tirto Mili

Berdasarkan hasil pengukuran pH yang dilakukan, dapat diketahui bahwa pada pengukuran di bulan Agustus, September dan Desember (tambahan) diperoleh konsentrasi yang berbeda-beda. Konsentrasi pH rata-rata pada inlet berkisar pada pH 6 sedangkan pada outlet rata-rata berkisar pada pH 7. Berdasarkan nilai rata-rata antara bulan Agustus, September dan Desember konsentrasi pH di outlet, IPAL komunal Tirto Mili yakni sebesar pH 7 yang telah memenuhi baku mutu Permen LHK no. 68 tahun 2016 yakni antara pH 6 – 9.

4.2.2 Dissolved Oxygen (DO)



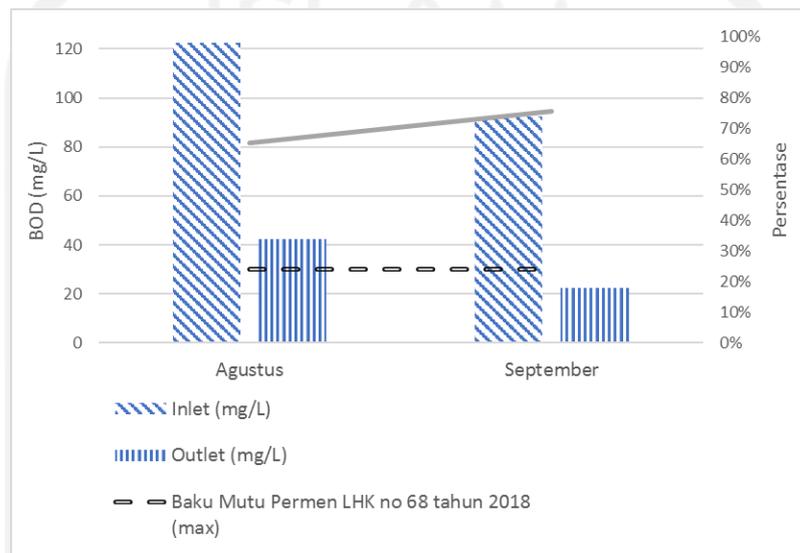
Gambar 4. 6 Monitoring DO di unit pengolahan IPAL Tirto Mili

Berdasarkan hasil pengukuran DO yang dilakukan, dapat diketahui bahwa pada pengukuran di bulan Agustus, September dan Desember (tambahan) diperoleh konsentrasi yang berbeda-beda. Konsentrasi DO rata-rata pada air influen IPAL komunal Tirto Mili pada bulan Agustus sebesar 10,3 mg/L, pada bulan September sebesar 10 mg/L dan konsentrasi pada bulan Desember sebesar 2,15 mg/L. Sedangkan pada konsentrasi DO rata-rata pada air efluen IPAL komunal Tirto Mili pada bulan Agustus sebesar 6,3 mg/L, pada bulan September sebesar 6 mg/L dan konsentrasi bulan Desember yakni sebesar 1 mg/L. Berdasarkan nilai rata-rata antara bulan Agustus, September dan Desember konsentrasi DO di outlet, IPAL komunal Tirto Mili yakni sebesar 4,4 mg/l yang telah memenuhi baku mutu Pergub DIY no. 20 tahun 2008 antara 0 - 6 mg/l. Berdasarkan grafik di atas, terdapat penurunan kandungan oksigen terlarut air limbah rata-rata sebesar 51% pada unit pengolahan *anaerobic baffled reactor* dan *anaerobic filter*. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi proses pengolahan anaerobik pada unit pengolahan tersebut.

Hasil pengukuran di atas terdapat perbedaan pada nilai konsentrasi DO. Adapun perbedaan ini terjadi pada hasil pengukuran bulan Agustus dan September dengan bulan Desember. Besarnya error yang ada yakni sebesar 8 – 6 mg/L. Hal ini dapat diakibatkan alat pengukur DO meter yang digunakan

tidak terkalibrasi dengan sempurna ataupun sensitifitas alat yang berbeda. Alat DO meter yang digunakan pada pengukuran bulan Agustus dan September adalah Horiba Water Quality Monitor universal, sedangkan pada pengukuran bulan Desember menggunakan Laqua Act DO-120 yang lebih dikhususkan untuk mengukur kandungan DO air.

4.2.3 *Biological Oxygen Demand (BOD)*

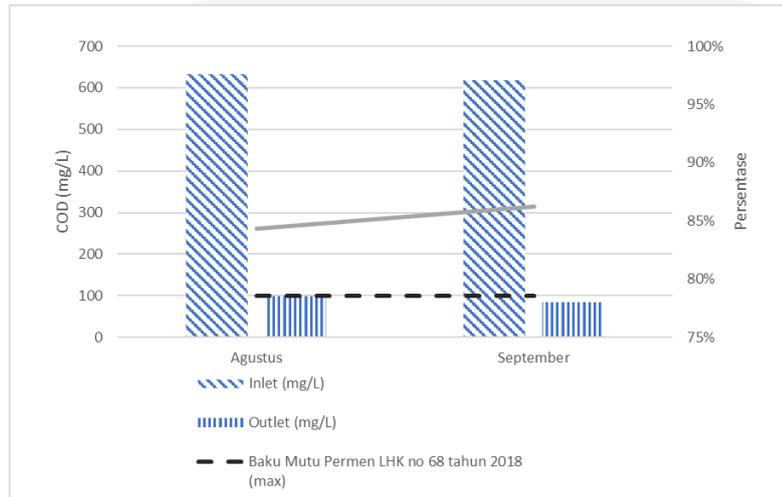


Gambar 4. 7 Monitoring BOD di inlet dan outlet IPAL Tirto Mili

Berdasarkan hasil pengujian BOD yang dilakukan, dapat diketahui bahwa pada pengukuran di bulan Agustus dan September diperoleh konsentrasi yang berbeda-beda. Konsentrasi BOD pada air influen IPAL komunal Tirto Mili pada bulan Agustus rata-rata sebesar 122,5 mg/L dan konsentrasi pada bulan September rata-rata sebesar 92,5 mg/L. Sedangkan pada konsentrasi BOD pada air efluen IPAL komunal Tirto Mili pada bulan Agustus sebesar 42,5 mg/L dan konsentrasi pada bulan September yakni sebesar 22,5 mg/L. Berdasarkan nilai rata-rata antara bulan Agustus dan September konsentrasi BOD di outlet, IPAL komunal Tirto Mili yakni sebesar 32,5 mg/l sudah hampir memenuhi baku mutu Permen LHK no. 68 tahun 2016 sebesar 30 mg/l. Berdasarkan grafik di atas, rata-rata efisiensi penyisihan BOD sebesar 70%.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu pada IPAL komunal Tirto Mili oleh Panji (2021) terkait konsentrasi BOD rata-rata di inlet sebesar 81,01 mg/L dan outlet IPAL komunal Tirto Mili sebesar 66,67 mg/L. Dengan keseluruhan efisiensi removal BOD pada IPAL sebesar 17%.

4.2.4 Chemical Oxygen Demand (COD)



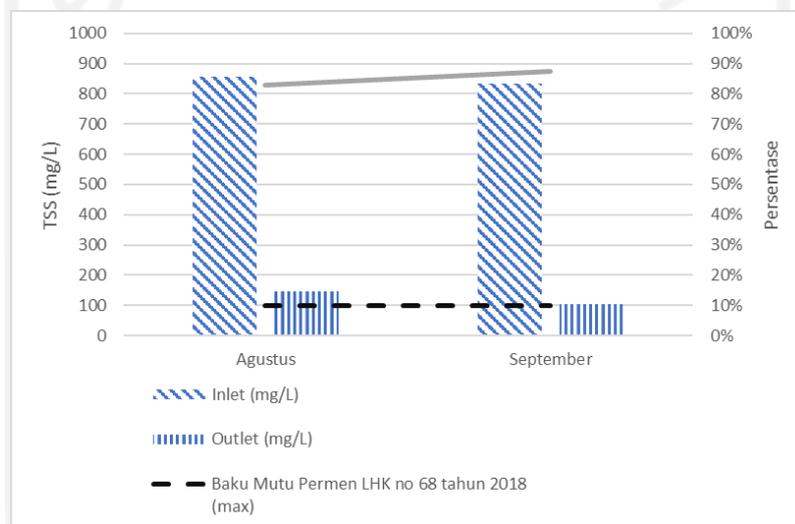
Gambar 4. 8 Monitoring COD di inlet dan outlet IPAL Tirto Mili

Dari hasil pengujian diketahui konsentrasi COD pada air influen di IPAL komunal Tirto Mili pada bulan Agustus yakni sebesar 632,75 mg/l dan pada bulan September yakni sebesar 617,75 mg/l. Sementara konsentrasi COD pada air efluen di IPAL komunal Tirto Mili pada bulan Agustus yakni sebesar 99 mg/l dan pada bulan September yakni sebesar 85,25 mg/l. Berdasarkan nilai rata-rata konsentrasi COD di outlet, IPAL komunal Tirto Mili yakni sebesar 92,12 mg/l yang telah memenuhi baku mutu Permen LHK no. 68 tahun 2016 sebesar 100 mg/l. Berdasarkan grafik di atas, rata-rata efisiensi penyisihan COD sebesar 85%.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu pada IPAL komunal Tirto Mili oleh Panji (2021) terkait konsentrasi COD rata-rata di inlet 248,7 mg/L dan di outlet IPAL komunal Tirto Mili sebesar 83,89 mg/L. Dengan efisiensi removal yakni sebesar 66%.

Hasil observasi secara fisik saat pengambilan sampel pada hampir keseluruhan unit pengolahan IPAL tempat penelitian dilakukan terdapat busa yang menandakan limbah tersebut mengandung detergen akibat proses pencucian, penggunaan sabun cuci piring, bahan pelarut, dan pembersih berbahan dasar surfaktan sintetik. Adanya deterjen dalam air limbah dapat mengganggu keberadaan biomassa yang berakibat pada terhambatnya proses removal BOD dan COD.

4.2.5 Total Suspended Solid (TSS)



Gambar 4. 9 Monitoring TSS di inlet dan outlet IPAL Tirto Mili

Berdasarkan hasil pengujian, dapat diketahui bahwa tiap pengukuran diperoleh konsentrasi yang berbeda-beda. Konsentrasi TSS tertinggi pada air *influent* IPAL komunal Tirto Mili terjadi pada bulan Agustus sebesar 859 mg/L dan konsentrasi terendah terjadi pada bulan September sebesar 832 mg/L. Sedangkan pada konsentrasi TSS tertinggi pada air *effluent* IPAL komunal Tirto Mili terjadi pada bulan Agustus sebesar 149 mg/L dan konsentrasi terendah terjadi pada bulan September yakni sebesar 103,5 mg/L. Berdasarkan nilai rata-rata konsentrasi TSS di outlet, IPAL komunal Tirto Mili yakni sebesar 125,25 mg/l yang hampir memenuhi baku mutu Permen LHK no. 68 tahun 2016 yaitu antara 50 - 400 mg/l.

4.2.6 Total Coliform

Table 4. 1 Monitoring total coliform di inlet dan outlet IPAL Tirto Mili

Sample	10 ⁻¹ (tabung)	10 ⁻² (tabung)	10 ⁻³ (tabung)	Hasil Uji (APM/100ml)
Inlet Agustus	5	5	5	>4600
Outlet Agustus	5	5	5	>4600
Inlet September	5	5	5	>4600
Outlet September	5	5	5	>4600
Inlet Desember	5	5	5	>4600
Outlet Desember	5	5	5	>4600

Pada uji *confirmed test* yang dilakukan dengan menggunakan 3 seri dengan 5 buah tabung pada sample inlet IPAL, outlet ABR, outlet AF dan outlet IPAL. Nilai yang diperoleh dari konsentrasi *total coliform* di inlet sebesar >4600 APM/100mL, outlet ABR sebesar >4600 APM/100mL, outlet AF sebesar >4600 APM/100mL dan konsentrasi pada outlet yakni sebesar >4600 APM/100mL. Baik dari awal hingga akhir tidak terdapat pengurangan pada keseluruhan proses pengolahan IPAL. Jika dibandingkan dengan baku mutu Permen LHK no 4 tahun 2016 dengan konsentrasi maksimum sebesar 3000 APM/100mL, maka konsentrasi air hasil pengolahan IPAL komunal Tirto Mili melebihi standar baku mutu.

Secara keseluruhan konsentrasi polutan BOD, COD dan TSS masih memenuhi baku mutu yang berlaku. Hal ini dapat disebabkan karena kinerja IPAL yang cukup optimal dalam mengurangi polutan kimia. Berdasarkan hasil analisis laboratorium diatas, dapat dilihat perhitungan efisiensi pengolahan air limbah pada tiap unit pengolahan dari IPAL komunal Tirto Mili. Data menunjukkan bahwasannya unit kombinasi unit ABR, unit AF dan unit RBC memiliki efisiensi pengolahan yang cukup baik. Dimana pada keseluruhan proses IPAL mengolah 70% pada pengolahan BOD, 85% pada pengolahan COD, 85% pada pengolahan TSS dan 0% pada pengolahan *total coliform*.

Namun dari keseluruhan proses IPAL belum terdapat pengurangan konsentrasi *total coliform* dan masih melebihi baku mutu yang bisa saja disebabkan beberapa faktor, seperti suhu, pH, asupan nutrisi dan oksigen

dalam air. Hal ini sesuai dengan teori Asmadi (2012) bahwa kelemahan proses pengolahan dengan sistem pengolahan air limbah tanpa proses desinfeksi adalah konsentrasi mikroba air olahan masih tinggi. Hal inilah yg mengakibatkan air limbah keluaran berdasarkan pengolahan sistem ini masih berbau dan berwarna keruh. Dan apabila air dengan kualitas seperti ini langsung dialirkan ke alam maka akan terjadi penurunan kualitas air tanah dan tersebarnya penyakit.

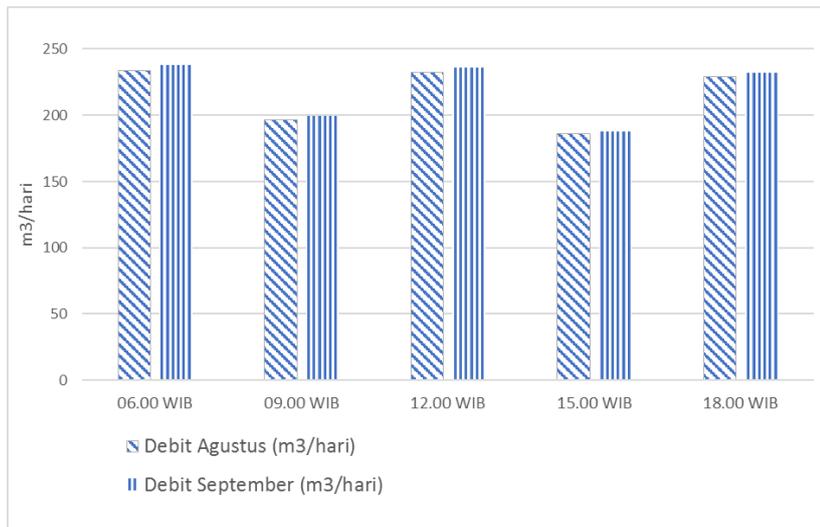
Parameter	Satuan	Inlet	Outlet ABR		Outlet AF		Outlet RBC		Permen LHK No. 68 tahun 2016
		Konsentrasi	Removal ABR	Konsentrasi	Removal AF	Konsentrasi	Removal RBC	Konsentrasi	
pH		6	-	7	-	7	-	7	6 - 9
DO	mg/L	7.5	15%	5.1	27%	5.0	15%	4.4	0 - 6
BOD	mg/L	107.5	40%	65	19%	52.5	38%	32.5	30
COD	mg/L	625.25	8%	575.25	49%	294.00	69%	92.13	100
TSS	mg/L	845.5	27%	616	3%	595.88	79%	125.75	50 - 400
Total Coliform	APM/100 mL	>4600	0%	>4600	0%	>4600	0%	>4600	3000

Table 4. 2 Neraca massa pengolahan IPAL Tirto Mili

4.3 Debit Air Limbah

4.3.1 Debit Harian Aktual

Debit air limbah dihitung berdasarkan jumlah air minum yang dikonsumsi masyarakat untuk setiap harinya. Debit air limbah rata-rata adalah 80% dari total air yang dikonsumsi. Air limbah domestik dibagi menjadi dua jenis, yaitu air limbah kakus dan air limbah non kakus. Saat mengevaluasi unit instalasi pengolahan air limbah, digunakan debit air limbah harian maksimum. Debit air harian maksimum diperoleh dengan mengalikan koefisien harian maksimum dengan rata-rata debit air limbah. Debit eksisting untuk air limbah dapat dilihat pada data dibawah:



Gambar 4. 10 Grafik pengukuran debit harian aktual IPAL Tirto Mili

Contoh pengukuran debit aktual (Inlet 1):

- a. Diketahui Volume ember = 2 L
 Waktu pengisian = 0,71 s
- b. Debit harian maksimum
- $$Q = \frac{(2L / 0,74 \text{ detik}) \times 86400 \text{ detik}}{1000 \text{ m}^3}$$
- $$= 233,51 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Dari hasil pengamatan dan pengukuran, debit aktual harian maksimum inflow IPAL komunal Tirto Mili sejumlah 238,17 m³/hari yang masih di bawah kemampuan maksimum pengolahan IPAL. Data menunjukkan fluktuasi setiap beberapa jam, yakni pada jam 06.00 pagi, jam 12.00 siang dan jam 18.00 petang. Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa terjadi debit puncak harian inflow antara bulan Agustus sebesar 233,68 m³/hari dan September 238,17 m³/hari.

Dari data dapat dilihat bahwa rata-rata pengukuran pada bulan September lebih besar. Hal ini terjadi diakibatkan karena pengukuran pada bulan September telah memasuki musim penghujan, sedangkan pada bulan

Agustus 2022 belum. Yang dimana pada musim penghujan terdapat sejumlah limpasan yang masuk ke saluran pembuangan yang mengarah ke IPAL.

4.3.2 Estimasi Debit Puncak Perencanaan

Kapasitas perancangan IPAL komunal Tirto Mili adalah untuk mengolah air limbah rumah tangga dari 400 KK atau sambungan rumah, dengan asumsi 4 orang per KK. IPAL komunal Tirto Mili melayani 6 dusun pada RW 35 dan RW 36 dengan jumlah total kini 384 KK. Pada perancangannya sendiri IPAL komunal Tirto Mili dirancang dengan beban pengolahan maksimal 400 KK. Adapun rancangan estimasi debit pengolahan IPAL komunal Tirto Mili sebagai berikut.

Table 4. 3 Asumsi perencanaan debit harian maksimum IPAL Tirto Mili

		Formula	Debit (Q)
Jumlah KK	KK/SR	-	400
Kebutuhan air (l/org/hari)	m ³ /org/hari	-	0.15
Debit limbah domestik	m ³ /hari	=(KK x 4orang/KK) x kebutuhan air)*80%	192.0
Debit limbah non domestik	m ³ /hari	=20% x Q domestik	38.4
Debit rata-rata	m ³ /hari	=(Q domestik + Q non-domestik)/2	115.2
Debit infiltrasi	m ³ /hari	=10% x Debit rata-rata	11.5
Faktor puncak	m ³ /hari	=5 / (Q rerata ^{0,107})	3.01
Debit puncak (Q)	m ³ /hari	=Q rerata * faktor puncak	346.6

Debit perencanaan IPAL dengan teknologi ABR dan RBC ini yakni sebesar 346,6 m³/hari. Beban debit di atas terlihat cukup besar. Namun mengingat besarnya pertumbuhan masyarakat dan konsumsi air untuk kebutuhan domestik debit tersebut sangat cukup dalam pengolahan IPAL komunal Tirto Mili.

4.4 Evaluasi Desain

IPAL yang dievaluasi adalah IPAL komunal Tirto Mili di Dusun Jongkang. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan dimensi dan komponen pada unit IPAL dengan kriteria desain yang ada. Pada evaluasi ini dilakukan dengan mengukur dimensi eksisting dari setiap unit pengolahan menggunakan meteran dan pengamatan pada komponen yang digunakan pada unit pengolahan. Pada evaluasi desain ini juga dilakukan perhitungan terkait perbandingan operasional pengolahan dengan kriteria desain perencanaan.

Adapun perhitungan evaluasi dilakukan pada besaran waktu detensi, *overflow rate*, *solid loading*, *hydraulic loading rate* dan *organic loading rate* yang kemudian dibandingkan dengan kriteria desain masing-masing unit. Dari besaran beban pengolahan tiap unit dapat diketahui dimensi rancangan awal unit pengolahan sesuai dengan kriteria desain yang ada. Berikut ini adalah evaluasi kriteria desain instalasi pengolahan air limbah komunal Tirto Mili.

a. Unit Ekualisasi

Table 4. 4 Dimensi aktual unit ekualisasi

No	Bagian	Besaran	Kondisi Eksisting	Kriteria Desain
1	Panjang	m	5	5 - 25
2	Lebar	m	2	1,5 - 15
3	Kedalaman	m	2	1 - 3
4	Kedalaman terukur	m	1.5	
5	Waktu Detensi	jam	2.0	1 - 2
6	Volume teoritis	m ³	20	

Pada pengukuran dimensi unit bak ekualisasi diperoleh dimensi dengan (panjang: lebar: kedalaman) sebesar 5:2:2 meter dan kedalaman terukur 1,5 meter. Pada unit bak ekualisasi ini diperoleh desain pengolahan dengan waktu detensi sebesar 2 jam sesuai dengan kriteria desain Permen PUPR no 4 tahun 2017 yakni maksimum 2 jam (td).



Gambar 4. 10 Air di unit ekualisasi

b. Unit ABR

Table 4. 5 Dimensi aktual unit anaerobic baffled reactor

No	Bagian	Besaran	Kondisi Eksisting	Kriteria Desain
1	Panjang Keseluruhan ABR	m	10.5	10 - 100
2	Jumlah Kompartemen ABR	unit	8	
3	Jumlah settlement chamber	unit	2	
4	Kedalaman settlement	m	3	
5	Kedalaman settlement terukur	m	2.6 - 2.8	
6	Lebar tiap settlement	m	1.5 - 3	
7	Jumlah baffled chamber	unit	6	Min. 6
8	Kedalaman baffled	m	3	
9	Lebar tiap baffled	m	1	
10	Kedalaman baffled terukur	m	2.8	
11	Waktu Detensi	jam	15.9	6 - 20
12	Volume teoritis	m ³	157.5	

Pada pengukuran dimensi unit *anaerobic baffled reactor* (ABR) diperoleh dimensi keseluruhan dengan (panjang: lebar: kedalaman) sebesar 10,5:5:3 meter. Terdapat 8 buah kompartemen pada unit ABR ini, yaitu 2 sebagai unit *settlement* dan 6 buah *baffled* berukuran kecil. Diketahui dimensi pada unit *settlement* pertama yakni dengan (panjang: lebar: kedalaman) sebesar 5:3:3 meter dan kedalaman terukur 2,6 meter, sedangkan pada unit *settlement* kedua berukuran lebih kecil dengan (panjang: lebar: kedalaman) sebesar 5:1,5:3 meter dan kedalaman terukur 2,8 meter. Lalu untuk dimensi unit *baffled* yakni dengan (panjang: lebar: kedalaman) sebesar 5:1:3 dengan kedalaman terukur sebesar 2,8 meter. Pada unit ABR ini diperoleh desain pengolahan dengan waktu detensi sebesar 14,8 jam dan *organic loading rate* sebesar 0,2 kgCOD/m³.hari. Lalu untuk persentase penyisihan BOD yakni sebesar 40%. Adapun Permen PUPR no 4 tahun 2017 yaitu waktu detensi antara 6 – 20 jam, *organic loading rate* antara 0,1 – 8 kgCOD/m³.hari dan persentase penyisihan BOD antara 70 – 95%.



Gambar 4. 12 Air di unit settlement anaerobic baffled reactor



Gambar 4. 13 Air di unit baffle anaerobic baffled reactor

الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

c. Unit AF

Table 4. 6 Dimensi aktual unit anaerobic filter

No	Bagian	Besaran	Kondisi Eksisting	Kriteria Desain
1	Panjang Keseluruhan AF	m	7.2	
2	Jumlah Kompartemen AF	unit	4	
3	Lebar Kompartemen AF	unit	1.8	
4	Kedalaman kompartemen	m	3	
5	Kedalaman kompartemen terukur	m	1.7	
6	Kedalaman media filter	m	1	0,9 - 1,5
7	Minimal media tercelup	m	0.7	>0,2
8	Ukuran media (batuan)	cm	5	
9	Waktu Detensi	jam	10.9	>0.2 hari
10	Volume teoritis	m ³	108	

Pada pengukuran dimensi unit *anaerobic filter* (AF) diperoleh dimensi dengan (panjang: lebar: kedalaman) sebesar 7,2:5:3 meter dan kedalaman terukur yakni 1,7 meter. Unit AF ini terdapat 4 buah kompartemen berisi batuan berukuran ± 5 cm dan tatakan (*platform*) dengan ketinggian dari dasar yaitu 1 meter dengan lebar masing-masing kompartemen yaitu 1,8 meter. Pada unit ABR diperoleh desain pengolahan dengan waktu detensi sebesar 11,7 jam *surface loading* sebesar 6,2 m/hari dan *organic loading rate* sebesar 0,39 kgCOD/m³. Lalu untuk persentase penyisihan BOD yakni sebesar 19% dan penyisihan TSS sebesar 3%. Adapun Permen PUPR no 4 tahun 2017 yaitu waktu detensi antara 0,5 – 4 hari, *surface loading* minimum sebesar 2,8 m/hari, *organic loading rate* antara 0,2 – 15 kgCOD/m³.hari dan persentase penurunan BOD antara 70 – 90% serta TSS 50 – 80%.

Pada penyisihan BOD pada unit ABR dan AF, efisiensi pengolahan dipengaruhi oleh senyawa BOD yang ada dalam air limbah yang diolah oleh biomassa anaerobik di bagian dasar unit pengolahan. Pengolahan BOD belum maksimal yang dapat disebabkan oleh beberapa hal, seperti biomassa anaerob (lumpur) dalam unit pengolahan yang belum terdevelop dengan baik ataupun tingginya kandungan deterjen pada air limbah. Yang dimana kita ketahui bahwa deterjen mengandung fosfat yang dapat menurunkan kadar DO yang menghambat degradasi polutan air limbah.



Gambar 4. 14 Air di unit anaerobic filter

d. Unit RBC

Table 4. 7 Dimensi aktual unit rotating biological contactor

No	Faktor Desain	Besaran	Kondisi Eksisting	Kriteria Desain
1	Panjang Bak	m	5	
2	Lebar Bak	m	4	
3	Diameter Piringan	m	1	1 - 3,6
4	Panjang Shaft	m	4	0
5	Kedalaman Bak	m	0.5	
6	Jumlah Bak	unit	1	
7	Tahapan	stage	2	Min. 2
8	Volume teoritis	m ³	10	

Table 4. 8 Komponen unit rotating biological contactor

No	Faktor Desain	Besaran	Kondisi Eksisting
1	Panjang Bak	m	5
2	Lebar Bak	m	4

3	Kedalaman Bak	m	0.5
4	Jumlah Bak		1
5	Diameter Disk	m	1
6	Ketebalan Disk	cm	1
7	Kedalaman Media Tercelup	%	40
8	Kerapatan Media	cm	1
9	Bentuk Media		Corrugated
10	Warna Media		Brown
11	Ketebalan Biomassa	mm	3
12	Panjang Shaft	m	4
13	Diameter Shaft	cm	45
14	Jenis Shaft		Square
15	Sistem Penggerak		Chain
16	Penyimpanan		Roof, Cover
17	Arah Putar		Berlawanan
18	Kecepatan Putaraan	rpm	7.5
19	Arah Aliran		Parallel thd shaft
20	Jumlah Train	train	1
21	Tahapan	stages	2

Pada unit reaktor RBC memiliki dimensi bak reaktor dengan (panjang: lebar: kedalaman) sebesar 5:4:0,5 meter. Reaktor RBC ini menggunakan 2 tahapan dengan media berwarna coklat bergelombang (*brown-corrugated*) berdiameter disk 1 meter, berketebalan 1,5 cm, yang terendam sejumlah 40% dari diameter disk dan memiliki kerapatan 1 cm. Reaktor ini menggunakan atap semi-terbuka dengan penggerak rantai berkecepatan putaran 7,5 rpm. Shaft yang digunakan berbentuk persegi (*square*) dengan panjang 4 meter dan ketebalan 45 cm. Adapun ketebalan biomassa yang terbentuk pada media yakni sebesar 3 mm.

Pada unit reaktor RBC diperoleh desain dengan waktu detensi sebesar 3,2 jam. Dengan pengolahan *organic loading rate* sebesar 6,47 grBOD/m².hari dan *hydraulic loading rate* sebesar 11,91 L/m².hari. Adapun Permen PUPR no 4 tahun 2017 yaitu waktu detensi antara 2 – 4 jam, *organic loading rate* antara 10 – 15 grBOD/m².hari dan *hydraulic loading rate* antara 50 – 100 L/m².hari.

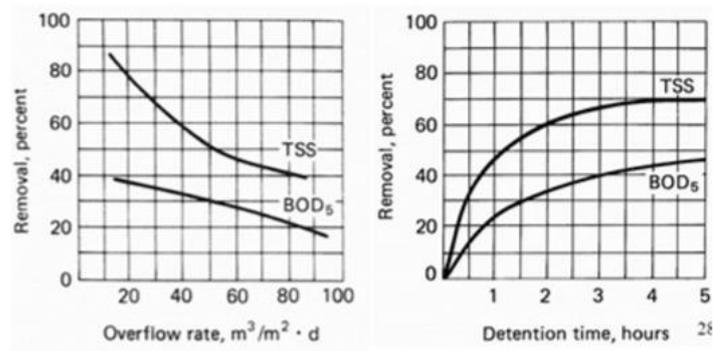
Dari keseluruhan dimensi IPAL Tirto Mili telah memenuhi kriteria desain yang ada. Adapun beberapa unit yang digunakan dalam IPAL ini yakni unit ABR, unit AF dan reaktor RBC sebagian telah memenuhi kriteria desain

PUPR (2016). Dengan dimensi panjang: lebar: kedalaman masing-masing yaitu, unit ABR 10,5: 5: 3 meter, unit AF 7,2: 5: 2 meter dan reaktor RBC 5: 4: 0,5 meter.

Dari hasil evaluasi desain keseluruhan unit pengolahan pada IPAL komunal Tirto Mili diketahui telah memenuhi kriteria desain beban pengolahan. Berdasarkan perhitungan waktu tinggal pada sistem pengolahan air limbah dengan teknologi ABR, AF dan RBC, waktu tinggal adalah 2 jam untuk bak ekualisasi, 15,9 jam untuk unit ABR, 10,9 jam untuk unit AF dan 3,2 jam untuk unit reaktor RBC. Kriteria desain waktu detensi total untuk IPAL rotating biological contractor adalah 24 – 48 jam. Waktu tinggal ini sesuai dengan penelitian Susanthi (2018) bahwa semakin lama waktu tinggal maka akan semakin efektif penghilangan TSS dan BOD. Sebaliknya jika waktu tinggalnya pendek maka pengolahannya menjadi tidak optimal.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian Pratiwi (2019) pada IPAL Sukunan, Yogyakarta dengan teknologi RBC yang melayani 125 KK dengan total dimensi IPAL 30% dari total keseluruhan IPAL komunal Tirto Mili. IPAL Sukunan dapat mengolah konsentrasi TSS dari 41 mg/L menjadi 14 mg/L dengan efisiensi sebesar 65,86% dan mengolah konsentrasi BOD dari 7.268 mg/L menjadi 1.155 mg/L dengan efisiensi sebesar 84,1%.

Yang pada penelitian ini terbukti dari hasil uji laboratorium bahwa penurunan kadar polutan rata-rata COD sebesar 85% dari 625,25 mg/L menjadi 92,13 mg/L, BOD sebesar 70% dari 107,5 mg/L menjadi 32,5 mg/L, dan TSS sebesar 85% dari 845,5 mg/L menjadi 125,75 mg/L dari keseluruhan pengolahan IPAL. Sesuai dengan efisiensi penyisihan BOD berkisar antara 70 - 95%, COD antara 65 - 90% dan TSS 50 – 70% (Sasse L., 1998). Dimana hubungan antara kecepatan sedimentasi dan *overflow rate*. Jika kecepatan sedimentasi (v_s) memiliki nilai yang sama dengan *overflow rate* (v_o), maka 100% partikel akan mengendap ke dasar. Namun, jika kecepatan sedimentasi lebih kecil dari *overflow rate*, partikel akan lolos, tidak mengendap, kecuali jika posisi partikel ini $1/2$ dari kedalaman kolam pengendapan di inlet, maka 50% akan mengendap. Dibawah merupakan grafik hubungan BOD dan TSS terhadap waktu detensi dan *overflow rate*.



Gambar 4. 15 Hubungan efisiensi BOD dan TSS terhadap overflow rate dan waktu detensi (Buku SPALD-T)

4.5 Usulan Peningkatan Kinerja IPAL

IPAL komunal Tirto Mili secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan kriteria desain dan juga baku mutu. Namun parameter *total coliform* belum menunjukkan efisiensi pengolahan dan pengurangan yang signifikan. Hal ini bisa terjadi disebabkan oleh tingginya bahan organik yang masuk ke sistem instalasi pengolahan, namun tidak diimbangi dengan proses pengolahan air limbah yang proper (Susanthi, 2018). Hal ini sesuai dengan kondisi instalasi pengolahan air limbah sistem RBC saat ini, yakni sistem pengolahan belum terjadi secara optimal karena belum terdapat sistem desinfeksi didalamnya.

Usulan peningkatan kinerja IPAL komunal Tirto Mili dilakukan dengan dilakukannya penambahan proses desinfeksi dengan tangki klorinasi. Hal tersebut untuk mengurangi polutan *total coliform* pada air limbah olahan IPAL komunal Tirto Mili yang belum memenuhi baku mutu pengolahan air limbah yang ditetapkan oleh Permen LHK no 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Air limbah yang masih memiliki kandungan polutan yang cukup besar apabila langsung dialirkan ke badan air secara langsung dapat menimbulkan penyebaran penyakit dan penurunan kualitas air tanah. Berikut adalah rancangan ulang IPAL berdasarkan hasil evaluasi di IPAL komunal Tirto Mili.

Pada tahap *tertiary treatment* akan ditambahkan satu unit pengolahan,

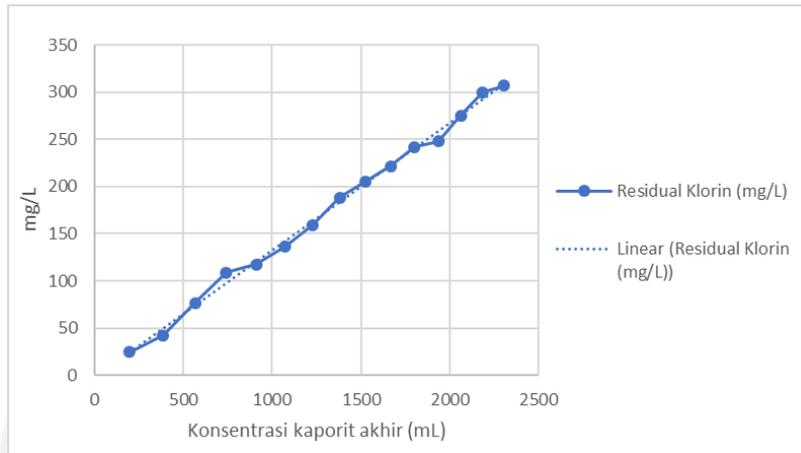
yakni unit desinfeksi. Desinfeksi dilakukan dengan menggunakan kaporit atau klorin ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) sebagai disinfektan. Klorin yang akan digunakan dalam bentuk bubuk, sehingga perlu adanya penambahan bak pelarut klorin ke dalam air sebelum kemudian larutan klorin dilarutkan ke dalam air yang diolah. Penambahan klorin dilakukan dengan mengalirkan air melalui tangki yang memiliki baffle sehingga air dengan larutan klorin dapat homogen.

4.5.1 Breakpoint Chlorination (BPC)

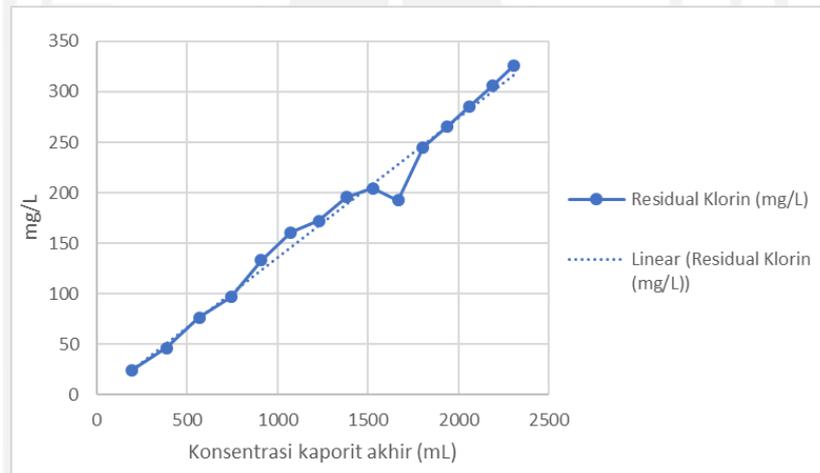
Penentuan kandungan klorin penting dalam perencanaan sistem desinfeksi. Penambahan dosis didasarkan pada kandungan bahan organik dalam sampel limbah cair menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kandungan bahan organik maka semakin besar dosis klorin yang diberikan. Untuk itu penentuan dosis klorin optimum pada *breakpoint chlorination* (BPC) dan waktu kontak optimum selama klorinasi air limbah pemukiman adalah untuk mencegah sisa klorin saat penambahan klorin. Dengan cara ini, senyawa patogen beracun dan mutagenik dapat dikendalikan. Tujuan lainnya adalah menentukan waktu paparan optimal selama klorinasi, yakni 15 dan 40 menit untuk menurunkan nilai coliform pada air limbah perumahan.

Uji BPC dilakukan dengan tabung Erlenmeyer yang ditambahkan 25 ml sampel air limbah dan sejumlah larutan kaporit dengan konsentrasi 5 gr/L, lalu ditutup dengan penutup dan didiamkan beberapa saat di tempat gelap. Selanjutnya ditambahkan 2,5 ml larutan asam asetat glasial, 1 sendok teh kristal KI dan 3 tetes larutan kanji ditambahkan secara berurutan. Kemudian titrasi dengan larutan natrium tiosulfat sampai warna kuning hilang dan catat volume titran yang diperlukan.

Pengujian dilakukan sebanyak 15 sampel dengan waktu kontak antara 15 menit, 30 menit hingga 45 menit dengan penambahan larutan klorin yang bervariasi dengan konsentrasi klorin 5 gram/L, sehingga diperoleh data sebagai berikut

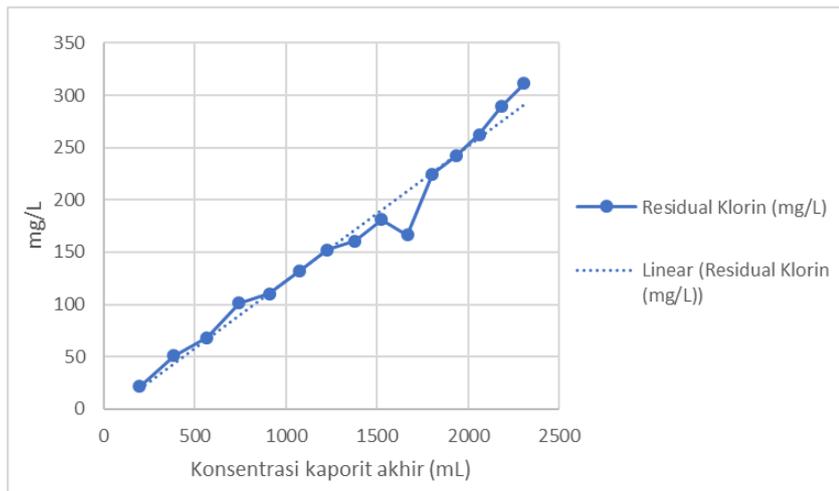


Gambar 4. 16 Data BPC waktu kontak 15 menit



Gambar 4. 17 Data BPC waktu kontak 30 menit





Gambar 4. 18 Data BPC waktu kontak 45 menit

Perbedaan antara waktu kontak sampel dan jumlah klorin yang ditambahkan digunakan sebagai pembanding untuk mendapatkan titik BPC. Dengan dosis larutan klorin yang digunakan adalah 5 gr/L, hasilnya sesuai dengan tabel dan grafik diatas. Perbedaan waktu kontak menunjukkan bahwa waktu kontak merupakan faktor penting dalam reaksi larutan klorin. Pada waktu kontak 15 menit tidak diperoleh titik BPC pada hasil titrasi. Pada waktu kontak 30 menit diperoleh titik BPC pada penambahan 5 mL klorin dengan volume titrasi 13,3 mL natrium tiosulfat. Pada waktu kontak 45 menit, titik BPC diperoleh pada penambahan 5 ml klorin dengan volume titrasi 11,5 ml. Jumlah residu klorin pada waktu paparan 30 menit sebesar 192,76 mg/L dan pada paparan 45 menit residu klorin sebesar 166,67 mg/L. Dari data yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak maka nilai residu klorin akan semakin rendah. Dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu paparan yang diberikan maka semakin baik kemampuan klorin dalam mendegradasi mikroorganismenya pada dosis yang sesuai.

4.5.2 Efektivitas Klorin

Metode *most probable number* (MPN) digunakan untuk menentukan

jumlah coliform dalam uji kualitas air. Dalam metode MPN, media cair digunakan dalam tabung reaksi yang perhitungannya dilakukan berdasarkan jumlah tabung positif yang ditumbuhi oleh mikroorganisme setelah inkubasi pada suhu dan waktu tertentu. Tabung positif akan membentuk mikroorganisme dan menghasilkan timbulan gas. Untuk setiap uji MPN umumnya digunakan 3 seri, dengan 5 rangkaian tabung. Analisis data menggunakan tingkat kepercayaan 95%.

Table 4. 9 Hasil uji efektivitas klorin

Sample	10 ⁻¹ (tabung)	10 ⁻² (tabung)	10 ⁻³ (tabung)	Hasil Uji (APM/100ml)
Inlet	5	5	5	>4600
Outlet ABR	5	5	5	>4600
Outlet AF	5	5	5	>4600
Outlet	5	5	5	>4600
Outlet + kaporit 15 menit	0	0	0	6.8
Outlet + kaporit 30 menit	0	0	0	6.8
Outlet + kaporit 45 menit	0	0	0	6.8

Berdasarkan gambar tabel 4.8, nilai perolehan MPN uji total coliform dalam air limbah sebelum penambahan klorin pada inlet pengolahan air limbah adalah 4600 MPN/100mL, pada outlet ABR adalah 4600 MPN/100mL dan outlet air limbah adalah 4600 MPN/100mL. Sedangkan setelah penambahan klorin dan waktu kontak pada 30 menit adalah 6,8 MPN/100 mL dan pada 45 menit adalah 6,8 MPN/100 mL. Diperoleh penurunan keseluruhan antara air limbah sebelum ditambahkan klorin dan setelah penambahan klorin yaitu sebesar 99,85%. Berdasarkan uji efisiensi klorin dapat menurunkan nilai total coliform secara signifikan. Penurunan ini terkait dengan kemampuan klorin sebagai disinfektan yang dapat membunuh bakteri. Nilai coliform 6,8 MPN/100ml dianggap memenuhi standar sanitasi air limbah.

Hasil pengujian bakteri total coliform pada air limbah IPAL komunal Tirta Mili mengalami penurunan setelah diberi perlakuan dengan dosis kaporit. Dan pada hasil pengujian dengan metode MPN (*Most Probable Number*) didapatkan hasil <1.8 APM/100mL (6.8 APM/100mL) yaitu negatif yang

artinya bakteri total coliform pada air limbah IPAL komunal Tirto Mili habis atau mati setelah penambahan klorin.

Hal ini sesuai dengan penelitian Busyairi (2015) bahwasanya penambahan klorin pada air limbah dapat menurunkan hingga 98,83% total coliform dan menurut Khamimatus (2015) efektifitas klorin sebesar 99,53%. Kinerja klorin dalam membunuh mikroorganisme adalah melalui penghambatan aktivitas pernapasan, yang dapat menyebabkan kematian sel mikroba. Namun, diketahui bahwa penggunaan kaporit yang berlebihan juga dapat berbahaya bagi tubuh manusia.

4.5.3 Desain Bak Klorinasi

Berikut merupakan perhitungan perancangan unit bak klorinasi

a. Kriteria Desain

1. pH = 6- 7
2. Aliran merata
3. Dosis desinfeksi = 2 - 8 gr/L
4. Waktu kontak = 15 – 45 menit
5. Kadar klor kaporit = 70%
6. Konsentrasi diinginkan = 5%
7. Berat jenis kaporit (ρ) = 0,86 kg/L
8. Densitas klor = 1,72 gr/L
9. Koef pipa besi = 150 (*hazen william*)
10. Debit pompa = 12 L/jam = 0,01m³/s

b. Perhitungan Pompa

1. Influent

$$Q = 346,6 \text{ m}^3/\text{hari (debit perencanaan IPAL)}$$
$$= 14,4 \text{ m}^3/\text{jam}$$

- Dosis = 5 gr/L

- Kebutuhan = debit x dosis klor

$$= 346,6 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,05 \text{ kg/m}^3 = 1,733 \text{ kg/hari}$$

2. Kebutuhan kaporit

- Kebutuhan klor $= \frac{\text{berat klor}}{\text{kadar klor}}$
 $= \frac{1,73 \text{ kg/hari}}{0,7} = 2,475 \text{ kg/hari}$
- Kebutuhan klor/jam $= \frac{\text{klor per hari}}{24 \text{ jam}}$
 $= \frac{2,47 \text{ kg/hari}}{24 \text{ jam}} = 0,103 \text{ kg/jam}$

3. Periode pergantian tabung klor 10 kg

$$W_{\text{klor}} = \frac{\text{berat tabung}}{\text{kebutuhan klor}}$$

$$= \frac{10 \text{ kg}}{2,47 \text{ kg/hari}}$$

$$= 4 \text{ hari} = 96 \text{ jam}$$

4. Debit pembubuhan dengan *dosing pump*

- $Q_{\text{klor}} = \frac{\text{kebutuhan klor}}{\text{densitas klor}} \times \frac{10^3 \text{ gram}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ hari}}{1440 \text{ jam}}$
 $= \frac{1,73 \text{ kg/hari}}{1,72 \text{ gr/L}} \times \frac{10^3 \text{ gram}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ hari}}{1440 \text{ jam}}$
 $= 6 \text{ liter/jam}$
- Stroke $= \frac{Q_{\text{klor}}}{\text{debit pompa}}$
 $= \frac{6 \text{ liter/jam}}{12 \text{ liter/jam}} \times 100\% = 50\%$

5. Laju alir dalam pipa Ø50 mm

$$V_{\text{pipa}} = \frac{4 \times Q_{\text{klor}}}{\pi \times D^2}$$

$$= \frac{4 \times 6 \text{ liter/jam}}{\pi \times (0,025 \text{ m})^2} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ detik}}$$

$$= 0,005 \text{ m/s}$$

6. Headloss pipa pembubuh ($c = 150$)

$$\Delta h_{\text{mayor}} = \left(\frac{151 \times Q}{C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times \left(\frac{L}{1000} \right)$$

$$= \left(\frac{151 \times 0,01 \text{ m}^3/\text{s}}{150 \times (0,025)^{2,63}} \right)^{1,85} \times \left(\frac{1}{1000} \right)$$

$$= 0,981 \text{ meter}$$

7. Headloss minor pipa pembubuh

- $K_{total} = [(4 \times \text{bend } 90^\circ) + (\text{gate valve}) + (\text{check valve})]$
 $= [(4 \times 0,34 + (98) + (2,5))]$
 $= 101,86$

- $\Delta h_{minor} = k_{total} \left(\frac{v_{pipa}^2}{2 \times g} \right)$
 $= 101,86 \left(\frac{0,005^2}{2 \times 9,81} \right)$
 $= 0,000129 \text{ meter (sangat kecil dapat diabaikan)}$

8. Besar head pompa dengan beda elevasi 2,5 meter

$$H_{pump} = \Delta E_l + \Delta h_{mayor} + \Delta h_{minor}$$

$$= 2,5 \text{ m} + 0,981 \text{ m} + 0,000129 \text{ m}$$

$$= 3,4811 \text{ m}$$

9. Besar head pompa jika gas klor cair mempunyai tekanan minimum 6 bar

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, jenis blower yang direkomendasikan untuk IPAL ini adalah

- Spesifikasi merk pompa = Grundfos DME 12-6A
- Kapasitas pompa = 12 L/jam
- Kemampuan tekanan = 6 bar
- Kebutuhan listrik = 18 W / 50 Hz

c. Perhitungan Desain Bak Desinfeksi

- Kapasitas pengolahan (Q) = 346,6 m³/hari (Q_{max} IPAL)
 $= 1,3 \text{ m}^3/\text{menit (asumsi)}$
- Debit klor, Q_{klor} = 6 L/menit
 $= 0,006 \text{ m}^3/\text{menit}$
- Waktu detensi, t_d = 15 - 45 menit
- Tinggi bak, h = 2 m
- Freeboard, fb = 0,3 m

1. Volume bak (V)

$$V = Q / t_d$$

$$= 1,3 \text{ m}^3/\text{menit} \times 30 \text{ menit}$$

$$= 39 \text{ m}^3$$

2. Luas area (A)

$$A = V / h$$

$$= \frac{39 \text{ m}^3}{2,5}$$

$$= 15,6 \text{ m}^2$$

3. Panjang dan lebar

Direncanakan bak berbentuk persegi panjang dengan rasio panjang dan lebar sebagai berikut :

4. Sisi bak

- Panjang = 6 m
- Lebar = 2,67 m \approx 3 m

Diperoleh panjang 6 m dan lebar 3 m dengan tinggi 2,5 m. Dari hasil perhitungan, maka dapat diketahui volume efektif (Vef) dan luas efektif (Aef) sebagai berikut :

- Aef = sisi x sisi
- = 6 m x 3 m
- = 18 m²
- Vef = Aef x h
- = 18 m² x 2,5 m
- = 45 m³

5. HRT cek

$$\text{HRTcek} = \frac{V_{ef}}{Q}$$

$$= \frac{45 \text{ m}^3}{(1,3+0,006)\text{m}^3/\text{menit}}$$

$$= 34,45 \text{ menit (kriteria desain 15 – 45 menit)}$$

6. Ketinggian total (htotatl)

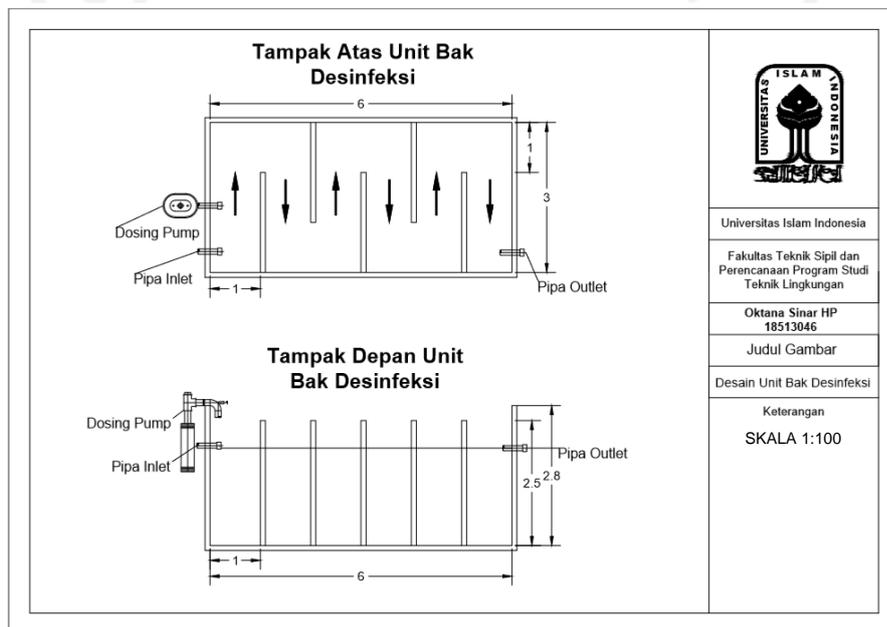
$$H_{total} = h + f_b$$

$$= 2,5 \text{ m} + 0,3 \text{ m}$$

$$= 2,8 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, diperoleh dimensi perencanaan unit bak desinfeksi berbahan stainless yang direncanakan sebagai berikut :

- Panjang bak = 6 m
- Lebar bak = 3 m
- Tinggi bak = 2,5 m
- Tinggi total = 2,8 m
- Luas area akhir = 18 m²



Gambar 4. 19 Desain perencanaan unit bak desinfeksi



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

1. Kualitas air limbah *outflow* IPAL komunal Tirto Mili setelah di uji laboratorium dan dirata-ratakan hasilnya pada konsentrasi pH sebesar 7, DO sebesar 4,4 mg/L, TSS sebesar 125,75 mg/L, BOD sebesar 32,5 mg/L, COD sebesar 92,13 mg/L dan *total coliform* sebesar >3000 APM/100mL. Hasil lab tersebut dibandingkan dengan Permen LHK No. 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dengan konsentrasi pH antara 6 - 9, TSS antara 50 - 400 mg/L, BOD maksimum sebesar 30 mg/L, COD antara 10 - 100 mg/L dan *total coliform* maksimum sebesar 3000 APM/100mL. Dari hasil evaluasi yang belum memenuhi baku mutu yakni konsentrasi *total coliform*.
2. IPAL komunal Tirto Mili menggunakan kombinasi teknologi pengolahan *anaerobic baffled reactor* (ABR), *anaerobic filter* (AF) dan *rotating biological contactor* (RBC). Adapun beberapa unit yang digunakan dalam IPAL ini yakni bak ekualisasi, unit ABR, unit AF dan reaktor RBC telah memenuhi kriteria desain baik dimensi unit dan juga beban pengolahan oleh PUPR (2016), Syed R Qasim (2018) dan juga Metcalf & Eddy (2014). Dengan dimensi panjang: lebar: kedalaman masing-masing yaitu, bak ekualisasi 5: 2: 2 meter, unit ABR 10,5: 5: 3 meter, unit AF 7,2: 5: 3 meter dan unit reaktor RBC 5: 4: 0,5 meter.
3. Hasil evaluasi menunjukkan pengolahan parameter *total coliform* yang pengolahannya belum optimal dan masih melebihi NAB yang ada. Oleh karenanya dalam peningkatan kinerja IPAL Komunal Tirto Mili dilakukan rancangan berupa penambahan unit desinfeksi yang berfungsi dalam menurunkan parameter pencemar *Total Coliform*. Adapun dimensi perencanaan unit desinfeksi ini yaitu bak klorinasi dengan panjang: lebar: kedalaman masing-masing 6: 3: 2,8 meter.

5.2 Saran

1. Pentingnya sosialisasi untuk memahami pentingnya fasilitas sanitasi terpadu seperti Instalasi Pengolahan Air Limbah dan cara pemeliharannya bagi masyarakat agar tidak menimbulkan masalah di kemudian hari.
2. Perlu dilakukan pengamatan terhadap kualitas air limbah secara berkala agar karakteristik air limbah tersebut dapat terpantau untuk pengolahan yang lebih baik lagi.





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Asmadi, & Suharno. 2012. Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Atima, W. 2015. BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Ilimbah. *Jurnal Biology Science & Education*, 4(1), 83-93.
- Batubara, Putri Husada. 2019. Evaluasi Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Hotel Madani Medan. Fakultas Teknik: Universitas Sumatera Utara.
- Boyd, C. E. 1990. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama Agricultural Experiment Station: Auburn University.
- Busyairi, Muhammad, et al. 2015. Efektivitas Kaporit Pada Proses Klorinasi Terhadap Penurunan Bakteri Coliform Dari Limbah Cair Rumah Sakit X Samarinda. *Journal of People and Environment*, vol. 23, no. 2, 11 Jul. 2016, pp. 156-162
- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., Eaton, A.D. 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association. Washington DC.
- Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan Permukiman. 2018. *Pedoman Perencanaan Teknik Terinci Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik Terpusat (SPALD-T) : Perencanaan Sub Sistem Pengolahan Terpusat*.
- Elydis, V. 2018. Air Dan Sanitasi: Dimana Posisi Indonesia? Seminar Nasional Peran Matematika, Sains, Dan Teknologi Dalam Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan/SDGs, FMIPA Universitas Terbuka, 157–179.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi Air dan Udara*. Yogyakarta: Kanisius.
- Ginting, P. 2007. *Sistem Pengelolaan Lingkungan Dan Limbah Industri*. Bandung: Yrama Widya.
- Idaman, Nusa. 2005. Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Reaktor Biologis Putar (Rotating Biological Contactor) dan Parameter Disain. *JAI*. Vol.1, No.2.

- Indaryani, Fitria & Purnomo, Alfian. 2020. Evaluasi dan Desain Ulang Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Rumah Susun Sederhana Sewa Randu Kota Surabaya. *JURNAL TEKNIK ITS* Vol. 9, No. 2.
- Luthfi, Zul Hazmi. 2020. Evaluasi IPAL Komunal di Kabupaten Sleman Provinsi D. I. Yogyakarta Ditinjau dari Teknologi IPAL Komunal. Yogyakarta: UII.
- Kadek, O., Harmayani, D., & Konsukartha, I. G. M. (2007). Pencemaran Air Tanah Akibat Pembuangan Limbah Domestik Di Lingkungan Kumuh Studi Kasus Banjar Ubung Sari, Kelurahan Ubung. *Jurnal Permukiman Tanah*.
- Mankiw, N. Gregory. 2003. *Principles Of Economy*. (Revised by: South-Western Cengage Learning, 2008). San Francisco.
- Manual Book Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Wastewater Treatment. Biofive. 2022.
- Marhadi. 2016. Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri Pabrik Tahu Di Kecamatan Dendang Kabupaten Tanjung Jabung Timur. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi* Vol.16
- McCarty, P.L., 1992. One Hundred Years of Anaerobic Treatment. In: *Anaerobic Digestion*, Hughes, D.E. (Ed.). Vol. 4. Elsevier Biomedical Press, New York, 30-41.
- Metcalf & Eddy, INC. 2014. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse. 5th ed.* (Revised by: G. Tchobanoglous and F.L. Burton). McGraw-Hill, Inc. New York.
- Mubin, F., Binilang, A., & Halim, F. 2016. Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik di Kelurahan Istiqlal Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 4(3), 211–223.
- Nilam Sari, R., Hadi, Z., dkk. 2020. Efektivitas Sistem Pengolahan Air Limbah Pada Ipal Hksn Di Perusahaan Daerah Pengelola Air Limbah Kota Banjarmasin. *Kesehatan Masyarakat*, 1–10.
- Pangestu, M, Panji. 2021. Pengaruh Keberadaan IPAL Komunal Terhadap Area Resiko Sanitasi Tinggi Sektor Air Limbah di Kabupaten Sleman. Yogyakarta: UII.

- Peraturan Gubernur DIY No 20 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Yogyakarta.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Jakarta.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2017. Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik.
- Purwatiningrum, O. 2018. Gambaran Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Komunal di Kelurahan Simokerto, Kecamatan Simokerto, Kota Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 243-253.
- Pratiwi, Indah Nur. 2019. Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Komunal di Dusun Sukunan, Banyuraden. Jurusan Kesehatan Lingkungan: Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Yogyakarta.
- Qasim, Syed. 2018. *Wastewater Treatment and Reuse : Theory and Design Examples*. New York : CRC Press.
- Rohmah, Khamimatus S. 2015. Keefektifan Penambahan Kaporit {Ca(OCl)₂} dalam Mengurangi Bakteri Coliform pada Limbah Cair Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Surakarta. Fakultas Ilmu Kesehatan: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Safriani, M., Cut, D., & Silvia, S. 2017. Desain IPAL komunal untuk mengatasi permasalahan sanitasi di Desa Luengbaro, Kabupaten Nagan Raya, Aceh. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil*, 26–27.
- Sasse, L. 1998. *Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries (DEWATS)*. Germany: Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA).
- Suharno dan Asmadi. 2012. *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Gosityen Publishing: Yogyakarta.
- Susanthi, dkk. 2018. *Jurnal : Evaluasi Pengolahan Air Limbah Domestik dengan IPAL Komunal di Kota Bogor*. Program Studi Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- SNI 6989.59:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah. Jakarta.

- Tarigan, A., Lasut, M. T., dkk. 2013. Kajian Kualitas Limbah Cair Domestik di Beberapa Sungai Yang Melintasi Kota Manado dari Aspek Bahan Organik dan Anorganik (*Quality of Study of Domestic Wastewater in Rivers Passing Through Manado City Based on Organic and Inorganic Materials*). In Jurnal Pesisir dan Laut Tropis (Vol. 1).
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L. 1991. Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse. McGraw Hill. New York
- Tušer, I., & Oulehlová, A. 2021. *Risk assessment and sustainability of wastewater treatment plant operation*. Sustainability (Switzerland), 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13095120>





“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1

Lampiran 1 Hasil uji sample DO dan BOD IPAL Tirto Mili

Unit	Sample	Vol Sample (ml)	b-0 (mg/L)	b-5 (mg/L)	a-0 (mg/L)	a-5 (mg/L)	Rerata DO awal (mg/L)	Rerata DO akhir (mg/L)	Konsentrasi BOD (mg/L)	Rata-rata (mg/L)	Standar Deviasi
Inlet	Agustus	50	7	7.6	10.3	8.5	10.3	8.45	120	122.5	3.54
		50	7	7.6	10.3	8.4			125		
	September	50	7	6.9	10	8	10	8.05	95	92.5	3.54
		50	7	6.9	10	8.1			90		
Outlet ABR	September	50	7	6.9	8.4	7	8.4	7	65	65.0	0.00
		50	7	6.9	8.4	7			65		
Outlet AF	Agustus	50	7	7.6	8	7.6	8	7.4	50	60.0	14.14
		50	7	7.6	8	7.2			70		
	September	50	7	6.9	7.2	6	7.2	6.2	55	45	14.14
		50	7	6.9	7.2	6.4			35		
Outlet	Agustus	50	7	7.6	6.5	6.3	6.5	6.3	40	42.5	3.54
		50	7	7.6	6.5	6.2			45		
	September	50	7	6.9	6.5	6	6.5	5.95	20	22.5	3.54
		50	7	6.9	6.5	5.9			25		

Lampiran 2 Hasil uji sample COD IPAL Tirto Mili

Titik	Sample	Absorbansi	Konsentrasi COD (mg/L)	Rata-rata (mg/L)	Standar Deviasi
Inlet	Agustus	0.26	634	632.75	1.76776695
		0.259	631.5		
	September	0.255	621.5	617.75	5.30330086
		0.252	614		
Outlet ABR	September	0.23	559	575.25	22.9809704
		0.243	591.5		
Outlet AF	Agustus	0.148	354	315.25	54.8007755
		0.117	276.5		
	September	0.114	269	272.75	5.30330086
		0.117	276.5		
Outlet	Agustus	0.047	101.5	99.0	3.53553391
		0.045	96.5		
	September	0.043	91.5	85.25	8.83883476
		0.038	79		

Lampiran 3 Hasil uji sample TSS IPAL Tirto Mili

Titik	Sample	Konsentrasi TSS (mg/L)	Rata-rata (mg/L)
Inlet	Agustus	859	855.75
		852.5	
	September	838.5	835.25
		832	
Outlet ABR	September	645.5	616
		586.5	
Outlet AF	Agustus	613.5	610.25
		607	
	September	583	581.5
		580	
Outlet	Agustus	145.0	147
		149	
	September	105.5	104.5
		103.5	

Lampiran 4 Lampiran 1 PERMEN LHK no. 68 tahun 2016

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

BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK TERSENDIRI

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

Lampiran 2

Lampiran 5 Rumah RBC IPAL Tirto Mili Lampiran 6 Tampilan IPAL Tirto Mili



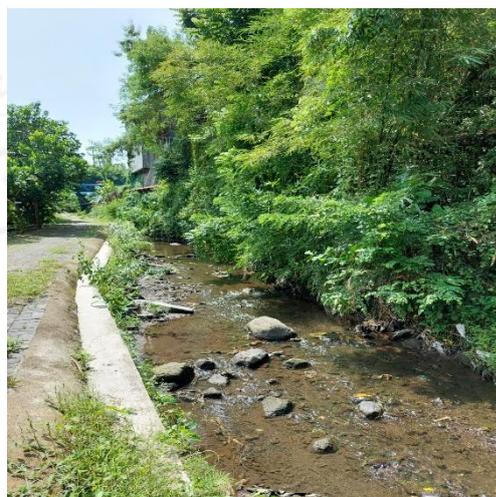
Lampiran 7 Permukaan reaktor RBC Lampiran 8 Bak kontrol IPAL Tirto Mili



Lampiran 9 Kondisi sekitar IPAL (1)



Lampiran 10 Kondisi sekitar IPAL (2)



Lampiran 11 Pengukuran dimensi (1)



Lampiran 12 Pengukuran dimensi (2)



Lampiran 13 Pengambilan sample air limbah



Lampiran 14 Pengukuran debit air limbah



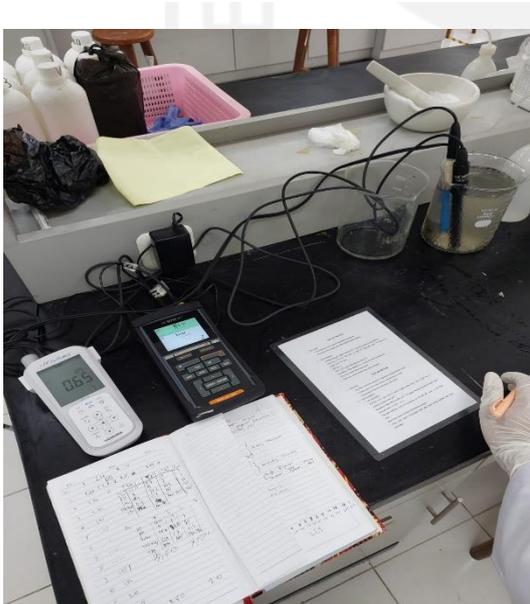
Lampiran 15 Uji TSS (penyaringan)



Lampiran 16 Uji TSS (penimbangan)



Lampiran 17 Pengukuran DO



Lampiran 18 Uji COD (pemanasan larutan)



Lampiran 19 Uji COD (pembacaan spektrofotometri)



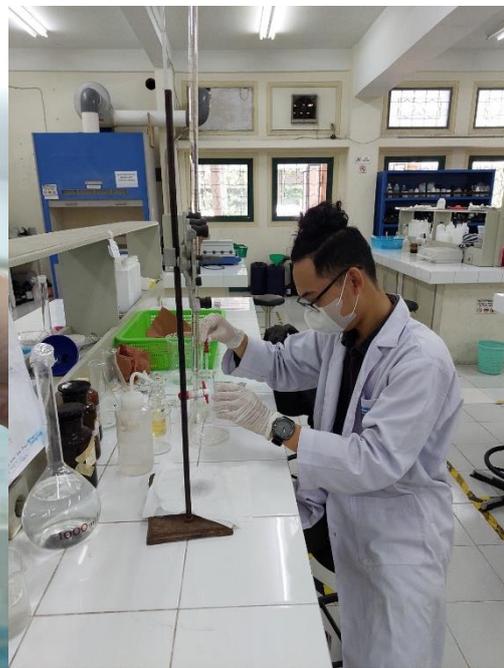
Lampiran 20 Uji total coliform (pemindahan media)



Lampiran 21 Uji total coliform (pemeriksaan gelembung)



Lampiran 22 Uji BPC Titrasi



Lampiran 23 Spreadsheet kriteria desain ABR (Sasse, 1998)

Debit	Waktu aliran air limbah	Aliran air limbah max	CODin	BODin	COD/BOD ratio	settleable SS/COD ratio	Suhu	Interval pengurasan	Waktu detensi	COD removal
diperoleh	diberikan	dihitung	diperoleh	diperoleh	dihitung	diperoleh	diperoleh	asumsi	asumsi	dihitung
m ³ /hari	jam	m ³ /jam	mg/L	mg/L	ratio	mg/L	°C	bulan	jam	%
238.17	24	9.92	625.25	107.5	0.17	0.85	28	6	2.0	50%
Data perolehan										
BOD5 removal	inflow into baffled		COD/BOD ratio outflow	faktor perhitungan removal COD setelah baffled			COD removal	teori removal rate	COD removal	COD out
dihitung	COD	BOD5	dihitung	dihitung berdasarkan data			dihitung	dihitung	dihitung	dihitung
%	mg/L	mg/L	mg/L	f-overload	f-strength	f-temp	f-HRT	%	14.32	mg/L
53%	314.77	50.92	6.18	1.00	19.32	1.03	0.72	1	98%	1.02
1.06										1.03
Dimensi settler										
Total removal COD	Total removal BOD	BOD5 out	Ukuran bak		Lumpur terkumpul	Panjang settler	Panjang settler	Upflow velocity	Jumlah kompartemen	Kedalaman outlet
dihitung	dihitung	dihitung	lebar	kedalaman	dihitung	dihitung	asumsi	asumsi	asumsi	asumsi
%	%	mg/L	m	m	L/gCOD	m	m	m/h	unit	m
100%	15%	0.85	1.10	2	0.0046	18.1	2.25	1.8	4	2
								1.4 - 2 m/h		
Dimensi baffled										
Panjang bak setengah dari kedalaman		Luas kompartemen	Lebar bak		Upflow vel. Aktual	Lebar sal. downflow	Vol. baffled	Waktu det. aktual	org. loading (BOD5)	Biogas
dihitung	asumsi	dihitung	dihitung	asumsi	dihitung	asumsi	dihitung	dihitung	dihitung	dihitung
m	m	m ²	m	m	m/h	m	m ³	jam	kg/m ³ .hari	m ³ /hari
1	0.75	5.51	7.35	5	2.65	0.25	40	3.84	0.30	37.17

Lampiran 24 Spreadsheet kriteria desain AF (Sasse, 1998)

Debit	Waktu aliran air limbah	Aliran air limbah max	CODin	BODin	SSsettl / CODratio	Suhu	Waktu detensi	Interval pengurasan	COD removal	BOD removal	BOD/COD removal factor
diperoleh	diberikan	dihitung	diperoleh	diperoleh	diperoleh	diperoleh	asumsi	asumsi	dihitung	dihitung	dihitung
m ³ /hari	jam	m ³ /jam	mg/L	mg/L	mg/L	°C	jam	bulan	%	%	ratio
238.17	24	9.92	625.25	107.5	0.17	28	2	6	10%	11%	1.06
COD/BOD5 -> 1.9											
Data perolehan											
CODin AF	BODin AF	Permukaan filter	Rongga dalam filter	Waktu det. AF	faktor perhitungan COD removal rate				COD removal rate	COD outflow	COD removal rate of the sys
dihitung	dihitung	asumsi	asumsi	asumsi	dihitung berdasarkan data				dihitung	dihitung	dihitung
mg/L	mg/L	m ² /m ³	%	jam	f-temp	f-strength	f-surface	f-HRT	%	mg/L	%
562.54	96.07	100	35%	30	1.05	0.92	1.0	69%	74%	144.39	99.8%
		80 - 120	30 - 45	24 - 48 jam							
Dimensi septic tank											
BOD/COD removal	BOD removal rate of tot. sys	BOD outflow AF	Lebar septic tank	Kedalaman air min.	Panjang bak pertama		Panjang bak selanjutnya		Lumpur terkumpul	Vol. termasuk sludge	Vol. aktual
dihitung	dihitung	dihitung	asumsi	asumsi	dihitung	asumsi	dihitung	asumsi	dihitung	dibutuhkan	dihitung
rasio	%	mg/L	m	m	m	m	m	m	L/kg BOD	m ³	m ³
1.03	102%	2.42	1.75	2.25	6.7	1.73	3.360460718	0.85	0.00458	39.70	10.16
Dimensi anaerobic filter						Produksi biogas check					
Volume bak	Kedalaman bak	Panjang tiap bak	Jumlah bak	Lebar bak	Ruang tersisa	Ketinggian filter dari dasar bak	Di septic tank	Di AF	Total	org. load dalam filter	Max upflow velocity dalam rongga filter
dihitung	asumsi	dihitung	diterukan	diperoleh	asumsi	dihitung				dihitung	dihitung
m ³	m	m		m	m	m	m	m ³ /hari	m ³ /hari	kg/m ³ .hari	m/jam
297.72	3.5	3.5	3	13.55	0.5	2.55	3.73	24.9	28.63	1.06	0.60



RIWAYAT HIDUP



Oktana Sinar Harapan Putra adalah penulis laporan Tugas Akhir ini. Penulis merupakan seorang kelahiran Batam, 25 Oktober 2000. Merupakan putra kedua dari 3 orang bersaudara. Penulis memiliki dua orangtua, bernama Suyitno Setyo Raharjo dan Sri Rahayu.

Penulis menempuh pendidikan di SMP Dharma Utama Muara Wahau (lulus tahun 2015), kemudian melanjutkan pada SMA Kesatuan Bangsa Yogyakarta (lulus tahun 2018). Selanjutnya menempuh masa kuliah di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.

