

TUGAS AKHIR - RE184804

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) FASE 2 INDUSTRI PENGOLAHAN SUSU PT. XYZ DENGAN SKEMA DAUR ULANG EFLUEN

DAFFA RAYHAN

NRP. 03211840000078

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

NIP. 19590811 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2022



TUGAS AKHIR - RE184804

**PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)
FASE 2 INDUSTRI PENGOLAHAN SUSU PT. XYZ DENGAN SKEMA
DAUR ULANG EFLUEN**

DAFFA RAYHAN

NRP. 03211840000078

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

NIP. 19590811 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - RE184804

**PHASE 2 WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP) DESIGN
OF DAIRY INDUSTRY PT. XYZ WITH EFFLUENT RECYCLE
SCHEME**

DAFFA RAYHAN

NRP. 03211840000078

Advisor

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

NIP. 19590811 198701 1 001

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil Engineering, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) FASE 2 INDUSTRI PENGOLAHAN SUSU PT. XYZ DENGAN SKEMA DAUR ULANG EFLUEN

TUGAS AKHIR

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

Oleh: **DAFFA RAYHAN**
NRP. 03211840000078

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

Pembimbing

2. Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

Penguji

3. Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

Penguji

4. Ervin Nurhayati, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Daffa Rayhan / 0321184000078

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc. / 195908111987011001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Fase 2 Industri Pengolahan Susu PT. XYZ dengan Skema Daur Ulang Efluen” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, 26 Juli 2022

Mahasiswa,

Mengetahui

Dosen Pembimbing



(Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.)

NIP. 195908111987011001



(Daffa Rayhan)

NRP. 0321184000078

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) FASE 2 INDUSTRI PENGOLAHAN SUSU PT. XYZ DENGAN SKEMA DAUR ULANG EFLUEN

Nama Mahasiswa / NRP : Daffa Rayhan / 0321184000078
Departemen : Teknik Lingkungan FTSPK - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

ABSTRAK

Industri pengolahan susu adalah salah satu industri yang terus berkembang, baik dalam skala global maupun nasional. Untuk memenuhi permintaan pasar yang terus meningkat, pabrik pengolahan susu PT. XYZ yang berlokasi di Kabupaten Bogor saat ini sedang menambah unit produksinya menjadi 2 fase. Air limbah produksi PT. XYZ memiliki karakteristik yang melebihi baku mutu, khususnya BOD, COD, dan TSS (>2.000 mg/L). Selain itu, industri pengolahan susu, tidak terkecuali PT. XYZ, menghasilkan volume air limbah yang besar. Melihat kondisi global di mana krisis air bersih sedang terjadi, industri pengolahan susu seyogyanya dapat memanfaatkan air limbahnya agar tidak mencemari badan air. Maka dari itu, direncanakan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) fase 2 dengan skema daur efluen. Selain perencanaan teknis, perencanaan mencakup standar operasional prosedur (SOP) IPAL, serta perhitungan biaya pembangunan dan operasional IPAL.

Dalam perencanaan IPAL unit produksi fase 2 PT. XYZ, dilakukan pengumpulan data primer dan sekunder sebagai langkah awal. Data primer pada perencanaan ini adalah karakteristik air limbah, hasil uji pengendapan, dan hasil *jar test*. Adapun data sekunder yang diperoleh adalah debit pengolahan, karakteristik air limbah hasil analisis internal pabrik, lahan yang tersedia, Permen LH 5/2014 dan Permenkes 32/2017 sebagai acuan baku mutu, serta Analisis Harga Satuan (AHS) Kabupaten Bogor. Setelah itu, dilakukan penentuan alternatif pengolahan primer, sekunder, dan tersier. Kemudian, dimensi bangunan-bangunan pengolahan air limbah dihitung berdasarkan kriteria desain yang ditetapkan. Terakhir, SOP IPAL disusun, *bill of quantity* (BOQ) beserta rencana anggaran biaya (RAB) pembangunan dan operasional IPAL dihitung.

IPAL hasil perencanaan terdiri atas *bar screen*, sumur pengumpul, *grease trap*, bak ekualisasi, *dissolved air flotation* (DAF) dengan *chemical aid*, *moving bed biofilm reactor* (MBBR), *clarifier*, serta pengolahan tersier yaitu *rapid sand filter* dan desinfeksi untuk mendaur ulang efluen. Efluen yang telah didaur ulang ini ditampung pada tangki air sebelum digunakan untuk kegiatan *flushing* toilet dan MCK.

Kata kunci: air limbah, daur ulang, industri pengolahan susu, IPAL, perencanaan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PHASE 2 WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP) DESIGN OF DAIRY INDUSTRY PT. XYZ WITH EFFLUENT RECYCLE SCHEME

Student Name / NRP : Daffa Rayhan / 0321184000078
Department : Environmental Engineering FTSPK - ITS
Advisor : Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.

ABSTRACT

The dairy industry is one of the most ever-growing industries globally and nationally. To fulfil the market's rising demand, PT. XYZ, a dairy factory residing in Bogor Regency, is currently upgrading its production capacity into 2 phases. The wastewater produced by PT. XYZ contains a high level of BOD, COD, and TSS (>2.000 mg/L), exceeding the wastewater discharge and reuse permit standard. Besides that, dairy industries, PT. XYZ is no exception, generate a high volume of wastewater discharge. When we take the water crisis problem that currently takes place around the globe into account, it is deemed necessary for dairy industries to utilize their wastewater so that it does not further pollute water bodies. Therefore, a wastewater treatment plant (WWTP) design with effluent recycle scheme for phase 2 production is proposed. This design includes detail engineering design, standard operating procedure (SOP), and construction & operational cost estimation.

Throughout the WWTP design process, primary and secondary data collection is conducted as the initial step. Primary data includes wastewater quality analysis, sedimentation test results, and jar test results. Meanwhile, secondary data includes wastewater treatment plant capacity, wastewater quality analysis results published by a contracting laboratory with PT. XYZ, WWTP construction area, Permen LH 5/2014 and Permenkes 32/2017 as the sources of quality standard, and Bogor Regency Construction Cost Index. Data collection is then followed by primary, secondary, tertiary, and treatment alternative determination, continued by the WWTP unit calculation based on the set design criteria. Finally, the WWTP SOP is composed, then the construction and operational cost is calculated.

The WWTP design consists of bar screen, sump pit, grease trap, equalization tank, dissolved air flotation (DAF) with chemical aid, moving bed biofilm reactor (MBBR), clarifier, as well as rapid sand filter and disinfection that acts as tertiary treatment for wastewater effluent recycling. This recycled water is then stored in water tanks before it is used for toilet flushing and sanitation needs.

Keyword: dairy industry, design, recycle, wastewater, WWTP

“This page intentionally left blank”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhana Wa Ta'ala, karena berkat limpahan Rahmat dan Hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Fase 2 Industri Pengolahan Susu PT. XYZ dengan Skema Daur Ulang Efluen” ini dengan tepat waktu. Selawat serta salam semoga selalu terlimpahkan kepada Nabi Besar Muhammad saw. hingga akhir zaman.

Tidak lupa pula penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu kelancaran penyusunan laporan ini, antara lain:

1. Bapak Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan ilmu, dukungan, dan bimbingan yang sangat bermanfaat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng, Ibu Ervin, S.T., M.T., PhD, dan Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc selaku dosen pengarah dan penguji yang banyak memberikan saran, koreksi, dan gagasan-gagasan baru ke dalam tugas akhir ini.
3. Bapak Ahmad Habibi, S.T. dan segenap tim Pakar IPAL Indonesia atas ketersediaan waktunya dalam menyediakan data, mengarahkan, dan memberi masukan di sela-sela kesibukannya.
4. Mama dan Baba yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan sehingga tugas akhir ini dapat selesai dengan tepat waktu.
5. Inayah Nurwulan for her unconditional support and companionship.
6. Partai Pemikir Yin & Yang (Agung, Alam, Albert, Hizkia) yang senantiasa menjadi teman-teman yang suportif, humoris, dan menyenangkan.
7. Teman-teman Teknik Lingkungan ITS angkatan 2018 yang telah berjuang bersama-sama dan memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Semua pihak yang telah membantu kelancaran penyelesaian tugas akhir ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 26 Juli 2022

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR..... | v |
| DAFTAR ISI | vii |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xiii |
| BAB 1 PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Ruang Lingkup | 2 |
| 1.5 Manfaat | 3 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Gambaran Umum Industri Pengolahan Susu..... | 5 |
| 2.2 Air Limbah Pengolahan Susu | 5 |
| 2.2.1 Sumber Air Limbah | 5 |
| 2.2.2 Karakteristik Air Limbah..... | 6 |
| 2.3 Parameter Pencemar Air Limbah & Baku Mutunya..... | 6 |
| 2.3.1 <i>Chemical Oxygen Demand (COD) & Biochemical Oxygen Demand (BOD)</i> | 6 |
| 2.3.2 <i>Total Suspended Solids (TSS)</i> | 6 |
| 2.3.3 Amonia | 7 |
| 2.3.4 Minyak dan Lemak..... | 7 |
| 2.3.5 Baku Mutu | 7 |
| 2.4 Sistem Pengolahan Air Limbah | 8 |
| 2.4.1 Pengolahan Fisik | 8 |
| 2.4.2 Pengolahan Kimia | 8 |
| 2.4.3 Pengolahan Biologis | 8 |
| 2.7 Penggunaan Daur Ulang Air Limbah dan Baku Mutunya..... | 8 |
| 2.8 Teknologi Daur Ulang Air Limbah | 9 |
| 2.5 Sistem IPAL Industri Pengolahan Susu..... | 10 |
| 2.6 Penelitian dan Perencanaan Terdahulu | 23 |
| 2.6.1 Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Susu Menggunakan <i>Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)</i> | 23 |

| | | |
|----------------------------------|---|----|
| 2.6.2 | Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Susu Menggunakan <i>Membrane Sequence Batch Reactor</i> | 24 |
| 2.6.3 | Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Susu Menggunakan <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor</i> | 25 |
| 2.6.4 | Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Susu Menggunakan Elektrokoagulasi | 25 |
| 2.8 | Kondisi Eksisting PT. XYZ..... | 26 |
| BAB 3 METODE PERENCANAAN | | 29 |
| 3.1 | Kerangka Perencanaan | 29 |
| 3.2 | Tahapan Perencanaan | 31 |
| 3.2.1 | Ide Perencanaan | 31 |
| 3.2.2 | Rumusan Masalah..... | 31 |
| 3.2.3 | Tinjauan Pustaka..... | 31 |
| 3.2.4 | Pengumpulan Data..... | 32 |
| 3.2.5 | Perencanaan IPAL Baru | 33 |
| 3.2.6 | Kesimpulan dan Saran | 34 |
| BAB 4 PERENCANAAN IPAL BARU..... | | 35 |
| 4.1 | Kapasitas IPAL dan Kualitas Air Limbah..... | 35 |
| 4.1.1 | Kapasitas IPAL | 35 |
| 4.1.1 | Kualitas Air Limbah..... | 35 |
| 4.2 | Hasil Uji Pengendapan dan Jar Test..... | 36 |
| 4.2.1 | Uji Pengendapan | 36 |
| 4.2.2 | <i>Jar Test</i> | 37 |
| 4.3 | Alternatif Pengolahan..... | 39 |
| 4.3.1 | Alternatif Pengolahan Utama..... | 40 |
| 4.3.2 | Alternatif Pengolahan Daur Ulang Efluen | 44 |
| 4.3.3 | Diagram Alir Keseluruhan Proses..... | 45 |
| 4.4 | Perhitungan Perencanaan IPAL Baru | 46 |
| 4.4.1 | <i>Bar Screen</i> | 46 |
| 4.4.2 | Sumur Pengumpul..... | 48 |
| 4.4.3 | <i>Grease Trap</i> | 51 |
| 4.4.4 | Bak Ekualisasi..... | 53 |
| 4.4.5 | <i>Dissolved Air Flotation</i> dengan <i>Chemical Aid</i> | 58 |
| 4.4.6 | <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> | 70 |
| 4.4.7 | <i>Clarifier</i> | 82 |
| 4.4.8 | <i>Rapid Sand Filter</i> | 86 |
| 4.4.9 | Desinfeksi..... | 99 |

| | | |
|------------------------|---|-----|
| 4.4.10 | Unit Pengolahan Lumpur | 101 |
| 4.4.11 | Tangki Air | 105 |
| 4.5 | Profil Hidrolis | 106 |
| 4.6 | Neraca Massa | 107 |
| 4.7 | Standar operasional prosedur (SOP) IPAL | 114 |
| 4.8 | <i>Bill of Quantity</i> (BOQ) & Rencana Anggaran Biaya (RAB)..... | 121 |
| 4.7.1 | <i>Bill of Quantity</i> (BOQ) | 121 |
| 4.7.1 | Analisis Harga Satuan Pekerjaan..... | 124 |
| 4.7.2 | Rencana Anggaran Biaya | 128 |
| BAB 5 KESIMPULAN | | 135 |
| 5.1 | Kesimpulan | 135 |
| 5.2 | Saran | 135 |
| REFERENSI..... | | 137 |
| LAMPIRAN | | 149 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 2.1 Baku mutu air limbah industri pengolahan susu (Permen LH/2014)..... | 7 |
| Tabel 2.2 Hasil adopsi baku mutu untuk daur ulang air limbah..... | 9 |
| Tabel 2.3 Teknologi daur ulang air limbah dan jenis konstituen yang disisihkan | 9 |
| Tabel 2.4 Karakteristik air limbah produksi fase 1 PT. XYZ..... | 26 |
| Tabel 3.1 Metode uji parameter air limbah | 32 |
| Tabel 4.1 Kualitas air limbah PT. XYZ (data primer)..... | 35 |
| Tabel 4.2 Kualitas air limbah untuk perencanaan IPAL baru | 35 |
| Tabel 4.3 Perbandingan rasio BOD/COD & <i>removal</i> BOD ₅ dan COD sampel..... | 37 |
| Tabel 4.4 Dosis soda kaustik dan pH akhir yang dihasilkan | 37 |
| Tabel 4.5 Variasi dosis penambahan PAC & polimer..... | 38 |
| Tabel 4.6 Hasil <i>jar test</i> setelah netralisasi | 38 |
| Tabel 4.7 Konsentrasi konstituen dan penyisihannya pada <i>jar test</i> | 39 |
| Tabel 4.8 Metode matriks | 39 |
| Tabel 4.9 Tingkat <i>removal</i> parameter-parameter air limbah oleh unit pengolahan | 40 |
| Tabel 4.10 Alternatif pengolahan 1 | 41 |
| Tabel 4.11 Alternatif pengolahan 2 | 42 |
| Tabel 4.12 Alternatif pengolahan 3 | 43 |
| Tabel 4.13 Matriks pembobotan alternatif pengolahan utama | 43 |
| Tabel 4.14 Matriks pembobotan pengolahan daur ulang efluen | 44 |
| Tabel 4.15 Kualitas air hasil pengolahan tersier..... | 45 |
| Tabel 4.16 Kriteria desain <i>bar screen</i> | 46 |
| Tabel 4.17 Faktor bentuk <i>screen</i> | 46 |
| Tabel 4.18 Rekapitulasi desain <i>bar screen</i> | 48 |
| Tabel 4.19 Rekapitulasi desain sumur pengumpul..... | 51 |
| Tabel 4.20 Rekapitulasi desain <i>grease trap</i> | 53 |
| Tabel 4.21 Persentase air limbah masuk setiap jamnya | 53 |
| Tabel 4.22 Pengolahan data debit ekualisasi menjadi volume | 54 |
| Tabel 4.23 Rekapitulasi desain bak ekualisasi | 58 |
| Tabel 4.24 Perbandingan volume air dalam tangki tekan (%) | 67 |
| Tabel 4.25 Rekapitulasi desain DAF dengan <i>chemical aid</i> | 69 |
| Tabel 4.26 Konsentrasi konstituen N pada air limbah pengolahan susu | 70 |
| Tabel 4.27 Spesifikasi media <i>carrier</i> Kaldnes K1 | 71 |
| Tabel 4.28 Rekapitulasi desain MBBR | 82 |
| Tabel 4.29 Rekapitulasi desain <i>clarifier</i> | 86 |
| Tabel 4.30 Kedalaman dan ukuran butir pada lapisan media kerikil | 87 |
| Tabel 4.31 Distribusi media pasir silika | 88 |
| Tabel 4.32 Distribusi media antrasit..... | 89 |
| Tabel 4.33 Distribusi media penyangga (kerikil) | 89 |
| Tabel 4.34 Distribusi media pasir silika terekspansi | 92 |
| Tabel 4.35 Distribusi media pasir silika terekspansi | 93 |
| Tabel 4.36 Rekapitulasi desain <i>rapid sand filter</i> | 98 |
| Tabel 4.37 Rekapitulasi desain tangki kontak klorin | 101 |
| Tabel 4.38 Rekapitulasi desain unit pengolahan lumpur..... | 105 |
| Tabel 4.39 Profil Hidrolis | 106 |
| Tabel 4.40 Volume pekerjaan konstruksi IPAL | 122 |
| Tabel 4.41 BOQ alat dan bahan | 123 |
| Tabel 4.42 Galian tanah biasa untuk konstruksi (m ³)..... | 124 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 4.43 Urugan tanah kembali (m ³)..... | 124 |
| Tabel 4.44 Membuat beton cor mutu K-300..... | 124 |
| Tabel 4.45 Membuat beton kedap air dengan AM-100 | 124 |
| Tabel 4.46 Membuat beton mutu K-300 + <i>waterproofing</i> dengan AM-100 (m ³) | 125 |
| Tabel 4.47 Pekerjaan dinding beton bertulang..... | 125 |
| Tabel 4.48 Pekerjaan plat lantai beton | 126 |
| Tabel 4.49 Pekerjaan tutup beton..... | 126 |
| Tabel 4.50 Pekerjaan pemasangan pipa | 127 |
| Tabel 4.51 RAB konstruksi dan alat & bahan | 128 |
| Tabel 4.52 Konsumsi listrik oleh peralatan | 130 |
| Tabel 4.53 Biaya tahunan untuk kebutuhan bahan kimia | 131 |
| Tabel 4.54 Biaya media filter dalam satu periode pemakaian | 132 |
| Tabel 4.55 Total biaya operasional dan pemeliharaan IPAL dalam satu tahun..... | 133 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|-----|
| Gambar 2.1 Sumber air limbah dari berbagai proses pengolahan susu..... | 5 |
| Gambar 2.2 Sumur pengumpul..... | 11 |
| Gambar 2.3 <i>Bar screen</i> manual dan pembersihannya..... | 11 |
| Gambar 2.4 Skema pengaliran air limbah dari pipa air limbah terakhir ke <i>bar screen</i> | 12 |
| Gambar 2.5 <i>Grease trap</i> | 12 |
| Gambar 2.6 Bak ekualisasi | 13 |
| Gambar 2.7 <i>Static mixer</i> | 14 |
| Gambar 2.8 Proses pencampuran di <i>static mixer</i> 5 elemen..... | 14 |
| Gambar 2.9 Tangki penyimpanan bahan kimia..... | 15 |
| Gambar 2.10 <i>Dissolved air flotation</i> | 16 |
| Gambar 2.11 Skema proses dan zona pada DAF | 16 |
| Gambar 2.12 MBBR aerobik (kiri), MBBR anoksik/anaerobik (kanan) | 17 |
| Gambar 2.13 Media kaldnes, salah satu media <i>carrier</i> yang umum digunakan pada MBBR . | 18 |
| Gambar 2.14 MBBR-MLE..... | 18 |
| Gambar 2.15 <i>Clarifier</i> | 19 |
| Gambar 2.16 Ilustrasi <i>solids interface & solids flux</i> pada <i>clarifer</i> | 20 |
| Gambar 2.17 Grafik <i>solids flux</i> terhadap konsentrasi <i>solids</i> | 20 |
| Gambar 2.18 <i>Rapid sand filter</i> | 21 |
| Gambar 2.20 Tangki kontak klorin..... | 22 |
| Gambar 2.21 <i>Filter press</i> | 22 |
| Gambar 2.22 Siklus proses pada <i>filter press</i> | 23 |
| Gambar 2.23 Sistem <i>moving bed biofilm reactor</i> (MBBR)..... | 24 |
| Gambar 2.24 Sistem MSBR | 24 |
| Gambar 2.25 Sistem elektrokoagulasi | 25 |
| Gambar 2.26 Denah IPAL produksi fase 1..... | 26 |
| Gambar 2.27 Kegiatan konstruksi unit produksi fase 2 | 27 |
| Gambar 2.28 Lahan IPAL rencana | 27 |
| Gambar 2.29 Dimensi lahan IPAL rencana..... | 28 |
| Gambar 3.1 Kerangka perencanaan..... | 30 |
| Gambar 4.1 Uji pengendapan | 36 |
| Gambar 4.2 Sampel setelah didiamkan selama satu jam..... | 36 |
| Gambar 4.3 Visual air limbah sebelum dan sesudah <i>jar test</i> | 38 |
| Gambar 4.4 Diagram alir alternatif 1..... | 40 |
| Gambar 4.5 Diagram alir alternatif 2..... | 41 |
| Gambar 4.6 Diagram alir alternatif 3..... | 42 |
| Gambar 4.7 Diagram alir IPAL | 45 |
| Gambar 4.8 Denah lahan bak ekualisasi..... | 55 |
| Gambar 4.9 Spesifikasi <i>disc diffuser</i> | 56 |
| Gambar 4.10 Spesifikasi <i>static mixer</i> | 59 |
| Gambar 4.11 Besarnya <i>head loss</i> (psi) terhadap debit (gpm)..... | 65 |
| Gambar 4.12 <i>Scum box</i> DAF..... | 68 |
| Gambar 4.13 Pengaruh pH terhadap persentase NH_3 dan NH_4^+ di dalam air | 70 |
| Gambar 4.14 <i>Submersible mixer</i> Tsurumi | 74 |
| Gambar 4.15 <i>Contracted rectangular weir</i> | 81 |
| Gambar 4.16 <i>Rectangular weir</i> tanpa kontraksi..... | 101 |
| Gambar 4.17 Skema operasional RSF | 119 |
| Gambar 4.18 Ilustrasi galian..... | 122 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam pembangunan ekonomi di berbagai negara, sektor industri memainkan peran cukup penting khususnya dalam hal akselerasi pembangunan (Muhtamil, 2017). Salah satu sektor industri terbesar di dunia adalah industri pengolahan susu (*dairy industry*), yang tercatat memiliki nilai pasar global mencapai US\$718,9 milyar pada tahun 2019 silam dan diproyeksikan akan mencapai US\$1.032,7 milyar pada tahun 2024 mendatang (Shahbandeh, 2021). Sedangkan di Indonesia sendiri, menurut Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) Tahun 2015-2035, industri pengolahan susu termasuk jenis industri prioritas dalam jangka 2024 – 2035 dengan hasil produk: 1) susu untuk kesehatan (susu cair, bubuk dan *condensed*), 2) *probiotic* dan pangan fungsional lainnya berbasis susu (Kemenperin, 2015).

PT. XYZ adalah perusahaan yang bergerak di industri pengolahan susu yang berlokasi di Kabupaten Bogor, dengan hasil olahan berupa susu segar, yogurt dan makanan beku. Selain menghasilkan produk-produk tersebut, proses-proses pengolahan susu juga menghasilkan produk samping yakni air limbah. Air limbah pengolahan susu umumnya dihasilkan dari proses pembersihan dan pencucian di pabrik pengolahan susu. Diperkirakan sekitar 2% dari total susu yang diproses terbuang ke saluran pembuangan (Munavalli & Saler, 2009). Air limbah pengolahan susu memiliki kandungan BOD dan COD yang sangat tinggi, berwarna putih, bersifat alkali secara alami namun dapat berubah menjadi asam diakibatkan oleh proses fermentasi gula susu menjadi asam laktat, serta lemak, nutrien, laktosa dan deterjen (Shete & Shinkar, 2013; USDA-SCS, 1992). Kandungan COD dan BOD yang tinggi menimbulkan berbagai dampak negatif pada lingkungan, seperti minimnya kandungan oksigen pada air dan menyebabkan matinya biota akuatik (Greenberg *et al.*, 1992; Soukotta *et al.*, 2019). Kandungan nutrien dapat menyebabkan eutrofikasi pada badan air penerima, sedangkan deterjen dapat mengganggu kelangsungan hidup biota air. Maka, dapat disimpulkan bahwa beban polutan yang tinggi pada air limbah pengolahan susu dapat menyebabkan masalah lingkungan yang serius apabila tidak diolah terlebih dahulu (Montuelle *et al.*, 1992).

Dewasa ini, selain masalah pencemaran air yang disebabkan oleh berbagai proses produksi domestik dan industri, masyarakat dunia juga dihadapkan kepada masalah kesenjangan ketersediaan air dengan kebutuhan air akibat dari pertumbuhan penduduk yang sangat pesat dan pola konsumsi yang meningkat khususnya di daerah perkotaan (Said, 2006). Menyadari hal itu, para peneliti telah mengalihkan fokus penelitian pada kemungkinan penggunaan kembali atau daur ulang air limbah, salah satunya pada bidang industri makanan seperti industri pengolahan susu (Balannec *et al.*, 2002; Hamoda & Al-Awadi, 1996). Hamoda & Al-Awadi (1996) menambahkan, bahwa industri pengolahan susu terkenal menghasilkan air limbah dengan kuantitas yang tinggi. Terlepas hal itu, air limbah yang dihasilkan oleh industri pengolahan susu dapat diolah dan didaur ulang dengan biaya yang wajar.

PT. XYZ saat ini sedang melakukan penambahan dalam jumlah unit produksinya. Selain unit produksi fase 1, unit produksi fase 2, yang kini sedang berada pada tahapan konstruksi, akan ditambahkan dalam skema bisnis PT. XYZ dalam waktu dekat. Pada unit produksi fase 1, air limbah hasil kegiatan produksi sudah diolah di instalasi pengolahan air limbah (IPAL) eksisting. Namun, IPAL eksisting tidak memiliki kapasitas yang cukup untuk mengolah air

limbah yang berasal dari kedua unit produksi secara bersamaan, terlebih lagi IPAL eksisting masih memiliki kekurangan dalam kinerja dan hasil prosesnya. Maka dari itu, sebagai bentuk ketaatan terhadap UU RI No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang menyatakan bahwa setiap industri maupun instansi/badan usaha harus bertanggung jawab terhadap pengelolaan limbah yang dihasilkan dari kegiatannya, PT. XYZ sudah selayaknya memiliki IPAL baru yang ditujukan untuk mengolah air limbah yang berasal dari unit produksi fase 2-nya. Tidak berhenti di situ, sebagai bentuk kontribusi dalam mengatasi masalah kelangkaan air, efluen dari hasil pengolahan air limbah PT. XYZ seyogyanya dapat diolah dan didaur ulang untuk keperluan berbagai aktivitas industrinya. Maka dari itu, akan dilakukan perencanaan IPAL unit produksi fase 2 industri pengolahan susu PT. XYZ dengan skema daur ulang efluen. Perencanaan ini melingkupi *detail engineering design* (DED), perhitungan *bill of quantity* (BOQ), rencana anggaran biaya (RAB), dan *standard operating procedure* (SOP) IPAL.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka ditetapkan rumusan masalah dari perencanaan ini:

1. Perlu dirancangnya instalasi pengolahan air limbah (IPAL) unit produksi fase 2 PT. XYZ beserta sistem daur ulang efluennya.
2. Perlu dihitungnya biaya pembangunan dan operasional IPAL.
3. Perlu disusunnya standar operasional prosedur (SOP) IPAL.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari perencanaan ini:

1. Merancang instalasi pengolahan air limbah (IPAL) unit produksi fase 2 PT. XYZ beserta sistem daur ulang efluennya.
2. Menghitung biaya pembangunan dan operasional IPAL.
3. Menyusun standar operasional prosedur (SOP) IPAL.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup perencanaan ini:

1. Perencanaan IPAL secara spesifik ditujukan untuk mengolah air limbah dari kegiatan produksi fase 2 pabrik pengolahan susu, PT. XYZ, Kabupaten Bogor, di mana IPAL baru ini akan berada pada lokasi yang berbeda dengan IPAL eksisting.
2. Sebagian dari efluen hasil pengolahan akan didaur ulang kembali untuk aktivitas seperti sanitasi dan penyiraman tanaman.
3. Aspek yang dikaji adalah aspek teknis dan finansial.
4. Data perencanaan yang digunakan merupakan data primer dan sekunder.
5. Pengukuran parameter-parameter limbah cair industri pengolahan susu (BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, pH, dan amonia).
6. Baku mutu efluen IPAL mengacu pada Lampiran VIII Permen LH No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
7. *Detail engineering design* (DED) unit-unit IPAL.
8. Standar operasional prosedur (SOP) IPAL
9. Rencana anggaran biaya (RAB) dan *bill of quantity* (BOQ) IPAL produksi yang mengacu kepada AHS Kabupaten Bogor.
10. Gambar teknis meliputi:
 - a. Layout IPAL

- b. Denah unit pengolahan
- c. Potongan memanjang dan melintang unit pengolahan
- d. Profil hidrolis

1.5 Manfaat

Manfaat dari perencanaan ini adalah memberikan rekomendasi desain instalasi pengolahan air limbah (IPAL) sesuai dengan karakteristik air limbah industri pengolahan susu dari kegiatan produksi fase 2 PT. XYZ.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Industri Pengolahan Susu

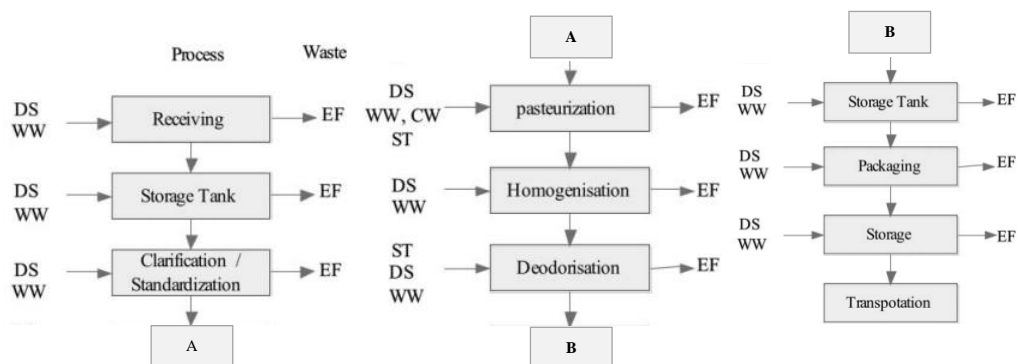
Peningkatan permintaan susu dan produk susu yang stabil di banyak negara telah mengakibatkan kemajuan dalam ilmu kedokteran hewan, yang kemudian menyebabkan pertumbuhan yang stabil dalam produksi susu per ekor sapi (Poompavai, 2002). Akibat dari tren industri global, ukuran peternakan dan jumlah sapi terus meningkat sejalan dengan naiknya standar ekonomi dunia (Douphrate *et al.*, 2013). Hal inilah yang menyebabkan bertumbuh pesatnya industri pengolahan susu di berbagai negara. Industri pengolahan susu umumnya mengolah susu mentah menjadi produk-produk seperti susu, keju, mentega, yogurt, es krim, dan bubuk susu dengan berbagai jenis proses pengolahan (Perna *et al.*, 2013).

Aktivitas industri pengolahan susu yang masif memang berdampak positif bagi masyarakat luas, namun di sisi lain menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan. Analisis Environmental Impact of Products (EIPRO) menunjukkan bahwa susu dan produk olahan susu lainnya bertanggung jawab terhadap 5% potensi pemanasan global, 10% potensi eutrofikasi, dan 4% potensi pembentukan fotokimia ozon di seluruh Uni Eropa. Tidak hanya itu, susu cair masuk ke dalam 10 besar kontributor dampak terhadap lingkungan dalam hampir seluruh kategori, dengan penipisan ozon sebagai pengecualian (Foster *et al.*, 2006). Bahan baku utama industri yakni susu, mengandung 87% air, sehingga tidak mengherankan apabila industri pengolahan susu dikenal sebagai industri dengan volume air limbah yang besar (Falvey *et al.*, 1999; Sarkar *et al.*, 2006). Industri pengolahan susu menghasilkan rata-rata 2,5 liter air limbah per liter susu terolah (Ramasamy *et al.*, 2004).

2.2 Air Limbah Pengolahan Susu

2.2.1 Sumber Air Limbah

Air limbah industri pengolahan susu berasal proses-proses yang membutuhkan banyak volume air seperti pencucian (*cleaning*), pembersihan (*sanitizing*), pemanasan (*heating*), pendinginan (*cooling*) dan pencucian lantai (*floor washing*) (Sarkar *et al.*, 2006). Namun, mayoritas air limbah dihasilkan pada proses pencucian, terutama apabila produk yang berbeda-beda dihasilkan sehingga membutuhkan unit produksi dan operasi pembersihan yang spesifik (Kolarski & Nyhuis, 1995). Menurut Kushwaha *et al.* (2011), air limbah pada industri pengolahan susu timbul dari proses-proses berikut.



Gambar 2.1 Sumber air limbah dari berbagai proses pengolahan susu

Keterangan: DS: Deterjen dan produk pembersih (*detergents & sanitizing agents*), WW: Air pencuci (*wash water*), ST: Uap (*steam*), CW: Air pendingin (*cooling water*), EF: Efluen.

2.2.2 Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah pengolahan susu bergantung kepada jumlah susu yang diolah, tipe produk dan alat yang digunakan, metode produksi, sistem manajemen dan metode pencuciannya (Sarkar *et al.*, 2006). Semua senyawa pada air limbah pengolahan susu bersifat *biodegradable*, kecuali protein dan lemak yang sukar untuk diuraikan (Omil *et al.*, 2003). Konstituen dominan pada air limbah pengolahan susu adalah laktosa, protein terlarut, lemak, garam mineral dan deterjen (Perna *et al.*, 2013). Air limbah pengolahan susu juga mengandung padatan susu, berwarna putih, bersifat alkali, serta memiliki kandungan BOD dan COD yang sangat tinggi (Shete & Shinkar, 2013; USDA-SCS, 1992).

Melihat dari banyak penelitian, didapatkan bahwa kandungan COD (80–95.000 mg/L) dan BOD (40–48.000 mg/L) pada air limbah industri pengolahan susu sangat beragam (Kushwaha *et al.*, 2011). pH bervariasi dalam kisaran 4.7–11, sementara kandungan *suspended solids* (SS) berada dalam kisaran 24–4.500 mg/L (Passeggi *et al.*, 2009). Kandungan nutrisi yakni total nitrogen memiliki konsentrasi 14–830 mg/L (Gutiérrez *et al.*, 1991), sementara total fosfor berkisar antara 9–280 mg/L (Gavala *et al.*, 1999).

2.3 Parameter Pencemar Air Limbah & Baku Mutunya

2.3.1 Chemical Oxygen Demand (COD) & Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Chemical oxygen demand (COD) dan *biochemical oxygen demand* (BOD) adalah parameter pengukur kandungan polutan organik pada air. COD mengukur kandungan organik dengan mewakili jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dengan bahan kimia pengoksidasi kuat (kalium dikromat) dalam kondisi asam (Qasim & Zhu, 2018). Nilai COD dapat diukur dengan menggunakan tabung Hach diikuti dengan sebuah metode berdasarkan reduksi kalium dikromat (berwarna oranye) menjadi garam kromium (berwarna hijau) pada suhu tinggi, diikuti dengan pengukuran absorbansi menggunakan *colorimeter* khusus (Kosseva & Webb, 2013). Sedangkan, parameter BOD digunakan untuk mengetahui jumlah oksigen terlarut yang digunakan oleh mikroba untuk mengoksidasi kandungan organik (Fathima *et al.*, 2014). Dalam kata lain, BOD dan COD sama-sama merupakan parameter pengukur polutan organik pada air, namun BOD hanya mengukur kandungan organik yang aktif secara biologis (Likens, 2009). Umumnya, parameter BOD yang digunakan dalam air limbah adalah BOD setelah 5 hari pengambilan sampel (BOD₅) (Metcalf & Eddy, 2014). Prosedur pengukuran BOD cukup mudah: Penurunan O₂ pada tabung inkubasi yang berisi air diamati secara berkala. Selama inkubasi, organisme heterotrof yang secara alami berada di dalam air akan mengkonsumsi O₂ untuk respirasi karbon organik yang tersedia secara biologis dan bahan kimia apa pun yang secara spontan bereaksi dengan O₂ (misalnya sulfida). Alhasil, total BOD pada air limbah akan dapat diketahui (Dodds & Whiles, 2020). Tingginya kandungan BOD dan COD pada air limbah dapat merusak kehidupan ikan dan tanaman pada air (Ratnayaka *et al.*, 2009).

2.3.2 Total Suspended Solids (TSS)

Solids (padatan), seperti halnya zat terlarut & partikel (*dissolved & particulate matter*), mikroorganisme, nutrisi, logam berat, dan mikropolutan, adalah salah satu dari banyak konstituen pada air limbah (Warwick *et al.*, 2013). *Solids* pada air limbah sangat bervariasi, mulai dari material kasar hingga yang berbentuk koloid (Metcalf & Eddy,

2014). *Total suspended solids* (dalam bahasa Indonesia: total padatan tersuspensi) didefinisikan sebagai padatan dalam air yang dapat terperangkap oleh filter. Untuk mengukur TSS, sampel air disaring melalui filter yang telah ditimbang sebelumnya. Residu yang tertahan pada filter dikeringkan dalam oven pada suhu 103-105 °C sampai berat filter tidak lagi berubah. Peningkatan berat filter nantinya yang mewakili nilai TSS (A. F. Ismail et al., 2019). Tingginya TSS pada air dapat meningkatkan kenaikan suhu dan penurunan oksigen terlarut. Ini disebabkan partikel tersuspensi menyerap panas dari radiasi matahari lebih banyak dari partikel air (US EPA, 2012).

2.3.3 Amonia

Amonia (NH₃-N), adalah hasil pertama dari dekomposisi nitrogen organik, di mana nitrogen organik merupakan jumlah nitrogen yang ada pada senyawa organik seperti protein, urea, dan hasil degradasinya (Qasim & Zhu, 2018; Reynolds & Richards, 1996). Amonia nitrogen pada air limbah bisa ditemui dalam bentuk gas amonia (NH₃) maupun ion amonium (NH₄⁺), di mana hal ini bergantung pada nilai pH larutan. Ion amonium akan cenderung terbentuk pada larutan dengan pH < 7. Amonia didapatkan dengan menaikkan pH, mendidihkan sampel, kemudian mendistilasi gas amonia yang terbentuk, lalu mengembunkan uap yang menyerap gas amonia (Metcalf & Eddy, 2014). Keberadaan amonia di dalam air limbah dapat membahayakan kehidupan akuatik dan kesehatan manusia, sehingga menyisihkan polutan ini pada air limbah merupakan langkah penting (Karri et al., 2018).

2.3.4 Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan polutan organik pada air limbah yang dikenal memiliki afinitas yang sangat kecil terhadap air (Pintor et al., 2016). Senyawa-senyawa yang biasanya diklasifikasikan sebagai minyak dan lemak antara lain: hidrokarbon, asam lemak, sabun, lipid, dan lilin. Klasifikasi kontaminan ke kategori minyak dan lemak biasanya ditentukan dengan metode analisis kimia, khususnya pelarut yang digunakan untuk ekstraksi dari fase cair (Patterson, 1985). Keberadaan minyak dan lemak pada badan air sangat berbahaya; lapisan minyak dan lemak yang paling tipis pun akan mempengaruhi kehidupan akuatik dengan mengganggu penetrasi cahaya dan transfer oksigen dari udara menuju air (Wahi et al., 2013).

2.3.5 Baku Mutu

Baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dan tanah dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Baku mutu air limbah industri pengolahan susu diatur di dalam Permen LH No. 5 Tahun 2014.

Tabel 2.1 Baku mutu air limbah industri pengolahan susu (Permen LH/2014)

| Parameter | Susu Dasar | | Susu Terpadu | |
|------------------------------------|---|---|---|---|
| | Kadar paling tinggi (mg/L) | Beban Pencemaran paling tinggi (kg/ton) | Kadar paling tinggi (mg/L) | Beban Pencemaran paling tinggi (kg/ton) |
| BOD ₅ | 40 | 0,06 | 40 | 0,10 |
| COD | 100 | 0,15 | 100 | 0,25 |
| TSS | 50 | 0,075 | 50 | 0,125 |
| Minyak dan Lemak | 10 | 0,015 | 10 | 0,025 |
| NH ₃ -N | 10 | 0,015 | 10 | 0,025 |
| pH | 6 – 9 | | 6 – 9 | |
| Kuantitas air limbah paling tinggi | 1,5 m ³ per ton susu yang diolah | | 2,5 m ³ per ton susu yang diolah | |

2.4 Sistem Pengolahan Air Limbah

Pengolahan air limbah memiliki tujuan untuk menghilangkan kandungan-kandungan pencemar seperti padatan tersuspensi, koloid, dan senyawa-senyawa organik maupun anorganik yang terlarut pada air limbah (Siregar, 2005). Pada umumnya, teknologi pengolahan air limbah dikategorikan menjadi 3 (tiga) macam: pengolahan secara fisik, pengolahan secara kimia, dan pengolahan secara biologis (Suharto, 2010). Pemilihan teknologi pengolahan air limbah didasarkan oleh jenis dan karakteristik air limbah yang akan diolah.

2.4.1 Pengolahan Fisik

Dalam pengolahan fisik air limbah, benda-benda terapung kasar dan partikel-partikel mineral yang berat (pasir dan kerikil) disisihkan. Hal ini dilakukan untuk melindungi peralatan-peralatan pada pengolahan tahap berikutnya dari kerusakan. Jenis-jenis pengolahan fisik yang lumrah ditemukan adalah *screening*, *gravity separation*, *grit removal*, bak pengendap awal, dan flotasi (Metcalf & Eddy, 2014).

2.4.2 Pengolahan Kimia

Pengolahan air limbah secara kimia merupakan pengolahan air limbah yang menggunakan reaksi-reaksi kimia untuk menyisahkan kandungan pencemarnya (Woodard, 2006). Menurut Riffat (2019), pengolahan kimia pada air limbah ditujukan untuk menghilangkan koloid, logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun dengan cara membubuhkan bahan kimia sesuai dengan dosis yang dibutuhkan. Bentuk pengolahan air limbah secara kimia antara lain netralisasi, koagulasi-flokulasi, pertukaran ion, netralisasi asam-basa, presipitasi, ozonasi, dan klorinasi.

2.4.3 Pengolahan Biologis

Pengolahan secara biologis memiliki tujuan utama menghilangkan kandungan bahan organik *biodegradable* dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan-bahan organik yang terkandung dalam air limbah. Air limbah yang bersifat *biodegradable*, yakni dengan nilai perbandingan $BOD/COD \geq 0,5$, adalah air limbah yang dapat diolah secara biologis (Kallas & Kindsigo, 2006). Dalam pengolahan biologis, nitrogen dan fosfor pada air limbah juga dapat dihilangkan (Riffat, 2019). Menurut Said & Marsidi (2005), pengolahan air limbah secara biologis dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga): pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*), tumbuhan melekat (*attached growth*), dan sistem *lagoon* atau kolam.

2.7 Penggunaan Daur Ulang Air Limbah dan Baku Mutunya

Kebanyakan industri mengolah dan mendaur ulang air limbahnya dari prosesnya untuk menyimpan air dan menghindari standar peraturan yang ketat untuk pembuangan limbah. Utamanya, penggunaan kembali air industri adalah: (1) air untuk tower pendingin, (2) air untuk umpan boiler, (3) air untuk proses, (4) air untuk irigasi lansekap di sekitar pabrik, (5) air untuk pekerjaan konstruksi (Qasim & Zhu, 2018; Said, 2006). Alternatif pemanfaatan lain yang dapat dipilih adalah penggunaan efluen air limbah untuk *flushing* toilet dan kegiatan mandi cuci kakus (MCK).

Untuk menjamin keamanan dalam proses penggunaan, maka kualitas air harus memenuhi baku mutu yang tercantum dalam Permenkes 32/2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Media Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi. Pada perencanaan ini, diadopsi beberapa parameter yang berhubungan langsung dengan parameter air limbah, yang

dapat dilihat pada **Tabel 2.2** di bawah. Berikut adalah parameter dan baku mutunya yang diadopsi pada perencanaan ini.

Tabel 2.2 Hasil adopsi baku mutu untuk daur ulang air limbah

| Parameter | Baku mutu | Satuan |
|-----------------------|-----------|------------|
| BOD ₅ | 40 | mg/L |
| COD | 100 | mg/L |
| TSS | 50 | mg/L |
| pH | 6,5-8,5 | |
| NH ₃ -N | 10 | mg/L |
| NO ₃ -N | 10 | mg/L |
| Kekeruhan | 25 | NTU |
| Total <i>Coliform</i> | 50 | CFU/100 ml |
| <i>E. coli</i> | 0 | CFU/100 ml |

Sumber: Permenkes 32/2017 & Permen LH 5/2014

2.8 Teknologi Daur Ulang Air Limbah

Dalam kegiatan daur ulang air limbah industri, digunakan teknologi tambahan untuk menghilangkan kontaminasi fisik-kimia tertentu, juga untuk mematikan mikroorganisme patogen (Said, 2006). Beberapa faktor perlu dipertimbangkan dalam memilih teknologi daur ulang air limbah: (1) jenis penggunaan air daur ulang, (2) karakteristik air limbah pada proses *feed stream*, (3) kualitas target daur ulang, (4) konstituen pencemar, (5) kesesuaian dengan proses eksisting, (6) fleksibilitas proses, (7) biaya operasional dan perawatan, (8) kebutuhan energi, (9) jumlah pekerja yang dibutuhkan, (10) dan batasan lingkungan. Teknologi pengolahan daur ulang air limbah dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Teknologi daur ulang air limbah dan jenis konstituen yang disisihkan

| Unit operasi/proses | Jenis konstituen | | | | | | | | | | |
|--|------------------|--------|-----------------|-------------------------|----------|--------|-------------------|-----|---------|----------|-------|
| | SS | Koloid | Senyawa organik | Materi organik terlarut | Nitrogen | Fosfor | Trace constituent | TDS | Bakteri | Protozoa | Virus |
| Pengolahan sekunder | v | | | v | | | | | | | |
| Pengolahan sekunder dengan penyisihan nitrogen | | | | v | v | v | | | | | |
| <i>Depth filtration</i> | v | | | | | | | | v | v | |
| <i>Surface filtration</i> | v | | v | | | | | | v | v | |
| Mikrofiltrasi | v | v | v | | | | | | v | v | |
| Ultrafiltrasi | v | v | v | | | | | | v | v | v |
| <i>Dissolved air flotation</i> | v | v | v | | | | | | | v | v |
| Nanofiltrasi | | | v | v | | | v | v | v | v | v |
| <i>Reverse osmosis</i> | | | | v | v | v | v | v | v | v | v |
| Elektrodialisis | | v | | | | | | v | | | |
| Adsorpsi karbon | | | | v | | | v | | | | |
| <i>Ion exchange</i> | | | | | v | | v | v | | | |
| <i>Advanced oxidation</i> | | | v | v | | | v | | v | v | v |
| Desinfeksi | | | | v | | | | | v | v | v |

Sumber: Asano (2007)

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam merancang sistem daur ulang efluen air limbah. Sari & Wiloso (2008) meneliti hasil dari rangkaian teknologi daur ulang air limbah berbiaya rendah yang terdiri dari klorinasi, *rapid sand filter*, dan *carbon active filter*. Hasil yang didapatkan cukup memuaskan, di mana dinyatakan bahwa penggunaan rangkaian teknologi tersebut dapat memberikan manfaat dari segi lingkungan dan finansial secara signifikan. Penelitian teknologi daur ulang efluen berbiaya rendah juga dilakukan oleh (Mulla, 2014) dengan menerapkan *wetland*, adsorpsi, dan desinfeksi, di mana rangkaian ini terbukti dapat mengolah kandungan *solids* dan nutrisi dengan baik. Adapun penelitian lain yang dilakukan oleh Sarkar *et al.* (2006) dengan memanfaatkan kombinasi koagulasi, adsorpsi dan separasi membran. Didapatkan, konstituen seperti warna dan bau hilang secara permanen, di mana efluen memiliki kualitas yang sangat baik sehingga didapatkan air daur ulang yang layak pakai.

2.5 Sistem IPAL Industri Pengolahan Susu

Dalam mengolah air limbah industri pengolahan susu, teknologi yang paling banyak digunakan adalah proses anaerobik. Akan tetapi, pengolahan anaerobik hanya menyisihkan sebagian dari kandungan minyak dan lemak dan juga nutrisi pada air limbah, sehingga untuk menyisihkannya secara sempurna dibutuhkan pengolahan lebih lanjut ataupun pengolahan aerobik. Namun, kelemahan utama dari proses aerobik adalah kebutuhan energi yang tinggi. Untuk mengurangi kebutuhan energi pada proses aerobik, proses pengolahan fisika-kimia dapat dikombinasikan dengan pengolahan aerobik. Alternatif lain adalah dengan menggabungkan proses anaerobik-aerobik, di mana banyak hasil studi menjelaskan bahwa kombinasi ini memberikan hasil pengolahan yang baik tetapi diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi *removal* (Kushwaha *et al.*, 2011).

Teknologi yang umum ditemukan untuk mengolah air limbah industri susu adalah *grease trap*, *oil-water separator* untuk pemisahan padatan mengapung, bak ekualisasi, dan *clarifier* untuk menghilangkan padatan tersuspensi. Pengolahan biologis terdiri dari proses aerobik dan anaerobik, di mana pengolahan anaerobik dan pengolahan aerobik dikombinasikan untuk meningkatkan efisiensi penyisihan bahan organik terlarut (BOD). Untuk menghilangkan kandungan nitrogen dan fosfor, penggunaan *biological nutrient removal* (BNR) juga tidak jarang dijumpai. Klorinasi efluen juga dilakukan untuk tujuan desinfeksi sebelum air digunakan kembali dalam skema penggunaan kembali efluen air limbah (World Bank Group, 2007). Selain pengolahan konvensional seperti yang disebutkan di atas, opsi pengolahan seperti penggunaan membran terbukti dapat menghasilkan efluen yang berkualitas tinggi. Kombinasi *reverse osmosis*, *nanofiltration*, dan *ultrafiltration* dengan satu sama lain maupun dengan proses biologis dan/atau proses kimia sangat berpotensi untuk diteliti lebih jauh kedepannya (Kushwaha *et al.*, 2011).

2.5.1 Sumur Pengumpul

Sumur pengumpul merupakan salah satu bangunan pendukung yang berfungsi untuk mengumpulkan air limbah dari sistem penyaluran air limbah. Diakibatkan unit-unit pengolahan utama berada di atas tanah, diperlukan pemompaan untuk menaikkan air limbah agar kemudian proses pengolahan dapat berjalan secara gravitasi. Sumur pengumpul direncanakan dengan kapasitas yang cukup besar untuk mencegah kerja pompa yang terus menerus (pompa direncanakan lebih dari satu dalam satu sumur pengumpul) (Kementerian PUPR, 2018).

Jenis atau tipe pompa merupakan pertimbangan dari perencanaan kedalaman sumur pengumpul, di mana setiap pompa memiliki ketinggian air minimum untuk menjaga operasional pompa dapat berjalan dengan baik. Kapasitas sumur pengumpul juga harus

memerhatikan waktu detensi yang tidak terlalu lama sehingga berpotensi mengakibatkan terjadi proses biologi yang menimbulkan bau berlebihan. Oleh karena itu, ditetapkan pada Permen PUPR No. 04 Tahun 2017, waktu detensi ideal pada sumur pengumpul yakni < 10 menit. Di dalam sumur pengumpul, terdapat *bar screen* yang merupakan unit *preliminary treatment* dengan mekanisme penyaringan (*screening*).



Gambar 2.2 Sumur pengumpul

Sumber: Kementerian PUPR (2017)

2.5.2 Bar Screen

Bar screen adalah salah satu alat penyaringan (*screening*) yang lumrah digunakan pada IPAL. Fungsi dari mekanisme *screening* ini adalah menyisihkan limbah padat berukuran besar (sampah plastik, daun, ranting, popok bayi) yang berpotensi merusak peralatan, *block valve*, nozel, saluran, pipa, dan perlengkapan lainnya (Qasim & Zhu, 2018).

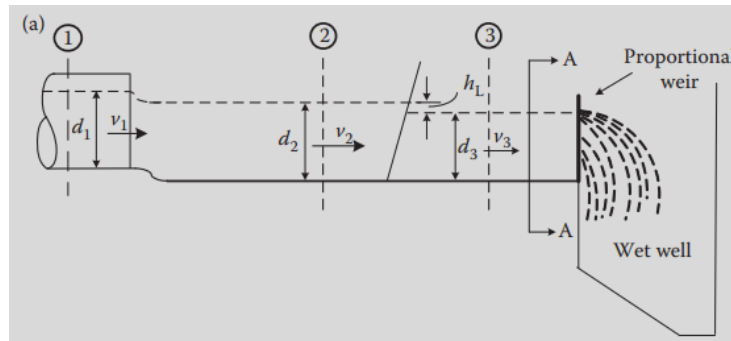
Pengoperasian pembersihan *bar screen* terbagi menjadi 2: (1) pengoperasian manual dan (2) pengoperasian mekanis. Pada pengoperasian manual, pembersihan dilakukan oleh pekerja dengan biasanya mendesain screen dengan kemiringan tertentu. Sementara pembersihan mekanis dilakukan dengan bantuan mesin. Pembersihan dilakukan apabila kecepatan air telah melebihi 0,6 m/detik pada *bar screen* manual dan 1 m/detik pada *bar screen* mekanis.



Gambar 2.3 Bar screen manual dan pembersihannya

Sumber: <https://lagoons.com/>

Sebelum memasuki *bar screen*, air limbah dilewatkan dulu ke saluran yang ditentukan dimensinya. Ini bertujuan untuk menjaga kecepatan minimum aliran sebesar 0,3 m/detik.



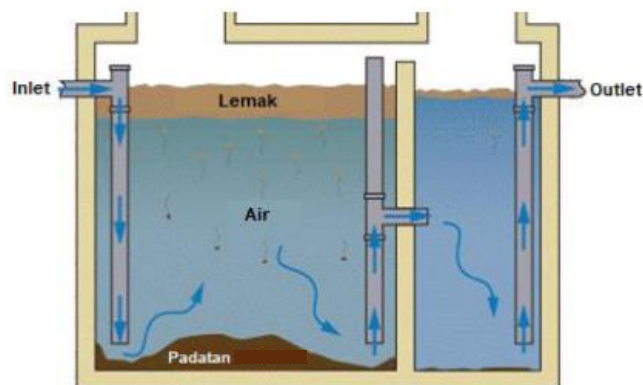
Gambar 2.4 Skema pengaliran air limbah dari pipa air limbah terakhir ke *bar screen*

Sumber: Qasim & Zhu (2018)

2.5.3 Grease Trap

Penyisihan minyak dan lemak menggunakan *grease trap* dilakukan untuk mencegah terjadinya gangguan pada unit pengolahan selanjutnya. Pada umumnya, *grease trap* terdiri dari dua kompartemen: (1) kompartemen pertama: berbagai jenis padatan dalam air limbah, di mana padatan dengan berat jenis lebih berat dari air akan mengendap sedangkan padatan dengan berat jenis lebih ringan dari air (seperti minyak dan lemak) akan mengapung di permukaan air, (2) kompartemen kedua: memastikan bahwa minyak dan lemak tetap tertahan di dalam sistem dan tidak ikut terbawa air limbah mengalir menuju unit pengolahan selanjutnya. Minyak dan lemak yang tertahan di atas permukaan air pada unit harus dibersihkan secara berkala agar kebersihan unit terjaga, serta mencegah terjadinya penyumbatan (Kementerian PUPR, 2017).

Dalam merencanakan *grease trap*, Kementerian PUPR menyarankan untuk menetapkan kecepatan aliran sebesar 2 – 6 m/jam, dengan waktu detensi 5–20 menit. Kompartemen pertama memiliki panjang 2/3 dari panjang total, sementara kompartemen 2 dengan panjang 1/3 dari panjang total.



Gambar 2.5 Grease trap

Sumber: Kementerian PUPR (2017)

2.5.4 Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi adalah unit yang berfungsi untuk menyeragamkan debit air limbah yang berfluktuasi, sehingga didapatkan debit yang konstan. Terdapat beberapa keuntungan

dari penggunaan bak ekualisasi dalam proses pengolahan air limbah, yakni peningkatan kinerja pengolahan biologis diakibatkan potensi terjadinya *shock loading* dapat dieliminasi serta diperolehnya pH yang stabil. Setelah keluar dari bak ekualisasi, debit air limbah yang awalnya berfluktuasi akan menjadi debit rata-rata (Metcalf & Eddy, 2014).

Menurut Kementerian PUPR (2018), pada perencanaan bak ekualisasi, terdapat beberapa komponen yang perlu diperhatikan:

- 1) Pompa: digunakan untuk mengatur debit air limbah yang keluar dari bak ekualisasi.
- 2) *Mixer/aerator*: Berfungsi untuk menyeragamkan kualitas air limbah. Mixer ataupun aerator juga mencegah proses pengendapan material padatan pada dasar bak. Untuk mempertahankan kondisi aerobik, udara perlu disuplai sebanyak $0,01 - 0,015 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{menit}$.



Gambar 2.6 Bak ekualisasi

Sumber: www.tradeindia.com/

2.5.5 Chemical Mixing

Terdapat banyak teknologi pengadukan (*mixing*) air dengan bahan kimia yang sudah berkembang hingga saat ini: 1) pengadukan hidrolis; 2) pengadukan mekanis; 3) pengadukan pneumatik. Pada pengadukan hidrolis, pencampuran terjadi sejalan dengan aliran air yang diakibatkan adanya energi hidrolik (Rizky & Juliardi AR, 2020). Umumnya proses pengadukan ini menggunakan unit saluran bersekat, injeksi *in-line* dan terjunan (SNI 6774:2008). Pengadukan mekanis menggunakan alat yang bernama *mixer* yang beroperasi seperti pompa sentrifugal tanpa *casing*. *Impeller* atau baling-baling menciptakan turbulensi di tangki pengadukan yang memungkinkan pengadukan terjadi (Qasim & Zhu, 2018). Sedangkan pada pengadukan pneumatik, turbulensi ditimbulkan akibat dari gas udara terkompresi (biasanya udara bebas atau oksigen) yang diinjeksikan di dasar tangki pengadukan (Metcalf & Eddy, 2014).

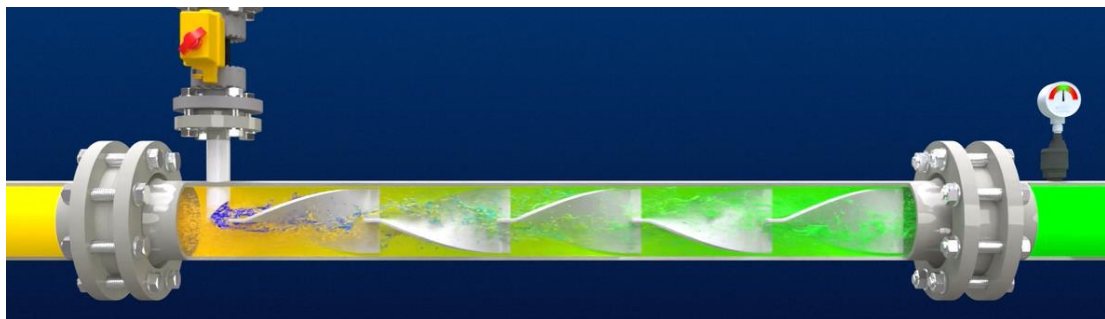
Proses pengadukan untuk optimalisasi proses flotasi lumrahnya menggunakan *inline static mixer*. Pada *static mixer*, terdapat baling-baling (*vane*) internal yang menyebabkan perubahan kecepatan pada pipa secara tiba-tiba. Perubahan kecepatan, dibantu dengan bentuk dari baling-baling inilah, yang kemudian memungkinkan terjadinya aliran turbulen, sehingga proses pengadukan bahan kimia dengan air limbah dapat terjadi.



Gambar 2.7 *Static mixer*

Sumber: www.koflo.com/static-mixers.html

Setiap satu rangka baling-baling di dalam *static mixer* disebut sebagai “elemen”, di mana semakin banyak elemen, maka semakin baik pencampuran yang terjadi; akan tetapi, *headloss* akan bertambah besar pula. Durasi pengadukan di dalam *static mixer* umumnya sangat singkat, tipikalnya di bawah 1 detik. Namun, durasi pengadukan akan bervariasi sesuai dengan banyaknya elemen yang digunakan. *Static mixer* tidak menggunakan gradien kecepatan (*G*) untuk mengukur tingkat pencampuran, melainkan menggunakan *headloss/pressure drop* (Metcalf & Eddy, 2014).



Gambar 2.8 Proses pencampuran di *static mixer* 5 elemen

Sumber: <https://www.kwerk.de/statische-mischer/>

Proses *mixing* di dalam *static mixer* dapat ditujukan untuk koagulasi (pengadukan cepat), yakni mekanisme untuk menyisihkan padatan tersuspensi pada air dengan menggumpalkan padatan tersuspensi tersebut menjadi lendir (*slime*), yang kemudian diflotasi dan disisihkan. Koagulasi menggunakan garam seperti tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), garam-garam besi (FeCl_3 , FeCl_2 , dan lainnya) yang berikatan dengan partikel tersuspensi, mengganggu kestabilan dalam suspensi, sehingga padatan akan lebih mudah untuk menggumpal. Untuk membantu proses koagulasi, digunakan *coagulant aid* seperti polimer sintesis alami dan polimer organik sintesis (Rosemount Analytical Inc., 2009).

2.5.6 Netralisasi

Penyisihan keasaman dan alkalinitas berlebih menggunakan bahan kimia yang bersifat berlawanan dengan sifat air limbahnya disebut dengan netralisasi. Umumnya, air limbah yang memiliki pH yang terlalu tinggi maupun rendah harus dinetralkan terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air (Metcalf & Eddy, 2014). Selain itu, pH juga mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi, di mana pH yang terlalu rendah dapat menyebabkan proses koagulasi berlangsung, sedangkan pH yang terlalu tinggi dapat menyebabkan partikel yang terkoagulasi terdispersi kembali. Ukuran partikel yang terkoagulasi juga dipengaruhi oleh pH, yang selanjutnya menentukan densitas *slime* yang terflokulasi dan kecenderungan serta kecepatan pengendapannya. pH optimum untuk proses koagulasi dan flokulasi harus ditentukan secara eksperimental. Ini spesifik untuk setiap aplikasi dan tergantung pada sampel, zat koagulasi dan flokulasi yang digunakan, kejernihan air yang diinginkan, dan penggunaan air hasil proses (Rosemount Analytical Inc., 2009).

Pada air limbah dengan pH rendah lumrahnya dinetralkan menggunakan natrium hidroksida (NaOH, disebut juga basa kaustik) dan natrium karbonat. Kedua bahan kimia dikenal memiliki tingkat kemudahan yang tinggi dan banyak digunakan di IPAL yang tergolong kecil. Dalam pengaplikasiannya dalam proses *feeding* ke air limbah, basa kaustik yang berbentuk kering (*dry*) atau bubur (*slurry*) diinjeksi menggunakan *metering pump*. Basa kaustik disimpan di dalam tangki penyimpanan yang berbahan besi, baja, ataupun plastik (Metcalf & Eddy, 2014).



Gambar 2.9 Tangki penyimpanan bahan kimia

Sumber: Metcalf & Eddy (2014)

2.5.7 Dissolved Air Flotation

Dissolved air flotation (DAF) adalah teknologi pemisahan padatan tersuspensi dan minyak dari air limbah yang menggunakan prinsip flotasi dengan melarutkan udara ke dalam air limbah pada tekanan tertentu, dilanjutkan dengan pelepasan udara pada tekanan atmosfer di tangki flotasi. Udara yang dilepaskan membentuk gelembung-gelembung kecil yang menempel pada padatan tersuspensi yang menyebabkannya mengapung ke permukaan. Padatan tersuspensi ini kemudian disisihkan dengan bantuan *skimmer* (Beychok, 1967; Kiuru & Vahala, 2001; Wang, 2004).



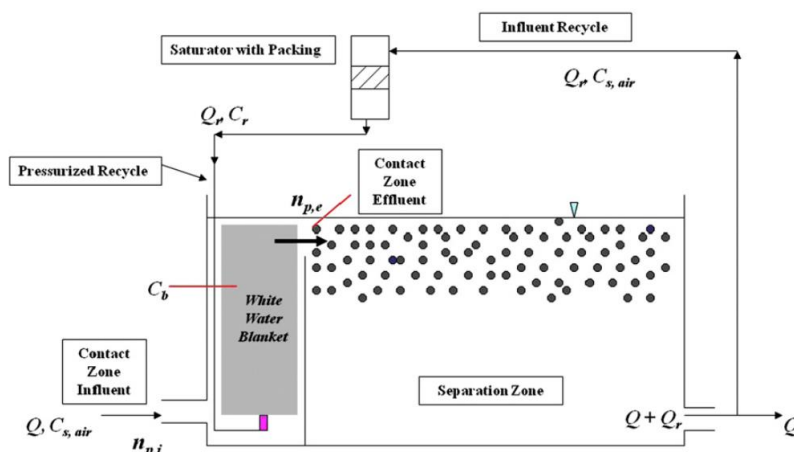
Gambar 2.10 Dissolved air flotation

Sumber: www.dagyee.com/

Menurut Edzwald (2010), Tangki DAF dibagi menjadi dua zona (**Gambar 2.11**):

- 1) Tangki tekan (atau disebut juga zona kontak), yang memberikan peluang terjadinya kontak dan perlekatan antara partikel flok dari unit pengolahan kimia dan gelembung udara. Gelembung udara dengan flok yang melekat disebut agregat-flok-gelembung (*floc-bubble-aggregates*). Selanjutnya, aliran air limbah akan membawa suspensi agregat-flok-gelembung, gelembung bebas, dan partikel flok yang tidak terikat mengalir ke bagian kedua tangki, dengan terdapat *baffle* sebagai pemisah kedua tangki tersebut.
- 2) Tangki lepas (disebut juga zona pemisahan), Pada tangki lepas, agregat-flok-gelembung dan gelembung bebas mengalami pengapungan ke atas permukaan air.

DAF umumnya diawali dengan proses koagulasi dan flokulasi. Koagulan seperti polialuminium klorida (PAC) digunakan untuk proses destabilisasi partikel tersuspensi, sementara flokulan seperti akrilamida digunakan untuk mengagregasi partikel yang tidak stabil ini menjadi flok yang besar. Flok ini kemudian menempel pada permukaan gelembung udara, naik ke permukaan atas tangki lepas dan akhirnya disisihkan menggunakan *skimmer* (Nagappan *et al.*, 2018).



Gambar 2.11 Skema proses dan zona pada DAF

Dalam merencanakan DAF, terdapat beberapa parameter kunci yang perlu diperhatikan:

- Rasio *air-solids* (rasio A/S)

Untuk mencapai suatu kualitas pemisahan cairan-padatan, performa DAF utamanya bergantung kepada rasio A/S, yakni volume udara terhadap volume padatan. Rasio A/S dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti tekanan udara operasional, kelarutan udara, dan fraksi udara terlarut pada tekanan udara operasional. Rasio ini bervariasi pada jenis air limbah dan ditentukan melalui uji laboratorium. Tipikalnya, rasio A/S memiliki rentang nilai 0,005 hingga 0,060 (Metcalf & Eddy, 2014)

- *Solids loading rate* (SLR)

SLR merupakan besaran yang menyatakan perbandingan jumlah padatan, minyak, dan lemak yang masuk terhadap luas permukaan tangki efektif per satuan waktu. Menurut Ratnayaka *et al.*, (2009), SLR pada DAF umumnya berada pada kisaran nilai 4–15 kg/m².jam.

- *Surface overflow rate* (SOR)

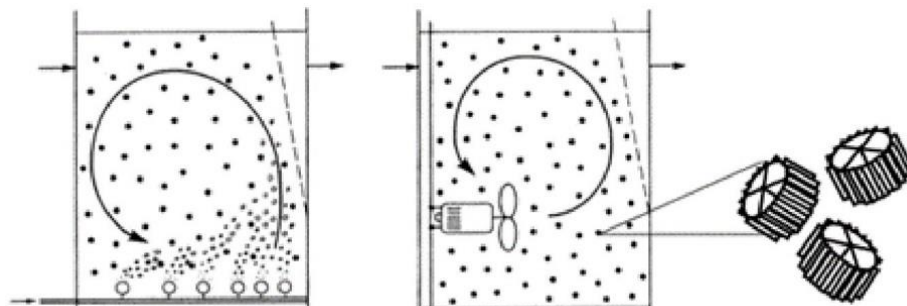
SOR adalah nilai perbandingan antara kuantitas debit influen yang masuk terhadap luas permukaan permukaan tangki efektif. Agregat-flok-gelembung akan mengapung apabila kecepatan mengapung (v_{rise}) agregat lebih besar ketimbang nilai HLR (Edzwald, 2010). HLR tipikal yang ditemukan pada banyak DAF yang telah beroperasi berada pada rentang 5–15 m³/m².hari.

- Resirkulasi

Efluen dari DAF umumnya diresirkulasi kembali untuk meningkatkan efisiensi flotasi. Besarnya persentase resirkulasi bervariasi, yakni 8–12% (Edzwald, 2010).

2.5.8 Moving Bed Biofilm Reactor

Moving bed biofilm reactor (MBBR) muncul untuk pertama kalinya pada akhir 1980 hingga awal 1990 di Norwegia ketika sistem biofilm tidak memadai untuk menghilangkan nitrogen dari limbah. Proses ini menggunakan biomassa tersuspensi (*suspended biomass*), mirip dengan proses lumpur aktif konvensional (*conventional activated sludge process*), dan biomassa terlekat (*attached biomass*), sebagai biofilter.



Gambar 2.12 MBBR aerobik (kiri), MBBR anoksik/anaerobik (kanan)

Sumber: www.coftec.ie/

Untuk meningkatkan kelekatan biomassa, potongan-potongan kecil *High Density Polyethylene* (HDPE), yang dikenal sebagai *carrier*, ditambahkan ke dalam tangki, di mana biofilm akan terbentuk dan akan tumbuh lebih lanjut. Mekanisme ini memungkinkan penghapusan skema daur ulang lumpur yang biasanya diperlukan dalam sistem konvensional. MBBR dapat digunakan untuk proses aerobik, anoksik, atau anaerobik (Qiqi *et al.*, 2012; Rusten *et al.*, 1996).



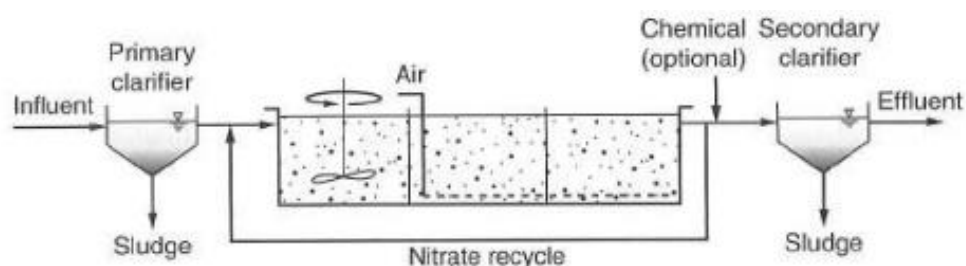
Gambar 2.13 Media kaldnes, salah satu media *carrier* yang umum digunakan pada MBBR

Sumber: www.onlinebalirefaquarium.com/

Media *carrier* MBBR biasanya berdensitas rendah, sekitar 950kg/m^3 dan sedikit lebih tinggi dalam reaktor non-aerasi. Reaktor biasanya diisi oleh media sekitar 50-65%. Media harus terdistribusi secara merata di dalam reaktor dan biasanya digunakan difuser gelembung medium, dengan DO harus dipertahankan antara 2-3 mg/L tergantung pada persyaratan kinerja IPAL. Outlet reaktor MBBR membutuhkan saringan untuk menahan media di dalam reaktor (Pastor-Soltes, 2022).

Kunci parameter desain dari proses MBBR adalah *surface area removal flux* (SARF) atau *surface area loading rate* (SALR) (dalam $\text{gBOD/m}^2\cdot\text{hari}$ (penyisihan BOD), $\text{gNH}_3\text{-N/m}^2\cdot\text{hari}$ (nitrifikasi), dan $\text{gNO}_3\text{-N/m}^2\cdot\text{hari}$). Debit pengolahan akan dibagi dengan SARF untuk menemukan luas permukaan media. Luas permukaan media merepresentasikan jumlah media yang dibutuhkan bukan luas permukaan reaktor. Luas permukaan media akan dibagi dengan luas spesifik untuk mendapatkan volume reaktor yang dibutuhkan (Bengston, 2017)

Terdapat banyak perkembangan dan modifikasi dari model MBBR, salah satunya adalah model *Modified Ludzack-Ettinger* (MLE). Model ini didesain untuk penyisihan nitrogen secara khusus dan penyisihan BOD secara umum. Pada MBBR-MLE, didapati zona preanoksik dengan resirkulasi nitrat, diikuti dengan 2 atau lebih reaktor aerobik setelahnya. Bahan kimia dapat ditambahkan sebelum *clarifier* untuk penyisihan fosfor (Metcalf & Eddy, 2014).



Gambar 2.14 MBBR-MLE

Sumber: Metcalf & Eddy (2014)

2.5.9 Clarifier

MLSS dari reaktor biologis diendapkan pada *clarifier* untuk menghasilkan efluen yang terendapkan dengan baik. *Clarifier* dirancang untuk melakukan dua fungsi utama: (1) menyediakan proses pengendapan gravitasi pada padatan dan efluen (*effluent clarification*) dan (2) menghasilkan aliran *underflow* yang kental sebagai proses *sludge thickening*. Untuk mencapai kedua fungsi tersebut, diperlukan kedalaman zona klarifikasi dan zona lumpur yang cukup. Di zona klarifikasi yang lebih dalam, padatan yang mengendap (*settled solids*) berada di bawah weir dan menjadi efluen air limbah. Zona lumpur yang lebih dalam menyediakan penyimpanan untuk padatan yang mengendap untuk pengentalan (*thickening*), dan mempertahankan *sludge blanket* yang memadai. Jika *sludge blanket* yang cukup tidak dipertahankan, lumpur yang belum kental akan dikembalikan ke bak aerasi atau unit pengolahan lumpur aktif lainnya (Qasim & Zhu, 2018).

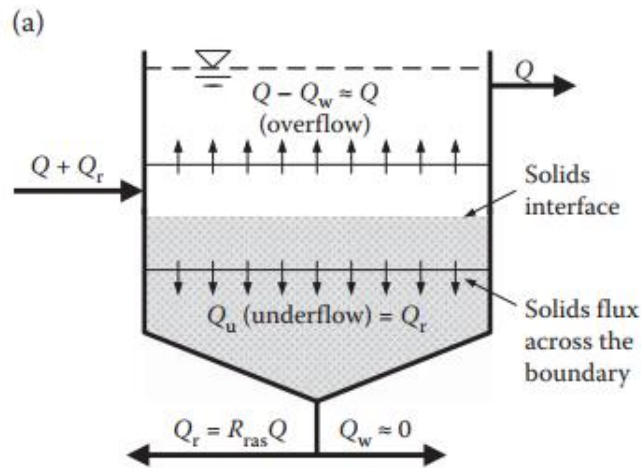


Gambar 2.15 Clarifier

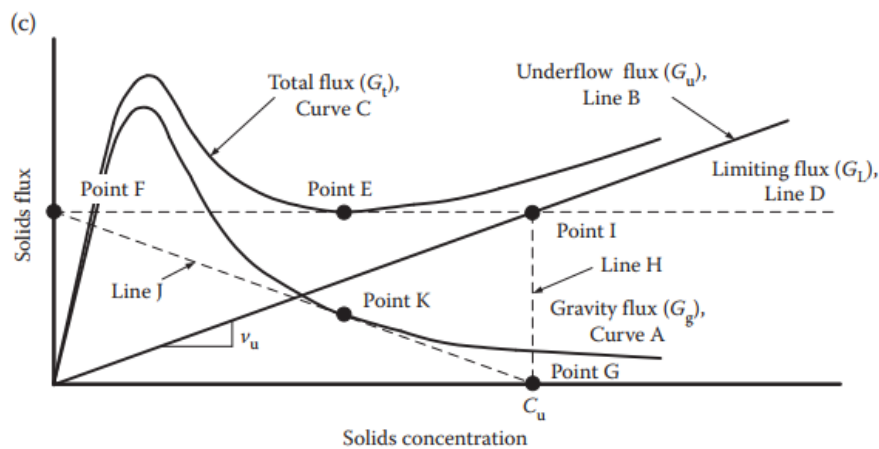
Sumber: www.probiotic.com/

Dalam mendesain *clarifier*, terdapat beberapa pertimbangan: (1) surface overflow rate atau surface settling rate, (2) waktu detensi, (3) weir loading rate (WLR), (4) bentuk dan dimensi tangki, (5) solid loading rate, (6) struktur influen dan efluen, (7) *sludge collection & removal*. Dalam perencanaan ini, dipilih final clarifier yang berbentuk lingkaran karena tangki berbentuk persegi memiliki performa yang buruk akibat akumulasi solid pada pojok tangki dan gangguan endapan padatan oleh *sludge collector*. Influen beroperasi secara upflow, dengan struktur efluen berbentuk v-notch. Pada konsentrasi padatan yang tinggi, gaya antar partikel menjadi signifikan. Pengendapan terhambat karena resistensi tambahan terhadap gerakan yang disebabkan oleh partikel di sekitarnya. Partikel tersuspensi cenderung mengendap sebagai *sludge blanket*. Sebuah permukaan (interface) berkembang yang meninggalkan *clarified zone* di bagian atas *clarifier*. Di bawah *interface*, suspensi bergerak ke bawah berkonsentrasi menuju lapisan bawah di mana lumpur perlahan-lahan memadat (Qasim & Zhu, 2018).

Pada *clarifier*, penentuan solid retention time ditentukan berdasarkan teori di atas. Singkatnya, pada sampel lumpur aktif, proses pengendapan (*settling*) dapat ditentukan melalui observasi pergerakan interface *solid-liquid*, yang kemudian dimodelkan menjadi grafik *solid flux* (Ekama, et al., 1997)



Gambar 2.16 Ilustrasi *solids interface* & *solids flux* pada clarifer



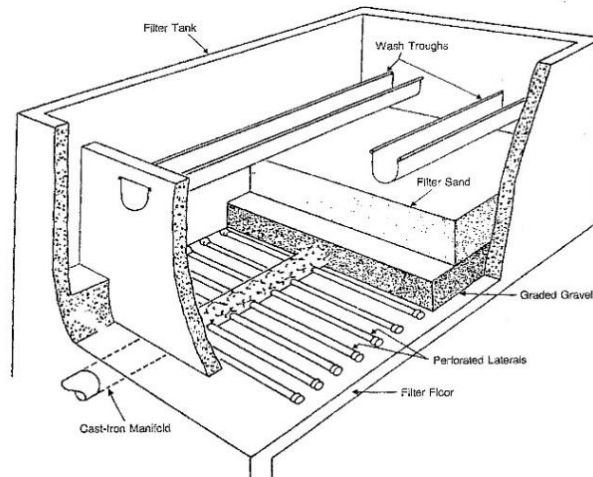
Gambar 2.17 Grafik *solids flux* terhadap konsentrasi *solids*

Sumber: Qasim & Zhu, 2018

2.5.10 Rapid Sand Filter

Dalam pengolahan air limbah, *rapid sand filter* adalah unit filtrasi yang masuk dalam kategori *depth filtration*. *Depth filtration* digunakan untuk 1) penyisihan tambahan padatan tersuspensi residual (termasuk di dalamnya BOD partikulat dan fosfor), 2) mengurangi massa padatan pada proses pembuangan (*discharge*), 3) proses pengondisian untuk meningkatkan kinerja unit desinfeksi setelahnya (Metcalf & Eddy, 2014). Selain dapat mereduksi padatan filtrasi juga mampu mereduksi bakteri, menghilangkan bau, warna, rasa, kandungan besi dan mangan. Kelebihan *rapid sand filter* adalah dari segi dimesi, di mana unit filtrasi yang tidak memerlukan lahan yang luas. Akan tetapi, di dalam prosesnya, *rapid sand filter* membutuhkan *backwash*, yakni proses pencucian dari arah berkebalikan yang dilakukan saat filter sudah tersumbat oleh kotoran-kotoran yang tersaring (Schulz & Okun, 1984). Terdapat beberapa susunan media pada filter:

- *Single media* : pasir
- *Dual media* : pasir dan antrasit, terpisah
- *Mixed media* : pasir dan antrasit, bercampur



Gambar 2.18 Rapid sand filter

Sumber: US EPA

Dalam perencanaan *rapid sand filter*, ukuran butiran pasir merupakan parameter desain yang krusial. Ukuran butiran pasir akan mempengaruhi proses penyisihan partikel tersuspensi dan partikel koloid, dan *Headloss* yang terjadi saat pengoperasian filter. Pendistribusian ukuran butiran pasir sebagai bahan media ditentukan menggunakan analisis pengayakan. Hasil dari analisis ini, akan didapatkan ukuran efektif media (d_{10} , yakni 10% ukuran butiran berdasarkan berat), dan koefisien keseragaman (UC, singkatan dari *uniformity coefficient*). Besar UC adalah d_{60}/d_{10} .

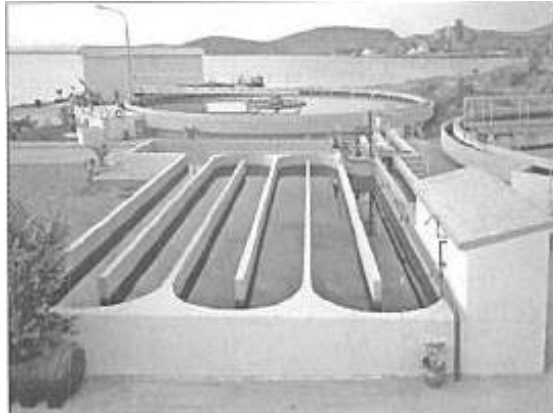
2.5.11 Desinfeksi

Terdapat 4 kategori organisme ditemukan pada air limbah yang dapat masuk ke dalam tubuh manusia dan menjadi sumber penyakit: (1) bakteri, (2) kista protozoa, (3) virus, dan (4) telur cacing. Desinfeksi adalah proses pemusnahan mikroorganisme patogenik hingga derajat tertentu yang diinginkan (Metcalf & Eddy, 2014). Dalam prosesnya, tercatat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi efektifitas desinfeksi:

1. Waktu kontak dan efisiensi hidrolis bak kontak
2. Konsentrasi desinfektan
3. Temperatur
4. Tipe organisme
5. Jenis air limbah yang diproses

Klorin (Cl_2), dari sekian banyak alternatif yang lain, merupakan desinfektan yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Klorin dapat berwujud baik gas (berwarna kung kehijauan) maupun cairan yang bertekanan (berwarna kuning). Berbagai bentuk senyawa klorin yang kerap digunakan adalah klorin (Cl_2), natrium hipoklorit ($NaOCl$), dan klorin dioksida (ClO_2) (Metcalf & Eddy, 2014).

Tangki kontak klorin adalah unit fisik yang menjadi wadah di mana air limbah dan klorin mengalami kontak dan pencampuran. Prinsip desain dari tangki kontak klorin adalah untuk memastikan bahwa segenap bagian dari debit air limbah yang masuk untuk tetap berada pada tangka, sehingga waktu kontak yang optimum dapat diraih (Metcalf & Eddy, 2014). Menurut Qasim & Zhu (2018), dosis klorin yang optimal berada pada kisaran 8–16 mg/L.



Gambar 2.19 Tangki kontak klorin

Sumber: Metcalf & Eddy (2014)

2.5.12 Filter Press

Filter press adalah unit mekanikal dalam proses pengeringan lumpur (*sludge dewatering*) yang terdiri dari piring (*plate*) bulat atau persegi panjang yang ditutupi dengan kain saring. Unit filter dapat terdiri dari 20-200 ruang. Terdapat dua jenis *filter press*: (a) *fixed volume* dan (b) *variable volume*. Terdapat beberapa keunggulan dari *filter press*: (a) kandungan padatan pada *cake* yang tinggi (25-55%), (b) *solids capture rate* yang tinggi, (c) kandungan TSS pada filtrat yang rendah, (d) kemudahan operasi. Adapun kekurangannya: (a) hanya beroperasi secara *batch*, (b) biaya O&M yang tinggi, (c) memerlukan banyak tenaga kerja, (d) (Qasim & Zhu, 2018).



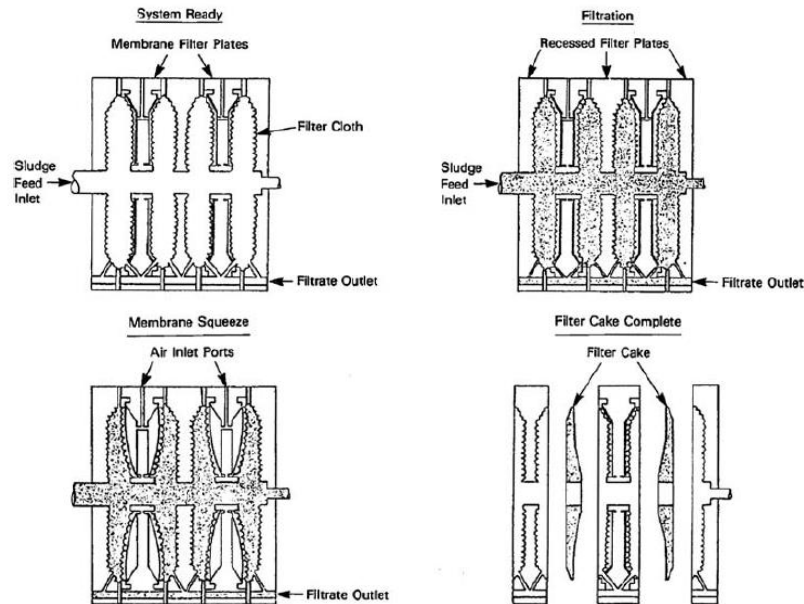
Gambar 2.20 Filter press

Sumber: www.pama.co.id/

Melanjutkan dari Qasim & Zhu (2018), area filtrasi tipikal berkisar antara 0,3–6 m² per ruang dengan ukuran ukuran pelat 0,5–2m. Urutan pengoperasian *filter press* adalah sebagai berikut:

1. Pengisian ruang dengan lumpur yang sudah terkondisikan.
2. Penerapan tekanan yang diinginkan dan mempertahankan selama periode yang diperlukan.
3. Filtrat melewati kain saring dan pelat ke port outlet.
4. Memisahkan pelat dan pengeluaran *cake* dari kain saring.
5. Kain dicuci dan mesin ditutup untuk siklus operasi berikutnya.

Dalam *filter press fixed volume*, tekanan 700–1550 kPa (100–225 psig) diaplikasikan oleh pompa umpan dan dijaga selama 1-3 jam, dengan waktu siklus 2–5 jam. Dalam *filter press variable volume*, diafragma membran ditempatkan di belakang kain saring. Ketika diperluas di bawah tekanan udara atau hidrolik, membran menjepit lumpur di dalam ruang dan menekan lebih banyak filtrat melalui kain saring (**Gambar 2.21**). Total waktu siklus sekitar 60–180 menit, dengan tekanan tipikal 700-900 kPa (100-130 psig).



Gambar 2.21 Siklus proses pada *filter press*

Sumber: Qasim & Zhu (2018)

2.6 Penelitian dan Perencanaan Terdahulu

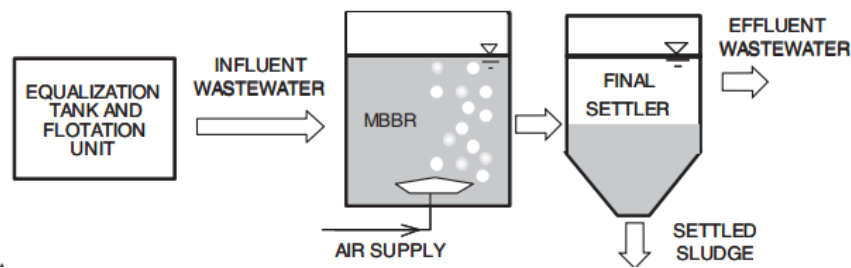
Sebagai sarana yang dapat membantu perencana untuk menentukan teknologi yang tepat untuk mengolah air limbah pengolahan susu, maka dilakukan peninjauan terhadap penelitian dan perencanaan terdahulu yang dimuat pada sumber-sumber literatur. Berikut adalah beberapa contoh penelitian dan perencanaan pengolahan air limbah pengolahan susu yang pernah dilakukan sebelumnya.

2.6.1 Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Susu Menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

Penggunaan *moving bed biofilm reactor* (MBBR) dengan dilengkapi media plastik FLOCOR-RMP[®] menunjukkan tingkat penyisihan polutan air limbah khususnya kandungan COD dan nutrisi yang terbilang baik pada industri pengolahan susu penghasil keju dan air dadih. MBBR diletakkan setelah bak ekualisasi dan unit flotasi, kemudian diikuti dengan *final settler* tanpa resirkulasi lumpur, seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 2.24**. Skema ini merupakan skema pilot dengan volume MBBR sebesar 905 L dan *final settler* sebesar 94 L. Debit influen berkisar antara 29 – 78 L/jam, sehingga waktu detensi didapatkan pada MBBR dan *final settler* berturut-turut adalah berkisar antara 11,5 – 31 jam dan 1,2 – 3,2 jam, dengan konsentrasi DO pada reaktor berkisar antara 0,5 – 5 mgO₂/liter.

Penyisihan COD di atas 80% berhasil didapatkan dengan pengaturan beban organik sampai dengan 5 kgCOD/m³.h. Sementara itu, tingkat penyisihan nitrogen bervariasi, berkisar 13,3 – 96,2% yang dipengaruhi oleh kebutuhan sintesa bakteri. Penggunaan

MBBR dalam mengolah air limbah pengolahan susu dapat digunakan sebagai peningkatan pengolahan *activated sludge* yang *overload* atau untuk meminimisasi volume reaktor pada *pre-treatment* (Andreottola *et al.*, 2002).



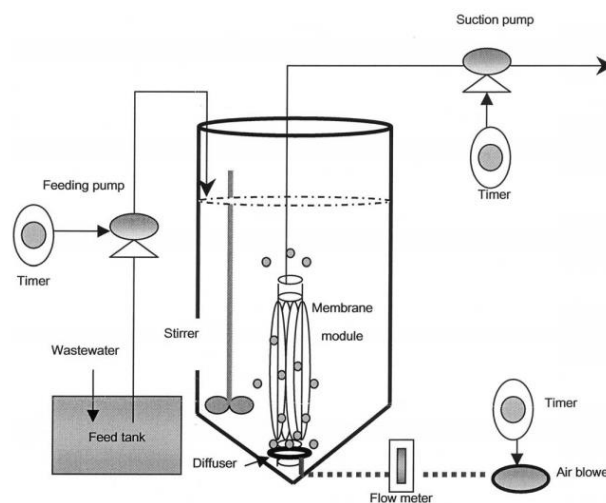
Gambar 2.22 Sistem *moving bed biofilm reactor* (MBBR)

Sumber: Andreottola *et al.* (2002)

2.6.2 Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Susu Menggunakan *Membrane Sequence Batch Reactor*

Pada penelitian yang dilakukan oleh Bae *et al.*, (2003), dirancang sebuah sistem di mana separasi membran dan *sequence batch reactor* (SBR) digabungkan untuk penurunan kadar nutrisi secara biologis pada air limbah pengolahan susu yang berasal dari Haitai Dairy Co. (Suwon, Korea). MSBR pada penelitian ini dapat beroperasi selama 110 hari dengan hanya sekali pencucian membran. Sistem dirancang seperti pada Gambar 2.25. Modul membran berongga berada dalam posisi terendam di dalam reaktor dan efluen disedot oleh pompa peristaltik. Timer yang terkoneksi dengan blower udara, pompa pembubuh, dan pompa penyedot, digunakan untuk mengontrol mode-mode operasional. MSBR menempuh 4 siklus, di mana setiap siklus berdurasi 12 jam: 1 jam untuk pembubuhan, 10 jam untuk waktu reaksi, dan 2 jam untuk proses dekantasi.

Pada sistem MSBR ini, penyisihan BOD didapatkan hampir sempurna (97 – 98%) dan stabil. Efluen yang dihasilkan sistem ini juga bebas *suspended solids* (*suspended solids-free*) hasil dari pengolahan separasi membran. Penyisihan nitrogen juga tidak kalah efektif, di mana efisiensi removal 96% dapat dicapai. Penyisihan fosfor sebesar 80% dapat tercapai pada siklus keempat.



Gambar 2.23 Sistem MSBR

Sumber: Bae, *et al.* (2003)

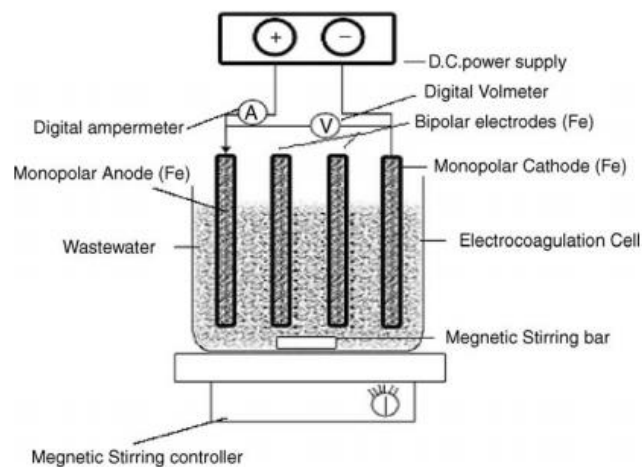
2.6.3 Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Susu Menggunakan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor*

Studi yang dilakukan Gavala *et al.*, (1999) ditujukan untuk meneliti kinerja reaktor *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) dalam mengolah air limbah pengolahan susu yang berasal dari salah satu industri penghasil keju di Yunani. UASB adalah sistem pengolahan *high-rate* yang sangat optimal untuk mengolah air limbah yang memiliki kadar *solids* rendah. Reaktor UASB yang berkinerja baik menghasilkan kandungan biomassa yang sangat tinggi. Pada perencanaan ini, reaktor UASB berskala pilot dengan volume 10 liter dirancang dan diinokulasikan dengan *mixed liquor* dari air limbah pengolahan susu dan glukosa dari *digester*, dioperasikan pada organic loading rate yang bervariasi.

Didapatkan dari penelitian ini *organic loading rate* untuk reaktor UASB yang optimum adalah 6,2 gCOD/liter.hari – 7,5 gCOD/liter.hari, dengan penyisihan COD pada periode pertama (HRT 6 hari), periode kedua (HRT 10 – 20 hari), dan periode ketiga percobaan (HRT 30 – 40 hari) berurutan-turut adalah 85-99%, 79-91%, dan 81%.

2.6.4 Pengolahan Air Limbah Industri Pengolahan Susu Menggunakan Elektrokoagulasi

Şengil & Özacar (2006) menginvestigasi kinerja proses elektrokoagulasi dalam mengolah air limbah industri pengolahan susu yang kaya akan kandungan COD dan minyak & lemak. Pada penelitian mereka, reaktor elektrokoagulasi disusun seperti pada Gambar 2.26.



Gambar 2.24 Sistem elektrokoagulasi

Sumber: Şengil & Özacar (2006)

Air limbah yang berasal dari pabrik pengolahan susu Sakarya di Turki yang berkapasitas 50 m³/hari dimasukkan ke dalam reaktor elektrokoagulasi 650 ml dengan elektroda bipolar dengan koneksi paralel yang terdiri dari sel elektrokoagulasi, baterai arus searah dan elektroda. Percobaan dilakukan dengan bantuan *magnetic stirrer* yang berputar dengan kecepatan 100 rpm pada suhu 298 K, serta disuplai dengan arus 0–15 dan 0–3 A.

Berdasarkan percobaan ini, diketahui bahwa sistem pengolahan air limbah industri pengolahan susu menggunakan elektrokoagulasi dengan anoda besi dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti tingkat pH awal, densitas arus, jumlah NaCl yang terlarut serta

konsentrasi awal COD dan minyak & lemak. Penyisihan optimal COD terletak pada pH 6–7, yakni tercatat sebesar 98 hingga 99%.

2.8 Kondisi Eksisting PT. XYZ

Proses produksi utama fase 1 pada PT. XYZ adalah pengolahan susu segar menjadi yogurt. Bahan baku yang digunakan pada proses produksi yogurt:

- Susu segar
- Gula
- Pewarna
- Stabilizer jenis pektin
- Flavoring agent
- Bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*

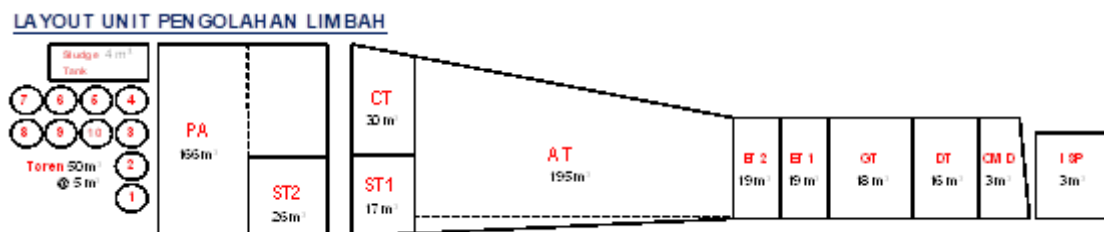
Bahan baku tersebut kemudian diolah melalui proses-proses seperti penampungan, pemanasan, pasteurisasi, penurunan suhu, inokulasi, inkubasi, homogenisasi, *mixing*, dan terakhir pengemasan. Air limbah yang berasal dari kegiatan produksi di atas memiliki karakteristik seperti pada **Tabel 2.4** dan diolah pada IPAL produksi fase 1.

Tabel 2.4 Karakteristik air limbah produksi fase 1 PT. XYZ

| Parameter | Konsentrasi | Satuan |
|------------------|-------------|--------|
| pH | 4 – 5 | - |
| COD | 6.917 | mg/L |
| BOD ₅ | 2.028 | mg/L |
| TSS | 1.978 | mg/L |
| Minyak dan lemak | <1,4 | mg/L |
| Amonia | 2,1 | mg/L |

Sumber: Hasil analisis laboratorium eksternal (vendor PT. XYZ)

IPAL produksi fase 1 memiliki kapasitas maksimum 200 m³/hari, dengan debit aktual pengolahan hampir mendekati maksimum. IPAL ini menggunakan teknologi pengolahan seperti *grease trap*, bak ekualisasi, proses fisika-kimia dengan sistem netralisasi, dan tangki aerasi dengan sistem *extended aeration* yang terbagi dalam 2 tahap aerasi, di mana masing-masing tahap dilengkapi dengan *secondary clarifier*. Lumpur yang dihasilkan dari *secondary clarifier* dipompakan ke tangki lumpur untuk diproses lebih lanjut oleh unit *geotube*. Efluen dari *secondary clarifier* dialirkan ke *clean tank* di bagian akhir proses.



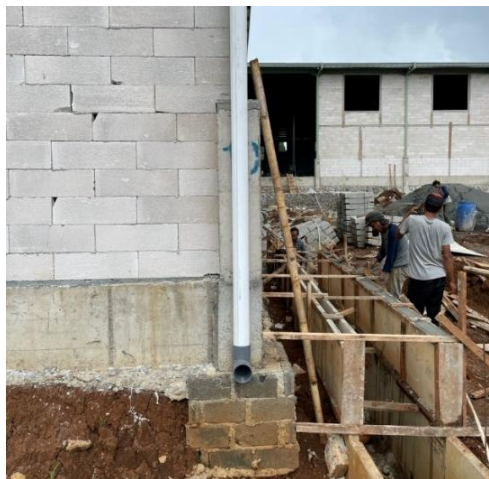
Gambar 2.25 Denah IPAL produksi fase 1

Menurut hasil evaluasi kinerja IPAL, terdapat beberapa permasalahan yang ditemukan pada IPAL eksisting:

- Unit *grease trap* tidak optimal, masih banyak lemak yang terbawa ke tangki aerasi.

- b. Volume bak ekualisasi terlalu kecil (waktu tinggal pendek).
- c. Proses kimia-fisika masih sederhana, belum ada unit permanen.
- d. Pada beberapa kompartemen bak aerasi terjadi *shockload* yang ditandai dengan air pada bak aerasi berwarna kurang cerah dan muncul busa coklat. Dijumpai pula banyak lumpur dan busa yang mengapung di permukaan.
- e. *Secondary clarifier* belum dilengkapi dengan sistem *gutter*.
- f. Efluen masih agak keruh.
- g. Belum adanya proses *post-treatment*.
- h. Belum adanya *sludge treatment* yang permanen.
- i. Beberapa *aerator* terlihat rusak.

Dengan direncanakannya peningkatan kapasitas produksi, PT. XYZ kemudian menambah proses produksinya dengan membangun unit produksi fase 2. Unit produksi fase 2 sampai saat ini baru sampai pada tahap konstruksi, di mana proses produksi direncanakan akan mulai beroperasi pada Desember 2022 sehingga saat ini belum ada air limbah yang dihasilkan.

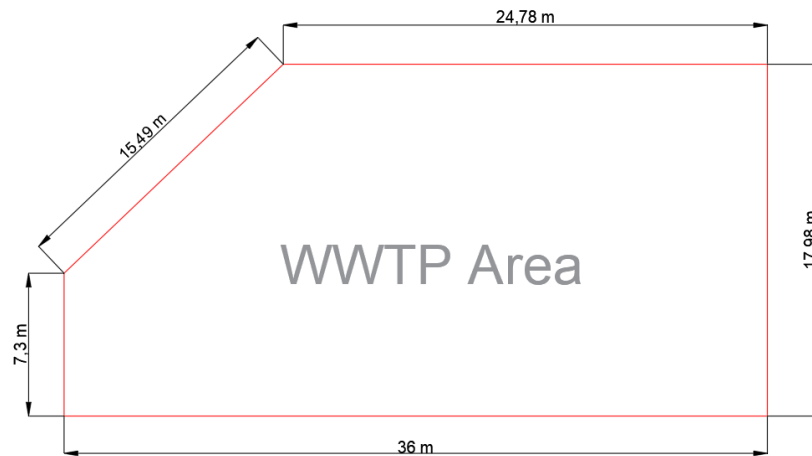


Gambar 2.26 Kegiatan konstruksi unit produksi fase 2



Gambar 2.27 Lahan IPAL rencana

Proses produksi yang akan berjalan pada unit produksi fase 2 direncanakan identik dengan fase 1 namun dengan kapasitas yang lebih besar, sehingga karakteristik air limbah diprediksi tidak akan berbeda jauh. Akan tetapi, kapasitas IPAL akan meningkat. Lahan yang dialokasikan untuk IPAL seluas $\pm 587 \text{ m}^2$.



Gambar 2.28 Dimensi lahan IPAL rencana

Adapun data lain penunjang perencanaan IPAL baru:

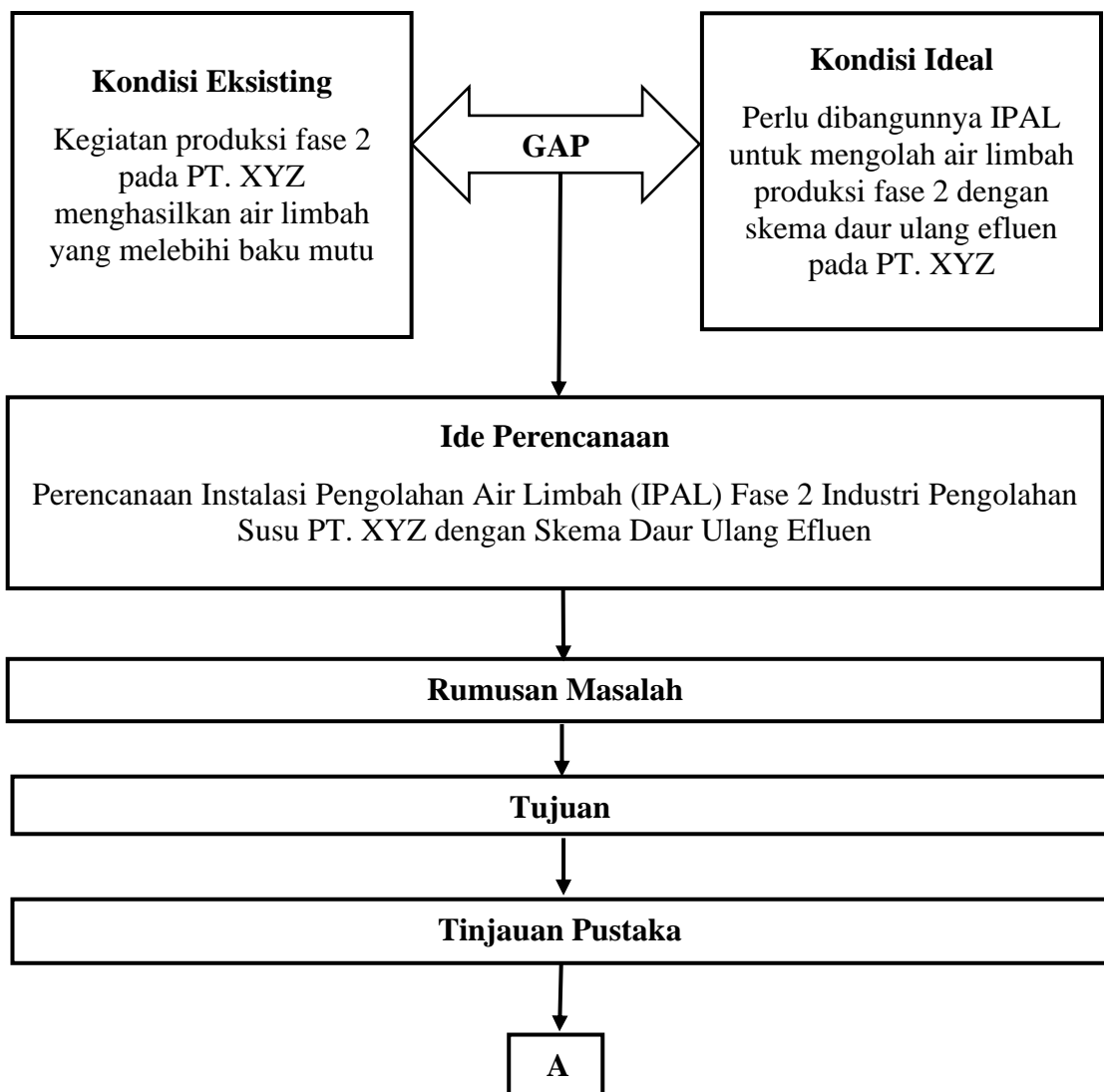
1. Elevasi lahan IPAL = +140.00 m (kontur rata di area lahan IPAL)
2. Elevasi pipa air limbah terakhir = +141.00 m (1 m di atas tanah)
3. Elevasi badan air = +129.00 m
4. Lokasi badan air = Sebelah timur lahan IPAL

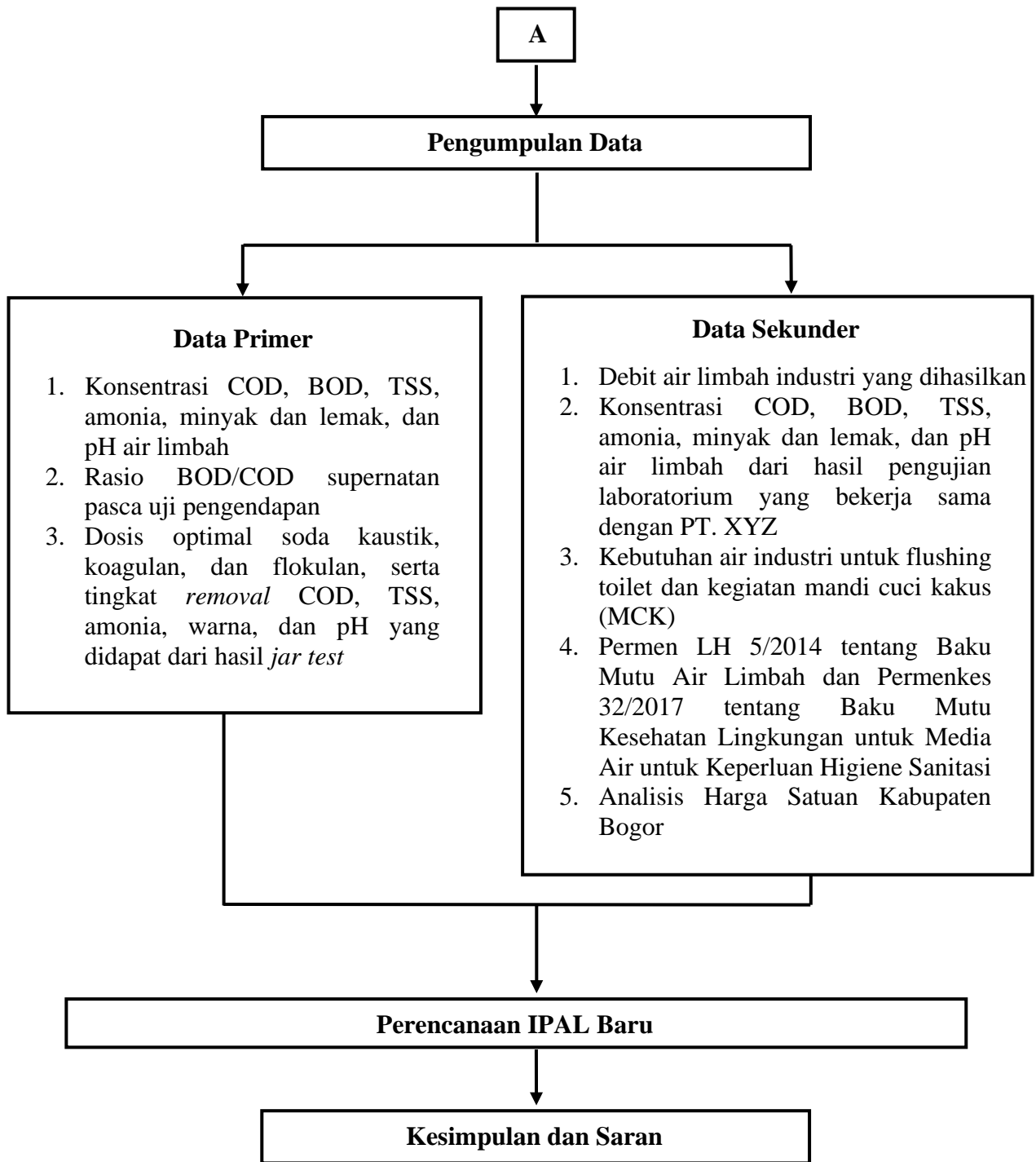
BAB 3 METODE PERENCANAAN

3.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan merupakan metode penggambaran alur pikir dalam tugas akhir perencanaan. Pada kerangka perencanaan didapatkan dasar yang menjelaskan kondisi ideal dan kondisi eksisting beserta *gap*-nya, kemudian dilanjutkan dengan tahapan-tahapan perencanaan untuk menyelesaikan masalah/*gap* tersebut. Penyusunan kerangka perencanaan dijadikan sebagai pedoman dalam melakukan perencanaan dari awal hingga akhir sehingga perencanaan menjadi lebih terarah dan sistematis.

Kerangka perencanaan dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.





Gambar 3.1 Kerangka perencanaan

3.2 Tahapan Perencanaan

Berdasarkan kerangka perencanaan di atas, maka tahapan perencanaan dapat dijelaskan sebagai berikut.

3.2.1 Ide Perencanaan

Ide perencanaan bermula dari kondisi eksisting pada PT. XYZ, yakni pabrik pengolahan susu yang berlokasi di Kabupaten Bogor yang menghasilkan air limbah dengan kuantitas tinggi dengan parameter air limbah yang melampaui baku mutu dari kegiatan produksi fase 2-nya. Ini dapat mencemari lingkungan, khususnya ekosistem badan air terdekat di mana air limbah pertama kali dibuang. Hal lain yang menjadi perhatian adalah fenomena kelangkaan air, di mana industri pengolahan susu sebagai pengguna air dengan volume yang sangat besar sudah sepatutnya ikut membantu mengatasi permasalahan tersebut.

3.2.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang timbul adalah adanya kesenjangan (*gap*) kondisi ideal dan kondisi eksisting pada PT. XYZ, di mana pada kondisi ideal semua industri diharuskan untuk mengolah air limbahnya sebelum dibuang ke badan air, akan tetapi PT. XYZ belum memiliki instalasi pengolahan air limbah untuk mengolah air limbah yang dihasilkan dari unit produksi fase 2-nya. Oleh karena itu, perlu direncanakan IPAL industri PT. XYZ yang sesuai dengan karakteristik air limbahnya. Sebagai bentuk pengelolaan lingkungan tingkat lanjut, akan direncanakan pula sistem daur ulang efluen agar nantinya air limbah dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan aktivitas di dalam industri.

3.2.3 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka bertujuan untuk membantu dan mendukung ide perencanaan serta dapat meningkatkan pemahaman lebih jelas terhadap ide yang akan direncanakan. Sumber literatur yang digunakan adalah jurnal internasional, jurnal indonesia, peraturan dan baku mutu, prosiding, *textbook*, serta tugas akhir yang berhubungan dengan perancangan ini. Data-data pustaka yang diperlukan antara lain:

1. Gambaran umum industri pengolahan susu yang menjelaskan kondisi dan perkembangan industri pengolahan susu secara global dan nasional, produk yang dihasilkan, jumlah dan karakteristik air limbah yang dihasilkan beserta dampaknya terhadap lingkungan.
2. Kegiatan-kegiatan yang menghasilkan air limbah pada industri pengolahan susu dan karakteristik air limbahnya.
3. Parameter pencemar air limbah industri pengolahan susu dan baku mutunya sesuai dengan peraturan yang berlaku yakni Permen LH 5/2014 untuk baku mutu efluen dan Permenkes 32/2017 untuk baku mutu penggunaan air untuk keperluan sanitasi dan hygiene.
4. Teori pengolahan air limbah yang terdiri dari pengolahan fisik, pengolahan kimia, dan pengolahan biologis.
5. Proses pengolahan air limbah pada industri pengolahan susu.
6. Pengolahan air limbah ditemukan pada industri pengolahan susu terdahulu.
7. Latar belakang digagasnya sistem daur ulang air limbah dan teknologi yang sudah pernah diterapkan.
8. Kondisi eksisting di PT. XYZ yang menjelaskan kondisi terkini pada kegiatan produksi fase 2, IPAL eksisting pada kegiatan produksi fase 1, dan kualitas air limbah IPAL produksi fase 1.

3.2.4 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada perencanaan ini dibagi menjadi dua jenis, yakni data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh perencana secara langsung dari lokasi yang dijadikan objek perencanaan, sedangkan data sekunder adalah data yang diambil dari sumber lain oleh perencana.

A. Data Primer

- a. Konsentrasi COD, BOD, TSS, minyak dan lemak, pH, dan amonia air limbah sebagai validator data sekunder. Data ini nantinya akan dijadikan sebagai basis perencanaan. Metode pengujian setiap parameter dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Metode uji parameter air limbah

| No. | Parameter | Metode | Standard Acuan |
|-----|------------------|------------|---------------------|
| 1. | BOD | Winkler | SNI 6989.72:2009 |
| 2. | COD | Refluks | SNI 6989.2:2009 |
| 3. | TSS | Gravimetri | SNI 06-6989.3:2004 |
| 5. | pH | pH meter | SNI 06-6989.11:2004 |
| 6. | Amonia | Indofenol | SNI 19-7119.1-2005 |
| 7. | Minyak dan Lemak | Gravimetri | SNI 06-6989.10:2004 |

- b. Rasio BOD/COD pasca dilakukannya analisis pengendapan/sedimentasi skala laboratorium. Rasio BOD/COD yang diperoleh dari data sekunder adalah 0,29, di mana kondisi ini dinilai kurang efektif untuk pengolahan biologis (optimum pada nilai $\geq 0,5$). Pada uji pengendapan ini, padatan pada sampel dibiarkan mengendap pada sampel selama 1 jam, kemudian COD dan BOD sampel diukur dan dibandingkan dengan konsentrasi awal. Dengan melakukan percobaan ini, akan dianalisis rasio BOD/COD pada supernatan dengan harapan akan memberikan hasil $\geq 0,5$ sehingga air limbah akan diolah secara optimal pada pengolahan biologis.
- c. Hasil jar test yang berupa dosis NaOH, koagulan, dan *coagulant aid* yang optimum.

B. Data Sekunder

- a. Debit air limbah yang dihasilkan yang berasal dari akumulasi air buangan dari berbagai aktivitas produksi. Data didapatkan dari laporan internal PT. XYZ.
- b. Konsentrasi COD, BOD, TSS, minyak dan lemak, dan ammonia pada air limbah yang didapatkan dari hasil uji laboratorium internal PT. XYZ. Data ini digunakan sebagai gambaran awal kondisi eksisting kualitas air limbah PT. XYZ.
- c. Lahan yang tersedia dan kontur, di mana data ini didapatkan dari denah pabrik PT. XYZ dan program Google Earth.
- d. Kebutuhan air industri untuk kegiatan mandi cuci kakus (MCK) dan *flushing* toilet.
- e. Baku mutu air limbah pengolahan industri pengolahan susu yang terlampir pada Lampiran VIII Peraturan Menteri Lingkungan Hidup

5/2014 dan baku mutu penggunaan air untuk higiene sanitasi pada Peraturan Menteri Kesehatan 32/2017.

- f. Analisis Harga Satuan Kabupaten Bogor yang dikeluarkan oleh pemerintah setempat.

3.2.5 Perencanaan IPAL Baru

Setelah data primer, data sekunder, dan hasil penelitian pendahuluan terkumpul, maka semua data tersebut diolah dan dijadikan basis perencanaan IPAL produksi fase 2 PT. XYZ. Perencanaan memiliki dua cakupan, yakni cakupan teknis dan finansial. Hal-hal yang dibahas pada perencanaan ini adalah sebagai berikut.

- a. Debit pengolahan dan karakteristik air limbah yang nantinya akan menentukan kapasitas perencanaan dan pemilihan teknologi pengolahan air limbah.
- b. Penentuan alternatif pengolahan air limbah dan teknologi daur ulang efluen beserta diagram alirnya. Terdapat beberapa pertimbangan dalam pemilihan alternatif pengolahan:
 - i. Efisiensi *removal* pencemar pada air limbah. Semakin tinggi efisiensi *removal*-nya, maka besar peluang kualitas air limbah akan memenuhi baku mutu.
 - ii. Kebutuhan lahan, di mana semakin sedikit lahan yang dibutuhkan maka akan lebih baik.
 - iii. Kebutuhan biaya, baik modal awal (*capital cost*) maupun biaya operasional dan perawatannya (*operational and maintenance cost*). Tentunya, pengolahan yang paling optimal adalah pengolahan yang memiliki efisiensi tertinggi dengan biaya yang paling sedikit.

Setiap alternatif pengolahan yang dipertimbangkan akan divisualisasikan menjadi diagram alir dari pengolahan primer, pengolahan sekunder, dan pengolahan tersier untuk daur ulang efluen. Diagram alir akan membantu dalam menunjukkan di mana air limbah masuk pertama kali (influen), melalui proses dan unit apa saja, dan di mana air limbah pada akhirnya akan dibuang (efluen) atau didaur ulang.

- c. Penetapan kriteria desain sesuai dengan alternatif pengolahan yang telah dipilih. Kriteria desain didapatkan dari literatur seperti *textbook*, jurnal, buku standar manual, dan lain-lain. Kriteria desain membantu perencanaan dalam menentukan dimensi bangunan untuk keperluan *Detail Engineering Design* IPAL. Beberapa kriteria desain yang umumnya digunakan:
 - i. Kedalaman
 - ii. Waktu detensi
 - iii. *Hydraulic loading rate*
 - iv. *Organic loading rate*
 - v. *Weir loading rate*
 - vi. *Solids loading rate*
 - vii. *Sludge retention time*
- d. Perhitungan *Detail Engineering Design* (DED) IPAL sesuai dengan kriteria desain yang ditetapkan. Output dari perhitungan DED adalah

dimensi tiap bangunan pengolahan sesuai dengan efisiensi pencemar yang diinginkan.

- e. Gambar-gambar dari hasil perhitungan DED IPAL sesuai dengan kaidah gambar teknik menggunakan program AutoCAD. Gambar-gambar meliputi denah IPAL, potongan memanjang dan melintang bangunan, dan gambar detail komponen pendukung dengan skala yang benar.
- f. Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Dalam perhitungan BOQ dan RAB, digunakan Analisis Harga Satuan (AHS) Kabupaten Bogor yang dikeluarkan oleh pemerintah setempat.
- g. Penyusunan *standard operation procedure* (SOP) IPAL.

3.2.6 Kesimpulan dan Saran

Dari hasil dan pembahasan, didapatkan kesimpulan yang merupakan hasil akhir dari perencanaan. Kesimpulan berisikan jawaban atas tujuan perencanaan dan poin-poin penting perencanaan. Berdasarkan kesimpulan yang didapatkan, maka diberikan juga saran yang diharapkan bisa dijadikan bahan pertimbangan oleh PT. XYZ dalam membangun IPAL produksi fase 2-nya.

BAB 4 PERENCANAAN IPAL BARU

4.1 Kapasitas IPAL dan Kualitas Air Limbah

4.1.1 Kapasitas IPAL

Kapasitas IPAL adalah besarnya debit air limbah yang akan memasuki proses pengolahan air limbah yang digunakan sebagai acuan dalam merencanakan IPAL produksi PT. XYZ. Data debit pada perencanaan IPAL ini bersifat sekunder, yakni mengacu pada *user requirement* yang dipublikasi oleh PT. XYZ pada proses tender konstruksi IPAL 2021 silam. Diketahui kapasitas IPAL produksi fase 2 PT. XYZ sebesar 1.500 m³/hari.

4.1.1 Kualitas Air Limbah

Kualitas air limbah industri pengolahan susu PT. XYZ akan menentukan alternatif proses seperti apa yang optimal dalam menysisihkan konstituen-konstituen pada air limbah. Sampel air limbah diambil dari bak ekualisasi IPAL fase 1 dengan menggunakan 2 wadah jerigen @ 5 liter. Sampel pada jerigen 1 akan dianalisis pada laboratorium bersertifikat KAN yang berlokasi di Sentul, Bogor, sementara sampel jerigen 2 digunakan sebagai objek analisis *jar test*. Kualitas air limbah PT. XYZ tertera pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Kualitas air limbah PT. XYZ (data primer)

| Parameter | Konsentrasi | Satuan |
|------------------|-------------|--------|
| pH | 4,75 | - |
| COD | 4.247 | mg/L |
| BOD ₅ | 1.671 | mg/L |
| TSS | 2.600 | mg/L |
| Minyak & Lemak | < 1,4 | mg/L |
| Amonia | 43,15 | mg/L |

Berdasarkan hasil di atas, terdapat perbedaan konsentrasi pada hampir seluruh parameter air limbah pada data sekunder dan data primer, kecuali minyak & lemak. Maka, dalam menentukan konsentrasi parameter yang digunakan pada proses perencanaan IPAL, dipilih konsentrasi yang terbesar (terkecil pada pH) di antara kedua jenis data. Kualitas air limbah yang digunakan pada perencanaan IPAL baru dapat dilihat pada **Tabel 4.2** berikut.

Tabel 4.2 Kualitas air limbah untuk perencanaan IPAL baru

| Parameter | Konsentrasi | Satuan |
|------------------|-------------|--------|
| pH | 4,75 | - |
| COD | 6.917 | mg/L |
| BOD ₅ | 2.028 | mg/L |
| TSS | 2.600 | mg/L |
| Minyak & Lemak | < 1,4 | mg/L |
| Amonia | 43,15 | mg/L |

4.2 Hasil Uji Pengendapan dan Jar Test

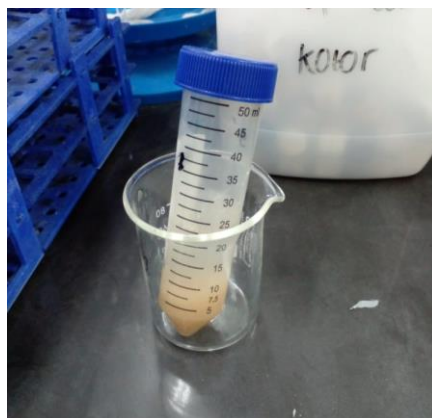
4.2.1 Uji Pengendapan

Uji pengendapan dilakukan untuk menguji rasio BOD/COD air limbah, di mana menurut Shokoohi *et al.*, (2017), rasio BOD/COD yang optimal untuk pengolahan biologis adalah $\geq 0,5$. Apabila supernatan hasil pengendapan menunjukkan rasio BOD/COD $\geq 0,5$, maka unit bak sedimentasi akan dipilih sebagai unit pengolahan fisik sebelum air limbah diolah secara biologis pada perencanaan ini. Uji pengendapan dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

- Sampel air limbah dimasukkan ke dalam botol sentrifugal sebanyak 30 ml
- Botol sentrifugal yang berisi sampel diletakkan di dalam gelas kimia, di mana gelas kimia berguna sebagai wadah penopang sampel
- Sampel didiamkan selama 1 (satu) jam
- Supernatan (bagian air yang jernih) dianalisis konsentrasi BOD₅ (SNI 6989.72-2009) dan COD-nya (SNI 6989.2:2009)



Gambar 4.1 Uji pengendapan



Gambar 4.2 Sampel setelah didiamkan selama satu jam

Sumber: dokumentasi uji laboratorium

Rasio BOD/COD dan *removal* BOD₅ dan COD pada sampel primer dan supernatan hasil uji pengendapan dibandingkan pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Perbandingan rasio BOD/COD & removal BOD₅ dan COD sampel

| Keterangan | BOD ₅ (mg/L) | COD (mg/L) | BOD/COD |
|------------------------------|----------------------------|---------------|---------|
| Kualitas air limbah awal | 1.671 | 4.247 | 0,393 |
| Supernatan hasil pengendapan | 765 | 2.981 | 0,257 |
| <i>Removal</i> | 54,2% | 29,8% | - |

Sumber: hasil uji laboratorium

Berdasarkan hasil uji pengendapan di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Terjadi penurunan rasio BOD/COD dari 0,393 menjadi 0,257.
2. Tidak disarankan memilih unit bak sedimentasi untuk mengolah air limbah sebelum pengolahan biologis. Selain rasio BOD/COD yang malah menurun, bak sedimentasi membutuhkan luas lahan yang cukup besar.
3. *Removal* COD₅ relatif kecil (29,8%). Menimbang konsentrasi COD pada air limbah yang tinggi, dibutuhkan setidaknya *removal* COD \geq 45%.


4.2.2 Jar Test

Jar test adalah sebuah prosedur simulasi proses koagulasi-flokulasi dengan beragam dosis bahan kimia. Tujuan dari *jar test* adalah untuk menentukan dosis minimum bahan kimia yang dibutuhkan untuk menghasilkan kualitas air yang optimal (OWP, 2019). Pada perencanaan ini, *jar test* juga dilakukan untuk mengetahui karakteristik flok yang terbentuk serta *removal* kandungan BOD, COD, TSS, amonia, dan warna. Berikut adalah prosedur *jar test*:

1. Sebanyak 3 (tiga) gelas kimia 1.000 ml, 3 pengaduk, 3.000 ml sampel disiapkan.
2. Gelas kimia diisi dengan sampel masing-masing sebanyak 1.000 ml dan tiap beaker glass diberi nomor 1 sampai 3.
3. Pada sampel diukur konsentrasi COD, amonia (NH₃), TSS, dan warna menggunakan spektrometer. Konsentrasi COD, amonia (NH₃), TSS, dan warna awal sampel dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.
4. Ketiga gelas kimia yang berisi sampel diletakkan pada masing-masing pengaduk.
5. pH pada masing-masing gelas kimia diukur, pastikan pH dalam keadaan netral. Dikarenakan pH sampel bersifat asam (pH = 4,67), dilakukan penambahan soda kaustik (NaOH flakes 0,4%). Penambahan dosis soda kaustik dan pH akhir yang dihasilkan dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Dosis soda kaustik dan pH akhir yang dihasilkan

| No. sampel | Visual limbah | pH awal | NaOH flakes 0,4% mL/L | pH |
|------------|---------------|---------|-----------------------|-----|
| 1 | Putih keruh | 4,67 | 60 | 6,2 |
| 2 | Putih keruh | 4,67 | 70 | 6,9 |
| 3 | Putih keruh | 4,67 | 80 | 7,5 |

 = dosis optimal

Sumber: hasil uji laboratorium

6. Koagulan PAC 10% dan flokulan polimer anionik 0,1% ditambahkan pada masing-masing sampel yang sudah ditambahkan soda kaustik sebelumnya. Penambahan dosis soda kaustik dan pH akhir yang dihasilkan dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Variasi dosis penambahan PAC & polimer

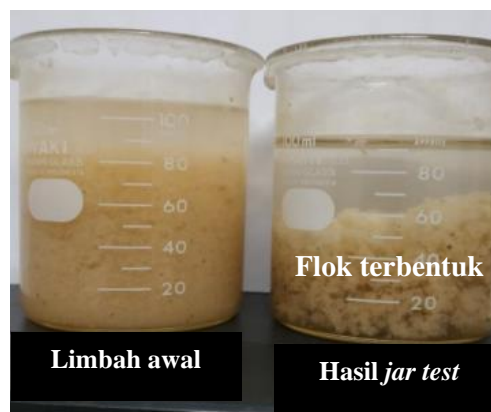
| No. sampel | PAC 10% mL/L | Polimer anionik 0,1% mL/L |
|------------|--------------|---------------------------|
| 1 | 5 | 40 |
| 2 | 7 | 40 |
| 3 | 10 | 40 |

7. Sampel diaduk dengan kecepatan 150 rpm selama 3 menit, kemudian diturunkan menjadi 40 rpm selama 10 menit kemudian proses pengadukan dihentikan.
8. Flok yang terbentuk diamati (**Gambar 4.3**), persentase lumpur yang terbentuk (tinggi lumpur / tinggi muka air sampel dalam %) dan pH hasil proses diukur. Hasil *jar test* pada ketiga sampel dapat dilihat pada **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Hasil *jar test* setelah netralisasi

| No. sampel | PAC 10% mL/L | Polimer anionik 0,1% mL/L | Visual limbah akhir | pH akhir | Sludge (%) |
|------------|--------------|---------------------------|---------------------|----------|------------|
| 1 | 5 | 40 | Putih keruh | 5,5 | 20 |
| 2 | 7 | 40 | Keruh | 6 | 20 |
| 3 | 10 | 40 | Jernih | 6,5 | 30 |

= dosis optimal



Gambar 4.3 Visual air limbah sebelum dan sesudah *jar test*

Sumber: hasil uji laboratorium

9. Pada sampel 3 (sampel dengan dosis optimal) diukur konsentrasi COD, amonia (NH_3), TSS, dan warna menggunakan spektrometer. Hasil pengukuran dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Konsentrasi konstituen dan penyisihannya pada *jar test*

| Keterangan | pH | COD (mg/L) | NH ₃ (mg/L) | TSS (mg/L) | Warna (PtCo) |
|-------------------------|------|------------|------------------------|------------|--------------|
| Air limbah awal | 4,67 | 11.013 | 10 | 1.688 | 27.400 |
| Hasil jartest - PAC 10% | 6,5 | 3.800 | 8 | 24 | 168 |
| <i>Removal</i> | - | 65,5% | 20% | 98,6% | 99,4% |

Sumber: hasil uji laboratorium

Berdasarkan hasil *jar test*, dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain:

1. Dosis optimal untuk NaOH flakes 0,4%, PAC 10%, dan polimer anionik 0,1% berturut-turut adalah 70 mL/L, 10 mL/L, dan 40 mL/L.
2. Flok yang terbentuk menggumpal ringan seperti kapas dan berminyak. Walaupun flok tidak mengapung secara utuh, namun flok dengan karakteristik seperti ini lebih cocok disisihkan menggunakan mekanisme flotasi dibandingkan sedimentasi di dalam reaktor yang kontinyu.
3. Penyisihan COD pada *jar test* (65,5%) lebih besar dari uji pengendapan (29,8%). Pembubuhan koagulan dan flokulan juga menunjukkan persentase penyisihan TSS yang hampir sempurna yakni 98,6%. Data ini akan digunakan sebagai basis perencanaan *dissolved air flotation* (DAF) dengan *chemical aid*.
4. Pemilihan teknologi flotasi yakni *dissolved air flotation* (DAF) dengan *pre-treatment* netralisasi dan koagulasi-flokulasi lebih disarankan untuk perencanaan ini. DAF membutuhkan lahan yang relatif sedikit ketimbang bak sedimentasi dan akan memberikan solusi dari masalah lumpur dan busa yang mengapung, seperti yang dijumpai pada IPAL fase 1.

4.3 Alternatif Pengolahan

Penentuan teknologi pengolahan air limbah dilakukan dengan menjabarkan beberapa alternatif pengolahan yang berupa rangkaian proses (*process train*), kemudian dipilih salah satu pengolahan pengolahan yang paling ideal, baik dari segi proses (kualitas efluen berada di bawah baku mutu; semakin di bawah baku mutu semakin baik), ekonomi (biaya pembangunan dan operasional yang murah), dan kecukupan lahan.

Alternatif pengolahan dibedakan menjadi 2 kategori: 1) alternatif pengolahan utama yang meliputi pengolahan *preliminary*, primer, sekunder, dan lumpur, dan 2) alternatif pengolahan daur ulang efluen. Guna menentukan teknologi yang terbaik untuk mengolah air limbah PT. XYZ, nilai dari masing-masing alternatif pengolahan dikuantifikasi menggunakan metode matriks (**Tabel 4.8**).

Tabel 4.8 Metode matriks

| Parameter \ Skala | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------------|--------------|-------|--------|------------|-------------------|
| Efisiensi pengolahan | Sangat buruk | Buruk | Sedang | Baik | Sangat baik |
| Biaya investasi | Sangat mahal | Mahal | Sedang | Terjangkau | Sangat terjangkau |
| Penggunaan lahan | Sangat besar | Besar | Sedang | Minim | Sangat minim |

4.3.1 Alternatif Pengolahan Utama

Dalam menilai kinerja proses masing-masing unit pengolahan, maka persentase *removal* masing-masing unit pengolahan yang akan dipertimbangkan menjadi alternatif perlu diketahui. **Tabel 4.9** menunjukkan persentase *removal* parameter air limbah oleh masing-masing unit pengolahan dari beberapa literatur.

Tabel 4.9 Tingkat *removal* parameter-parameter air limbah oleh unit pengolahan

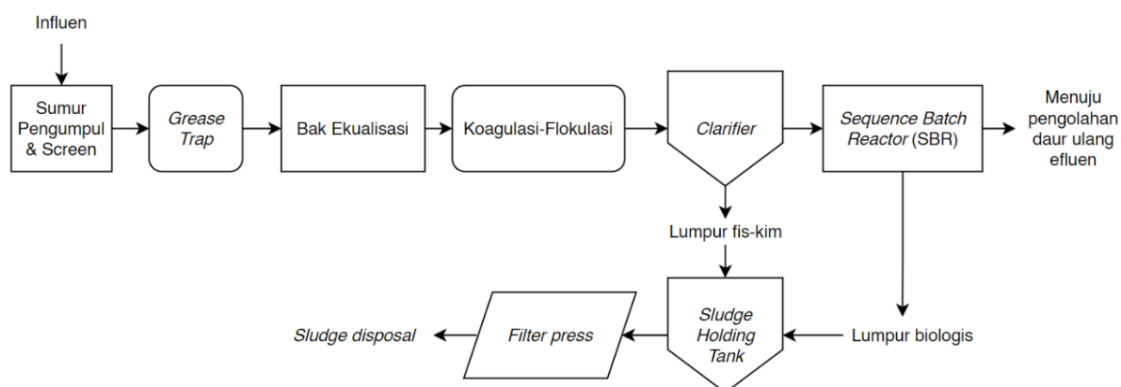
| Unit Pengolahan | Removal (%) | | | | |
|---|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | BOD | COD | TSS | N | M&L* |
| <i>Sequence batch reactor</i> | 89-98 ^a | 96 ^b | >75 ^a | 87 ^b | - |
| Koagulasi-flokulasi + <i>clarifier</i> | 55% ^c | 65% ^c | 83% ^c | 77-89 ^c | - |
| <i>Grease trap</i> | - | - | - | - | 99 ^d |
| <i>Membrane sequencing batch reactor</i> | 97-98% ^e | 97-98% ^e | 99% ^e | 96% ^e | - |
| <i>Dissolved air flotation</i> | 73% ^f | 70% ^f | 83% ^f | 55% ^f | 85% ^f |
| <i>Dissolved air flotation</i> + <i>coagulant aid</i> | 82-85% ^g | 93% ^g | 98% ^g | 55% ^h | 85% ^h |
| <i>Moving bed biofilm reactor</i> | 95% ^o | 80-98% ^{i, k} | 81-92% ^j | 13-96% ⁱ | - |
| <i>Upflow anaerobic sludge blanket reactor</i> | 61-83% ^l | 57-81% ^l | 41-73% ^l | 74-96% ^m | 67-93% ^l |

*M&L: minyak & lemak

Sumber: ^aUS EPA (1992); ^bKargi & Uygur (2004); ^cIsmail *et al.*, (2012); ^dPurwanti *et al.*, (2018), ^eBae *et al.*, (2003); ^fKim *et al.*, (2015), ^gMaeng *et al.*, (2017), ^hManago *et al.*, (2018), ⁱAndreottola *et al.*, (2002), ^j(Kholif & Febrianti, 2019), ^kShokoohi *et al.*, (2017), ^lRizvi *et al.*, (2015), ^mTian *et al.*, (2015)

1) Alternatif 1

Alternatif 1 (**Gambar 4.4**) menggunakan koagulasi-flokulasi dan *clarifier* sebagai pengolahan primer, *sequence batch reactor* sebagai pengolahan sekunder, serta *filter press* sebagai pengolahan lumpur.



Gambar 4.4 Diagram alir alternatif 1

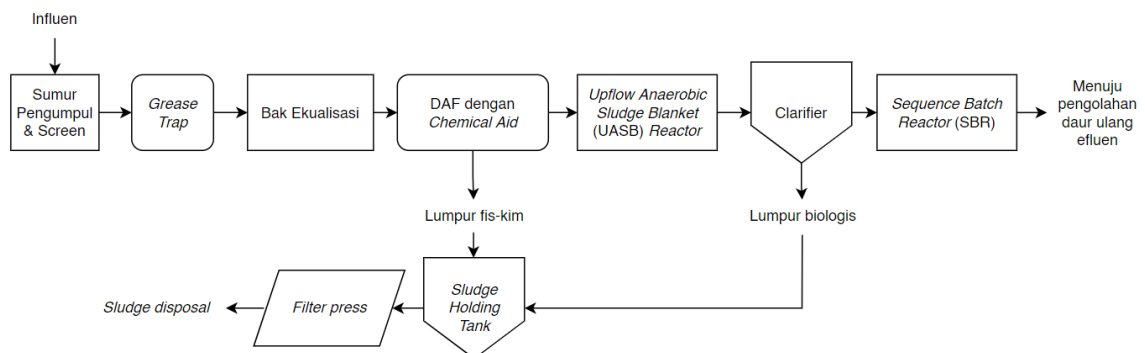
Kinerja pengolahan alternatif 1 dihitung pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 Alternatif pengolahan 1

| | Parameter | | | | |
|---|-----------|--------|-----------|----------------|--------|
| | COD | BOD | TSS | Minyak & lemak | Amonia |
| Influen | 6.917 | 2.028 | 2.600 | 1,4 | 43,15 |
| Preliminary Treatment | | | | | |
| Bar screen & sumur pengumpul | | | | | |
| Removal | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Outlet | 6.917 | 2.028 | 2.600 | 1,4 | 43,15 |
| Primary Treatment | | | | | |
| Grease Trap | | | | | |
| Removal | 0% | 0% | 0% | 99% | 0% |
| Outlet | 6.917 | 2.028 | 2.600 | 0,01 | 43,15 |
| Bak Ekualisasi | | | | | |
| Removal | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Outlet | 6.917 | 2.028 | 2.600 | 0,01 | 43,15 |
| Koagulasi-flokulasi | | | | | |
| Removal | 65% | 55% | 83% | 0% | 76% |
| Outlet | 2.420,95 | 912,6 | 442 | 0,01 | 10,356 |
| Bak sedimentasi | | | | | |
| Removal | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Outlet | 2.420,95 | 912,6 | 442 | 0,01 | 10,356 |
| Secondary Treatment | | | | | |
| Sequence batch reactor | | | | | |
| Removal | 95% | 96% | 80% | 0% | 87% |
| Efluen | 121,0 | 36,504 | 88,4 | 0,01 | 1,35 |
| Baku Mutu | 100 | 40 | 50 | 10 | 10 |
| Keterangan | TDK OK | OK | TDK OK | OK | OK |

2) Alternatif 2

Berbeda dengan alternatif 1 yang menggunakan mekanisme sedimentasi, alternatif 2 (Gambar 4.5) menggunakan mekanisme sistem flotasi dengan unit *dissolved air flotation* (DAF). Dipilih pengolahan sekunder yang bernuansa anaerobik yakni upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reaktor dan *clarifier*. Efluen dari *clarifier* kemudian masuk ke dalam unit SBR, sedangkan pengolahan lumpurnya tetap menggunakan *filter press*.



Gambar 4.5 Diagram alir alternatif 2

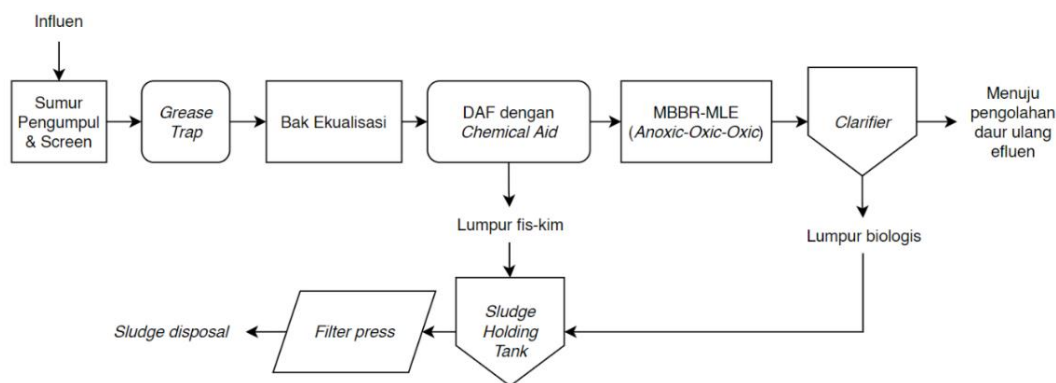
Kinerja pengolahan alternatif 2 dihitung pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Alternatif pengolahan 2

| | Parameter | | | | |
|--|-----------|--------|-------|----------------|--------|
| | COD | BOD | TSS | Minyak & lemak | Amonia |
| Influen | 6.917 | 2.028 | 2.600 | 1,4 | 43,15 |
| Preliminary Treatment | | | | | |
| Sumur pengumpul dengan bar screen | | | | | |
| Removal | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Outlet | 6.917 | 2.028 | 2.600 | 1,4 | 43,15 |
| Primary treatment | | | | | |
| Grease trap | | | | | |
| Removal | 0% | 0% | 0% | 99% | 0% |
| Outlet | 6.917 | 2.028 | 2.600 | 0,01 | 43,15 |
| Bak ekualisasi | | | | | |
| Removal | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Outlet | 6.917 | 2.028 | 2.600 | 0,01 | 43,15 |
| Dissolved air flotation dengan chemical aid | | | | | |
| Removal | 65,5% | 55% | 98% | 85% | 20% |
| Outlet | 2.386,5 | 912,6 | 52 | 0,00 | 34,52 |
| Secondary treatment | | | | | |
| Upflow anaerobic sludge blanket reactor | | | | | |
| Removal | 78% | 75% | 55% | 0% | 80% |
| Outlet | 525 | 228,15 | 23,4 | 0,00 | 6,904 |
| Final clarifer | | | | | |
| Removal | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Efluen | 525 | 228,15 | 23,4 | 0,00 | 6,904 |
| Sequence batch reactor | | | | | |
| Removal | 95% | 96% | 80% | 0% | 87% |
| Efluen | 26,3 | 9,13 | 4,68 | 0,00 | 0,9 |
| Baku Mutu | 100 | 40 | 50 | 10 | 10 |
| Keterangan | OK | OK | OK | OK | OK |

3) Alternatif 3

Alternatif 3 (**Gambar 4.6**) umumnya memiliki rangkaian yang sama dengan alternatif 2, namun berbeda dalam pengolahan sekundernya yang menggunakan *moving bed biofilm reactor* (MBBR) dua tahap (tahap penyisihan BOD & nitrifikasi dan tahap penyisihan BOD).



Gambar 4.6 Diagram alir alternatif 3

Kinerja pengolahan alternatif 3 dihitung pada **Tabel 4.12**.

Tabel 4.12 Alternatif pengolahan 3

| | Parameter | | | | |
|---|-----------|--------|-------|----------------|--------|
| | COD | BOD | TSS | Minyak & lemak | Amonia |
| Influen | 6.917 | 2.028 | 2.600 | 1,4 | 43,15 |
| <i>Preliminary Treatment</i> | | | | | |
| Sumur pengumpul dengan <i>bar screen</i> | | | | | |
| <i>Removal</i> | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Outlet | 6.917 | 2.028 | 2600 | 1,4 | 43,15 |
| <i>Primary treatment</i> | | | | | |
| <i>Grease trap</i> | | | | | |
| <i>Removal</i> | 0% | 0% | 0% | 99% | 0% |
| Outlet | 6.917 | 2.028 | 2.600 | 0,01 | 43,15 |
| Bak ekualisasi | | | | | |
| <i>Removal</i> | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Outlet | 6.917 | 2.028 | 2.600 | 0,01 | 43,15 |
| <i>Dissolved air flotation dengan chemical aid</i> | | | | | |
| <i>Removal</i> | 65% | 55% | 98% | 85% | 20% |
| Outlet | 2.386,4 | 912,6 | 52 | 0,00 | 34,5 |
| <i>Secondary treatment</i> | | | | | |
| <i>Moving bed biofilm reactor I (penyisihan BOD & nitrifikasi)</i> | | | | | |
| <i>Removal</i> | 75% | 75% | 85% | 0% | 95% |
| Outlet | 596,6 | 228,15 | 7,8 | 0,00 | 1,73 |
| <i>Moving bed biofilm reactor II (penyisihan BOD)</i> | | | | | |
| <i>Removal</i> | 90% | 90% | 85% | 0% | 0% |
| Outlet | 59,66 | 22,82 | | 0,00 | 1,73 |
| <i>Clarifier</i> | | | | | |
| <i>Removal</i> | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Efluen | 59,66 | 22,82 | 1,2 | 0,0 | 1,73 |
| Baku Mutu | 100 | 40 | 50 | 10 | 10 |
| Keterangan | OK | OK | OK | OK | OK |

Ketiga alternatif di atas dibandingkan pada tabel matriks (**Tabel 4.13**).

Tabel 4.13 Matriks pembobotan alternatif pengolahan utama

| Keterangan | Efisiensi pengolahan | Biaya investasi | Penggunaan lahan | Total |
|--------------|----------------------|-----------------|------------------|-------|
| Alternatif 1 | 2 | 4 | 2 | 8 |
| Alternatif 2 | 5 | 3 | 1 | 9 |
| Alternatif 3 | 4 | 3 | 3 | 10 |

Pada alternatif 1, parameter COD dan TSS pada efluen tidak memenuhi baku mutu, sehingga alternatif ini tidak dapat dipilih. Sedangkan pada alternatif 2, penggunaan UASB memerlukan lahan yang besar, sehingga dikhawatirkan lahan yang tersedia tidak mencukupi. Produksi gas metana oleh UASB juga dapat menimbulkan bau yang tidak sedap dan memiliki potensi menghasilkan ledakan, sehingga diperlukan pengendalian dan mitigasi

yang khusus. Hal ini beresiko mengingat PT. XYZ berlokasi cukup dekat dari permukiman warga. Pada alternatif 3, penggunaan MBBR dinilai memangkas kebutuhan akan lahan serta pengoperasiannya yang lebih mudah dibandingkan pengolahan biologis lainnya (Metcalf & Eddy, 2014).

Walaupun biaya operasional untuk bahan kimia dan energi DAF dengan *chemical aid* yang cukup tinggi, alternatif 3 menawarkan hasil efluen yang di bawah baku mutu yang menyesuaikan dengan lahan yang sangat terbatas. Sehingga, pada perencanaan ini, akan dipilih alternatif pengolahan 3.

4.3.2 Alternatif Pengolahan Daur Ulang Efluen

Teknologi pengolahan daur ulang efluen dikategorikan sebagai pengolahan tersier (*tertiary treatment*) yang merupakan pengolahan tambahan setelah proses biologis. Perbandingan teknologi daur ulang efluen dengan metode matriks pembobotan dapat dilihat pada **Tabel 4.14**.

Tabel 4.14 Matriks pembobotan pengolahan daur ulang efluen

| Unit | Removal COD & BOD | Removal SS | Removal nitrogen | Efisiensi Proses | Biaya investasi | Penggunaan lahan | Kemudahan operasional | Total bobot |
|------------------------|---------------------------------------|------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------------|-------------|
| Klorinasi | Hanya penyisihan patogen dan coliform | | | 1 | 3 | 4 | 4 | 12 |
| Filtrasi | 30-60% | 60-80% | 50-70% | 4 | 4 | 4 | 4 | 16 |
| <i>Ion exchange</i> | Relatif rendah | | | 2 | 4 | 4 | 3 | 13 |
| <i>Reverse osmosis</i> | 90-100% | 90-100% | 60-90% | 5 | 2 | 5 | 4 | 16 |
| Adsorpsi karbon | 50-85% | 40-80% | 30-50% | 4 | 3 | 4 | 4 | 15 |

Sumber: Qasim & Zhu (2018)

Berdasarkan **Tabel 4.14**, terdapat dua alternatif yang memiliki total bobot tertinggi: filtrasi dan *reverse osmosis* (RO). Efisiensi proses yang ditawarkan RO sangat baik, dengan penggunaan lahan yang relatif lebih minim ketimbang filtrasi. Namun, RO membutuhkan biaya yang besar untuk energi dan penggantian *cartridge* secara berkala. Sebaliknya, filtrasi tidak membutuhkan biaya yang besar untuk kebutuhan energi, dengan hasil proses yang tergolong baik. Biaya hanya dialokasikan untuk penggantian media setiap 3–6 bulan sekali. Sehingga, unit filtrasi lebih dipilih, dengan kemudian diikuti klorinasi untuk membunuh virus, mikroba, dan bakteri (khususnya *E. coli*) sebelum air hasil proses dimanfaatkan kembali, walaupun kemungkinan besar air limbah hasil produksi tidak mengandung bakteri *E. coli*. Teknologi filtrasi yang digunakan pada perencanaan ini adalah *rapid sand filter dual media* dengan media pasir silika dan antrasit. Kualitas air hasil proses filtrasi dan desinfeksi dapat dilihat pada **Tabel 4.15**.

Tabel 4.15 Kualitas air hasil pengolahan tersier

| Parameter | Efluen clarifier | Removal filtrasi & desinfeksi | Efluen | Baku mutu | Satuan |
|--------------------|------------------|-------------------------------|--------|-----------|------------|
| BOD ₅ | 22,8 | 50% | 11,4 | 40* | mg/L |
| COD | 60,5 | 40% | 36,3 | 100* | mg/L |
| TSS | 1,17 | 70% | 0,4 | 50* | mg/L |
| pH | 6,5 | - | 6,5 | 6,5-8,5** | |
| NH ₃ -N | 0,5 | 60% | 0,2 | 10* | mg/L |
| NO ₃ -N | 0,75 | 60% | 0,3 | 10** | mg/L |
| Kekeruhan*** | 9,18 | 98% | 0,2 | 25** | NTU |
| E. coli | - | 100% | 0 | 0** | CFU/100 ml |
| T. Coliform | - | - | < 50 | 50** | CFU/100 ml |

*Permen LH 5/2014

**Permenkes 32/2017

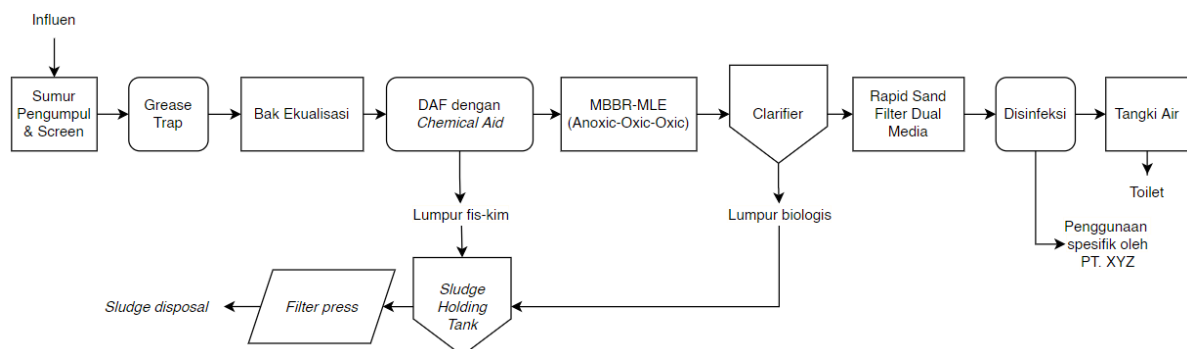
***($Kekeruhan = 0,0426(TSS) + 9,1356$) (Hern *et al.*, 2014)

Air hasil proses pengolahan sebagian akan dialokasikan untuk kebutuhan MCK dan *flushing* toilet, dan sebagian yang lain akan diserahkan kembali kepada PT. XYZ dalam penentuan penggunaannya dengan harapan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pabrik. Secara teoritis, terdapat beberapa alternatif penggunaan air hasil proses yang dapat PT. XYZ pertimbangkan:

1. Sebagai air baku untuk kegiatan produksi.
2. Sebagai air bersih yang nantinya didistribusikan kepada masyarakat. Air dapat digunakan untuk keperluan masyarakat untuk kegiatan MCK, mencuci kendaraan, dan menyiram tanaman.
3. Untuk kegiatan penyiraman tanaman di area pabrik.
4. Apabila PT. XYZ bersedia untuk mengeluarkan biaya untuk melakukan pembuangan, serta masih enggan untuk melakukan daur ulang dalam waktu dekat, maka air hasil proses dapat dibuang ke badan air terdekat.

4.3.3 Diagram Alir Keseluruhan Proses

Proses pengolahan air limbah dengan skema daur ulang efluen PT. XYZ divisualisasikan menggunakan diagram alir, ditunjukkan pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.7 Diagram alir IPAL

4.4 Perhitungan Perencanaan IPAL Baru

Perhitungan unit-unit pengolahan air limbah berdasarkan kriteria desain yang diadopsi dari literatur. Gambar teknis perencanaan IPAL baru dapat dilihat pada **Lampiran 9**.

4.4.1 Bar Screen

Bar screen pada perencanaan ini direncanakan sebanyak 1 (satu) unit dengan pengoperasian pembersihan secara manual. *Bar screen* diletakkan pada saluran air limbah sebelum kemudian air limbah dilimpahkan ke sumur pengumpul..

a. Kriteria Desain

Tabel 4.16 Kriteria desain *bar screen*

| Keterangan | Manual | Mekanis |
|--|-------------------|-----------------|
| Lebar batang (w) | (5–15) mm | (5–15) mm |
| Ketebalan | (25–75) mm | (25–75) mm |
| Jarak antar batang (b) | (25–50) mm | (15–75) mm |
| Kemiringan acuan vertikal (α) | 30°–45° | 0°–30° |
| Kecepatan melalui celah (v) | (0,3–0,6) m/detik | (0,6–1) m/detik |

Sumber: Metcalf & Eddy (2014)

Tabel 4.17 Faktor bentuk *screen*

| Tipe batang | Faktor bentuk (β) |
|---|---------------------------|
| <i>Sharp-edged rectangular</i> | 2,42 |
| <i>Rectangular with semicircular upstream face</i> | 1,83 |
| <i>Rectangular with semicircular upstream and downstream face</i> | 1,67 |
| <i>Circular</i> | 1,79 |
| <i>Tear shape</i> | 0,76 |

Sumber: Qasim & Zhu (2018)

b. Data Perencanaan

| | |
|--|----------------------------------|
| Debit air limbah (Q) | = 1.500 m ³ /hari |
| | = 0,017 m ³ /detik |
| Lebar saluran air limbah (B) | = 0,5 m |
| Kedalaman air (H) | = 0,5 m |
| Kedalaman saluran | = 0,7 m |
| Kemiringan acuan vertikal (α) | = 30° |
| Tipe batang | = <i>Sharp-edged rectangular</i> |
| Faktor bentuk (β) | = 2,42 |
| Lebar batang (w) | = 15 mm |

$$\text{Jarak antar batang (b)} = 42 \text{ mm}$$

c. Perhitungan Desain

$$\begin{aligned} \text{Jumlah batang (n)} &= \frac{B-b}{w+b} \\ &= \frac{0,5 \text{ m} - 0,042 \text{ m}}{0,015 \text{ m} + 0,042 \text{ m}} \\ &= 8 \text{ batang} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total lebar celah (Lt)} &= B - [(n - 1) \times w] \\ &= 0,5 \text{ m} - [(8 - 1) \times 0,015 \text{ m}] \\ &= 0,39 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah celah (s)} &= \frac{Lt}{b} \\ &= \frac{0,39 \text{ m}}{0,042 \text{ m}} \\ &= 9 \text{ celah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang screen terendam air (Ls)} &= \frac{H}{\sin 30^\circ} \\ &= \frac{0,5 \text{ m}}{0,5} \\ &= 1 \text{ m} \end{aligned}$$

Kecepatan air melalui celah (v) dan *headloss* (h_L):

Kondisi bersih

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{Q}{Lt \times Ls} \\ &= \frac{0,017 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,39 \text{ m} \times 1 \text{ m}} \\ &= 0,04 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_L &= \beta \left(w \times \frac{n}{Lt} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{Vs^2}{2 \times 9,81} \right) \sin 30^\circ \\ &= 0,42 \left(0,015 \times \frac{9}{0,39} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{0,04^2}{2 \times 9,81} \right) (0,5) \\ &= 4,91 \times 10^{-5} \text{ m} \\ &\approx 0,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kondisi clogging 90%

$$\begin{aligned} Lt_{90\%} &= Lt \times (1-90\%) \\ &= 0,39 \text{ m} \times 0,9 \\ &= 0,039 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Vs_{90\%} = \frac{Q}{Lt_{90\%} \times Ls}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,017 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,039 \text{ m} \times 1 \text{ m}} \\
&= 0,44 \text{ m/detik (OK, } \leq 0,6 \text{ m/detik)} \\
h_{L90\%} &= \beta \left(w \times \frac{n}{Lt_{90\%}} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{Vs_{90\%}^2}{2 \times 9,81} \right) \sin 30^\circ \\
&= 0,42 \left(0,015 \times \frac{9}{0,039} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{0,44^2}{2 \times 9,81} \right) (0,5) \\
&= 0,00013 \text{ m} \\
&= 0,13 \text{ mm (OK, } \leq 150 \text{ mm)}
\end{aligned}$$

d. Rekapitulasi Desain

Rekapitulasi desain bar screen tipe pembersihan manual dapat dilihat pada **Tabel 4.18** berikut.

Tabel 4.18 Rekapitulasi desain *bar screen*

| Keterangan | Nilai | Satuan |
|---------------------------|-------|--------|
| Jumlah | 1 | unit |
| Panjang screen | 0,5 | m |
| Tinggi screen | 0,82 | m |
| Lebar batang | 15 | mm |
| Jumlah batang | 8 | buah |
| Kemiringan acuan vertikal | 30° | - |

4.4.2 Sumur Pengumpul

a. Kriteria Desain

Waktu detensi (td) \leq 10 menit (Permen PUPR 4/2017)

b. Data Perencanaan

$$\begin{aligned}
\text{Debit air limbah (Q)} &= 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 1,04 \text{ m}^3/\text{menit}
\end{aligned}$$

$$\text{Waktu detensi (td)} = 5 \text{ menit}$$

$$\text{Kedalaman (h)} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi tanah} = 149 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard (fb)} = 1 \text{ m}$$

c. Perhitungan Desain

i) Dimensi sumur pengumpul

$$\begin{aligned}
\text{Volume (Vol)} &= Q \times td = 1,04 \text{ m}^3/\text{menit} \times 5 \text{ menit} \\
&= 5,2 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas permukaan (As)} &= \frac{\text{Vol}}{h} \\
&= \frac{5,2 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} \\
&= 2,60 \text{ m}^2 \\
\text{P:L} &= 1:1 \\
\text{Panjang \& lebar (s)} &= \sqrt{As} \\
&= \sqrt{2,6 \text{ m}^2} \\
&= 1,61 \text{ m} \\
&\approx 1,6 \text{ m} \\
\text{As aktual} &= s^2 = (1,6 \text{ m})^2 \\
&= 2,56 \text{ m}^2 \\
\text{td cek} &= \frac{As \times H}{Q} = \frac{2,56 \text{ m}^2 \times 2 \text{ m}}{1,04 \text{ m}^3/\text{menit}} \\
&= 4,9 \text{ menit (OK)}
\end{aligned}$$

ii) Dimensi pipa *discharge*

$$\begin{aligned}
v \text{ rencana pada pipa} &= 1 \text{ m/detik } (> 0,6 \text{ m/detik (Qasim \& Zhu, 2018)}) \\
Q &= 1,04 \text{ m}^3/\text{menit} \\
&= 0,02 \text{ m}^3/\text{detik} \\
\text{As pipa} &= Q/v \\
&= 0,02 \text{ m}^2 \\
\text{Diameter pipa (D)} &= \sqrt{\frac{4As}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(0,02 \text{ m}^2)}{\pi}} \\
&= 0,149 \text{ m} \\
&= 149 \text{ mm} \\
\text{D pasaran (ID)} &= 129,2 \text{ mm} \\
v \text{ cek} &= \frac{Q}{As} = \frac{0,017 \text{ m}^3/s}{\frac{1}{4}\pi(129,2)^2} \\
&= 1,32 \text{ m/detik (OK)}
\end{aligned}$$

iii) *Headloss*

$$\begin{aligned}
\text{Head statis} &= 8,7 \text{ m} \\
C_{\text{PVC}} &= 100 \\
L &= 12,4 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H_f \text{ discharge} &= \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\
&= \left(\frac{0,017 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,2785 \times 100 \times (0,1292)^{2,63}} \right)^{1,85} \times 12,4 \text{ m} \\
&= 0,31 \text{ m} \\
H_m \text{ bend } 90^\circ \text{ (k = 0,8; n = 4 buah)} &= k \frac{v_{cek}^2}{2g} n \\
&= 0,8 \times \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \times 4 \\
&= 0,28 \text{ m} \\
H_m \text{ tee (k = 1,8; n = 2 buah)} &= k \frac{v_{cek}^2}{2g} n \\
&= 1,8 \times \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \times 2 \\
&= 0,32 \text{ m} \\
H_m \text{ valve (k = 0,2; n = 1 buah)} &= k \frac{v_{cek}^2}{2g} n \\
&= 0,2 \times \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \times 1 \\
&= 0,02 \text{ m} \\
\text{Head kecepatan (Hv)} &= \frac{v_{cek}^2}{2g} \\
&= \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \\
&= 0,09 \text{ m} \\
\text{Head total} &= \text{Head statis} + H_f \text{ discharge} + H_m + H_v \\
&= 0,31 \text{ m} + 0,28 \text{ m} + 0,32 \text{ m} + 0,02 \text{ m} + \\
&\quad 0,09 \text{ m} \\
&= 9,41 \text{ m}
\end{aligned}$$

iv) Pompa

Digunakan pompa *submersible* dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah} &= 2 \text{ unit (1 beroperasi + 1 idle)} \\
\text{Tipe} &= \text{Ebara Submersibles 80DLA53,7} \\
\text{Output motor} &= 3,7 \text{ kW}
\end{aligned}$$

d. Rekapitulasi Desain

Rekapitulasi desain sumur pengumpul dapat dilihat pada **Tabel 4.19**.

Tabel 4.19 Rekapitulasi desain sumur pengumpul

| Keterangan | Nilai | Satuan |
|--------------------------------|-------|--------|
| Jumlah | 1 | unit |
| Tinggi efektif | 2 | m |
| Freeboard | 1 | m |
| Panjang | 1,6 | m |
| Lebar | 1,6 | m |
| Diameter pipa <i>discharge</i> | 140 | mm |

4.4.3 Grease Trap

Grease trap pada perencanaan ini diletakkan tepat di atas bak ekualisasi dengan tujuan memberikan ketinggian yang cukup, sehingga air limbah dapat berpindah secara gravitasi. Berikut adalah perhitungan unit *grease trap*.

a. Kriteria Desain

- Waktu detensi (td) = 5–20 menit
 Panjang kompartemen 1 (P₁) = 2/3 panjang total (2/3P)
 Panjang kompartemen 2 (P₂) = 1/3 panjang total (1/3P)
 Kecepatan horizontal (v_h) ≤ 2–6 m/jam

Sumber: Buku A IPLT PUPR (2018)

b. Data Perencanaan

- Debit air limbah (Q) = 1.500 m³/hari
 = 1,04 m³/menit
 Jumlah kompartemen (n) = 2 unit
 P:L = 2:1
 Kedalaman air (H) = 1,5 m
 Waktu detensi (td) = 20 menit

c. Perhitungan Desain

i. Dimensi *grease trap*

$$\begin{aligned}
 \text{Volume total bak (Vol)} &= Q \times td \\
 &= 1,04 \text{ m}^3/\text{menit} \times 20 \text{ menit} \\
 &= 20,8 \text{ m}^3 \\
 \text{Luas permukaan (As)} &= \frac{Vol}{H} \\
 &= \frac{46,9 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}} \\
 &= 13,9 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Lebar (L)} &= \left(\frac{As}{2}\right)^{0,5} \\
&= \left(\frac{13,9 \text{ m}^2}{2}\right)^{0,5} \\
&= 2,6 \text{ m} \\
\text{Panjang (P)} &= 2L \\
&= 2 \times 1,6 \text{ m} \\
&= 5,2 \text{ m} \\
\text{Panjang kompartemen 1 (P}_1\text{)} &= 2/3P \\
&= 3,5 \text{ m} \\
\text{Panjang kompartemen 2 (P}_2\text{)} &= 1/3P \\
&= 1,7 \text{ m} \\
\text{td cek} &= \frac{P \times L \times H}{Q} \\
&= \frac{5,2 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}}{0,017 \text{ m}^3/\text{detik}} \\
&= 19,5 \text{ menit (OK)}
\end{aligned}$$

ii. Dimensi pipa inlet dan outlet

$$\begin{aligned}
v \text{ rencana pada pipa} &= 1 \text{ m/detik} \\
Q &= 1,04 \text{ m}^3/\text{menit} \\
&= 0,017 \text{ m}^3/\text{detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{As pipa} &= \frac{Q}{v} \\
&= \frac{0,017 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m/detik}} \\
&= 0,017 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Diameter pipa (D)} &= \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \\
&= \sqrt{\frac{4(0,017 \text{ m}^2/\text{detik})}{\pi}} \\
&= 0,149 \text{ m} \\
&= 149 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\text{Diameter dalam pasaran (ID)} = 129,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
v \text{ cek} &= \frac{Q}{\frac{1}{4}\pi(D^2)} \\
&= \frac{0,017 \text{ m}^3/\text{detik}}{\frac{1}{4}\pi(0,1292^2)}
\end{aligned}$$

$$= 1,32 \text{ m/detik}$$

$$\text{Diameter luar pasaran (OD)} = 140 \text{ mm}$$

d. Rekapitulasi Desain

Rekapitulasi desain *grease trap* dapat dilihat pada **Tabel 4.20**.

Tabel 4.20 Rekapitulasi desain *grease trap*

| Keterangan | Nilai | Satuan |
|-----------------------|-------|--------|
| Jumlah | 1 | unit |
| Tinggi efektif | 1,5 | m |
| Freeboard | 0,45 | m |
| Panjang kompartemen 1 | 3,5 | m |
| Panjang kompartemen 2 | 1,7 | m |
| Lebar | 2,6 | m |
| Diameter pipa inlet | 140 | mm |
| Diameter pipa outlet | 140 | mm |

4.4.4 Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi berfungsi untuk menyeragamkan debit dan kandungan polutan air limbah agar tidak terjadi *hydraulic shock load* maupun *organic shock load*. Dalam merencanakan bak ekualisasi, diperlukan data fluktuasi debit air limbah selama 24 jam. Dikarenakan akses yang terbatas di dalam PT. XYZ, data primer fluktuasi debit tidak dapat diperoleh sehingga pada perencanaan ini data fluktuasi debit mengacu kepada industri makanan lain. Data fluktuasi debit dapat dilihat pada **Tabel 4.21** dan **Tabel 4.22**.

Tabel 4.21 Persentase air limbah masuk setiap jamnya

| Jam | Air limbah masuk (%) |
|-------------|----------------------|
| 24.00-01.00 | 4,38 |
| 01.00-02.00 | 5,16 |
| 02.00-03.00 | 3,12 |
| 03.00-04.00 | 2,25 |
| 04.00-05.00 | 3,75 |
| 05.00-06.00 | 2,82 |
| 06.00-07.00 | 3,62 |
| 07.00-08.00 | 6,46 |
| 08.00-09.00 | 3,54 |
| 09.00-10.00 | 3,75 |
| 10.00-11.00 | 6,67 |
| 11.00-12.00 | 4,33 |
| 12.00-13.00 | 6,64 |
| 13.00-14.00 | 4,38 |
| 14.00-15.00 | 3,87 |
| 15.00-16.00 | 4,05 |
| 16.00-17.00 | 5,64 |
| 17.00-18.00 | 4,1 |
| 18.00-19.00 | 4,56 |
| 19.00-20.00 | 2,75 |
| 20.00-21.00 | 5,16 |

| Jam | Air limbah masuk (%) |
|---------------|----------------------|
| 21.00-22.00 | 4,36 |
| 22.00-23.00 | 2,77 |
| 23.00-24.00 | 1,85 |
| Jumlah | 100 |

Sumber: Dewiandratika (2007)

Tabel 4.22 Pengolahan data debit ekualisasi menjadi volume

| Jam | Debit influen (m ³ /jam) | Debit efluen (m ³ /jam) | Debit kumulatif influen (m ³ /jam) | Debit kumulatif efluen (m ³ /jam) | Selisih kumulatif (m ³ /jam) |
|-------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|--|---|
| 24.00-01.00 | 65,7 | 62,5 | 65,70 | 62,5 | 3,2 |
| 01.00-02.00 | 77,4 | 62,5 | 143,10 | 125,0 | 21,3 |
| 02.00-03.00 | 46,8 | 62,5 | 189,90 | 187,5 | 23,7 |
| 03.00-04.00 | 33,8 | 62,5 | 223,65 | 250,0 | -2,6 |
| 04.00-05.00 | 56,3 | 62,5 | 279,90 | 312,5 | -35,2 |
| 05.00-06.00 | 42,3 | 62,5 | 322,20 | 375,0 | -88,0 |
| 06.00-07.00 | 54,3 | 62,5 | 376,50 | 437,5 | -149,1 |
| 07.00-08.00 | 96,9 | 62,5 | 473,40 | 500,0 | -175,7 |
| 08.00-09.00 | 53,1 | 62,5 | 526,50 | 562,5 | -211,7 |
| 09.00-10.00 | 56,3 | 62,5 | 582,75 | 625,0 | -253,9 |
| 10.00-11.00 | 100,1 | 62,5 | 682,80 | 687,5 | -258,6 |
| 11.00-12.00 | 65,0 | 62,5 | 747,75 | 750,0 | -260,8 |
| 12.00-13.00 | 99,6 | 62,5 | 847,35 | 812,5 | -226,0 |
| 13.00-14.00 | 65,7 | 62,5 | 913,05 | 875,0 | -187,9 |
| 14.00-15.00 | 58,1 | 62,5 | 971,10 | 937,5 | -154,3 |
| 15.00-16.00 | 60,8 | 62,5 | 1031,85 | 1000,0 | -122,5 |
| 16.00-17.00 | 84,6 | 62,5 | 1116,45 | 1062,5 | -68,5 |
| 17.00-18.00 | 61,5 | 62,5 | 1177,95 | 1125,0 | -15,6 |
| 18.00-19.00 | 68,4 | 62,5 | 1246,35 | 1187,5 | 43,3 |
| 19.00-20.00 | 41,3 | 62,5 | 1287,60 | 1250,0 | 80,9 |
| 20.00-21.00 | 77,4 | 62,5 | 1365,00 | 1312,5 | 133,4 |
| 21.00-22.00 | 65,4 | 62,5 | 1430,40 | 1375,0 | 188,8 |
| 22.00-23.00 | 41,6 | 62,5 | 1471,95 | 1437,5 | 223,2 |
| 23.00-24.00 | 27,8 | 62,5 | 1499,70 | 1500,0 | 222,9 |

Besarnya volume bak ekualisasi diperoleh dari selisih kumulatif terkecil (umumnya bernilai negatif) dan kumulatif terbesar (bernilai positif). Sehingga, volume yang didapatkan:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak ekualisasi} &= | \text{selisih kumulatif terkecil (-)} | + \text{selisih kumulatif terbesar (+)} \\
 &= (| -260,8 | + 223,2) \text{ m}^3 \\
 &= 484,1 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

a. Kriteria Desain

$$\text{Kedalaman minimum (Hmin)} = 1,5-2 \text{ m}$$

$$\text{Freeboard (fb)} = 1 \text{ m}$$

Laju pemompaan udara (Qudara) = 0,01–0,015 m³/m³/menit

Sumber: Metcalf & Eddy (2014); Qasim & Zhu (2018)

b. Data Perencanaan

Kedalaman bak (H) = 4 m

Freeboard (fb) = 1 m

Laju pompa udara (Qu) = 0,01 m³/m³.menit

Efisiensi pompa (η_p) = 90%

Diameter *disc diffuser* = 30 cm

Kapasitas suplai udara per *disc* (Qd) = 5 m³/jam = 0,083 m³/menit

c. Perhitungan Desain

i) Dimensi Bak Ekualisasi

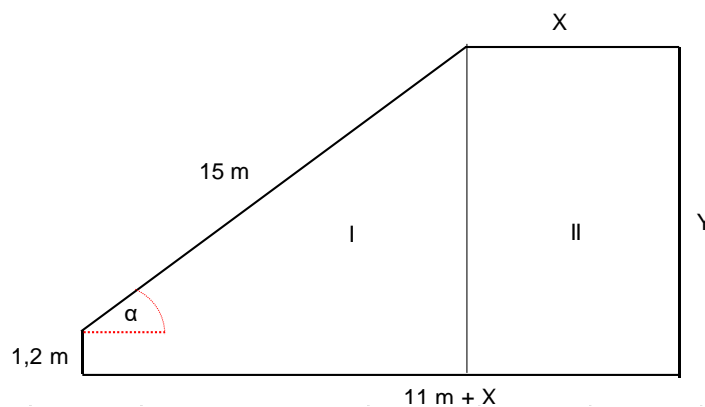
Volume bak ekualisasi (Vol) = 484,1 m³

Vol × [1 + *safety factor* (10%)] = 484,1 m³ × 110%
= 532,5 m³

Kedalaman bak (H) = 4 m (ditetapkan)

Luas permukaan bak (As) = $\frac{Vol}{H}$
= $\frac{532,5 \text{ m}^3}{4 \text{ m}}$
= 133,1 m²

Pada lahan tersedia, setelah mempertimbangkan layout unit-unit sebelumnya, maka didapatkan ketersediaan lahan untuk bak ekualisasi seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8 Denah lahan bak ekualisasi

Didapatkan perhitungan dimensi X dan Y sebagai berikut:

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{11 \text{ m}}{15 \text{ m}}\right)$$

$$\sin^{-1}\left(\frac{Y-1,2 \text{ m}}{15 \text{ m}}\right) = \alpha$$

$$\cos^{-1}\left(\frac{11 \text{ m}}{15 \text{ m}}\right) = 42,83^\circ$$

$$\frac{Y-1,2 \text{ m}}{15 \text{ m}} = \sin(42,83^\circ)$$

$$\frac{Y-1,2 \text{ m}}{15 \text{ m}} = 0,68$$

$$Y-1,2 \text{ m} = 10,2$$

$$Y = 11,4 \text{ m} \approx \mathbf{11,5 \text{ m}}$$

$$\text{Luas I} = (1,2 \text{ m} + 11,5 \text{ m}) \times \frac{11}{2}$$

$$= 69,85 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas II} = 144,5 \text{ m}^2 - 69,85 \text{ m}^2$$

$$= 74,65 \text{ m}^2$$

$$X = \frac{74,65 \text{ m}^2}{11,5 \text{ m}}$$

$$X = \mathbf{6,5 \text{ m}}$$

ii) Perencanaan suplai udara sistem *disc diffuser*



| Diameter(mm) | 215 | 260 | 300 |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Design air flow | 2m ³ /h | 3m ³ /h | 5m ³ /h |
| Service area | 0.4-0.8 | 0.6-0.9 | 0.7-1.0 |
| Bubble size mm | 0.8~2.1 | 0.8~2.1 | 0.8~2.1 |
| Oxygenate capability | 0.15~0.38 kgO ₂ /h | 0.18~0.48 kgO ₂ /h | 0.25~0.55 kgO ₂ /h |

Gambar 4.9 Spesifikasi *disc diffuser*

Sumber: <https://m.made-in-china.com/>

$$\text{Kebutuhan udara (u)} = \frac{\text{Vol} \times \text{Qu}}{\eta_p}$$

$$= \frac{532,5 \text{ m}^3 \times 0,01 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{menit}}{0,9}$$

$$= 5,92 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Jumlah } \textit{disc diffuser} \text{ diperlukan (n)} = \frac{u}{Q_d}$$

$$= \frac{5,92 \text{ m}^3/\text{menit}}{0,083 \text{ m}^3/\text{menit}}$$

$$= 71 \text{ buah}$$

Direncanakan *disc diffuser* sejumlah 76 buah yang terletak pada 4 pipa udara dengan panjang dan rangkaian *disc diffuser* sebagai berikut.

- A-B = 5,9 m, dengan 12 *disc diffuser*
- C-D = 8,9 m, dengan 16 *disc diffuser*
- E-F = 11,9 m, dengan 21 *disc diffuser*
- G-H = 16,9 m, dengan 27 *disc diffuser*

Digunakan blower Showa Denki SF-75HT dengan spesifikasi:

$$\text{Output motor} = 0,25 \text{ kW}$$

$$\text{Frekuensi} = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{Maximum airflow} = 8 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Diameter discharge} = 75 \text{ mm}$$

iii) Pipa inlet dan outlet

Digunakan dimensi pipa yang sama dengan unit sebelumnya, yaitu pipa PVC dengan diameter luar 140 mm.

iv) *Headloss*

$$\text{Head statis} = 5 \text{ m}$$

$$C_{\text{PVC}} = 100$$

$$L_{\text{discharge}} = 12,17 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_f_{\text{discharge}} &= \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\ &= \left(\frac{0,017 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,2785 \times 100 \times (0,1292)^{2,63}} \right)^{1,85} \times 12,17 \text{ m} \\ &= 0,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_m \text{ bend } 90^\circ (k = 0,8; n = 4 \text{ buah}) &= k \frac{v_{cek}^2}{2g} n \\ &= 0,8 \times \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \times 4 \\ &= 0,28 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_m \text{ tee } (k = 1,8; n = 2 \text{ buah}) &= k \frac{v_{cek}^2}{2g} n \\ &= 1,8 \times \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \times 2 \\ &= 0,32 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_m \text{ valve } (k = 0,2; n = 1 \text{ buah}) &= k \frac{v_{cek}^2}{2g} n \\ &= 0,2 \times \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \times 1 \\ &= 0,02 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Head kecepatan (Hv)} = \frac{v_{cek}^2}{2g}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \\
&= 0,09 \text{ m} \\
\text{Headloss static mixer (Hsm)} &= 12,3 \text{ m} \\
\text{Head total} &= \text{Hstatis} + \text{Hf discharge} + \text{Hm} + \text{Hv} + \text{Hsm} \\
&= 5 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,28 \text{ m} + 0,32 \text{ m} + 0,02 \text{ m} + 0,09 \text{ m} + 12,3 \text{ m} \\
&= 18,51 \text{ m}
\end{aligned}$$

v) Pompa

Digunakan pompa *submersible* dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah} &= 2 \text{ unit (1 beroperasi + 1 idle)} \\
\text{Tipe} &= \text{Ebara Submersibles 100DLC57,5} \\
\text{Output motor} &= 7,5 \text{ kW}
\end{aligned}$$

d. Rekapitulasi Desain

Rekapitulasi desain bak ekualisasi dapat dilihat pada **Tabel 4.23**.

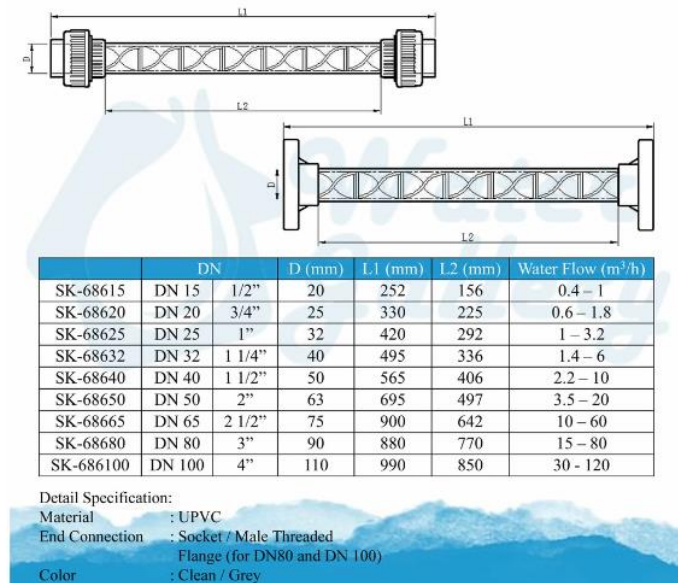
Tabel 4.23 Rekapitulasi desain bak ekualisasi

| Keterangan | Nilai | Satuan |
|----------------------|-------|--------|
| Jumlah | 1 | unit |
| Kedalaman bak | 4 | m |
| Freeboard | 1 m | m |
| Panjang sisi A | 1,2 | m |
| Panjang sisi B | 15 | m |
| Panjang sisi C | 6,5 | m |
| Panjang sisi D | 11,5 | m |
| Panjang sisi E | 17,5 | m |
| Jumlah diffuser | 76 | buah |
| Diameter pipa inlet | 140 | mm |
| Diameter pipa outlet | 140 | mm |

4.4.5 Dissolved Air Flotation dengan Chemical Aid

Sebelum memasuki DAF, air limbah akan melewati rangkaian proses fisik-kimia yang terdiri atas proses netralisasi dan koagulasi. Air limbah yang memiliki pH 4,75 harus dinetralkan terlebih dahulu agar air limbah memenuhi baku mutu (pH = 6-9), juga agar proses koagulasi berjalan optimal. Bahan kimia yang digunakan adalah soda kaustik (NaOH) untuk netralisasi, PAC untuk koagulasi, dan polimer anionik yang berperan sebagai *coagulant aid*. Bahan kimia dilarutkan terlebih dahulu menggunakan bak pencampur, kemudian larutan kimia dipompa menggunakan pompa *dosing* ke dalam bak pembubuh, sebelum kemudian ketiga larutan ini akan bercampur di *static mixer*. Adapun pipa *dosing* berbahan silikon.

Proses *mixing* larutan NaOH, PAC, dan polimer anionik dengan air limbah terjadi di dalam *static mixer*. Tipe *static mixer* yang digunakan adalah SK-686100 (**Gambar 4.10**).



Gambar 4.10 Spesifikasi *static mixer*

Setelah melewati proses koagulasi, di dalam tangki tekan, air limbah yang sudah bercampur dengan koagulan dan *coagulant aid* diberikan suplai udara bertekanan hasil proses kompresi dan saturasi oleh kompresor dan *air saturator* berturut-turut, sebelum kemudian mengapung di tangki flotasi. DAF pada perencanaan ini berbentuk kontainer yang berbahan baja. Pada DAF tidak terdapat resirkulasi dikarenakan kandungan minyak dan lemak yang tidak tinggi, serta untuk menghemat penggunaan lahan.

a. Kriteria Desain

Static mixer

Waktu detensi *mixing* (td) = 1–5 detik

Kecepatan di *static mixer* (v) = 1,8–2 m/detik

Dissolved air flotation

Kedalaman tangki (H) = 2–3 m

P:L = 1,33–2,5:1

Air solid ratio (A/S) = 0,005–0,06

Surface overflow rate (SOR) = 5–15 m³/m².jam

Waktu detensi tangki tekan (td_p) = 2–3 menit

Waktu detensi tangki flokatsi (td_f) = 10-20 menit

Kelarutan gas 28°C (Sa) = 16,3 mL/L

Fraksi jenuh (f) = 0,5

Solids loading rate (SLR) = 4–15 kg/m².jam

Kecepatan mengapung flok (V_{rise}) = 3,6–36 m/jam

Tekanan pada saturator (P) = 400–600 kPa

Efisiensi saturator (η_{sat}) = 80–95%

Densitas udara (ρ_u) = 1,2928 g/L

(Eckenfelder, 2006; Edzwald, 2010; Kawamura, 2000; Lundh, 2002; Metcalf & Eddy, 2014; Ratnayaka et al., 2009)

b. Data Perencanaan

Debit air limbah (Q) = 1.500 m³/hari
= 0,017 m³/detik

Viskositas air pada 28°C (μ) = 0,0008363 N.detik/m²

Densitas air pada 28°C (ρ) = 996,3 kg/m³

Jenis *agitator* di bak kimia = *Impeller 4 blades*

v_{mixing} rencana = 1,8 m/detik

Netralisasi

Dosis NaOH flakes optimal = 70 mL/L

Konsentrasi jar test NaOH flakes = 0,4%

Densitas NaOH flakes = 2.130 kg/m³

Frekuensi pelarutan = 24 jam sekali

Kecepatan pembubuhan (vd) = 0,7 m/detik

Koagulan

Dosis PAC optimal = 10 mL/L

Konsentrasi jar test PAC = 10%

Densitas PAC = 1.390 kg/m³

Frekuensi pelarutan (sesuai *shift*) = 24 jam sekali

Kecepatan pembubuhan (vd) = 0,6 m/detik

Coagulant aid

Dosis polimer anionik optimal = 40 mL/L

Konsentrasi jar test polimer = 0,1%

Densitas polimer = 1.030 kg/m³

Frekuensi pelarutan (sesuai *shift*) = 8 jam sekali

Kecepatan pembubuhan (vd) = 0,6 m/detik

Dissolved air flotation

Kedalaman tangki (H) = 2 m

Waktu detensi tangki tekan (tdp) = 2 menit

P:L = 2:1

| | | |
|---|---|----------------------------|
| Freeboard | = | 0,2 m |
| Air solid ratio (A/S) | = | 0,05 |
| Sludge loading rate (SLR) | = | 12 kg/m ² .jam |
| Debit air limbah (Q) | = | 1.500 m ³ /hari |
| Efisiensi saturator (η_{sat}) | = | 80% |
| TSS influen (TSS _{in}) | = | 2.600 mg/L |
| Minyak & lemak influen (M&L _{in}) | = | 0,014 mg/L |

c. Perhitungan Desain

i) Netralisasi

(1) Bak pelarut NaOH

$$\begin{aligned}
 \text{Dosis NaOH flakes mg/L} &= 70 \text{ mL/L} \times 2.130 \text{ kg/m}^3 \times 10^3 \text{ L/m}^3 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{ml} \\
 &= 149,1 \text{ mg/L} \\
 \text{Kebutuhan NaOH flakes per shift} &= \frac{1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \times 191 \text{ mg/l} \times 8 \text{ jam}}{24 \text{ jam/hari} \times 1.000 \text{ m}^3/\text{liter}} \\
 &= 74,55 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Didapatkan jumlah kebutuhan NaOH yang terlampau besar. Maka dari itu, kebutuhan NaOH dihitung menggunakan pendekatan teoritis sebagai berikut:

$$0,4\% \text{ NaOH flakes} = \frac{0,4 \text{ gram NaOH}}{99,6 \text{ gram air}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume air} &= \frac{99,6 \text{ gram}}{996,3 \text{ g/L}} \\
 &\approx 0,1 \text{ L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume NaOH} &= \frac{0,4 \text{ gram}}{2.130 \text{ g/L}} \\
 &= 0,0002 \text{ L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, } 0,4\% \text{ NaOH flakes} &= 0,4 \text{ gNaOH}/(0,1002 \text{ L}) \\
 &\approx 4 \text{ g/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga, molaritas larutan} &= \frac{4 \text{ g/L}}{40 \text{ g/mol}} \\
 &= 0,1 \text{ M}
 \end{aligned}$$

Kemudian, volume basa (V_b) yang diperlukan untuk proses netralisasi dihitung menggunakan persamaan titrasi pada pH netral:

$$\begin{aligned}
 (V_a)(M_a) &= (V_b)(M_b) \\
 (1.500 \text{ m}^3)(10^{-4,75}) &= (V_b)(10^{-1})
 \end{aligned}$$

$$V_b = \frac{(1.500 \text{ m}^3)(10^{-4,75})}{10^{-1}}$$

$$V_b = 0,267 \text{ m}^3$$

$$= 267 \text{ L}$$

Selanjutnya, kebutuhan NaOH per harinya dihitung, sebagaimana berikut:

$$\text{massa NaOH} = 0,1 \text{ M} \times 267 \text{ L} \times 40 \text{ g/mol}$$

$$= 1.068 \text{ g}$$

$$\approx 1,1 \text{ kg}$$

Didapatkan kebutuhan NaOH flakes per harinya adalah 1,1 kg. Digunakan tangki air Penguin model TB 32 dengan kapasitas 300 liter untuk menampung 267 L volume larutan NaOH 0,4% per harinya.

(2) Bak pembubuh NaOH

$$\text{Dimensi bak pembubuh} = \text{dimensi bak pelarut}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit pembubuhan (Qd)} &= \frac{\text{volume larutan}}{24 \text{ jam}} \\ &= \frac{0,267 \text{ m}^3}{24 \text{ jam} \times 3.600 \text{ detik/jam}} \end{aligned}$$

$$= 3,09 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$v \text{ pembubuhan (vd)} = 0,7 \text{ m/detik}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter pipa pembubuh} &= \sqrt{\frac{4(Qd)}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{4\left(\frac{0,00000309 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,7 \text{ m/detik}}\right)}{\pi}} \end{aligned}$$

$$= 0,0024 \text{ m}$$

$$= 2,4 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter pakai} = 2 \text{ mm}$$

ii) Koagulasi

(1) Bak pelarut PAC

$$\text{Dosis PAC dalam mg/L} = 10 \text{ mL/L} \times 1.390 \text{ kg/m}^3 \times 10^3 \text{ L/m}^3 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mL}$$

$$= 14 \text{ mg/L}$$

$$\text{Kebutuhan PAC/hari} = \frac{1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \times 14 \text{ mg/l}}{24 \text{ jam/hari} \times 1.000 \text{ m}^3/\text{l}}$$

$$= 20,85 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
\text{PAC 10\%} &= \frac{20,85 \text{ kg PAC}}{20,85 \text{ kg PAC} + \text{massa air}} \\
\text{Massa air} &= 187,65 \text{ kg} \\
\text{Volume air} &= \frac{\text{massa air}}{\text{densitas air}} \\
&= \frac{187,65 \text{ kg}}{996,3 \text{ kg/m}^3} \\
&= 0,188 \text{ m}^3 \\
\text{Volume PAC} &= \frac{\text{massa PAC}}{\text{densitas PAC}} \\
&= \frac{20,85 \text{ kg}}{1.390 \text{ kg/m}^3} \\
&= 0,015 \text{ m}^3 \\
\text{Volume bak} &= \text{volume air} + \text{volume PAC} \\
&= 0,203 \text{ m}^3 \\
&= 203 \text{ liter}
\end{aligned}$$

Digunakan tangki air Penguin model TB 32 dengan kapasitas 300 liter.

(2) Bak pembubuh PAC

$$\begin{aligned}
\text{Dimensi bak pembubuh} &= \text{dimensi bak pelarut} \\
\text{Debit pembubuhan (Qd)} &= \frac{\text{volume larutan}}{24 \text{ jam}} \\
&= \frac{0,203 \text{ m}^3}{24 \text{ jam} \times 3.600 \text{ detik/jam}} \\
&= 0,000002 \text{ m}^3/\text{detik} \\
v \text{ pembubuhan (vd)} &= 0,6 \text{ m/detik} \\
\text{Diameter pipa pembubuh} &= \sqrt{\frac{4 \left(\frac{0,017 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,6 \text{ m/detik}} \right)}{\pi}} \\
&= 0,00227 \text{ m} \\
\text{Diameter pakai} &= 2 \text{ mm}
\end{aligned}$$

iii) *Coagulant aid*

(1) Bak pelarut polimer

$$\begin{aligned}
\text{Dosis polimer anionic dalam mg/L} &= 40 \text{ mL/L} \times 1.030 \text{ kg/m}^3 \times 10^3 \text{ l/m}^3 \times 10^{-6} \\
&\quad \text{m}^3/\text{ml} \\
&= 41,2 \text{ mg/L} \\
\text{Kebutuhan polimer anionik per shift} &= \frac{1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \times 41,2 \text{ mg/l} \times 8 \text{ jam}}{24 \text{ jam/hari} \times 1.000 \text{ m}^3/\text{liter}} \\
&= 20,6 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Dikarenakan konsentrasi terlalu kecil (0,1%), maka dinaikkan menjadi 3% (kisaran efektif: 1-3%)

$$\begin{aligned}
 \text{polimer anionik 3\%} &= \frac{20,6 \text{ kg polimer}}{20,6 \text{ kg polimer} + \text{Massa air}} \\
 \text{Massa air} &= 666,07 \text{ kg} \\
 \text{Volume air} &= \frac{\text{massa air}}{\text{densitas air}} \\
 &= \frac{9459,45 \text{ kg}}{996,3 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 0,67 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume polimer anionik} &= \frac{\text{massa polimer}}{\text{densitas polimer}} \\
 &= \frac{20,6 \text{ kg}}{1.030 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 0,02 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume bak} &= \text{volume air} + \text{volume polimer anionik} \\
 &= 0,7 \text{ m}^3 \\
 &= 700 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

Digunakan tangki air Penguin model TB 80 dengan kapasitas 800 liter.

(2) Bak pembubuh polimer

$$\begin{aligned}
 \text{Debit pembubuhan (Qd)} &= \frac{\text{volume larutan}}{8 \text{ jam}} \\
 &= \frac{0,7 \text{ m}^3}{8 \text{ jam} \times 3.600 \text{ detik/jam}} \\
 &= 0,00002 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{Diameter pipa pembubuh} &= \sqrt{\frac{4 \left(\frac{0,00002 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,6 \text{ m/detik}} \right)}{\pi}} \\
 &= 0,00659 \text{ m} \\
 \text{Diameter pakai} &= 6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

iv) *Static Mixer*

Static mixer berjenis *Low Pressure Drop* (LPD) dengan jumlah elemen sebanyak 7.

a) Dimensi pipa

$$\begin{aligned}
 \text{Apipa} &= \frac{Q}{v} \\
 &= \frac{0,017 \text{ m}^3/\text{detik}}{1,8 \text{ m/detik}} \\
 &= 0,0096 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter pipa} &= \left(\frac{4A_{\text{pipa}}}{\pi} \right)^2 \\
 &= \left(\frac{4(0,0096 \text{ m}^2)}{\pi} \right)^2 \\
 &= 0,1108 \text{ m} \\
 &= 110,8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter pakai} = 110 \text{ mm (4 inci)}$$

$$\begin{aligned}
 v_{\text{cek}} &= \frac{0,017 \text{ m}^3/\text{detik}}{\left(\frac{1}{4}\pi \left(\frac{110}{1000} \text{ m} \right)^2 \right)} \\
 &= 1,83 \text{ m/detik (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang mixer} &= 1,5D(n_{\text{elemen}})-3D \\
 &= 1,5(0,11)(7)-3(0,11) \\
 &= 0,83 \text{ m}
 \end{aligned}$$

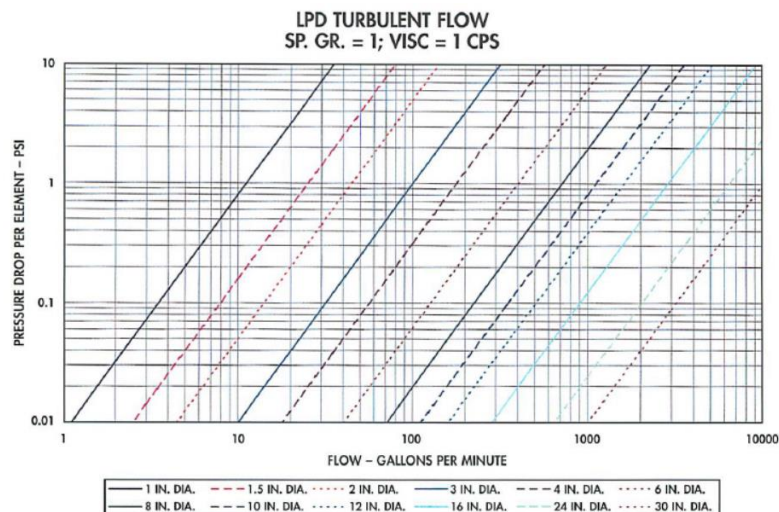
Digunakan panjang *static mixer* 0,77 m (menyesuaikan spesifikasi)

b) Durasi *mixing*

$$\begin{aligned}
 t_d &= v_{\text{cek}} \times \text{panjang mixer} \\
 &= 1,83 \text{ m/detik} \times 0,77 \text{ m} \\
 &= 1,41 \text{ detik (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{re} &= \frac{\rho v D}{\mu} \\
 &= \frac{(996,1)(1,83)(0,11)}{0,000836} \\
 &= 239.351 (>500, \text{ turbulen})
 \end{aligned}$$

c) *Headloss*



Gambar 4.11 Besarnya *head loss* (psi) terhadap debit (gpm)

Sumber: www.staticmixers.com/

Besar *headloss* atau *pressure drop* didapatkan dengan memplot besarnya debit pada sumbu-x ke besarnya *headloss* per elemennya di sumbu-y pada grafik yang dicantumkan pada **Gambar 4.11**.

Maka, didapatkan:

$$\begin{aligned} \text{Debit} &= 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,183453 \text{ gpm/m}^3/\text{hari} \\ &= 275,17 \text{ gpm} \end{aligned}$$

$$\text{Headloss pipa 4''} = 2,5 \text{ psi per elemen (hasil plot)}$$

$$\begin{aligned} \text{Total headloss} &= 7 \text{ elemen} \times 2,5 \text{ psi/elemen} \times 0,70325 \text{ m head/psi} \\ &= 12,31 \text{ m} \end{aligned}$$

Headloss 12,31 m diperhitungkan dalam perhitungan total head di pompa *submersible* bak ekualisasi.

v) *Dissolved air flotation*

a) Dimensi tangki lepas

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan tangki (As)} &= \frac{[Q \times (TSS_{in} + M \& L_{in})]}{SLR} \\ &= \frac{1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \times (2.600 + 0,014) \text{ mg/l}}{10 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{jam}} \\ &= 13,5 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar tangki (L)} &= \sqrt{\frac{As}{2}} \\ &= \sqrt{\frac{13,5 \text{ m}^2}{2}} \\ &= 2,6 \text{ m} \\ &\approx 2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang tangki (P)} &= 2L \\ &= 2 \times 2 \text{ m} \\ &= 4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan (As) aktual} &= P \times L \\ &= 2 \text{ m} \times 4 \text{ m} \\ &= 8 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki (Vol)} &= As \times H \\ &= 12,5 \text{ m}^2 \times 2 \text{ m} \\ &= 16 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Cek SOR} = \frac{Q}{As}$$

$$= \frac{\left(\frac{1.500}{24}\right)m^3 \text{ jam}}{8 m^2}$$

$$= 8 m^3/m^2 \cdot \text{jam (OK)}$$

Cek waktu detensi (td_f)

$$= \frac{Vol}{Q}$$

$$= 37,5 m^3/1500 m^3/\text{hari}$$

$$= 0,010667 \text{ hari} \times 1/1440 \text{ menit/hari}$$

$$= 15,4 \text{ menit (OK)}$$

Tekanan pada saturator (P)

$$= \frac{\left(\frac{A/S}{1,35a} \right) + 1}{0,5}$$

$$= \frac{\left(\frac{0,05}{1,3(16,3 \text{ ml/l})} \right) + 1}{1,978 \text{ mg/l}}$$

$$= 13,27 \text{ atm}$$

$$= \frac{101,325 \text{ kPa/atm} \times 10,33 \text{ atm}}{\eta_{sat}}$$

$$= \frac{101,325 \text{ kPa/atm} \times 10,33 \text{ atm}}{0,8}$$

$$= 1680,7 \text{ kPa}$$

b) Dimensi tangki tekan

Volume air pada tangki tekan (Vol_a) = $Q \times td_p$

$$= \frac{1.500 m^3/\text{hari} \times 2 \text{ menit}}{1.440 \text{ hari/menit}}$$

$$= 2,1 m^3$$

Penentuan volume tangki tekan dilakukan dengan melihat perbandingan tekanan awal terhadap tekanan akhir yang akan diberikan oleh saturator (**Tabel 4.24**). Tekanan awal tangki direncanakan 0, dikarenakan tangki tidak diberikan pratekanan. Kemudian air limbah akan masuk ke dalam tangki dan diberi tekanan sebesar 13,27 atm (nilai yang terdekat pada **Tabel 4.24** = 10 atm).

Tabel 4.24 Perbandingan volume air dalam tangki tekan (%)

| P \ P' | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| 0 | 32,6 | 48,2 | 59,2 | 65,9 | 70,8 | 74,4 | 77,2 | 79,5 | 81,3 | 82,9 | 85,3 | 87,1 | 86,6 | 89,7 | 90,6 |
| 0,25 | 16,3 | 36,9 | 49,3 | 57,7 | 63,7 | 68,2 | 71,7 | 74,5 | 76,8 | 78,7 | 81,8 | 84 | 85,8 | 87,2 | 88,4 |
| 0,5 | 0 | 24,6 | 39,5 | 49,5 | 56,6 | 62 | 66,2 | 69,5 | 72,3 | 74,6 | 78,2 | 80,9 | 83 | 84,2 | 86,1 |
| 0,75 | | 12,3 | 29,6 | 41,2 | 49,5 | 55,8 | 60,7 | 64,6 | 67,8 | 70,4 | 74,6 | 77,8 | 80,3 | 82,2 | 83 |
| 1 | | 0 | 19,7 | 33 | 42,5 | 49,6 | 55,2 | 59,6 | 63,3 | 66,3 | 71,1 | 74,7 | 77,5 | 79,7 | 81,6 |
| 1,25 | | | 9,9 | 24,7 | 35,3 | 43,3 | 49,6 | 54,6 | 58,7 | 62,3 | 67,5 | 71,6 | 74,7 | 77,2 | 79,3 |
| 1,5 | | | 0 | 16,5 | 28,3 | 37,2 | 44,1 | 49,7 | 54,2 | 58 | 64 | 68,5 | 72 | 74,8 | 77 |

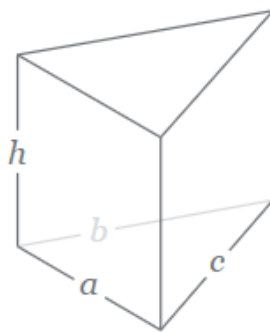
Sumber: Noerbambang & Morimura (1986)

Berdasarkan **Tabel 4.24**, didapatkan perbandingan volume air dalam tangki tekan sebesar 90,6%. Ini mengartikan bahwa awalnya air limbah masuk pada tangki yang kosong, kemudian pada tekanan 13,27 atm tangki tekan akan terisi oleh $\pm 90,6\%$ air. Selanjutnya, dimensi tangki tekan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Vol}_a/\text{Vol}_t &= 90,6\% \\ \text{Volume tangki (Vol}_t) &= \frac{\text{Vol}_a}{90,6\%} \\ &= 2,3 \text{ m}^3 \\ \text{Kedalaman tangki (H}_t) &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Panjang tangki tekan (P}_t) &= \text{Lebar tangki flotasi} \\ &= 2 \text{ m} \\ \text{Lebar tangki tekan (L}_t) &= \frac{\text{Vol}_t}{P_t \times H_t} \\ &= \frac{2,3 \text{ m}^3}{2 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}} \\ &= 0,77 \text{ m} \\ &\approx 0,8 \text{ m} \end{aligned}$$

c) *Scum box*

Scum box berfungsi untuk menampung lumpur hasil proses flotasi. *Scum box* direncanakan berbentuk prisma dengan dimensi seperti pada **Gambar 4.12**:



Gambar 4.12 *Scum box* DAF

$$\begin{aligned} a &= 65 \text{ cm} \\ b &= 50 \text{ cm} \\ c &= 65 \text{ cm} \\ h &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

d) Pipa lumpur

Lumpur dari *scum box* akan dialirkan menggunakan pipa secara gravitasi menuju *sludge holding tank*.

$$\begin{aligned} \text{TSS influen ([TSS]in)} &= 2.600 \text{ mg/L} \\ \text{Removal TSS DAF} &= 98\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Debit air limbah (Q)} &= 1500 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\% \text{solid} &= 4\% \text{ (Metcalf \& Eddy, 2014)} \\
\text{Sg lumpur} &= 1,05 \text{ (Metcalf \& Eddy, 2014)} \\
\text{Massa lumpur dihasilkan (Ms)} &= Q \times [\text{TSS}]_{\text{in}} \times 98\% \\
&= 2.600 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \times 98\% \\
&= 3.822 \text{ kgTSS/hari} \\
\text{Debit lumpur (Qs)} &= \frac{Ms}{Sg \text{ sludge} \times \rho_{\text{air}} \times \% \text{solid}} \\
&= \frac{3.822 \text{ kgTSS/hari}}{Sg \text{ sludge} \times \rho_{\text{air}} \times \% \text{solid}} \\
&= 91,3 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 0,00106 \text{ m/detik} \\
\text{Kecepatan dalam pipa (vs)} &= 1 \text{ m/detik} \\
\text{Diameter pipa} &= \sqrt{\frac{4 \left(\frac{Qs}{vs} \right)}{\pi}} \\
&= \sqrt{\frac{4 \left(\frac{0,00106}{1} \right)}{\pi}} \\
&= 0,036688 \text{ m} \\
&= 36,69 \text{ mm} \\
\text{Diameter pipa pakai} &= 40 \text{ mm (ID = 36,8 mm)}
\end{aligned}$$

d. Rekapitulasi Desain

Rekapitulasi desain DAF dengan *chemical aid* dapat dilihat pada **Tabel 4.25**.

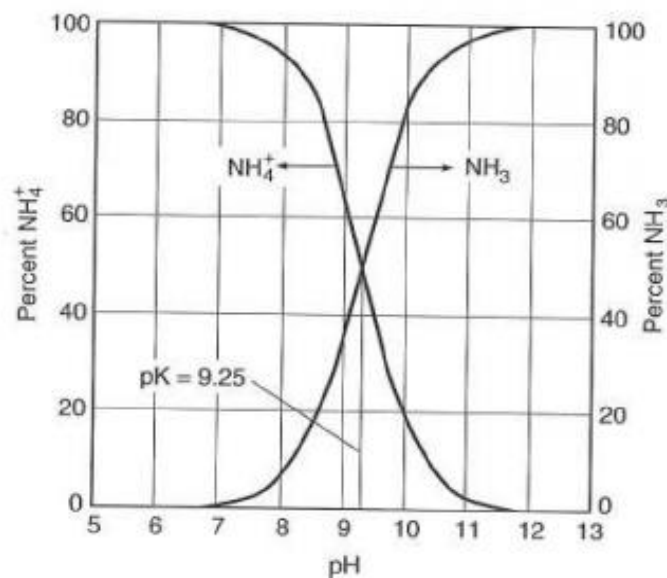
Tabel 4.25 Rekapitulasi desain DAF dengan *chemical aid*

| Keterangan | Nilai | Satuan |
|--|-------|--------|
| Bak pencampur dan pelarut bahan kimia | | |
| Penguin seri TB 32 | 4 | unit |
| Penguin seri TB 80 | 2 | unit |
| Tangki tekan DAF | | |
| Tinggi | 1,5 | m |
| Lebar | 0,8 | m |
| Panjang | 2 | m |
| Tangki flotasi DAF | | |
| Tinggi | 2 | m |
| <i>Freeboard</i> | 0,2 | m |
| Lebar | 2 | m |
| Panjang | 4 | m |

4.4.6 Moving Bed Biofilm Reactor

Moving bed biofilm reactor pada perencanaan ini mengadopsi model *Modified Ludzack-Ettinger* (MBBR-MLE). MBBR-MLE dilengkapi 3 zona secara berurutan: 1) anoksik (AnoxMBBR), 2) aerobik, 3) aerobik. Pada zona anoksik, terjadi proses pradenitrifikasi (proses denitrifikasi yang letaknya di awal proses). Denitrifikasi merupakan proses reduksi nitrat (NO_3^-) menjadi gas-gas nitrogen (N_2 dan N_2O). Nitrogen dalam bentuk gas tersebut kemudian akan dilepaskan ke alam bebas, sehingga kandungan N pada air limbah akan berkurang. Adapun zona aerobik pertama ditujukan untuk penyisihan BOD sebanyak 75% dan proses nitrifikasi, yakni proses oksidasi amonia (NH_3) menjadi nitrat (NO_3^-). Sedangkan, pada zona aerobik kedua ditujukan untuk optimisasi penyisihan BOD, yakni sebesar 90%.

Sejatinya, amonia hadir di dalam air dalam bentuk ion amonia (NH_4^+). Namun, perubahan NH_3 menjadi NH_4^+ sangat dipengaruhi oleh pH, seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.13**:



Gambar 4.13 Pengaruh pH terhadap persentase NH_3 dan NH_4^+ di dalam air

Sumber: Metcalf & Eddy (2014)

Influen MBBR memiliki pH netral akibat proses netralisasi sebelumnya sehingga amonia pada air limbah akan hadir dalam bentuk NH_4^+ secara menyeluruh.

Untuk mengetahui kinerja denitrifikasi dan menghitung kebutuhan oksigen, maka dibutuhkan data konsentrasi NO_3^- dan TKN (Total Kjeldahl Nitrogen). Secara prinsip, jumlah TKN didapatkan dari perhitungan berikut:

$$\text{TKN} = \text{N}_{\text{organik}} + \text{NH}_3 + \text{NH}_4$$

Merujuk kepada penelitian Hena *et al.* (2015), didapat kandungan $\text{NH}_4\text{-N}$, TKN, dan $\text{NO}_3\text{-N}$ sebagai berikut:

Tabel 4.26 Konsentrasi konstituen N pada air limbah pengolahan susu

| Konstituen | Konsentrasi (mg/L) |
|------------------------|--------------------|
| $\text{NH}_4\text{-N}$ | 162,76–201,14 |
| TKN | 215,65–305,81 |

| Konstituen | Konsentrasi (mg/L) |
|--------------------|--------------------|
| NO ₃ -N | 35,65 – 47,88 |

Sumber: Hena *et al.* (2015)

Data di atas kemudian diproyeksikan ke dalam data perencanaan, sehingga didapat:

$$[\text{TKN}]_{\text{in}} = 48,3 \text{ mg/L } (\approx 140\% [\text{NH}_4\text{-N}])$$

$$[\text{NO}_3\text{-}]_{\text{in}} = 8 \text{ mg/L } (\approx 17\% [\text{TKN}])$$

Selain data konstituen pencemar, parameter desain lain yang krusial adalah spesifikasi media *carrier*. Perencanaan ini menggunakan media Kaldnes K1, dengan spesifikasi tercantum pada **Tabel 4.27**

Tabel 4.27 Spesifikasi media *carrier* Kaldnes K1

| Spesifikasi | Keterangan |
|----------------------|------------------------------------|
| Material | Plastik PE |
| Diameter | 10 mm |
| Ketebalan | 0,5–0,8 mm |
| Bentuk | Silinder |
| Densitas | 0,123 g/ml |
| Luas permukaan media | 500 m ² /m ³ |

a. Kriteria Desain

i) MBBR

Surface area removal flux (SARF):

$$\text{- Penyisihan BOD} = 5\text{--}20 \text{ gBOD}_5/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$\text{- Penyisihan BOD sebelum nitrifikasi} = 2\text{--}4 \text{ gBOD}_5/\text{m}^2.\text{hari}$$

Volumetric organic loading (VOL):

$$\text{- Penyisihan BOD} = 1,5\text{--}6 \text{ kgBOD}_5/\text{m}^3/\text{hari}$$

$$\text{- Penyisihan BOD sebelum nitrifikasi} = 1\text{--}1,2 \text{ kgBOD}_5/\text{m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Hydraulic retention time (HRT)} = 1,5\text{--}6 \text{ jam}$$

Packing media:

$$\text{- Luas permukaan spesifik (A}_m) = 250\text{--}500 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$\text{- Volume media : volume total reaktor (f}_m) = 50\%\text{--}60\%$$

ii) AnoxMBBR

$$\text{HRT} = 30 \text{ menit}$$

$$\text{Kedalaman reaktor} = 4\text{--}6 \text{ m}$$

$$\text{SARF predenitrifikasi} = 0,2\text{--}1 \text{ gNO}_3\text{-N}/\text{m}^2.\text{hari}$$

Resirkulasi nitrat (IR) = 400–600%

Sumber: Metcalf & Eddy (2014); Qasim & Zhu (2018)

b. Data Perencanaan

Debit air limbah (Q) = 1.500 m³/hari

[BOD]_{in} = 912,6 mg/L

[NH₄⁺]_{in} = 34,5 mg/L

[NO₃-N]_{in} = 8 mg/L

[TKN]_{in} = 48,3 mg/L

[TSS]_{in} = 52 mg/L

MBBR terdiri dari 3 kompartemen:

Zona 1, anoksik = Denitrifikasi

Zona 2, aerobik = Penyisihan BOD & nitrifikasi

Zona 3, aerobik = Penyisihan BOD

[NO₃-N] target efluen dari zona 1 = 1,2 mg/L

[NH₃-N] target efluen dari zona 1 = 0,5 mg/L

f_m = 60%

DO zona 2 & zona 3 = 4 mg/L

Luas spesifik media Kaldnes K1 (A_m) = 500 m²/m³

SRT = 6 hari

Resirkulasi (R) = 0,6

Penyisihan BOD zona 2 = 75%

SARF zona 2 = 16 gBOD/m².hari

Penyisihan BOD zona 3 = 90%

SARF Kompartemen 3 = 16 gBOD/m².hari

Biofilm nitrification flux = 1,07 gN/m².hari

θ DO *limited* = 1,058

bCOD/BOD = 1,6

Y_H = 0,45 gVSS/gbCOD

b_H = 0,12 g/g.hari

θ b_H = 1,04

SDNR = 0,1 gNO₃-N/gMLVSS.hari

f_d = 0,15 gVSS/gVSS

$$\text{MLSS/MLVSS} = 0,7$$

c. Perhitungan Desain

- i) Zona 1 (pradenitrifikasi)
 (1) Dimensi bak

$$\begin{aligned} \text{Resirkulasi nitrat (IR)} &= \left(\frac{[\text{NO}_3\text{-N}]_{in}}{[\text{NO}_3\text{-N}]_{out}} \right) - 1 - R \\ &= \left(\frac{8 \text{ mg/l}}{1,2 \text{ mg/l}} \right) - 1 - 0,6 \\ &= 5,1 \text{ (OK, rentang optimal = 4 - 6)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit influen anoksik (Qnox)} &= Q(\text{IR}+R) \\ &= 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \times (5,6+0,6) \\ &= 8.487 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban NO}_3\text{-N} &= Q_{nox} \times [\text{NO}_3\text{-N}] \\ &= 8.487 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,008 \text{ kg/hari} \\ &= 67,8 \text{ kgNO}_3\text{-N/hari} \end{aligned}$$

$$\text{SARF} = 0,9 \text{ gNO}_3\text{-N/m}^2.\text{hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas media (AM)} &= \frac{\text{Beban NO}_3\text{-N}}{\text{SARF}} \\ &= \frac{67,8 \text{ kgNO}_3\text{-N/m}^2.\text{hari}}{0,9 \text{ gNO}_3\text{-N/m}^2.\text{hari}} \\ &= 13.315,5 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume media (VM)} &= \frac{AM}{Am} \\ &= \frac{13.315,5 \text{ m}^2}{500 \text{ m}^2/\text{m}^3} \\ &= 26,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bak (Vol)} &= \frac{VM}{fm} \\ &= \frac{26,6 \text{ m}^3}{60\%} \\ &= 44,4 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Kedalaman bak (H)} = 4 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan bak (As)} &= \frac{Vol}{H} \\ &= \frac{44,4 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} \\ &= 11,1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Panjang bak (P)} = 5 \text{ m (menyesuaikan zona 2 & 3)}$$

$$\begin{aligned}
\text{Lebar bak (L)} &= \frac{11,1 \text{ m}^2}{5 \text{ m}} \\
&= 2,2 \text{ m} \\
&\approx 2 \text{ m} \\
\text{Volume bak (Vnox)} &= 40 \text{ m}^3 \\
\text{HRT} &= \frac{Vnox}{Q} \\
&= \frac{40 \text{ m}^3}{1.500 \text{ m}^3/\text{hari}} \\
&= 0,027 \text{ hari} \\
&= 38,4 \text{ menit (OK)}
\end{aligned}$$

(2) Kebutuhan *mixing*

$$\begin{aligned}
X_{MLSS} &= \frac{\text{Beban } NO_3-N}{0,7 \times SDNR \times Vnox} \\
&= \frac{67,8 \text{ kgNO}_3-N/\text{hari}}{0,7 \times 0,1 \text{ gNO}_3/\text{gMLSS.hari} \times 40 \text{ m}^3} \\
&= 24,22 \text{ kg/m}^3 \\
&= 24.215 \text{ mg/L} \\
\mu \text{ air } 25^\circ\text{C} &= 0,000895 \text{ N.detik/m}^2 \\
\text{Power mixing (Pw)} &= 0,0075 \times \mu^{0,3} \times X_{MLSS}^{0,298} \\
&= 0,0075 \times (0,000895 \text{ N.detik/m}^2)^{0,3} \times (24.215 \text{ mg/L})^{0,298} \\
&= 0,018 \text{ kW/m}^3 \\
\text{Total power (Pw}_{tot}) &= Pw \times Vnox \\
&= 0,018 \text{ kW/m}^3 \times 40 \text{ m}^3 \\
&= 0,72 \text{ kW}
\end{aligned}$$

Digunakan 1 unit *mixer* Tsurumi model MR21NF750 dengan *output* daya 0,75 kW.



Gambar 4.14 Submersible mixer Tsurumi

ii) Zona 2 (penyisihan BOD & nitrifikasi)

(1) Dimensi bak

$$\begin{aligned}
 \text{BOD flux terpakai} &= \frac{SARF\ 2}{\text{Penyisihan BOD K2}} \\
 &= \frac{16\ \text{gBOD/m}^2\cdot\text{hari}}{75\%} \\
 &= 21,3\ \text{gBOD/m}^2\cdot\text{hari} \\
 \text{Luas media (AM)} &= \frac{Q \times [BOD]_{in}}{\text{BOD flux}} \\
 &= \frac{1.500\ \text{m}^3/\text{hari} \times 912,6\ \text{g/m}^3}{21,3\ \text{gBOD/m}^2\cdot\text{hari}} \\
 &= 64.167,19\ \text{m}^2 \\
 \text{Volume media (VM)} &= \frac{AM}{Am} \\
 &= \frac{64.167,19\ \text{m}^2}{500\ \text{m}^2/\text{m}^3} \\
 &= 128,3\ \text{m}^3 \\
 \text{Volume bak (Vol)} &= \frac{VM}{fm} \\
 &= \frac{128,3\ \text{m}^3}{60\%} \\
 &= 213,9\ \text{m}^3 \\
 \text{Kedalaman bak (H)} &= 4\ \text{m} \\
 \text{Luas permukaan bak (As)} &= \frac{Vol}{H} \\
 &= \frac{213,9\ \text{m}^3}{4\ \text{m}} \\
 &= 53,47\ \text{m}^2 \\
 \text{P:L} &= 1:2 \\
 \text{Lebar bak} &= \sqrt{\frac{As}{2}} \\
 &= \sqrt{\frac{53,47\ \text{m}^2}{2}} \\
 &= 5,17\ \text{m} \\
 &\approx 5\ \text{m} \\
 \text{Panjang bak} &= 2 \times 5\ \text{m} \\
 &= 10\ \text{m} \\
 \text{HRT} &= \frac{P \times L \times H}{Q}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{5 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 4 \text{ m}}{1.500 \text{ m}^3/\text{hari}} \\
&= 0,133 \text{ hari} \\
&= 3,2 \text{ jam (OK)}
\end{aligned}$$

(2) Kebutuhan amonia untuk nitrifikasi

$$\begin{aligned}
b_{H25} &= b_{H25}(1,04)^{(25-20)} \\
&= 0,146 \text{ g/g.hari} \\
Y_H &= 0,45 \text{ gVSS/gbCOD} \times 1,6 \text{ gbCOD/gBOD} \\
&= 0,72 \text{ gVSS/gBOD} \\
P_{x,\text{bio}/Q} &= \frac{(Y_H)(BOD)(1+fd(bH)(SRT))}{1+bH(SRT)} \\
&= \frac{(0,45)(0,192)(1+0,15(0,146)(6))}{1+0,146(6)} \\
P_{x,\text{bio}/Q} &= 396,28 \text{ gVSS/m}^3 \\
NH_o &= \text{TKN} - 12\%P_{x,\text{bio}/Q} \\
&= 48,3 \text{ mg/L} - 12\%(396,28 \text{ gVSS/m}^3) \\
&= 0,8 \text{ gN/m}^3
\end{aligned}$$

(3) Kebutuhan volume bak dan media untuk nitrifikasi

$$\begin{aligned}
J_{N,25} &= (1,07 \text{ gN/m}^2.\text{hari})(1,058)^{(25-15)} \\
&= 1,88 \text{ gN/m}^2.\text{hari} \\
\text{Luas media (AM)} &= \frac{Q \times (NH_o - 0,5 \text{ mg/l})}{flux} \\
&= \frac{1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \times (0,8 \text{ mg/l} - 0,5 \text{ mg/l})}{1,88 \text{ gN/m}^2.\text{hari}} \\
&= 219,26 \text{ m}^2 \\
\text{Volume media (VM)} &= \frac{AM}{Am} \\
&= \frac{219,26 \text{ m}^2}{500 \text{ m}^2/\text{m}^3} \\
&= 0,44 \text{ m}^3 \\
\text{Volume bak (Vol)} &= \frac{VM}{fm} \\
&= \frac{0,44 \text{ m}^3}{60\%} \\
&= 0,73 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

Dikarenakan volume bak dibutuhkan untuk nitrifikasi < penyisihan BOD, maka dimensi MBBR P x L x H = 5 m x 10 m x 4 m dipilih.

(4) Kebutuhan oksigen

$$\begin{aligned} P_{x,bio} &= \frac{yQ(S_o - S_e)}{1 + (bH.SRT)} \\ &= \frac{0,45 \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} (0,75 \times 0,912 \text{ kg/m}^3)}{1 + (0,15 \text{ g/g.hari}(6 \text{ hari}))} \\ &= 547,3 \text{ kg/hari} \\ [NO_x] &= [TKNi - NH_3 - Ne] - \%sel(P_x/Q) \\ &= [(0,0483 - 0,0005) \text{ kg/m}^3] - [12\% \left(\frac{849,2 \text{ kgTSS/hari}}{1.500 \text{ m}^3/\text{hari}} \right)] \\ &= 0,004 \text{ kg/hari} \\ \text{Kebutuhan O}_2 \text{ biologis} &= Q(S_e - S_o) - 1,42P_{x,bio} \\ &= 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} (75\% \times 0,912 \text{ kg/m}^3) - 1,42(547,3 \text{ kgTSS/hari}) \\ &= 249,6 \text{ kgO}_2/\text{hari} \\ \text{Kebutuhan O}_2 \text{ nitrifikasi} &= 4,57Q(NO_x) \\ &= 4,57(1.500 \text{ m}^3/\text{hari})(0,004 \text{ kg/hari}) \\ &= 27,7 \text{ kgO}_2/\text{hari} \\ \text{Kebutuhan O}_2 \text{ total (Ro)} &= (249,6 + 27,7) \text{ kgO}_2/\text{hari} \\ &= 277,3 \text{ kgO}_2/\text{hari} \end{aligned}$$

(5) Perencanaan *diffuser*

Data perencanaan

$$\begin{aligned} \text{Total Kebutuhan O}_2 \text{ (Ro)} &= 277,3 \text{ kgO}_2/\text{hari} \\ \text{Stdrd O}_2 \text{ transfer efficiency} &= 20\% \\ \text{Densitas udara } (\rho_a) \text{ 25}^\circ\text{C} &= 1,18 \text{ kg/m}^3 \\ \text{O}_2 \text{ dalam udara } (\% \text{O}_2) &= 23,20\% \\ \text{Jenis } \text{diffuser} &= \text{Disc } \text{diffuser } \varnothing 300 \text{ mm} \\ \text{Suplai udara per } \text{diffuser} \text{ (ar)} &= 0,083 \text{ Nm}^3/\text{menit} \\ \text{Faktor keamanan (sf)} &= 150\% \end{aligned}$$

Dihitung

$$\begin{aligned} \text{Debit udara (Qu)} &= \frac{R_o}{(SOTE)(\rho_a)(\%O_2)} \\ &= \frac{277,3 \text{ kgO}_2/\text{hari}}{20\% \times 1,18 \text{ kg/m}^3 \times 23,2\%} \\ &= 5.064,6 \text{ Nm}^3 \text{ udara/hari} \\ &= 3,52 \text{ Nm}^3 \text{ udara/menit} \end{aligned}$$

Ubah suplai udara per *diffuser* dari Nm^3 menjadi sm^3

$$\begin{aligned} \text{Debit udara aktual (Qa)} &= \frac{(273+25)^{\circ K}}{273^{\circ K}} \times 0,083 Nm^3 / \text{menit. diffuser} \\ &= 0,09 sm^3 / \text{menit. diffuser} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah diffuser (n)} &= \frac{150\% \times 3,52 nm^3}{0,09 sm^3} \\ &= 58 \text{ diffuser} \end{aligned}$$

Direncanakan 60 *diffuser* dengan 4 pipa lateral, masing-masing pipa terdiri atas 15 *disc diffuser*.

(6) Produksi lumpur

$$\text{Produksi lumpur (Px)} = \left(\frac{Px, bio}{MLVSS/MLSS} \right) + \left(\frac{Px, nitrifikasi}{MLVSS/MLSS} \right)$$

$$\begin{aligned} Px, nitrifikasi &= \frac{Q \times YH \times [NOx]}{1 + bH(SRT)} \\ &= 2,4 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$Px, bio = 547,3 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Produksi lumpur (Px)} &= \frac{(547,3 + 2,4) \text{ kg/hari}}{0,7} \\ &= 785,24 \text{ kgTSS/hari} \end{aligned}$$

iii) Zona 3 (penyisihan BOD)

(1) Dimensi kompartemen

$$\begin{aligned} \text{BOD flux terpakai} &= \frac{SARF 3}{\text{Penyisihan BOD Kompartemen 3}} \\ &= \frac{16gBOD/m^2.hari}{90\%} \\ &= 17,8 gBOD/m^2.hari \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas media (AM)} &= \frac{Q \times [BOD]_{in}}{BOD \text{ flux}} \\ &= \frac{1.500 m^3/hari \times 912,6 g/m^3 \times (100\% - 75\%)}{16gBOD/m^2.hari} \\ &= 19.250,16 m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume media (VM)} &= \frac{AM}{Am} \\ &= \frac{19.250,16 m^2}{500 m^2/m^3} \\ &= 38,5 m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bak (Vol)} &= \frac{VM}{fm} \\ &= \frac{38,5 m^3}{60\%} \\ &= 64,2 m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kedalaman bak (H)} &= 4 \text{ m} \\
\text{Luas permukaan bak (As)} &= \frac{\text{Vol}}{H} \\
&= \frac{64,2 \text{ m}^3}{4 \text{ m}} \\
&= 16,04 \text{ m}^2 \\
\text{Panjang bak (P)} &= \text{Lebar kompartemen 2} \\
&= 5 \text{ m} \\
\text{Lebar bak (L)} &= \frac{16,04 \text{ m}^2}{5 \text{ m}} \\
&= 3,21 \text{ m} \\
&\approx 3,5 \text{ m}
\end{aligned}$$

(2) Kebutuhan oksigen

$$\begin{aligned}
P_{x,\text{bio}} &= \frac{yQ(S_o - S_e)}{1 + (bH \cdot \text{SRT})} \\
&= \frac{(0,45)(1.500)(0,9 \times 0,75 \times 0,9126)}{1 + (0,12 \times 6)} \\
&= 80,6 \text{ kg/hari} \\
\text{Kebutuhan O}_2 \text{ (R}_o\text{)} &= Q(S_e - S_o) - 1,42P_{x,\text{bio}} \\
&= 1.500 \text{ m}^3/\text{hari}(75\% \times 90\% \times 0,912 \text{ kg/m}^3) - \\
&\quad 1,42(80,6 \text{ kgTSS/hari}) \\
&= 193,6 \text{ kgO}_2/\text{hari}
\end{aligned}$$

(3) Perencanaan *diffuser*

Data perencanaan

$$\begin{aligned}
\text{Total Kebutuhan O}_2 \text{ (R}_o\text{)} &= 193,6 \text{ kgO}_2/\text{hari} \\
\text{Stdrd O}_2 \text{ transfer efficiency} &= 20\% \\
\text{Densitas udara } (\rho_a) \text{ 25}^\circ\text{C} &= 1,18 \text{ kg/m}^3 \\
\text{O}_2 \text{ dalam udara } (\% \text{ O}_2) &= 23,20\% \\
\text{Jenis } \textit{diffuser} &= \textit{Disc diffuser} \\
\text{Suplai udara } (a_r) &= 0,083 \text{ Nm}^3 \text{ per } \textit{diffuser} \\
\text{Faktor keamanan } (s_f) &= 150\%
\end{aligned}$$

Dihitung

$$\begin{aligned}
\text{Debit udara (Q}_u\text{)} &= \frac{R_o}{(\text{SOTE})(\rho_a)(\% \text{ O}_2)} \\
&= \frac{193,6 \text{ kgO}_2/\text{hari}}{20\% \times 1,18 \text{ kg/m}^3 \times 23,2\%}
\end{aligned}$$

$$= 3.535,5 \text{ sm}^3 \text{ udara/hari}$$

$$= 2,46 \text{ sm}^3 \text{ udara/menit}$$

Ubah suplai udara per diffuser dari Nm^3 menjadi sm^3

$$\text{Debit udara aktual (Qa)} = \frac{(273+25)^{\circ}\text{K}}{273^{\circ}\text{K}} \times 0,083 \text{ Nm}^3/\text{menit. diffuser}$$

$$= 0,09 \text{ sm}^3/\text{menit. diffuser}$$

$$\text{Jumlah diffuser (n)} = \frac{150\% \times 2,46 \text{ sm}^3}{0,09 \text{ sm}^3}$$

$$= 41 \text{ tabung}$$

Direncanakan 42 *diffuser* dengan 8 pipa lateral, masing-masing pipa terdiri atas 7 *disc diffuser*.

Total kebutuhan suplai udara untuk kompartemen 2 dan 3:

$$Q_{u1} + Q_{u2} = (3,52 + 2,46) \text{ m}^3/\text{udara.menit}$$

$$= 5,97 \text{ m}^3/\text{udara.menit}$$

Digunakan blower Showa Denki SF-75HT dengan spesifikasi:

$$\text{Output motor} = 0,25 \text{ kW}$$

$$\text{Frekuensi} = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{Maximum airflow} = 8 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$\text{Diameter discharge} = 75 \text{ mm}$$

(4) Produksi lumpur

$$\text{Produksi lumpur (Px)} = \frac{Px, bio}{MLVSS/MLSS}$$

$$= \frac{80,6 \text{ kg/hari}}{0,7}$$

$$= 115,12 \text{ kgTSS/hari}$$

iv) Struktur influen

Agar air limbah yang masuk ke dalam MBBR merata, maka direncanakan 3 (tiga) pipa inlet yang tersebar di sepanjang bak zona 1 dengan perhitungan dimensi sebagai berikut:

$$Q_{\text{pipa}} = \frac{1.500 \text{ m}^3/\text{hari}}{3}$$

$$= 500 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 0,006 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{v rencana} = 1 \text{ m/detik}$$

$$\text{Diameter pipa} = \sqrt{\frac{4\left(\frac{Q}{v}\right)}{\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \left(\frac{0,06 \text{ m}^3/\text{detik}}{1 \text{ m}/\text{detik}} \right)}{\pi}}$$

$$= 0,086 \text{ m}$$

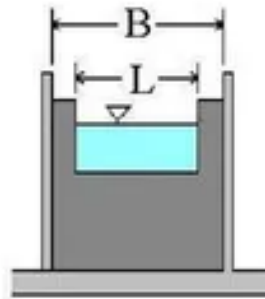
$$= 85,84 \text{ mm}$$

Diameter dalam pasang (ID) = 83 mm

Diameter luar (OD) = 90 mm

v) Struktur peralihan antar zona

Pada tiap zona, direncanakan outlet berupa *contracted rectangular weir* (**Gambar 4.14**) sebagai sistem peralihan dari satu kompartemen ke kompartemen berikutnya, dengan perhitungan sebagai berikut:



Gambar 4.15 *Contracted rectangular weir*

Sumber: www.brighthubengineering.com/

Lebar bak (B) = 5 m

Lebar weir (L) = 1 m

Debit (Q) = 0,017 m³/detik

Dihitung tinggi air pada weir:

$$Q = 1,84(L - 0,2H)H^{\frac{3}{2}}$$

$$0,017 = 1,84(1 - 0,2H)H^{\frac{3}{2}}$$

$$H = 0,045 \text{ m}$$

$$H = 4,5 \text{ cm}$$

Direncanakan terjunan setinggi 10 cm. Akibat dari hal ini, elevasi lantai dasar zona setelahnya akan mengalami penurunan 10 cm.

vi) Struktur efluen

Struktur efluen pada MBBR menggunakan junction box dengan dimensi 1,2 m × 1 m × 1 m. Air limbah kemudian disalurkan menuju *clarifier* secara gravitasi.

d. Rekapitulasi Desain

Rekapitulasi desain MBBR tercantum pada **Tabel 4.28**.

Tabel 4.28 Rekapitulasi desain MBBR

| Keterangan | Nilai | Satuan |
|--|-------|--------|
| Zona 1 (anoksik/pradenitrifikasi) | | |
| Jumlah | 1 | unit |
| Tinggi efektif | 4 | m |
| <i>Freeboard</i> | 0,5 | m |
| Lebar | 2 | m |
| Panjang | 5 | m |
| Zona 2 (penyisihan BOD 75% dan nitrifikasi) | | |
| Jumlah | 1 | unit |
| Tinggi efektif | 4 | m |
| <i>Freeboard</i> | 0,5 | m |
| Lebar | 5 | m |
| Panjang | 10 | m |
| Zona 3 (penyisihan BOD 90%) | | |
| Jumlah | 1 | unit |
| Tinggi efektif | 4 | m |
| <i>Freeboard</i> | 0,5 | m |
| Lebar | 3,5 | m |
| Panjang | 5 | m |

4.4.7 Clarifier

Direncanakan 2 unit *clarifier* berbentuk sirkular untuk mengendapkan lumpur biologis dari MBBR.

a. Kriteria Desain

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| Solid loading rate (SLR) | = | 4–6 kg/m ² jam |
| Surface overflow rate (SOR) | = | 16–24 m ³ /m ² .hari |
| <i>Hydraulic retention time</i> (HRT) | = | 1,8–2,2 jam |
| Tinggi bak (H) | = | 3–5 m |
| Diameter bak (D) | = | 3–60 m |
| Slope dasar bak (SL) | = | 1/16–1/6 |
| Freeboard (fb) | = | 0,5–0,7 m |

Sumber: Qasim & Zhu (2018)

b. Data Perencanaan

| | | |
|------------------------------------|---|---|
| Unit | = | 2 buah |
| Debit air limbah per unit (Q/unit) | = | 750 m ³ /hari = 0,009 m ³ /detik |
| SOR | = | 22 m ³ /m ² .hari |
| Solids flux | = | 5,7 kg/m ² .jam (Qasim & Zhu, 2018) |

$$\text{Tinggi zona settling/clear zone (Hcz)} = 3 \text{ m (tipikal)}$$

$$\text{Freeboard (fb)} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{MLSS (X)} = 4.000 \text{ mg/L}$$

$$\text{MLSS underflow (Xu)} = 9.000 \text{ mg/L}$$

c. Perhitungan Desain

i) Dimensi clarifier

Luas permukaan berdasarkan SOR:

$$\begin{aligned} A_{SOR} &= \frac{Q}{SOR} \\ &= \frac{750 \text{ m}^3/\text{hari}}{22 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}} \\ &= 34,1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Load TSS} &= Q \times X \\ &= 750 \text{ m}^3/\text{hari} \times 4.000 \text{ mg/L} \\ &= 3.000 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{SLR} &= \frac{\text{Load TSS}}{SLR} \\ &= \frac{3.000 \text{ kg/hari}}{5,7 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hari}} \\ &= 21,9 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$A_s = A_{SOR} = 34,1 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter (D)} &= \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{4(21,9 \text{ m}^2)}{\pi}} \\ &= 6,59 \text{ m} \\ &\approx 6,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ aktual} &= \pi r_{aktual}^2 \\ &= \pi(3,25 \text{ m})^2 \\ &= 33,2 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_x \text{ MBBR} &= P_x \text{ komp.2} + P_x \text{ komp. 3} \\ &= 900,36 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$P_x/\text{unit} = 450,18 \text{ kg/hari}$$

$$\text{waktu tinggal sludge (tsz)} = 1 \text{ hari}$$

$$SF_{BOD} = 2$$

$$\begin{aligned}
\text{massa lumpur harian (Msz)} &= P_x \times t_{sz} \times SF_{BOD} \\
&= 450,18 \text{ kg/hari} \times 1 \text{ hari} \times 2 \\
&= 900,36 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Hsz/unit} &= \frac{Msz}{X_u \times A_s} \\
&= \frac{914,33 \text{ kg/hari}}{9 \text{ kg/m}^3 \times 33,2 \text{ m}^2}
\end{aligned}$$

$$= 3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
H &= H_{cz} + H_{sz} \\
&= 3 \text{ m} + 3 \text{ m} \\
&= 6 \text{ m}
\end{aligned}$$

ii) Perencanaan struktur outlet (*weir* v-notch)

$$\text{Lebar launder (b)} = 0,2 \text{ m}$$

$$cd = 0,6 \text{ (Qasim \& Zhu, 2018)}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panjang weir (Lweir)} &= (D-2b) \\
&= 19,2 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\text{Jarak antar notch (s)} = 0,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah notch (n)} &= \left(\frac{L_{weir}}{s} \right) - 1 \\
&= \left(\frac{19,2 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} \right) - 1 \\
&= 63 \text{ buah}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Debit per notch (q)} &= \frac{Q}{n} \\
&= \frac{0,009 \text{ m}^3/\text{detik}}{63} \\
&= 0,00014 \text{ m}^3/\text{detik.notch}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H_{peak} &= \left(\frac{15}{8} \times \frac{0,00014 \text{ m}^3/\text{detik.notch}}{0,6 \times \sqrt{2 \times 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{detik}}}} \right)^{\frac{2}{5}} \\
&= 0,02 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$fb = 0,03 \text{ m (ditetapkan)}$$

$$\begin{aligned}
H_{plate} &= 0,05 \text{ m} \\
&= 5 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$WLR = \frac{Q_{ave}}{L_{weir}}$$

$$= \frac{0,009 \text{ m}^3/\text{detik}}{19,2 \text{ m}}$$

$$= 39 \text{ m}^3/\text{m.hari}$$

$$\text{Junction box} = 0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$$

$$\text{Qlaunders} = 0,5Q$$

$$= 0,004 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$C_w = 1$$

$$b = 0,3 \text{ m}$$

$$Y_c = Y_2 = \left(\frac{Q_{launder}}{C_w b \sqrt{g}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 0,03 \text{ m}$$

$$Y_1 = \sqrt{Y_2^2 + \frac{(2Q_{launder})^2}{g b^2 Y_2}}$$

$$= 0,05 \text{ m}$$

Tambah 20% untuk for friksi dan turbulensi

$$Y_1' = 0,05 \times 120\%$$

$$= 0,06 \text{ m}$$

Tambah 0,2 m untuk jatuhan di notch

$$\text{Hlaunder} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Diameter pipa outlet} = 140 \text{ mm (diseragamkan dengan pipa inlet RSF)}$$

iii) Pipa lumpur

$$\text{Msz harian} = 900,36 \text{ kgTSS/hari}$$

$$\% \text{solid} = 0,8\% \text{ (Metcalf \& Eddy, 2014)}$$

$$\rho \text{ lumpur} = 1050 \text{ kg/m}^3 \text{ (Metcalf \& Eddy, 2014)}$$

$$\text{Volume lumpur} = \frac{Msz}{\rho \text{ lumpur} \times \% \text{solid}}$$

$$= \frac{900,36 \text{ kgTSS/hari}}{1.050 \text{ kg/m}^3 \times 0,8\%}$$

$$= 107,19 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 1,24 \text{ l/s}$$

$$v \text{ pompa} = 1 \text{ m/detik}$$

$$D \text{ pipa lumpur} = \sqrt{\frac{4 \left(\frac{107,19 \text{ m}^3/\text{hari}}{1 \text{ m/detik}} \right)}{\pi}}$$

$$= 0,04 \text{ m}$$

$$= 39,7 \text{ mm}$$

$$D \text{ pasang (ID)} = 36,8 \text{ mm}$$

$$D \text{ luar pasang (OD)} = 40 \text{ mm}$$

Lumpur kemudian memasuki sludge holding tank yang terletak di antara 2 unit *clarifier* secara gravitasi, dengan *slope* pipa sebesar 2%.

iv) Diameter pipa inlet

$$Q = 750 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$v = 0,7 \text{ m/detik}$$

$$D \text{ pipa} = \sqrt{\frac{4 \left(\frac{750 \text{ m}^3/\text{hari}}{0,7 \text{ m/detik}} \right)}{\pi}}$$

$$= 0,09 \text{ m}$$

$$= 88 \text{ mm}$$

$$D \text{ pasang (ID)} = 83 \text{ mm}$$

$$D \text{ luar pasang (OD)} = 90 \text{ mm}$$

d. Rekapitulasi Desain

Rekapitulasi desain *clarifier* dapat dilihat pada **Tabel 4.29**.

Tabel 4.29 Rekapitulasi desain *clarifier*

| Keterangan | Nilai | Satuan |
|----------------------|-------|--------|
| Jumlah | 2 | unit |
| Kedalaman efektif | 6 | m |
| <i>Freeboard</i> | 0,5 | m |
| Diameter | 6,5 | m |
| Diameter pipa inlet | 90 | mm |
| Diameter pipa outlet | 140 | mm |

4.4.8 Rapid Sand Filter

Air limbah yang ditampung di *effluent box clarifier* selanjutnya dialirkan menuju *rapid sand filter*. Pada perencanaan ini, jenis *rapid sand filter* adalah dual media yang terdiri atas media utama pasir silika dan antrasit, serta media penyangga yang berupa kerikil. Air hasil olahan filter kemudian akan memasuki tangki kontak klorin untuk melewati proses desinfeksi.

a. Kriteria Desain

$$\text{Kecepatan filter (vf)} = 6-11 \text{ m/jam}$$

$$\text{Kecepatan backwash} = 36 - 50 \text{ m/jam}$$

$$\text{Lama backwash} = 10-15 \text{ menit}$$

$$\text{Periode antara dua backwash} = 18-24 \text{ jam}$$

$$\text{Tinggi ekspansi media} = 30-50\%$$

| | |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| Viskositas absolut (μ) | = 0,0008949 kg.m/detik |
| Viskositas kinematis (ν) | = 0,0000008975 m ² /detik |
| Densitas air (ρ) | = 997,07 kg/m ³ |
| percepatan gravitasi (g) | = 9,81 m/detik ² |

Media pasir

| | |
|----------------------------------|----------------|
| Tebal media ganda | = 300 – 600 mm |
| Ukuran efektif (ES) | = 0,3–0,7 mm |
| Koefisien keseragaman (UC) | = 1,2 – 1,4 |
| Berat jenis (kg/m ³) | = 2,5 – 2,65 |
| Porositas (ϵ) | = 0,4 |
| Faktor bentuk (Ψ) | = 0,7 |

Sumber: SNI 6774-2008

Dasar filter

- a. Lapisan media penyangga/kerikil (dari atas ke bawah)

Tabel 4.30 Kedalaman dan ukuran butir pada lapisan media kerikil

| Lapisan ke- | Kedalaman (mm) | Ukuran Butir (mm) |
|-------------|----------------|-------------------|
| 1 | 80–100 | 2–5 |
| 2 | 80–100 | 5 – 10 |
| 3 | 80–100 | 10–15 |
| 4 | 80 – 100 | 15 – 30 |

Sumber: SNI 6774-2008

- b. *Orifice*/nozel

- i. Lebar slot *orifice* $\leq 0,5$ mm
- ii. $\frac{\text{Luas slot nozel}}{\text{Luas filter}} \times 100\% > 4\%$

- c. Pipa *underdrain & manifold*

- i. Diameter minimum *underdrain* = 20 cm
- ii. Diameter lubang/perforasi = 6–12 mm
- iii. Jarak maksimum antarpipa lateral = 30 cm
- iv. Kecepatan aliran di outlet = 1–1,8 m/detik

b. Data Perencanaan

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| Debit air limbah (Q) | = 1.500 m ³ /hari |
| | = 0,0174 m ³ /detik |
| | = 17,4 l/detik |

| | |
|-------------------------|------------------|
| Kecepatan filtrasi (vf) | = 6,25 m/jam |
| | = 0,0017 m/detik |

| | |
|----------------|---------|
| Freeboard (fb) | = 0,9 m |
|----------------|---------|

Media pasir silika

| | | |
|------------------------------|---|------------|
| Tebal media | = | 300 mm |
| Ukuran butir | = | 0,5–2 mm |
| Ukuran media ES | = | 0,3–0,7 mm |
| Ukuran media UC | = | 1,2–1,4 |
| <i>Specific gravity</i> (Sg) | = | 2,65 kg/L |
| Porositas (ϵ) | = | 0,4 |
| Faktor bentuk (Ψ) | = | 0,7 |

Media antrasit

| | | |
|------------------------------|---|------------|
| Tebal media | = | 300 mm |
| Ukuran butir | = | 0,5–1,1 mm |
| <i>Specific gravity</i> (Sg) | = | 1,35 kg/L |
| Porositas (ϵ) | = | 0,48 |
| Faktor bentuk (Ψ) | = | 0,55 |

Media penyangga

| | | |
|------------------------------|---|-----------|
| Tebal media | = | 300 mm |
| Ukuran butir | = | 3,4–49 mm |
| <i>Specific gravity</i> (Sg) | = | 2,65 kg/L |
| Porositas (ϵ) | = | 0,38 |
| Faktor bentuk (Ψ) | = | 0,83 |

Distribusi media pasir silika, antrasit, dan kerikil dapat dilihat pada **Tabel 4.31, 4.32, 4.33.**

Tabel 4.31 Distribusi media pasir silika

| US <i>Sieve</i> <i>Number</i> | Diameter Rata-rata, d_i (mm) | Fraksi Berat, P_i (%) | P_i/d_i^2 |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|---------------|
| 40 – 30 | 0,5 | 9 | 36,00 |
| 30 – 20 | 0,7 | 29 | 59,18 |
| 20 – 18 | 0,92 | 22 | 25,99 |
| 18 – 16 | 1,1 | 20 | 16,53 |
| 16 – 12 | 1,42 | 18 | 8,93 |
| 12 – 8 | 2 | 2 | 0,50 |
| | $\Sigma P_i/d_i^2$ | | 147,13 |

Tabel 4.32 Distribusi media antrasit

| US Sieve Number | Diameter Rata-rata, d_i (mm) | Fraksi Berat, P_i (%) | P_i/d_i^2 |
|--------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------|
| 40 – 30 | 0,5 | 5 | 20 |
| 30 – 20 | 0,7 | 25 | 51,02 |
| 20 – 18 | 0,92 | 60 | 70,89 |
| 18 – 16 | 1,1 | 10 | 8,26 |
| $\Sigma P_i/d_i^2$ | | | 150,17 |

Tabel 4.33 Distribusi media penyangga (kerikil)

| Diameter Rata-rata, d_i (mm) | Fraksi Berat, P_i (%) | P_i/d_i^2 |
|--------------------------------|-------------------------|---------------|
| 0,34 | 10 | 86,51 |
| 0,773 | 15 | 25,10 |
| 1,55 | 20 | 8,32 |
| 2,69 | 25 | 3,45 |
| 4,9 | 30 | 1,25 |
| $\Sigma P_i/d_i^2$ | | 124,64 |

c. Perhitungan Desain

i) Dimensi bangunan

$$\begin{aligned}
 \text{Luas bangunan (As)} &= \frac{Q}{vf} \\
 &= \frac{0,017 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,0017 \text{ m/detik}} \\
 &= 10 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah bak (n)} &= 12 Q^{0,5} \\
 &= 12 (0,017 \text{ m}^3/\text{detik})^{0,5} \\
 &= 1,58 \text{ unit} \\
 &\approx 2 \text{ unit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{luas setiap unit (As/unit)} &= \frac{As}{n} \\
 &= \frac{10 \text{ m}^2}{2 \text{ unit}} \\
 &= 5 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Rasio panjang : lebar} = 2:1$$

$$5 \text{ m}^2 = 2 b^2$$

$$\begin{aligned}
\text{Lebar (b)} &= \sqrt{\frac{5 \text{ m}^2}{2}} \\
&= 1,6 \text{ m} \\
\text{Panjang (l)} &= 2b \\
&= 2 \times 1,6 \text{ m} \\
&= 3,2 \text{ m} \\
\text{Cek apabila 1 bak dicuci} &= \frac{Q}{As/unit} \\
&= \frac{0,017 \text{ m}^3/detik}{5 \text{ m}^2} \\
&= 12,2 \text{ m/detik (OK)}
\end{aligned}$$

ii) Hidrolika media filter

(1) *Headloss* (hf) media pasir silika

$$hf/L = k \times \frac{v}{g} \times Vf \times \left(\frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3}\right) \times \left(\frac{6}{\Psi}\right)^2 \times \Sigma \left(\frac{Pi}{di^2}\right)$$

di mana k = 5, L = tebal media (30 cm)

$$= 5 \times \frac{0,897 \times 10^{-3}}{981} \times 0,6 \times \frac{(1-0,4)^2}{0,4^3} \times \left(\frac{6}{0,75}\right)^2 \times 147,13$$

$$= 0,42 \text{ cm}$$

$$hf = 0,42 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$$

$$= 12,62 \text{ cm}$$

(2) *Headloss* (hf) media antrasit

$$hf/L = k \times \frac{v}{g} \times Vf \times \left(\frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3}\right) \times \left(\frac{6}{\Psi}\right)^2 \times \Sigma \left(\frac{Pi}{di^2}\right)$$

di mana k = 5, L = tebal media (30 cm)

$$= 5 \times \frac{0,897 \times 10^{-3}}{981} \times 0,6 \times \frac{(1-0,48)^2}{0,48^3} \times \left(\frac{6}{0,55}\right)^2 \times 150,17$$

$$= 0,35 \text{ cm}$$

$$hf = 0,35 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$$

$$= 10,4 \text{ cm}$$

(3) *Headloss* (hf) media penyangga

$$hf/L = k \times \frac{v}{g} \times Vf \times \left(\frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3}\right) \times \left(\frac{6}{\Psi}\right)^2 \times \Sigma \left(\frac{Pi}{di^2}\right)$$

di mana k = 5, L = tebal media (30 cm)

$$= 5 \times \frac{0,897 \times 10^{-3}}{981} \times 0,6 \times \frac{(1-0,38)^2}{0,38^3} \times \left(\frac{6}{0,83}\right)^2 \times 124,64$$

$$= 0,36 \text{ cm}$$

$$hf = 0,36 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$$

$$= 10,87 \text{ cm}$$

Didapatkan *headloss* total media filter = (12,62 + 10,4 + 10,87) cm = 33,9 cm.

(4) *Intermixing*

Agar tidak terjadi pencampuran antarmedia (*intermixing*) antara media yang berada di lapisan atas dengan media di bawahnya, maka kecepatan mengendap butir pasir silika dengan diameter terkecil harus lebih besar dibanding dengan kecepatan mengendap butir antrasit dengan diameter terbesar ($V_{sp} > V_{sa}$) dan . Berikut adalah perhitungan *intermixing* media filter:

- Persamaan kecepatan mengendap:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{g (S_g - 1) dp}{C_D}}$$

di mana C_D = koefisien Drag, dp = diameter butir

- Persamaan koefisien Drag:

$$C_d = \frac{18,5}{N_{re}^{0,6}}$$

- Persamaan N_{re} :

$$N_{re} = \frac{v \cdot dp}{\nu}$$

- Maka, didapatkan rumus gabungan:

$$V_s^{1,4} = \frac{4 \times g \times (S_g - 1) \times dp^{1,6}}{3 \times 18,5 \times \nu^{0,6}}$$

(a) Media pasir

$$dp_{\min} = 0,5 \text{ mm}$$

$$S_g = 2,65$$

$$V_s^{1,4} = \frac{4 \times 9,81 \times (2,65 - 1) \times 0,5^{1,6}}{3 \times 18,5 \times (0,8975^{-7})^{0,6}}$$

$$V_s = 0,142 \text{ m/detik}$$

(b) Media antrasit

$$dp_{\max} = 1,1 \text{ mm}$$

$$S_g = 1,35$$

$$V_s^{1,4} = \frac{4 \times 9,81 \times (1,35 - 1) \times 1,1^{1,6}}{3 \times 18,5 \times (0,8975^{-7})^{0,6}}$$

$$V_s = 0,116 \text{ m/detik}$$

Didapatkan $V_{sp} (0,142 \text{ m/detik}) > V_{sa} (0,116 \text{ m/detik})$, sehingga tidak terjadi pencampuran antar kedua media.

iii) *Backwash*

(1) Ekspansi media

Proses *backwash* akan mengakibatkan terjadinya ekspansi media. Perhitungan kecepatan air *backwash* (V_b) didasari oleh partikel dengan diameter terbesar ($d_p \max$) masing-masing media, guna memastikan partikel ikut terangkat. Berikut adalah perhitungan ekspansi media:

(a) Ekspansi media pasir silika

$$d_p \max = 0,2 \text{ cm}$$

$$V_s^{1,4} = \frac{4 \times 9,81 \times (2,65-1) \times 2^{1,6}}{3 \times 18,5 \times (0,8975^{-7})^{0,6}}$$

$$V_s = 25,82 \text{ cm/detik}$$

$$V_b = V_s \cdot \epsilon^{4,5}$$

$$= (25,82 \text{ cm/detik})(0,4^{4,5})$$

$$= 0,42 \text{ cm/detik}$$

Untuk dapat menghitung ekspansi media secara komprehensif, dilakukan perhitungan distribusi partikel pasir silika terekspansi yang dapat dilihat pada **Tabel 4.34**.

Tabel 4.34 Distribusi media pasir silika terekspansi

| Diameter (cm) | V_s cm/detik | $\epsilon \epsilon$ | Pi | Pi/(1- $\epsilon \epsilon$) | Nre |
|---|----------------|---------------------|------|------------------------------|--------|
| 0,05 | 5,30 | 0,57 | 0,09 | 0,210 | 22,13 |
| 0,07 | 7,78 | 0,53 | 0,29 | 0,611 | 45,51 |
| 0,092 | 10,63 | 0,49 | 0,22 | 0,432 | 81,74 |
| 0,11 | 13,04 | 0,47 | 0,2 | 0,377 | 119,87 |
| 0,142 | 17,46 | 0,44 | 0,18 | 0,321 | 207,18 |
| 0,2 | 25,82 | 0,40 | 0,02 | 0,034 | 431,61 |
| $\Sigma \text{Pi}/(1- \epsilon \epsilon)$ | | | | 1,985 | |

Di mana porositas ekspansi ($\epsilon \epsilon$) didapatkan dari rumus:

$$\epsilon \epsilon = \left(\frac{V_b}{V_s} \right)^{0,22}$$

dan Nre didapatkan dari rumus:

$$Nre = \frac{V_s \cdot d_p}{v}$$

dihitung tinggi ekspansi (L_e):

$$L_e = L(1 - \epsilon) \left[\Sigma \frac{P_i}{1 - \epsilon \epsilon} \right]$$

$$= 30(1-0,4)(1,985)$$

$$= 35,7 \text{ cm (19,12\% lebih tinggi dari tebal awal 30 cm)}$$

(b) Ekspansi media antrasit

$$dp \text{ max} = 0,11 \text{ cm}$$

$$V_s^{1,4} = \frac{4 \times 9,81 \times (1,35-1) \times 1,1^{1,6}}{3 \times 18,5 \times (0,8975^{-7})^{0,6}}$$

$$V_s = 3,02 \text{ cm/detik}$$

$$\begin{aligned} V_b &= V_s \cdot \epsilon^{4,5} \\ &= (3,02 \text{ cm/detik})(0,48^{4,5}) \\ &= 0,11 \text{ cm/detik} \end{aligned}$$

Distribusi partikel antrasit terekspansi tercantum pada **Tabel 4.35**.

Tabel 4.35 Distribusi media pasir silika terekspansi

| Diameter (cm) | Vs cm/detik | ϵe | Pi | Pi/(1- ϵe) | Nre |
|---------------|-----------------------------|--------------|------|-----------------------|-------|
| 0,05 | 1,23 | 0,79 | 0,05 | 0,24 | 3,76 |
| 0,07 | 1,80 | 0,73 | 0,25 | 0,91 | 7,73 |
| 0,092 | 2,46 | 0,68 | 0,6 | 1,86 | 13,89 |
| 0,11 | 3,02 | 0,65 | 0,1 | 0,28 | 20,37 |
| | $\Sigma Pi/(1- \epsilon e)$ | | | 3,29 | |

dihitung tinggi ekspansi (Le):

$$\begin{aligned} Le &= L(1 - \epsilon) \left[\sum \frac{Pi}{1 - \epsilon e} \right] \\ &= 30(1-0,48)(3,29) \\ &= 51,3 \text{ cm (70,9\% lebih tinggi dari tebal awal 30 cm)} \end{aligned}$$

(c) Cek ekspansi media penyangga

Diameter penyangga memainkan peran yang sangat krusial selama proses backwash berjalan, di mana $V_b < (V_s \text{ kerikil min})(\epsilon^{4,5})$ agar tidak terjadi ekspansi media penyangga. Berikut adalah perhitungan ekspansi media penyangga:

$$dp \text{ min} = 0,34 \text{ cm}$$

$$V_s^{1,4} = \frac{4 \times 9,81 \times (2,65-1) \times 3,4^{1,6}}{3 \times 18,5 \times (0,8975^{-7})^{0,6}}$$

$$V_s = 9,142 \text{ cm/detik}$$

$$V_s \cdot \epsilon^{4,5} = 0,68 \text{ cm/detik}$$

V_b yang digunakan adalah V_b media pasir yang memiliki nilai yang lebih besar dari V_b antrasit.

$$V_b = 0,42 \text{ cm/detik}$$

Didapatkan $V_b < V_s \text{ kerikil min}$, sehingga tidak terjadi ekspansi pada media penyangga.

(d) *Headloss* saat ekspansi (hf_e)

$$\begin{aligned} hf_e \text{ pasir silika} &= Le(1-\epsilon\epsilon)(Sg-1) \\ &= 35,7(1-0,4)(2,65-1) \\ &= 35,4 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} hf_e \text{ antrasit} &= Le(1-\epsilon\epsilon)(Sg-1) \\ &= 51,3(1-0,48)(1,35-1) \\ &= 9,33 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} hf_e \text{ penyangga} &= L(1-\epsilon\epsilon)(Sg-1) \\ &= 30(1-0,38)(2,65-1) \\ &= 5,46 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} hf_e \text{ total} &= (35,4 + 9,33 + 5,46) \text{ cm} = 50,2 \text{ cm} \\ &= 0,502 \text{ m} \end{aligned}$$

(2) Kebutuhan air untuk backwash

$$\begin{aligned} \text{Vol. backwash per bak} &= V_b \times P_{\text{bak}} \times L_{\text{bak}} \times t_{\text{backwash}} \\ &= 0,0042 \text{ m/detik} \times 3,2 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \times 10 \text{ menit} \\ &= 12,84 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume total} &= 12,84 \text{ m}^3 \times 2 \text{ bak} \\ &= 25,69 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Air *backwash* menggunakan air PDAM, dikarenakan debit *backwash* ($0,0042 \text{ m/detik} \times 5,12 \text{ m}^2 \times 86.400 \text{ detik/hari} = 1.858 \text{ m}^3/\text{hari}$) melebihi kapasitas IPAL $1.500 \text{ m}^3/\text{hari}$.

iv) Sistem *underdrain*

(1) Pipa manifold

Pipa manifold adalah pipa penampung air hasil filtrasi yang berasal dari pipa lateral. Pipa manifold juga berfungsi sebagai pipa outlet. Berikut adalah perhitungan dimensi dan *headloss* pipa manifold:

$$\begin{aligned} \text{Debit pipa manifold (Qm)} &= Q \text{ per bak} \\ Q_m &= 0,009 \text{ m}^3/\text{detik} \\ v_m \text{ rencana} &= 1,2 \text{ m/detik} \\ \text{As pipa manifold} &= \frac{Q}{v} \\ &= \frac{0,009 \text{ m}^3/\text{detik}}{1,4 \text{ m/detik}} \\ &= 0,000643 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter manifold (Dm)} &= \sqrt{\frac{4As}{\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{4(0,000643)}{\pi}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dm} &= 0,096 \text{ m} \\ &= 96 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Dm pakai (ID)} = 90 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang manifold (Lm)} &= \text{Lbak} \\ &= 3,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Headloss manifold} = f \left(\frac{Lv^2}{D2g} \right)$$

di mana $f = 0,03$

$$\begin{aligned} h_L \text{ manifold} &= 0,03 \left(\frac{3,2 \times 1,2^2}{0,09 \times 2(9,81)} \right) \\ &= 0,078 \text{ m} \end{aligned}$$

(2) Pipa lateral

Pipa lateral dilengkapi dengan lubang/perforasi yang disebut juga *nozzle* atau *orifice*, berfungsi untuk mengumpulkan air hasil filtrasi di seluruh area bed filter. Berikut adalah perhitungan dimensi pipa lateral:

$$\begin{aligned} \text{jarak antar pipa lateral (s)} &= 20 \text{ cm} \\ &= 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{diameter pipa lateral (DI)} &= 40 \text{ mm} \\ &= 0,04 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{jumlah pipa lateral (n)} &= \frac{Lm+s}{DI+s} \\ &= \frac{3,2+0,2}{0,04+0,2} + 1 \\ &\approx 15 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Q tiap lateral} &= \frac{Qm}{n} \\ &= \frac{0,009 \text{ m}^3/\text{detik}}{14} \\ &= 0,00075 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas pipa lateral} &= \frac{1}{4} \pi (DI)^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (0,04 \text{ m})^2 \\ &= 0,001256 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kecepatan aliran pipa lateral} &= \frac{Q}{A} \\
&= 0,6 \text{ m/detik (OK)} \\
\text{Panjang pipa lateral} &= 0,7 \text{ m} \\
\text{Luas penampang total lateral (Atotal)} &= n \times A \text{ tiap pipa lateral} \\
&= 12 \times 0,001256 \text{ m}^2 \\
&= 0,0147 \text{ m}^2 \\
\text{Headloss lateral} &= f \left(\frac{Lv^2}{D2g} \right) \\
\text{di mana } f &= 0,03 \\
h_L \text{ lateral} &= 0,03 \left(\frac{3,2 \times 1,2^2}{0,04 \times 2(9,81)} \right) \\
&= 0,17 \text{ m}
\end{aligned}$$

(3) Orifice

Luas penampang keseluruhan *orifice* direncanakan 4% dari total luas bak filter. Berikut adalah perencanaan *orifice*:

$$\begin{aligned}
\text{Diameter } orifice \text{ (Do)} &= 0,5 \text{ cm} \\
&= 0,005 \text{ m} \\
\text{As tiap } orifice &= \frac{1}{4} \pi D o^2 \\
&= \frac{1}{4} \pi (0,005)^2 \\
&= 0,00002 \text{ m}^2 \\
\text{As total } orifice &= 4\% \times \text{As bak} \\
&= 4\% \times 5,12 \text{ m}^2 \\
&= 0,0205 \text{ m}^2 \\
&= 0,19 \text{ cm}^2 \\
\text{Jumlah } orifice \text{ (n) total} &= \frac{\text{As total } orifice}{\text{As tiap } orifice} \\
&= \frac{0,0205 \text{ m}^2}{0,00002 \text{ m}^2} \\
&= 1.044 \text{ buah} \\
\text{n tiap lateral} &= \frac{n}{n \text{ lateral}} \\
&= \frac{1.044}{30} \\
&= 35 \text{ buah} \\
\text{Jarak tiap } orifice &= \frac{L_{lateral} - (Do \times n)}{n+1}
\end{aligned}$$

$$= \frac{0,7 \text{ m} - (0,005 \text{ m} \times 35)}{36}$$

$$= 0,0146 \text{ m}$$

$$\approx 1,5 \text{ cm}$$

$$\text{Headloss pada orifice} = k \frac{v_{\text{orifice}}}{2g}$$

di mana $v_{\text{orifice}} = \frac{v_{\text{backwash}}}{4}$, $k = 1-3$ (Darmasetiawan, 2004).

$$h_L \text{ orifice} = 2 \frac{1,5 \text{ m/detik} \times 0,25}{2(9,81 \text{ m/detik}^2)}$$

$$= 0,038 \text{ m}$$

$$\text{Headloss total di underdrain} = h_L \text{ manifold} + h_L \text{ lateral} + h_L \text{ orifice}$$

$$= 0,078 \text{ m} + 0,17 \text{ m} + 0,038 \text{ m}$$

$$= 0,286 \text{ m}$$

v) Perencanaan gutter

Gutter merupakan alat pelimpah pada *rapid sand filter*. Air dari inlet ditampung pada *gutter*, kemudian dilimpahkan ke dua bak filter secara bersamaan. *Gutter* juga berfungsi sebagai penerima air backwash sebelum selanjutnya dialirkan ke baik inlet kemudian ke drainase. Berikut adalah perhitungan desain *gutter*:

$$\text{Jumlah gutter} = 1 \text{ buah}$$

$$Q \text{ gutter} = Q \text{ backwash} = 0,021 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Panjang gutter (P)} = 3,2 \text{ m} + \text{tebal beton (0,2 m)}$$

$$= 3,4 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman gutter} = 0,10$$

$$Y_u = 0,10 \text{ m}$$

$$Y_c = \frac{Y_u}{1,73}$$

$$= \frac{0,1 \text{ m}}{1,73}$$

$$= 0,06 \text{ m}$$

$$\text{lebar gutter utama} = \frac{Q}{(Y_c^2 \times g)^{0,5}}$$

$$= \frac{0,021 \text{ m}^3/\text{detik}}{(0,06^2 \times 9,81 \text{ m/s}^2)^{0,5}}$$

$$= 0,12 \text{ m}$$

Diketahui persamaan:

$$Q = \frac{2}{3} \times Cd \times \sqrt{2(9,81)} \times h^{\frac{3}{2}}$$

$$0,021 = \frac{2}{3} \times 0,6 \times \sqrt{2(9,81)} \times h^{\frac{3}{2}}$$

$$h = (0,003607)^{2/3}$$

Tinggi air di atas *gutter* (h) = 0,02 m

tinggi ekspansi total = 87,0 cm

$$= 0,87 \text{ m}$$

Letak *gutter* = tebal media penyangga + tinggi ekspansi total + *safety factor* (20 cm)

$$= 0,3 \text{ m} + 0,87 \text{ m} + 0,2 \text{ m}$$

$$= 1,37 \text{ m}$$

vi) Struktur influen, pipa menuju drainase, dan *pipa backwash*

Direncanakan struktur influen berbentuk bak inlet dengan dimensi 3,3 m × 0,3 m × 0,9 m. Lebar 0,3 m ditujukan agar bak inlet dapat mengakomodasi diameter pipa pembuangan *backwash* ke drainase yang berdiameter 140 mm.

Perhitungan pipa menuju drainase adalah sebagai berikut:

$$v \text{ discharge} = 1,5 \text{ m/detik}$$

$$\text{Diameter pipa} = \sqrt{\frac{4(Q \text{ backwash})}{\pi(v \text{ discharge})}}$$

$$= \sqrt{\frac{4\left(\frac{0,021 \text{ m}^3/\text{detik}}{1,5 \text{ m/detik}}\right)}{\pi}}$$

$$= 0,135 \text{ m}$$

$$= 135 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter pakai} = 140 \text{ mm}$$

Karena perhitungan pipa *backwash* juga menggunakan debit yang sama, maka diameter pipa *backwash* = diameter pipa menuju drainase = 140 mm.

vii) Struktur efluen

Struktur efluen terdiri dari 2 pipa manifold PVC Ø 90 mm yang alirannya pada satu titik akan disatukan menjadi 1 pipa PVC Ø 140 mm. Dititik penggabungan dua pipa manifold, gunakan aksesoris *increaser* 3" × 4", disambung 4" × 5", dan tee 5".

d. Rekapitulasi Desain

Desain *rapid sand filter* direkapitulasi pada **Tabel 4.36**.

Tabel 4.36 Rekapitulasi desain *rapid sand filter*

| Keterangan | Nilai | Satuan |
|--------------------------|-------|--------|
| Jumlah | 2 | unit |
| Tebal media pasir silika | 0,3 | m |

| Keterangan | Nilai | Satuan |
|-------------------------------|-------|--------|
| Tebal media antrasit | 0,3 | m |
| Tebal media penyangga | 0,3 | m |
| <i>Freeboard</i> | 0,9 | m |
| Lebar @ bak filter | 1,6 | m |
| Panjang @ bak filter | 3,2 | m |
| Diameter pipa inlet | 140 | mm |
| Diameter pipa manifold | 90 | mm |
| Diameter pipa lateral | 40 | mm |
| Diameter pipa <i>backwash</i> | 140 | mm |
| Diameter pipa menuju drainase | 140 | mm |
| Diameter pipa outlet | 140 | mm |

4.4.9 Desinfeksi

Proses desinfeksi pada perencanaan ini memanfaatkan injeksi gas klorin sebagai disinfektan. Bangunan yang digunakan dalam menunjang proses desinfeksi adalah tangki kontak klorin.

a. Kriteria Desain

Dosis klorin optimal (D_o) = 8–16 mg/L

Waktu kontak (t_c) = 15–30 menit

Jumlah sekat (n) = 2–4 buah

Sumber: Qasim & Zhu (2018)

b. Data Perencanaan

Debit air limbah (Q) = 1.500 m³/hari

Waktu kontak (t_c) = 20 menit

Kedalaman (H) = 2 m

Freeboard (fb) = 0,5 m

Lebar saluran (b) = 0,5 m

Jumlah sekat (n) = 4 buah

Dosis klorin = 10 mg/L

Kadar klorin (%) = 99%

Kapasitas tabung = 500 kg

Penyimpanan Cl = 30 hari

Tekanan *dosing* (P_d) = 5 atm

c. Perhitungan Desain

i) Tangki penyimpanan klorin

$$\text{Kebutuhan Cl} = \frac{D_o \times Q}{\%kadar}$$

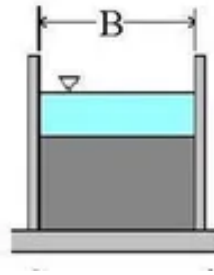
$$\begin{aligned}
&= \frac{10 \text{ g/m}^3 \times 1500 \text{ m}^3/\text{hari}}{99\%} \\
&= 15,15 \text{ kg/hari} \\
\text{Kebutuhan 1 bulan} &= 15,15 \text{ kg/hari} \times 30 \text{ hari} \\
&= 454,5 \text{ kg} \\
\text{Kebutuhan tabung} &= 1 \text{ tabung} \\
\text{Volume gas Cl} &= \frac{nRT}{P} \\
&= \frac{gCl \times 0,0821 \times (273+25) \text{ K}}{17 \text{ g/mol} \times 5 \text{ atm}} \\
&= 130,8 \text{ m}^3 \\
\text{Debit dosing (Qd)} &= \frac{\text{Volume}}{30 \text{ hari}} \\
&= \frac{130,8 \text{ m}^3}{30 \text{ hari}} \\
&= 4,36 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 0,05 \text{ L/s}
\end{aligned}$$

ii) Dimensi tangki kontak klorin

$$\begin{aligned}
\text{Volume tangki (Vol)} &= Q \times td \\
&= 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \times 20 \text{ menit} \\
&= 20,83 \text{ m}^3 \\
&\approx 21 \text{ m}^3 \\
\text{Luas permukaan (As)} &= \frac{\text{Vol}}{H} \\
&= \frac{21 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} \\
&= 10,5 \text{ m}^2 \\
\text{Lebar tangki} &= b \times n \\
&= 0,5 \text{ m} \times 4 \\
&= 2 \text{ m} \\
\text{Panjang tangki (P)} &= \frac{As}{L} \\
&= \frac{10,5 \text{ m}^2}{2 \text{ m}} \\
&= 5,25 \text{ m}
\end{aligned}$$

iii) Struktur efluen

Direncanakan struktur efluen berupa *effluent box* dengan dimensi lebar (B) = 0,5 m guna menyesuaikan dengan lebar tiap kompartemen. Pada *junction box*, terdapat *rectangular weir* dengan dimensi yang dapat dilihat pada **Gambar 4.16**.



Gambar 4.16 *Rectangular weir* tanpa kontraksi

$$B = 0,5 \text{ m}$$

Rumus *rectangular weir* untuk mencari tinggi air (h):

$$Q = 1.84(B - 0.2h)h^{3/2}$$

$$18,4Bh^{3/2} - 10Q = 0$$

$$18,4(0,5 \text{ m}) h^{3/2} - 10(0,017 \text{ m}^3/\text{detik}) = 0$$

$$h = 0,052 \text{ m}$$

$h = 5,2 \text{ cm}$ di atas permukaan *junction box*

Direncanakan tinggi weir = 10 cm dengan tinggi *junction box* (H) = 15 cm.

d. Rekapitulasi Desain

Desain tangki kontak klorin dirangkum pada **Tabel 4.37**.

Tabel 4.37 Rekapitulasi desain tangki kontak klorin

| Keterangan | Nilai | Satuan |
|---------------------|-------|--------|
| Jumlah | 1 | unit |
| Tinggi efektif | 2 | m |
| <i>Freeboard</i> | 0,9 | m |
| Lebar celah | 0,5 | m |
| Panjang total bak | 5,25 | m |
| Lebar total bak | 1,6 | m |
| Diameter pipa inlet | 140 | mm |

4.4.10 Unit Pengolahan Lumpur

Di dalam perencanaan ini, lumpur ditampung menggunakan *sludge holding tank*, unit yang berfungsi untuk menyimpan dan memampatkan lumpur sebelum kemudian dipompa dan dikeringkan menggunakan *filter press*. *Filter press* merupakan unit pengolahan lumpur yang sering dijumpai pada banyak industri. Lumpur yang diolah di *filter press* pada perencanaan ini adalah lumpur hasil proses fisika-kimia, yakni lumpur PAC, polimer, dan padatan pada air limbah yang terflotasi pada DAF dalam bentuk flok, juga lumpur aktif yang terendapkan pada zona lumpur *clarifier*. Kedua jenis lumpur ini akan diolah menggunakan *filter press* dengan hasil produksi berupa *cake* yang memiliki konsentrasi *solid* 40%. *Cake* ini selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai kapur tanah TPA, *paving block*, dan lainnya. Akan tetapi, untuk menentukan peruntukannya secara tepat, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut akan hal ini.

a. Kriteria Desain *Filter Press*

Siklus operasi = 3–5 jam

% *solids cake* = 40–45%

Tekanan (P) = mencapai 170 kPa (17 atm - 250 psi)

b. Data Perencanaan

Massa solids DAF (Ms DAF) = 3.822 kgTSS/hari

Massa PAC per *shift* = 6,95 kg/*shift*

Massa PAC per hari (Ms PAC) = 6,95 kg/*shift* × 3 *shift*
= 20,85 kgPAC/hari

Massa polimer per *shift* = 6,95 kg/*shift*

Massa polimer per hari (Ms Polimer) = 20,6 kg/*shift* × 3 *shift*
= 61,8 kgPAC/hari

Massa *solids clarifier* (Ms *clarifier*) = 914,33 kgTSS/hari

% *solid* campuran = 4% (Metcalf & Eddy, 2014)

Sg *sludge* campuran (Sg_{sl}) = 1,03

Unit filter press = 2 buah

% *solid cake* = 40%

Sg *cake* = 1,16 (Andreoli *et al.*, 2007)

ρ air = 996,3 kg/m³

Siklus *press* = 4 siklus/hari

c. Perhitungan Desain

i) *Sludge holding tank*

Lumpur dialirkan dari zona *scum box* DAF dan *clarifier* ke SHT secara gravitasi. Adapun perhitungan jumlah massa *solid* yang dihasilkan:

$$\begin{aligned} \text{Massa } \textit{solid} \text{ total (Mst)} &= \text{Ms DAF} + \text{Ms PAC} + \text{Ms polimer} + \text{Ms clarifier} \\ &= 3.822 \text{ kgTSS/hari} + 20,85 \text{ kgPAC/hari} + 61,8 \text{ kg} \\ &\quad \text{polimer/hari} + 900,36 \text{ kgTSS/hari} \\ &= 4.818,98 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

(1) Dimensi bak

Waktu penyimpanan = 12 jam

$$\begin{aligned} \text{Volume lumpur} &= \frac{Mst \times \frac{12}{24}}{Sgsl \times \rho_{air} \times \%solid} \\ &= \frac{4818,98 \text{ kg/hari} \times \frac{12}{24}}{1,03 \times 996,3 \text{ kg/m}^3 \times 4\%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 58,7 \text{ m}^3 \\
\text{Kedalaman efektif (H)} &= 5,5 \text{ m} \\
\text{Luas bak (As)} &= \frac{\text{Vol lumpur}}{H} \\
&= \frac{58,7 \text{ m}^3}{5,5 \text{ m}} \\
&= 10,67 \text{ m}^2 \\
\text{Rasio P:L bak} &= 2:1 \\
\text{Lebar (L)} &= \sqrt{\frac{As}{2}} \\
&= \sqrt{\frac{10,67 \text{ m}^2}{2}} \\
&= 2,3 \text{ m} \\
&\approx 2 \text{ m} \\
\text{Panjang (P)} &= 2 \text{ m} \times 2 \\
&= 4 \text{ m} \\
\text{Freeboard (fb)} &= 0,5 \text{ m}
\end{aligned}$$

(2) Pemompaan lumpur ke *filter press*

$$\begin{aligned}
Q &= 63,6 \text{ m}^3/\text{jam} \\
&= 0,018 \text{ m}^3/\text{detik} \\
\text{Head statis} &= 7,5 \text{ m} \\
C_{PVC} &= 100 \\
L &= 26 \text{ m} \\
\text{Diameter dalam (ID) pipa} &= 129,2 \text{ mm} \\
v &= 1,32 \text{ m/detik} \\
\text{Hf discharge} &= \left(\frac{Q}{0,2785 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L \\
&= \left(\frac{0,018 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,2785 \times 100 \times (0,1292)^{2,63}} \right)^{1,85} \times 26 \text{ m} \\
&= 0,64 \text{ m} \\
\text{Hm bend } 90^\circ \text{ (k = 0,8; n = 4 buah)} &= k \frac{v^2}{2g} n \\
&= 0,8 \times \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \times 4 \\
&= 0,28 \text{ m} \\
\text{Hm tee (k = 1,8; n = 2 buah)} &= k \frac{v^2}{2g} n
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1,8 \times \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \times 2 \\
&= 0,32 \text{ m} \\
\text{Hm valve (k = 0,2; n = 1 buah)} &= k \frac{v^2}{2g} n \\
&= 0,2 \times \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \times 1 \\
&= 0,02 \text{ m} \\
\text{Head kecepatan (Hv)} &= \frac{v_{cek}^2}{2g} \\
&= \frac{(1,32 \text{ m/s})^2}{2(9,81)} \\
&= 0,09 \text{ m} \\
\text{Head total} &= \text{Head statis} + \text{Hf discharge} + \text{Hm} + \text{Hv} \\
&= 7,5 \text{ m} + 0,64 \text{ m} + 0,28 + 0,32 \text{ m} + 0,02 \\
&\quad \text{m} + 0,09 \text{ m} \\
&= 8,85 \text{ m}
\end{aligned}$$

Digunakan pompa *submersible* dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah} &= 1 \text{ unit} \\
\text{Tipe} &= \text{Ebara Submersibles 80DLA53,7} \\
\text{Output motor} &= 3,7 \text{ kW}
\end{aligned}$$

ii) *Filter press*

$$\begin{aligned}
\text{Mst/unit} &= \frac{4818,98 \text{ kg/hari}}{2} \\
&= 2409,49 \text{ kg/hari} \\
\text{Volume cake (Vcake)} &= \frac{\text{Mst}}{\% \text{solid cake} \times Sg \text{ cake} \times \rho \text{ air}} \\
&= \frac{2409,49 \text{ kg/hari}}{40\% \times 1,16 \times 996,3 \text{ kg/m}^3} \\
&= 5,212 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 5.212 \text{ L/hari} \\
\text{Volume cake/siklus} &= \frac{V_{cake}}{4} \\
&= \frac{5.212 \text{ L/hari}}{4} \\
&= 1.303 \text{ L/siklus}
\end{aligned}$$

Digunakan *filter press* Draco FPA AL 120/50 dengan spesifikasi kapasitas *cake* 1.567 m³/siklus dengan *output power* 4 kW.

d. Rekapitulasi Desain

Rekapitulasi desain unit pengolahan lumpur dapat dilihat pada **Tabel 4.38**.

Tabel 4.38 Rekapitulasi desain unit pengolahan lumpur

| Keterangan | Nilai | Satuan |
|----------------------------|---------------------|--------|
| <i>Sludge holding tank</i> | | |
| Jumlah | 1 | unit |
| Tinggi efektif | 5,5 | m |
| <i>Freeboard</i> | 0,5 | m |
| Lebar | 2 | m |
| Panjang | 4 | m |
| Diameter inlet (3 unit) | 40 | mm |
| Diameter outlet | 140 | mm |
| <i>Filter press</i> | | |
| Jumlah | 2 | unit |
| Tipe | Draco FPA AL 120/50 | |

4.4.11 Tangki Air

Tangki air berfungsi untuk menyimpan air dari tangki kontak klorin sebelum pengaliran ke sistem *flushing* toilet dan peruntukkan kegiatan MCK lainnya. Debit untuk penggunaan selain MCK dan flushing toilet akan dihitung dan kemudian kembali kepada PT. XYZ terkait pemanfaatannya, seperti yang dijelaskan pada subsubbab 4.4.11. Berikut adalah perhitungan perencanaan tangki air:

a. Data Perencanaan

Jumlah karyawan PT. XYZ = 530 orang

Kebutuhan air untuk MCK = 12 L/orang.hari (standar PU)

Elevasi muka air di atas tanah = +4,2 m

b. Perhitungan Desain

i) Kapasitas tangki

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air} &= 530 \text{ orang} \times 12 \text{ L/orang.hari} \\ &= 6.360 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Digunakan tangki Penguin seri TB 220 (kapasitas 2.250 liter) sebanyak 3 buah dengan elevasi 3 m.

ii) Pompa

$$\begin{aligned} \text{Debit dipompa ke tangki (Qp)} &= 2.250 \text{ liter} \times 3 \text{ buah} \\ &= 6.750 \text{ liter/hari} \\ &= 6,75 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 4,7 \text{ liter/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit untuk keperluan lain} &= 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} - 6,75 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 1493,25 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Digunakan water pump Hitachi seri DT-PS300GX dengan spesifikasi:

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| Kapasitas | = | 9 liter/menit |
| <i>Head</i> total | = | 30 m (mencukupi, jauh di atas Hstatis = 4,2 m) |
| <i>Output</i> motor | = | 0,3 kW |
| Diameter pipa <i>suction</i> | = | 35 mm (1 1/4") |
| Diameter pipa <i>discharge</i> | = | 25 mm (1") |

4.5 Profil Hidrolis

Profil hidrolis membantu perencana dalam menentukan elevasi muka air masing-masing unit, sehingga dapat menentukan peletakan unit pada elevasi tanah. *Headloss* yang terjadi pada suatu unit akan mengakibatkan turunnya elevasi muka air pada unit setelahnya. Pada **Tabel 4.39** tercantum profil hidrolis IPAL fase 2 PT. XYZ.

Tabel 4.39 Profil Hidrolis

| Keterangan | <i>Headloss</i> (m) | Elevasi muka air (m) |
|--|---------------------|----------------------|
| Saluran air limbah menuju IPAL | | +138,00 |
| <i>Bar screen</i> | | |
| <i>Headloss</i> clogging 90% | 0,0001 | +138,00 |
| <i>Free fall</i> | 0,79 | +137,21 |
| Sumur pengumpul | | |
| <i>Hf discharge</i> | 0,31 | |
| Hm aksesoris (tee, valve, bend) | 0,62 | |
| Hv | 0,09 | |
| Surplus head pompa | (+) 9,41 | |
| <i>Grease trap</i> | | |
| Kompartemen 1 | | +145,57 |
| <i>Hf</i> konektor | 0,0045 | |
| hm aksesoris (bend) | 0,0710 | |
| Kompartemen 2 | | +145,50 |
| <i>Free fall</i> | 2,62 | |
| Bak ekualisasi | | |
| <i>Hf discharge</i> | 0,31 | |
| Hm aksesoris (tee, valve, bend) | 0,62 | |
| Hv | 0,09 | |
| <i>Pressure drop static mixer</i> (Hsm) | 12,31 | |
| Surplus head pompa | (+) 15,92 | |
| <i>Dissolved air flotation</i> | | |
| <i>Headloss</i> outlet | 1,07 | +145,48 |
| <i>Moving bed bioreactor</i> | | |
| Zona 1 | | +144,41 |
| <i>Headloss</i> weir kompartemen 1 | 0,1 | |
| Kompartemen 2 | | +144,31 |
| <i>Headloss</i> weir zona 2 | 0,1 | |
| Kompartemen 3 | | +144,21 |
| <i>Free fall</i> di atas <i>effluent box</i> | 0,2 | |

| Keterangan | Headloss (m) | Elevasi muka air (m) |
|--|--------------|----------------------|
| Efluen box | | +144,01 |
| Hf outlet | 0,45 | |
| Hm outlet (valve, bend, velocity) | 0,32 | |
| Clarifier | | +143,17 |
| Headloss weir | 0,27 | +142,90 |
| Free fall di atas <i>effluent box</i> | 0,20 | +142,70 |
| Hf outlet | 0,32 | |
| Hm outlet (valve, bend, velocity, tee) | 0,48 | |
| Rapid sand filter | | |
| Inlet | | +141,90 |
| Headloss filtrasi | 0,34 | |
| Headloss underdrain | 0,286 | |
| Hf outlet | 0,21 | |
| Hm outlet (valve, bend, velocity) | 0,25 | |
| Tangki kontak klorin | | +140,82 |
| Hm celah 1 | 0,0008 | +140,82 |
| Hm celah 2 | 0,0008 | +140,81 |
| Hm celah 3 | 0,0008 | +140,81 |
| Headloss weir | 0,052 | |
| Effluent box | | +140,76 |
| Surplus head pompa | (+) 3,13 | |
| Tangki air | | +144,2 |

4.6 Neraca Massa

Neraca massa (*mass balance*) memberikan gambaran bagaimana setiap unit pengolahan menyisihkan konstituen air limbah. Prinsip utama neraca massa adalah hukum kekekalan massa, di mana massa tidak diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, sehingga massa yang masuk ke dalam sistem harus sama dengan massa yang keluar dari dan bertahan di dalam sistem. Adapun analisis neraca massa IPAL fase 2 PT. XYZ sebagai berikut:

Influen

$$\begin{aligned}
 [\text{COD}] &= 6.917 \text{ mg/L} \\
 \text{mCOD} &= 6.917 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 10,38 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{BOD}] &= 2.028 \text{ mg/L} \\
 \text{mBOD} &= 2.028 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 3,04 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{TSS}] &= 2.600 \text{ mg/L} \\
 \text{mTSS} &= 2.600 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 3,9 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{NH}_3\text{-N}] &= 43,15 \text{ mg/L} \\
 \text{mNH}_3\text{-N} &= 43,15 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$= 0,065 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{M\&L}] = 1,4 \text{ mg/L}$$

$$m\text{M\&L} = 1,4 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 0,0021 \text{ kg/hari}$$

Sumur pengumpul & bar screen

Tidak terjadi proses penyisihan, sehingga:

$$[\text{COD}]_{\text{out}} = 6.917 \text{ mg/L}$$

$$m\text{COD}_{\text{out}} = 10,38 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{BOD}]_{\text{out}} = 2.028 \text{ mg/L}$$

$$m\text{BOD}_{\text{out}} = 3,04 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{TSS}]_{\text{out}} = 2.600 \text{ mg/L}$$

$$m\text{TSS}_{\text{out}} = 3,9 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{NH}_3\text{-N}]_{\text{out}} = 43,15 \text{ mg/L}$$

$$m\text{NH}_3\text{-N}_{\text{out}} = 0,065 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{M\&L}]_{\text{out}} = 1,4 \text{ mg/L}$$

$$m\text{M\&L}_{\text{out}} = 0,0021 \text{ kg/hari}$$

Grease trap

Hanya terjadi penyisihan minyak & lemak, sehingga:

$$[\text{M\&L}]_{\text{in}} = 1,4 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{Removal} = 99\%$$

$$[\text{M\&L}]_{\text{out}} = 1,4 \text{ mg/L} \times (1-0,99)$$

$$= 0,014 \text{ mg/L}$$

$$m\text{M\&L}_{\text{out}} = 0,00002 \text{ kg/hari}$$

$$m\text{M\&L}_{\text{rem}} = 0,00208 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{COD}]_{\text{out}} = 6.917 \text{ mg/L}$$

$$m\text{COD}_{\text{out}} = 10,38 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned}[\text{BOD}]_{\text{out}} &= 2.028 \text{ mg/L} \\ m\text{BOD}_{\text{out}} &= 3,04 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{TSS}]_{\text{out}} &= 2.600 \text{ mg/L} \\ m\text{TSS}_{\text{out}} &= 3,9 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{NH}_3\text{-N}]_{\text{out}} &= 43,15 \text{ mg/L} \\ m\text{NH}_3\text{-N}_{\text{out}} &= 0,065 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

Bak ekualisasi

Tidak terjadi penyisihan, sehingga:

$$\begin{aligned}[\text{COD}]_{\text{out}} &= 6.917 \text{ mg/L} \\ m\text{COD}_{\text{out}} &= 10,38 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{BOD}]_{\text{out}} &= 2.028 \text{ mg/L} \\ m\text{BOD}_{\text{out}} &= 3,04 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{TSS}]_{\text{out}} &= 2.600 \text{ mg/L} \\ m\text{TSS}_{\text{out}} &= 3,9 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{NH}_3\text{-N}]_{\text{out}} &= 43,15 \text{ mg/L} \\ m\text{NH}_3\text{-N}_{\text{out}} &= 0,065 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{M\&L}]_{\text{out}} &= 0,014 \text{ mg/L} \\ m\text{M\&L}_{\text{out}} &= 0,00002 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

Dissolved air flotation dengan chemical aid

$$\begin{aligned}[\text{BOD}]_{\text{in}} &= 2.028 \text{ mg/L} \\ \% \text{Removal} &= 55\% \\ [\text{BOD}]_{\text{out}} &= 2.600 \text{ mg/L} \times (1-0,55) \\ &= 912,6 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{mBOD}_{\text{out}} &= 912,6 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 1,37 \text{ kg/hari} \\ \text{mBOD}_{\text{rem}} &= 1,67 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD}]_{\text{in}} &= 6.917 \text{ mg/L} \\ \% \text{Removal} &= 65,5\% \\ [\text{COD}]_{\text{out}} &= 6.917 \text{ mg/L} \times (1-0,655) \\ &= 2386,4 \text{ mg/L} \\ \text{mCOD}_{\text{out}} &= 2386,4 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 3,8 \text{ kg/hari} \\ \text{mCOD}_{\text{rem}} &= 6,8 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{TSS}]_{\text{in}} &= 2.600 \text{ mg/L} \\ \% \text{Removal} &= 98\% \\ [\text{TSS}]_{\text{out}} &= 2.600 \text{ mg/L} \times (1-0,98) \\ &= 52 \text{ mg/L} \\ \text{mTSS}_{\text{out}} &= 52 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,078 \text{ kg/hari} \\ \text{mTSS}_{\text{rem}} &= 3,82 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{NH}_3\text{-N}]_{\text{in}} &= 43,15 \text{ mg/L} \\ \% \text{Removal} &= 20\% \\ [\text{NH}_3\text{-N}]_{\text{out}} &= 43,15 \text{ mg/L} \times (1-0,2) \\ &= 34,52 \text{ mg/L} \\ \text{mNH}_3\text{-N}_{\text{out}} &= 34,52 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,052 \text{ kg/hari} \\ \text{mNH}_3\text{-N}_{\text{rem}} &= 0,013 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{M\&L}]_{\text{in}} &= 0,014 \text{ mg/L} \\ \% \text{Removal} &= 85\% \\ [\text{M\&L}]_{\text{out}} &= 0,014 \text{ mg/L} \times (1-0,85) \\ &= 1,8 \times 10^5 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{M\&Lout} &= \text{mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 3 \times 10^6 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$m_{M\&Lrem} =$$

Moving bed biofilm reactor - clarifier

$$[\text{BOD}]_{in} = 912,6 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{Removal}_1 = 75\%$$

$$\% \text{Removal}_2 = 90\%$$

$$\% \text{Removal}_{tot} = 97,5\%$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD}]_{out} &= 912,6 \times (1-0,975) \\ &= 22,8 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{BOD}out} &= 22,8 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,03 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$m_{\text{BOD}rem} = 1,33 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{COD}]_{in} = 2.386,4 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{Removal}_1 = 75\%$$

$$\% \text{Removal}_2 = 90\%$$

$$\% \text{Removal}_{tot} = 97,5\%$$

$$\begin{aligned} [\text{COD}]_{out} &= 2.386,4 \text{ mg/L} \times (1-0,975) \\ &= 59,7 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{COD}out} &= 59,7 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,09 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$m_{\text{COD}rem} = 3,5 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{TSS}]_{in} = 52 \text{ mg/L}$$

$$\% \text{Removal}_1 = 85\%$$

$$\% \text{Removal}_2 = 85\%$$

$$\% \text{Removal}_{tot} = 97,75\%$$

$$\begin{aligned} [\text{TSS}]_{out} &= 52 \text{ mg/L} \times (1-0,9775) \\ &= 1,17 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{TSS}out} &= 1,17 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,002 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$mTSSrem = 0,076 \text{ kg/hari}$$

$$[NH_3-N]in = 34,5 \text{ mg/L}$$

$$\%Removal = 95\%$$

$$\begin{aligned} [NH_3-N]out &= 34,5 \text{ mg/L} \times (1-0,95) \\ &= 1,73 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} mNH_3-Nout &= 1,73 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,003 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$mNH_3-Nrem = 0,05 \text{ kg/hari}$$

$$[M\&L]in = 0,0021 \text{ mg/L}$$

$$\%Removal = 0\%$$

$$[M\&L]out = 0,014 \text{ mg/L} \times (1-0)$$

$$\begin{aligned} mM\&Lout &= 0,0021 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 3 \times 10^6 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Rapid sand filter

$$[BOD]in = 22,8 \text{ mg/L}$$

$$\%Removal = 50\%$$

$$\begin{aligned} [BOD]out &= 22,8 \text{ mg/L} \times (1-0,5) \\ &= 11,4 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} mBODout &= 11,4 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,017 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$mBODrem = 0,017 \text{ kg/hari}$$

$$[COD]in = 59,7 \text{ mg/L}$$

$$\%Removal = 40\%$$

$$\begin{aligned} [COD]out &= 59,7 \text{ mg/L} \times (1-0,4) \\ &= 35,8 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} mCODout &= 35,8 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,054 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$mCODrem = 0,036 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned}
[\text{TSS}]_{\text{in}} &= 1,17 \text{ mg/L} \\
\% \text{Removal} &= 70\% \\
[\text{TSS}]_{\text{out}} &= 1,17 \text{ mg/L} \times (1-0,7) \\
&= 0,4 \text{ mg/L} \\
\text{mTSS}_{\text{out}} &= 0,4 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 0,00053 \text{ kg/hari} \\
\text{mTSS}_{\text{rem}} &= 0,0012 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{NH}_3\text{-N}]_{\text{in}} &= 0,5 \text{ mg/L} \\
\% \text{Removal} &= 60\% \\
[\text{NH}_3\text{-N}]_{\text{out}} &= 0,5 \text{ mg/L} \times (1-0,6) \\
&= 0,2 \text{ mg/L} \\
\text{mNH}_3\text{-N}_{\text{out}} &= 0,2 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 0,0003 \text{ kg/hari} \\
\text{mNH}_3\text{-N}_{\text{rem}} &= 0,00045 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{M\&L}]_{\text{in}} &= 0,0021 \text{ mg/L} \\
\% \text{Removal} &= 0\% \\
[\text{M\&L}]_{\text{out}} &= 0,014 \text{ mg/L} \times (1-0) \\
\text{mM\&L}_{\text{out}} &= 0,0021 \text{ mg/L} \times 1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 3 \times 10^6 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

Desinfeksi

Hanya terjadi pemusnahan coliform, sehingga:

$$\begin{aligned}
[\text{COD}]_{\text{out}} &= 35,8 \text{ mg/L} \\
\text{mCOD}_{\text{out}} &= 0,054 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{BOD}]_{\text{out}} &= 11,4 \text{ mg/L} \\
\text{mBOD}_{\text{out}} &= 0,017 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
[\text{TSS}]_{\text{out}} &= 0,4 \text{ mg/L} \\
\text{mTSS}_{\text{out}} &= 0,00053 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$[\text{NH}_3\text{-N}]_{\text{out}} = 0,2 \text{ mg/L}$$

$$m_{\text{NH}_3\text{-Nout}} = 0,0003 \text{ kg/hari}$$

$$[\text{M\&L}]_{\text{out}} = 0,0021 \text{ mg/L}$$

$$m_{\text{M\&Lout}} = 3 \times 10^6 \text{ kg/hari}$$

Diagram kesetimbangan massa dapat dilihat di **Lampiran 10**.

4.7 Standar operasional prosedur (SOP) IPAL

Standar operasional prosedur (SOP) IPAL merupakan petunjuk yang berisi seperangkat alur/cara unit pengolahan beserta alat-alatnya agar proses pengolahan pada IPAL berjalan dengan baik, serta mencegah dan mengatasi berbagai permasalahan yang dapat terjadi di lingkungan IPAL. Adapun SOP IPAL Fase 2 PT. XYZ dijabarkan sebagai berikut:

a. Perpipaan

- Melakukan pemeriksaan terhadap sambungan pipa. Sambungan harus kuat agar tidak terjadi kebocoran air limbah. Pastikan pula tidak terdapat keretakan pada pipa, yang juga merupakan sebab kebocoran. Apabila terjadi kebocoran pada sambungan pipa, segera lakukan pergantian sambungan pipa. Akan tetapi apabila sumber kebocoran adalah pipa utama, maka sumber bocor harus diidentifikasi, pipa yang mengalami kebocoran harus dipotong dan diganti dengan pipa baru.
- Pengecekan katup secara berkala untuk mencegah maupun mengatasi sumbatan, pemasangan yang kendor, malfungsi akibat masa pemakaian yang sudah lama, dan karat. Apabila terjadi masalah-masalah tersebut, maka katup harus diganti.

b. *Bar screen*

- *Bar screen* harus diperiksa dan dibersihkan secara berkala. Sampah yang menyangkut di celah *screen* diangkat menggunakan garpu sampah ke tempat penyimpanan sampah sementara pada bagian atas sumur pengumpul.
- Batang *screen* yang berkarat maupun yang tidak berfungsi secara optimal harus secepat mungkin diganti.
- Selalu pastikan tidak ada sampah yang lolos dari *screen*. Hal ini dapat merusak unit-unit pengolahan yang lain.
- Sampah yang sudah tertampung di tempat sampah sementara secara rutin dibuang ke tempat pembuangan komunal yang disediakan oleh pabrik.

c. Sumur pengumpul

- Inspeksi sumur pengumpul dilakukan melalui *manhole*. Pastikan tidak terjadi endapan padatan pada dasar sumur. Apabila terdapat endapan padatan, segera bersihkan.
- Mengambil sampel air limbah untuk mengukur parameter BOD, COD, TSS, amonia, nitrat, pH, dan kekeruhan pada inlet setiap hari untuk keperluan monitoring harian, dan setiap 3-6 bulan sekali untuk keperluan audit.
- Pompa *submersible*:

- 2 unit pompa bekerja secara otomatis, di mana satu berstatus aktif dan lainnya *idle/standby*.
- Menghidupkan kemudian matikan pompa untuk memeriksa potensi penyumbatan pada pipa. Segera bersihkan apabila terjadi penyumbatan.
- Pompa *submersible* dilengkapi dengan pelampung air sebagai radar. Pompa akan bekerja apabila pelampung air berada di ketinggian muka air yang mencukupi dan akan berhenti secara otomatis di saat ketinggian muka air mencapai batas minimum.

d. *Grease trap*

- *Grease trap* bekerja dengan baik ditandai dengan adanya minyak dan lemak yang mengapung pada permukaan. Apabila tidak ditemukan minyak dan lemak yang mengapung, maka sumber permasalahannya adalah sistem perpipaan yang tidak optimal dan/atau kesalahan perencanaan dimensi *grease trap*. Kesalahan pada sistem perpipaan diakibatkan oleh pipa inlet dan outlet pada tiap kompartemen yang terlalu berdekatan, sehingga terjadi aliran pendek. Sedangkan yang dimaksud kesalahan perencanaan dimensi adalah kecepatan aliran air horizontal yang terlalu cepat, sehingga minyak tidak sempat mengapung dan padatan tidak sempat mengendap.
- Minyak, lemak, dan endapan padatan secara berkala harus dibersihkan. Periode pembersihan adalah setiap *shift*-nya.
- Mengisi *grease trap* dengan air bersih pada pengoperasian pertama kali, yang bertujuan agar minyak dan lemak dapat mengapung saat air limbah memasuki *grease trap*. Jika tidak dilakukan, dikhawatirkan akan terdapat minyak dan lemak yang lolos ke unit setelahnya.

e. Bak ekualisasi

- Bak ekualisasi didesain agar proses pengendapan padatan tidak terjadi. Namun apabila ditemukan endapan padatan di dasar tangki, maka perlu dilakukan pembersihan secara berkala.
- Pompa *submersible*:
 - 2 unit pompa bekerja secara manual, di mana satu berstatus aktif dan lainnya *idle/standby*.
 - Menghidupkan kemudian matikan pompa untuk memeriksa potensi penyumbatan pada pipa. Segera bersihkan apabila terjadi penyumbatan.
 - Pengecekan getaran, panas, suara, dan baut pada pompa.
- *Disc diffuser*:
 - Proses *mixing* oleh udara harus berjalan setiap waktu.
 - Memastikan aliran udara dan proses *mixing* berlangsung secara seragam di seluruh area tangki. Apabila terdapat daerah pada tangki yang tidak tersuplai udara, maka konfigurasi pipa lateral udara harus diubah.
 - Melakukan pengecekan kondisi *disc diffuser* secara berkala. Apabila ditemukan beberapa diffuser yang rusak, maka secepatnya dilakukan perbaikan ataupun penggantian alat dengan yang baru.
- Blower:
 - Memastikan blower bekerja secara konstan agar dapat menyuplai udara pada setiap waktu.
 - Memastikan tekanan pada *pressure gauge* normal, yakni maksimum berada pada angka 0,55 kPa.

- Melakukan pengecekan dan pemeliharaan *counterpart* blower seperti mur, baut, sambungan listrik, *impeller*, secara berkala. Panas, getaran, dan suara blower juga perlu diperiksa secara rutin.
- Melakukan penggantian oli secara berkala.

f. Proses fisika-kimia

- Melakukan ceklis ketersediaan stok bahan kimia pada gudang secara rutin. Pencatatan penggunaan bahan kimia dilakukan pada setiap *shift*.
- Lakukan pengecekan ketersediaan larutan pada awal dan akhir *shift*, pastikan bak pelarut dan pencampur selalu terisi oleh larutan kimia. Pastikan tidak terjadi ceceran bahan kimia di sekitar bak pencampur dan bak pelarut.
- Perlu diingat bahwa selama bekerja dengan bahan kimia, gunakan APD lengkap yang sesuai dengan SOP K3.
- Memastikan pH pada outlet *static mixer* pada rentang 6–9. Hal ini bertujuan untuk menjaga pH pada kisaran baku mutu, serta menjadi syarat agar proses koagulasi berjalan dengan baik.
- Pembentukan agregat-flok-gelembung harus terjadi. Jika tidak, kemungkinan besar hal ini disebabkan oleh dosis koagulan dan *coagulant aid* yang kurang tepat dan/atau pH yang terlalu tinggi atau rendah. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan *jar test* untuk menentukan dosis soda kaustik, koagulan, dan *coagulant aid* yang optimal.
- Pompa dan pipa *dosing*:
 - Melakukan pengecekan debit *dosing* secara berkala.
 - Melakukan pemeriksaan kondisi mur, baut, *connector grounding*, getaran, dan suara pada motor.
 - Tegangan, amper, dan diafragma pompa juga perlu dicek rutin.
 - Memastikan pipa *dosing* berfungsi dengan baik dan tidak terdapat kebocoran. Apabila terjadi, penggantian alat perlu segera dilakukan.
- *Mixer*:
 - *Mixer* harus konstan bekerja agar proses pengadukan dapat berjalan pada setiap saat.
 - Melakukan pengecekan panas, getaran dan suara pada motor dan *shaft*.
 - *Counterpart mixer* seperti mur, baut, *coupling*, dan *connector grounding* juga dicek secara berkala.
 - Melakukan penggantian *oli* secara berkala.

g. *Dissolved air flotation*

- Proses pada DAF dinilai berjalan dengan baik apabila didapatkan flok-flok mengapung pada permukaan tangki flotasi. Meskipun flotasi merupakan mekanisme utama pada DAF, pengendapan padatan tetap dapat terjadi. Sehingga, *blowdown* (pembuangan air limbah lewat keran) lumpur yang mengendap perlu dilakukan secara berkala.
- *Air saturator*:
 - Air saturator berfungsi untuk melarutkan udara yang terkompresi ke dalam air limbah. Kinerja alat ini perlu dicek secara berkala agar proses flotasi dapat berjalan dengan maksimal.
 - Melakukan pengecekan panas, getaran dan suara pada motor pompa saturator.
 - *Counterpart* pompa seperti mur, baut, *coupling*, dan *connector grounding* juga dicek secara berkala.

- Melakukan penggantian oli secara berkala.
- *Skimmer*
 - *Skimmer* dioperasikan apabila sudah cukup banyak flok yang mengapung di permukaan tangki flotasi.
 - Memastikan *skimmer* dapat menyisihkan semua flok yang mengapung pada permukaan tangki flotasi dan terbuang ke *scum box*. *Skimmer* yang bengkok ataupun terlalu pendek menyebabkan penyisihan flok tidak berjalan secara optimal, sehingga *skimmer* perlu diperbaiki atau bahkan diganti.
 - Melakukan pengecekan panas, getaran dan suara pada motor dan *gearbox*.
 - *Counterpart skimmer* seperti mur, baut, dan rantai juga dicek secara berkala.
 - Melakukan penggantian *oli* secara berkala.
- Tangki tekan
 - Mengecek tekanan secara rutin.
 - Melakukan pengukuran A/S air limbah yang masuk ke tangki Pelepas.
 - Melakukan *blowdown* secara berkala.
 - Memastikan *safety valve* bekerja dengan baik dan melakukan penggantian apabila rusak.
- Tangki flotasi
 - Membersihkan dinding luar dan dalam tangki secara berkala.
 - Melakukan pengecatan ulang secara berkala untuk menghindari karat.
 - Melakukan *blowdown* secara berkala.

h. *Moving bed biofilm reactor*

- Biomassa pada MBBR melekat dan tumbuh pada media *carrier* dengan warna normal coklat sedang hingga coklat muda. Pergerakan media dan proses aerasi akan menyebabkan biomassa lepas dari media (*sloughing*) kemudian tersuspensi pada tangki. Konsentrasi MLSS 100-300 mg/L menandakan proses aerasi pada MBBR berjalan dengan optimum (EHS, 2014). Adapun prosedur pengukuran MLSS adalah sebagai berikut:
 - Air limbah dari zona 2 dan 3 diambil menggunakan botol sampel, dengan masing-masing 1 (satu) botol sampel untuk zona 2 dan 3.
 - *Glass-fiber filter disk* disiapkan, kemudian ditimbang dan dicatat sebagai M1 dalam gram.
 - Filter diletakkan pada alat penghisap, kemudian hidupkan.
 - Sampel dikocok agar homogen, kemudian 20 mL sampel dituangkan ke dalam silinder.
 - Sampel di dalam silinder dituangkan secara perlahan ke atas filter.
 - Filter kemudian dimasukkan ke dalam alat pengering dengan suhu 105⁰C selama 1 jam.
 - Ukur berat sampel setelah pengeringan, dicatat sebagai M2 dalam gram.
 - Pengukuran MLSS (mg/L) =
$$\frac{(M2-M1) \times 1.000 \text{ mg}}{20 \text{ mL} \times \frac{1}{1.000 \text{ L}}}$$
- Selain mengukur MLSS, diukur pula pH dan kekeruhan pada bak dan outlet.
- *Submersible mixer*:
 - Melakukan inspeksi alat pengangkat yang berupa rantai dan katrol, pastikan bekerja dengan baik dan bebas dari korosi.

- Melakukan inspeksi dan pembersihan daya dan kabel sirkuit.
- Memeriksa konsumsi daya, di mana konsumsi yang terbilang normal adalah konstan dengan sesekali berfluktuasi.
- Memeriksa *propeller* dan *SD ring* pada mixer dan pastikan tidak terjadi kerusakan.
- Melakukan pengecekan panas, getaran dan suara pada motor.
- *Counterpart submersible mixer* seperti mur, baut, dan resistansi isolasi juga diperiksa secara berkala.
- Media Kaldnes K1:
 - Media harus mencakup 60% dari total volume zona 2 dan 3, bergerak secara bebas ke seluruh ruangan dalam tangki agar memaksimalkan kontak dengan bakteri pada air limbah.
 - Memastikan proses pembentukan biofilm terjadi, yang ditunjukkan oleh adanya lendir pada media.
 - Memastikan media tidak berpindah dari satu zona ke zona lain.
- *Mesh filter* yang terletak pada *rectangular weir* dan pompa *submersible* perlu dibersihkan secara berkala ataupun diganti jika terjadi kerusakan.
- Pompa resirkulasi nitrat:
 - 2 unit pompa bekerja secara otomatis, di mana satu berstatus aktif dan lainnya *idle/standby*.
 - Menghidupkan kemudian matikan pompa untuk memeriksa potensi penyumbatan pada pipa. Segera bersihkan apabila terjadi penyumbatan.
 - Pompa *submersible* dilengkapi dengan pelampung air sebagai radar. Pompa akan bekerja apabila pelampung air berada di ketinggian muka air yang mencukupi dan akan berhenti secara otomatis di saat ketinggian muka air mencapai batas minimum.
- *Disc diffuser*:
 - Proses aerasi harus berjalan setiap waktu dengan level DO berkisar antara 0,5 – 4 ppm.
 - Memastikan aliran udara dan proses *mixing* berlangsung secara seragam di seluruh area tangki. Apabila terdapat daerah pada tangki yang tidak tersuplai udara, maka konfigurasi pipa lateral udara harus diubah.
 - Melakukan pengecekan kondisi *disc diffuser* secara berkala. Apabila ditemukan beberapa diffuser yang rusak, maka secepatnya dilakukan perbaikan ataupun penggantian alat dengan yang baru.
- Blower:
 - Memastikan blower bekerja secara konstan agar dapat menyuplai udara pada setiap waktu.
 - Memastikan tekanan pada *pressure gauge* normal, yakni maksimum berada pada angka 0,55 kPa.
 - Melakukan pengecekan dan pemeliharaan *counterpart* blower seperti mur, baut, sambungan listrik, *impeller*, secara berkala. Panas, getaran, dan suara blower juga perlu diperiksa secara rutin.
 - Melakukan penggantian oli secara berkala.

i. *Clarifier*

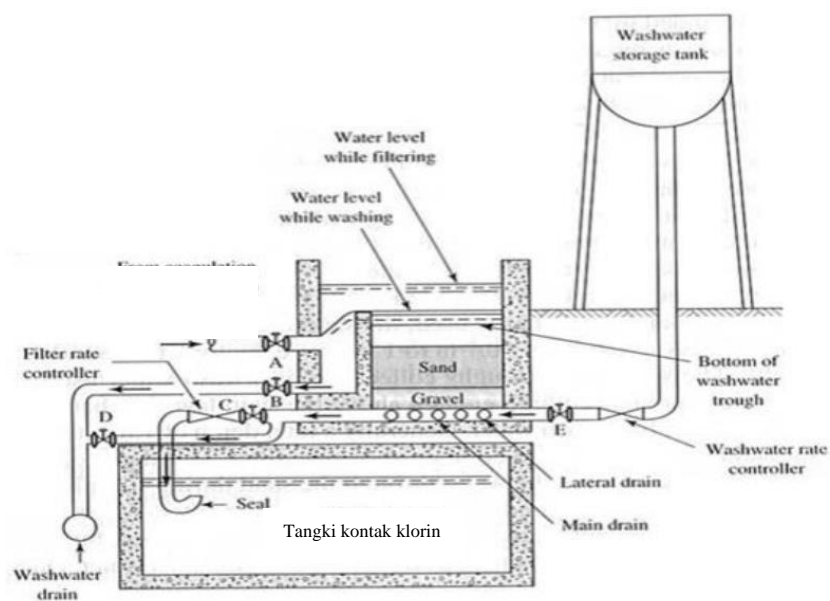
- *Clarifier* berfungsi untuk memisahkan kandungan padatan dari air limbah dengan mengendapkan lumpur aktif dari MBBR. Maka dari itu, kenaikan lumpur ke permukaan *clarifier (rising sludge)* tidak boleh terjadi. Hal ini

dapat menyebabkan lumpur ikut terbawa ke unit pengolahan selanjutnya. Fenomena ini dapat disebabkan oleh beberapa hal: (1) terbentuknya gas nitrogen pada lumpur akibat dari proses denitirifikasi, (2) terjadi *shock load*, (3) DO yang terlalu rendah ($DO < 0,5$ ppm). Masalah ini dapat diatasi dengan cara: (1) meningkatkan frekuensi pemompaan lumpur agar proses denitirifikasi tidak sempat terjadi, (2) mengatur kembali level DO pada MBBR.

- Membersihkan dinding tangki, *scum through*, *v-notch*, *launder* untuk menghilangkan alga dan lendir secara berkala.
- Memastikan pengurasan lumpur menggunakan pompa lumpur berjalan sesuai dengan jadwal. Pastikan pompa lumpur berjalan dengan baik. Jika tidak, segera ditangani.
- *Sludge scraper*:
 - *Scraper* dioperasikan apabila sudah cukup banyak lumpur yang terbentuk di dasar *clarifier*.
 - Memastikan *scraper* dapat menyisihkan semua lumpur yang mengendap pada dasar *clarifier* dan terbuang ke ruang lumpur. *scraper* yang tidak berjalan optimal atau rusak perlu diperbaiki atau diganti.
 - Melakukan pengecekan panas, getaran dan suara pada motor drive.
 - *Counterpart scraper* seperti mur, baut, lengan *scraper*, *scraper blade* juga dicek secara berkala.
 - Melakukan penggantian *oli* secara berkala.

j. *Rapid sand filter*

- Pengoperasian *rapid sand filter* (RSF) memerlukan keterampilan yang mumpuni. Operasional RSF meliputi pengontrolan debit, *backwash*, dan pembersihan bak. Air limbah masuk ke dalam bak inlet, kemudian akan mengalir ke gutter untuk selanjutnya disaring melalui media filter. Air yang terfilter akan memasuki *orifice* pipa lateral, yang kemudian terkumpul pada pipa manifold yang bekerja juga sebagai pipa outlet. **Gambar 4.16** dilampirkan untuk memudahkan penjelasan skema operasional RSF.



Gambar 4.17 Skema operasional RSF

- Proses filtrasi:
 - Membuka *valve* A agar air limbah dari clarifier mengalir dan masuk ke dalam inlet RSF. Secara bersamaan, *valve* B, D, dan E harus berada dalam keadaan tertutup. Pastikan pula *valve* C dalam keadaan terbuka agar efluen dari RSF dapat mengalir ke unit setelahnya, yaitu tangki kontak klorin.
 - Selama proses filtrasi berlangsung, akan terjadi kehilangan tekanan atau *headloss*, yang akan berimbas pada kurang optimalnya proses filtrasi. Besarnya *headloss* akan terbaca pada *pressure gauge*. Lakukan backwash apabila penurunan tekanan melebihi 0,5 kg/cm².
- *Backwash*:
 - Konsentrasi TSS dan turbiditas yang masuk ke dalam RSF tergolong rendah, sehingga *backwash* dilakukan cukup 2 hari sekali.
 - Pada saat proses *backwash*, *valve* A dan C harus dalam keadaan tertutup. *Valve* E dibuka agar aliran air pencuci dapat memasuki bak dan mencuci media filter secara *upflow*. Secara bersamaan, *valve* C dan D harus dibuka agar air kotor hasil *backwash* dapat mengalir ke drainase.
 - Lakukan backwash selama 10 menit.
- Mengganti semua media pasir silika, antrasit, dan kerikil selama 6 bulan sekali.
- Pompa *centrifugal*:
 - i. 2 unit pompa bekerja secara otomatis, di mana satu berstatus aktif dan lainnya *idle/standby*.
 - ii. Menghidupkan kemudian matikan pompa untuk memeriksa potensi penyumbatan pada pipa. Segera bersihkan apabila terjadi penyumbatan.
 - iii. Melakukan pengecekan arus secara berkala dan pastikan tidak melebihi batas maksimal yang disarankan oleh spesifikasi pabrik.

k. Desinfeksi

- Penginjeksian klorin harus berlangsung terus-menerus.
- Memastikan kadar klorin berada pada rentang optimum, yakni 8-16 mg/L.
- Analisis kandungan total *coliform* dan *e.coli* dilakukan secara berkala. Proses produksi pengolahan susu seharusnya tidak menghasilkan maupun mengandung *coliform* dan *e. coli*. Atur kembali dosis klorin apabila ditemukan kandungan *coliform* dan/atau *e. coli* pada outlet tangki.
- Mengukur parameter BOD, COD, TSS, amonia, nitrat, pH, kekeruhan, TDS pada *effluent box* tangki kontak klorin setiap hari, juga parameter rasa, warna, bau, besi, fluorida, kesadahan, mangan, nitrit, sianida, deterjen, dan pestisida total pada air limbah setiap 3-6 bulan sekali untuk keperluan audit.

l. *Sludge holding tank*

- Pengoperasian pemompaan *sludge holding tank* menyesuaikan siklus filter press, yakni sebanyak 4 siklus, dengan setiap siklusnya berlangsung selama 2-3 jam.
- Melakukan pembersihan dinding tangki secara berkala.
- Pengecekan kondisi dan performa pompa secara berkala.

m. *Filter press*

- Mengoperasikan filter press sebanyak 4 siklus per hari (6 jam sekali) dengan durasi *pressing* 30 menit. *Cake* yang terbentuk pada kain filter dikeruk dan dimasukkan ke dalam karung untuk selanjutnya disimpan sebelum selanjutnya dimanfaatkan lebih lanjut. Kebutuhan karung untuk menampung *cake* lumpur dicatat setiap harinya.
- Memastikan kompresor, pompa *feed*, dan pengatur pH beroperasi dengan baik.
- Bagian yang bergerak pada *filter press* harus dilubrikasi secara rutin.
- Setelah pemakaian dengan jangka waktu yang cukup lama, inspeksi kondisi mur, baut, rantai, dan kain filter. Lakukan perbaikan dan/atau penggantian juga dibutuhkan.

4.8 *Bill of Quantity* (BOQ) & Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Selain perencanaan IPAL secara teknis, dihitung pula kebutuhan biaya konstruksi, operasional dan perawatan unit-unit pengolahan air limbah yang akan dibangun. *Bill of Quantity* (BOQ) merupakan perincian dari jumlah pekerjaan dan pengadaan peralatan yang dibutuhkan di dalam perencanaan, sementara Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan biaya dari jumlah pekerjaan dan pengadaan peralatan tersebut. Dikarenakan PT. XYZ sudah melaksanakan pembersihan lapangan ringan dan perataan, maka kegiatan tersebut tidak akan dihitung pada perencanaan ini. Perhitungan BOQ dan RAB mengacu kepada dokmen RAB & Analisa Harga Satuan (AHS) Kabupaten Bogor, dengan perhitungan pekerjaan galian tanah biasa untuk proyek sebagai pengecualian, yang mengacu kepada dokumen Harga Satuan Pokok Kerja (HSPK) Kota Surabaya 2021. Pengecualian ini dilandaskan oleh ketidakadaan item pekerjaan tersebut pada RAB & AHS Kabupaten Bogor.

4.7.1 *Bill of Quantity* (BOQ)

Perhitungan BOQ dibagi menjadi dua: (1) kegiatan konstruksi dan (2) alat dan bahan. Untuk kegiatan konstruksi IPAL mencakup pekerjaan beton, penggalian tanah (bangunan yang berada di atas tanah tentunya tidak memerlukan perhitungan penggalian tanah), dan pengurugan tanah. Berikut adalah contoh perhitungan volume pekerjaan sumur pengumpul:

Diketahui:

Panjang (P) = 1,6 m

Lebar (L) = 1,6 m

Kedalaman bangunan (H) = 3 m

H di bawah tanah (Ht) = 3 m

Tebal beton = 0,3 m

Dihitung:

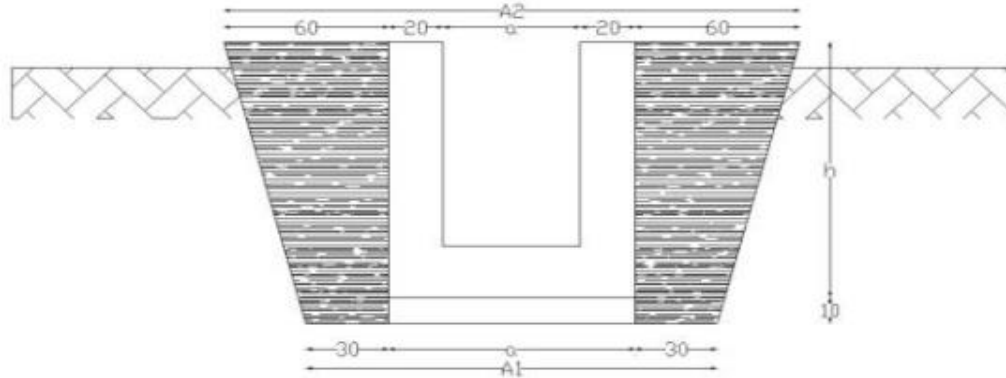
Volume galian = $\frac{1}{2} \times (A1 + A2) \times y \times P$

y = Ht + tebal pasir (0,1 m)

Volume galian = $\left[\frac{1}{2} \times (0,6 + 0,3 + 1,6 + 0,3 + 0,6 + 0,3 + 0,3 + 1,6 + 0,3 + 0,3) \times (3 + 0,1) \times 1,6 \right] \text{ m}^3$

$$= 15,376 \text{ m}^3$$

Perhitungan volume galian di atas mengacu pada **Gambar 4.18**.



Gambar 4.18 Ilustrasi galian

Dinding beton = Keliling \times H \times tebal beton
 $= (1,6 \times 1,6 \times 3 \times 0,3) \text{ m}^3$
 $= 5,76 \text{ m}^3$

Lantai beton = Pdasar \times L \times tebal beton
 $= (1,6 \times 1,6 \times 0,3) \text{ m}^3$
 $= 0,768 \text{ m}^3$

Tutup beton = $(P+2\text{tebal beton}) \times L \times \text{tebal beton}$
 $= [(1,6 + 2(0,3)) \times 1,6 \times 0,3] \text{ m}^3$
 $= 1,056 \text{ m}^3$

Pengurugan tanah = $V_{\text{galian}} - V_{\text{bangunan}}$
 $= [V_{\text{galian}} - ((2\text{tebal beton} + L) \times P \times Ht)] \text{ m}^3$
 $= 15,376 \text{ m}^3 - [(2(0,3) + 1,6) \times 1,6 \times 3] \text{ m}^3$
 $= 4,816 \text{ m}^3$

Vol. total pekerjaan beton = $5,76 \text{ m}^3 + 0,768 \text{ m}^3 + 1,056 \text{ m}^3$
 $= 7,584 \text{ m}^3$

Volume pekerjaan seluruh unit IPAL (tidak termasuk DAF, dikarenakan unit tidak dibangun menggunakan beton melainkan baja dalam bentuk kontainer) dirangkum dalam **Tabel 4.40**

Tabel 4.40 Volume pekerjaan konstruksi IPAL

| Keterangan | Pekerjaan dinding beton (m ³) | Pekerjaan lantai beton (m ³) | Pekerjaan tutup beton (m ³) | Penggalian tanah (m ³) | Pengurugan tanah (m ³) |
|-----------------|---|--|---|------------------------------------|------------------------------------|
| Sumur pengumpul | 5,76 | 0,768 | 1,056 | 15,376 | 4,816 |
| Grease trap | 10,413 | 4,056 | - | - | - |
| Bak ekualisasi | 23,76 | 43,35 | - | 35,383 | 31,727 |

| Keterangan | Pekerjaan dinding beton (m ³) | Pekerjaan lantai beton (m ³) | Pekerjaan tutup beton (m ³) | Penggalian tanah (m ³) | Pengurugan tanah (m ³) |
|----------------------|---|--|---|------------------------------------|------------------------------------|
| MBBR | 45,9 | 22,5 | - | - | - |
| Clarifier (2 unit) | 12,91 | 1,282 | - | 314,34 | 285,96 |
| Rapid sand filter | 6,0 | 2,317 | - | - | - |
| Tangki kontak klorin | 5,3 | 1,05 | - | 27,67 | 21,30 |
| Sludge holding tank | 1,5 | 0,05 | - | 19,84 | 18,32 |
| Total | 111,53 | 75,37 | 1,06 | 412,61 | 362,12 |

Adapun BOQ alat dan bahan dapat dilihat pada **Tabel 4.41**.

Tabel 4.41 BOQ alat dan bahan

| Alat/Bahan | Satuan | Kebutuhan |
|---|----------------|-----------|
| Pipa PVC AW 1" | m | 124 |
| Pipa PVC AW 2½" | m | 16 |
| Pipa PVC AW 3" | m | 44 |
| Pipa PVC AW 4" | m | 16 |
| Pipa PVC AW 5" | m | 84 |
| Manhole Ø 600 mm | pcs | 1 |
| Pompa Ebara Submersibles 80DLA53,7 | pcs | 5 |
| Pompa Ebara Submersibles 100DLA57,5 | pcs | 2 |
| Disc diffuser Ø 30 cm | pcs | 178 |
| Blower Showa Denki SF-75HT | pcs | 2 |
| Static mixer SK-686100 | pcs | 1 |
| Impeller 4 blades | pcs | 6 |
| Kontainer custom 4 m x 2 m | pcs | 1 |
| Air saturator | pcs | 1 |
| DAF skimmer | pcs | 2 |
| Filter press Draco FPA AL 120/50 | pcs | 2 |
| Media Kaldnes K1 | liter | 65.600 |
| Submersible mixer Tsurumi MR21NF750 | pcs | 1 |
| Filter mesh stainless steel | m ² | 10 |
| Tangki air Penguin seri TB 32 | pcs | 4 |
| Tangki air Penguin seri TB 80 | pcs | 2 |
| Tangki air Penguin seri TB 220 | pcs | 3 |
| Pompa Hitachi DT-PS300GX | pcs | 1 |
| Elbow Ø 1" | pcs | 17 |
| Elbow Ø 3" | pcs | 7 |
| Elbow Ø 4" | pcs | 4 |
| Elbow Ø 5" | pcs | 25 |
| Tee Ø 1" | pcs | 2 |
| Tee Ø 3" | pcs | 2 |
| Tee Ø 5" | pcs | 6 |
| Increaser 5" x 4" | pcs | 1 |
| Increaser 4" x 3" | pcs | 1 |
| Selang silikon untuk pipa dosing Ø 2 mm | m | 15 |
| Selang silikon untuk pipa dosing Ø 6 mm | m | 8 |

4.7.1 Analisis Harga Satuan Pekerjaan

Pada perencanaan ini, kategori pekerjaan dibagi menjadi 3: (1) pekerjaan tanah, (2) pekerjaan beton, dan (3) pekerjaan pemasangan pipa. Pekerjaan tanah terdiri dari penggalian tanah biasa untuk konstruksi dan pengurugan tanah kembali. Pekerjaan beton mencakup pekerjaan dinding beton (150 kg besi + bekisting), pekerjaan plat lantai beton (115 kg besi + bekisting), dan pekerjaan tutup beton (100 kg besi polos/ulir + bekisting), di mana seluruh pekerjaan menggunakan beton K-300 dengan *waterproofing* integral menggunakan AM-100. Sedangkan untuk pekerjaan pipa dibagi berdasarkan ukuran pipa, yakni pemasangan pipa PVC AW 1", 2 ½", 3", 4", dan 4". Berikut adalah rincian dari masing-masing pekerjaan yang dapat dilihat pada **Tabel 4.42** sampai dengan **Tabel 4.43**.

Tabel 4.42 Galian tanah biasa untuk konstruksi (m³)

| Pekerja | Satuan | Koefisien | Harga Satuan |
|---------|--------|-----------|--------------|
| Pekerja | oh* | 0,7500 | Rp67.000,00 |
| Mandor | oh | 0,0250 | Rp85.000,00 |

*oh = orang hari

Tabel 4.43 Urugan tanah kembali (m³)

| Pekerja | Satuan | Koefisien | Harga Satuan |
|---------|--------|-----------|--------------|
| Pekerja | oh | 0,1920 | Rp67.000,00 |
| Mandor | oh | 0,0190 | Rp85.000,00 |

Tabel 4.44 Membuat beton cor mutu K-300

| Bahan/Pekerja | Satuan | Koefisien | Harga Satuan |
|----------------|----------------|-----------|--------------|
| Semen portland | kg | 413,0000 | Rp 1.540 |
| Pasir beton | m ³ | 0,4256 | Rp 264.140 |
| Koral beton | m ³ | 0,6807 | Rp 218.260 |
| Pekerja | oh | 1,6500 | Rp 67.000 |
| Tukang batu | oh | 0,2750 | Rp 70.000 |
| Kepala tukang | oh | 0,0280 | Rp 80.000 |
| Mandor | oh | 0,0830 | Rp 85.000 |

Tabel 4.45 Membuat beton kedap air dengan AM-100

| Bahan/Pekerja | Satuan | Koefisien | Harga Satuan |
|----------------|----------------|-----------|--------------|
| Semen Portland | kg | 400,0000 | Rp 1.540 |
| Pasir Beton | m ³ | 0,4800 | Rp 264.140 |
| Koral Beton | m ³ | 0,8000 | Rp 218.260 |
| AM - 100 | liter | 1,2000 | Rp 41.500 |
| Pekerja | oh | 2,0000 | Rp 67.000 |
| Tukang Batu | oh | 0,3500 | Rp 70.000 |
| Kepala Tukang | oh | 0,0350 | Rp 80.000 |
| Mandor | oh | 1,0000 | Rp 85.000 |

Guna mengetahui analisis harga satuan untuk pembuatan beton K-300 dengan penambahan waterproof AM-100, maka dilakukan *merging* (penggabungan) antara **Tabel 4.44** dan **Tabel**

4.45, dengan koefisien terbesar pada masing-masing pekerjaan yang sama menjadi pilihan. Hasil penggabungan dapat dilihat pada **Tabel 4.46**.

Tabel 4.46 Membuat beton mutu K-300 + *waterproofing* dengan AM-100 (m³)

| Bahan/Pekerja | Satuan | Koefisien | Harga Satuan |
|----------------|----------------|-----------|--------------|
| Semen Portland | kg | 413,000 | Rp 1.540 |
| Pasir beton | m ³ | 0,480 | Rp 264.140 |
| Koral beton | m ³ | 0,800 | Rp 218.260 |
| AM-100 | liter | 1,200 | Rp 41.500 |
| Pekerja | oh | 2,000 | Rp 67.000 |
| Tukang batu | oh | 0,350 | Rp 80.000 |
| Kepala tukang | oh | 0,035 | Rp 80.000 |
| Mandor | oh | 1,000 | Rp 85.000 |

Kemudian dilanjutkan dengan analisis pekerjaan lainnya.

Tabel 4.47 Pekerjaan dinding beton bertulang

| Bahan/Pekerja | Satuan | Koefisien | Harga Satuan |
|---|----------------|-----------|--------------|
| Membuat Beton Cor Mutu K300 + <i>Waterproofing</i> dengan AM-100 (m³) | | | |
| Semen Portland | kg | 413,000 | Rp 1.540 |
| Pasir beton | m ³ | 0,480 | Rp 264.140 |
| Koral beton | m ³ | 0,800 | Rp 218.260 |
| AM-100 | liter | 1,200 | Rp 41.500 |
| Pekerja | oh | 2,000 | Rp 67.000 |
| Tukang batu | oh | 0,350 | Rp 80.000 |
| Kepala tukang | oh | 0,035 | Rp 80.000 |
| Mandor | oh | 1,000 | Rp 85.000 |
| Dinding Beton Tulang (150 kg besi+bekisting) (m³) | | | |
| Kayu terentang | m ³ | 0,240 | Rp 2.950.000 |
| Paku biasa 2" - 5" | kg | 3,200 | Rp 24.000 |
| Minyak bekisting | liter | 1,600 | Rp 45.000 |
| Besi beton polos | kg | 150,000 | Rp 16.500 |
| Kawat beton | kg | 2,250 | Rp 30.500 |
| Semen Portland | kg | 323,000 | Rp 1.540 |
| Pasir beton | m ³ | 0,520 | Rp 264.140 |
| Koral beton | m ³ | 0,780 | Rp 218.260 |
| Kayu balok terentang | m ³ | 0,160 | Rp 2.705.000 |
| Multiplek 9 mm 120 x 240 | lembar | 2,800 | Rp 166.500 |
| Dolken Ø 8 cm / 4m | batang | 24,000 | Rp 30.800 |
| Pekerja | oh | 5,600 | Rp 67.000 |
| Tukang batu | oh | 0,350 | Rp 70.000 |
| Tukang kayu | oh | 2,640 | Rp 70.000 |
| Tukang besi | oh | 1,050 | Rp 70.000 |
| Kepala tukang | oh | 0,400 | Rp 80.000 |
| Mandor | oh | 0,193 | Rp 85.000 |

Tabel 4.48 Pekerjaan plat lantai beton

| Bahan/Pekerja | Satuan | Koefisien | Harga Satuan |
|---|----------------|-----------|--------------|
| Membuat Beton Cor Mutu K-300 + Waterproofing dengan AM-100 (m³) | | | |
| Semen Portland | kg | 413,000 | Rp 1.540 |
| Pasir beton | m ³ | 0,480 | Rp 264.140 |
| Koral beton | m ³ | 0,800 | Rp 218.260 |
| AM-100 | liter | 1,200 | Rp 41.500 |
| Pekerja | oh | 2,000 | Rp 67.000 |
| Tukang batu | oh | 0,350 | Rp 80.000 |
| Kepala tukang | oh | 0,035 | Rp 80.000 |
| Mandor | oh | 1,000 | Rp 85.000 |
| Pasangan Bekisting untuk Lantai (m²) | | | |
| Kayu terentang | m ³ | 0,0400 | Rp 2.950.000 |
| Paku biasa 2"-5" | kg | 0,4000 | Rp 24.000 |
| Minyak bekisting | ltr | 0,2000 | Rp 45.000 |
| Kayu balok terentang | m ³ | 0,0150 | Rp 2.705.000 |
| Multiplex 9 mm 120 x 240 | lembar | 0,3500 | Rp 166.500 |
| Dolken Kayu Galam Ø 8 cm / 4m | batang | 6,0000 | Rp 30.800 |
| Pekerja | oh | 0,3000 | Rp 67.000 |
| Tukang kayu | oh | 0,3300 | Rp 70.000 |
| Kepala tukang | oh | 0,0330 | Rp 80.000 |
| Mandor | oh | 0,0060 | Rp 85.000 |
| Plat Lantai Beton Bertulang (115 kg besi+bekisting) (m³) | | | |
| Beton bertulang ad. 1Pc : 2 Ps : 3 Kr | m ³ | 1,0000 | Rp 1.083.160 |
| Pasang Bekisting untuk lantai | m ² | 6,6700 | Rp 466.600 |
| Besi Beton Polos | kg | 115,0000 | Rp 18.820 |

Tabel 4.49 Pekerjaan tutup beton

| Bahan/Pekerja | Satuan | Koefisien | Harga Satuan |
|---|----------------|-----------|--------------|
| Membuat Beton Cor Mutu K-300 + Waterproofing dengan AM-100 (m³) | | | |
| Semen Portland | kg | 413,000 | Rp 1.540 |
| Pasir beton | m ³ | 0,480 | Rp 264.140 |
| Koral beton | m ³ | 0,800 | Rp 218.260 |
| AM-100 | liter | 1,200 | Rp 41.500 |
| Pekerja | oh | 2,000 | Rp 67.000 |
| Tukang batu | oh | 0,350 | Rp 80.000 |
| Kepala tukang | oh | 0,035 | Rp 80.000 |
| Mandor | oh | 1,000 | Rp 85.000 |
| Pembesian Dengan Besi Polos atau Besi Ulir (kg) | | | |
| Besi beton (polos/ ulir) | kg | 1,0500 | Rp 16.500 |
| Kawat beton | kg | 0,0150 | Rp 30.500 |
| Pekerja | oh | 0,0070 | Rp 67.000 |
| Tukang besi | oh | 0,0070 | Rp 70.000 |
| Kepala tukang | oh | 0,0007 | Rp 80.000 |
| Mandor | oh | 0,0003 | Rp 85.000 |

| Bahan/Pekerja | Satuan | Koefisien | Harga Satuan |
|--|----------------|-----------|--------------|
| Pasangan Bekisting untuk Lantai (m²) | | | |
| Kayu Terentang | m ³ | 0,0400 | Rp 2.950.000 |
| Paku Biasa 2" - 5" | kg | 0,4000 | Rp 24.000 |
| Minyak Bekisting | ltr | 0,2000 | Rp 45.000 |
| Kayu balok terentang | m ³ | 0,0150 | Rp 2.705.000 |
| Multiplek 9 mm 120 x 240 | lembar | 0,3500 | Rp 166.500 |
| Dolken Kayu Galam Ø-8 Cm / 4m | batang | 6,0000 | Rp 30.800 |
| Pekerja | oh | 0,3000 | Rp 67.000 |
| Tukang Kayu | oh | 0,3300 | Rp 70.000 |
| Kepala Tukang | oh | 0,0330 | Rp 80.000 |
| Mandor | oh | 0,0060 | Rp 85.000 |

Tabel 4.50 Pekerjaan pemasangan pipa

| Bahan/Pekerja | Satuan | Koefisien | Harga Satuan* |
|------------------------------------|--------|-----------|---------------|
| Pipa PVC Tipe AW Ø 1" (m) | | | |
| Pipa PVC | m | 1,2000 | Rp 13.125 |
| Pekerja | oh | 0,0810 | Rp 5.427 |
| Tukang batu | oh | 0,1350 | Rp 9.450 |
| Kepala tukang | oh | 0,0135 | Rp 1.080 |
| Mandor | oh | 0,0041 | Rp 349 |
| Perlengkapan 35% | ls | 0,3500 | Rp 37.800 |
| Pipa PVC Tipe AW Ø 2 ½" (m) | | | |
| Pipa PVC | m | 1,2000 | Rp 42.025 |
| Pekerja | oh | 0,0810 | Rp 5.427 |
| Tukang batu | oh | 0,1350 | Rp 9.450 |
| Kepala tukang | oh | 0,0135 | Rp 1.080 |
| Mandor | oh | 0,0041 | Rp 349 |
| Perlengkapan 35% | ls | 0,3500 | Rp 37.800 |
| Pipa PVC Tipe AW Ø 3" (m) | | | |
| Pipa PVC | m | 1,2000 | Rp 59.200 |
| Pekerja | oh | 0,0810 | Rp 5.427 |
| Tukang batu | oh | 0,1350 | Rp 9.450 |
| Kepala tukang | oh | 0,0135 | Rp 1.080 |
| Mandor | oh | 0,0041 | Rp 349 |
| Perlengkapan 35% | ls | 0,3500 | Rp 37.800 |
| Pipa PVC Tipe AW 4" (m) | | | |
| Pipa PVC | m | 1,2000 | Rp 98.075 |
| Pekerja | oh | 0,0810 | Rp 5.427 |
| Tukang batu | oh | 0,1350 | Rp 9.450 |
| Kepala tukang | oh | 0,0135 | Rp 1.080 |
| Mandor | oh | 0,0041 | Rp 349 |
| Perlengkapan 35% | ls | 0,3500 | Rp 37.800 |
| Pipa PVC Tipe AW Ø 5" (m) | | | |
| Pipa PVC | m | 1,2000 | Rp 155.350 |
| Pekerja | oh | 0,0810 | Rp 5.427 |

| Bahan/Pekerja | Satuan | Koefisien | Harga Satuan* |
|------------------|--------|-----------|---------------|
| Tukang batu | oh | 0,1350 | Rp 9.450 |
| Kepala tukang | oh | 0,0135 | Rp 1.080 |
| Mandor | oh | 0,0041 | Rp 349 |
| Perlengkapan 35% | ls | 0,3500 | Rp 37.800 |

*Menyesuaikan harga pasaran terbaru

4.7.2 Rencana Anggaran Biaya

Perhitungan RAB dilakukan dengan mengalikan masing-masing item pekerjaan dengan koefisien dan harga per item yang terdaftar pada AHS Kabupaten Bogor. Berikut adalah contoh perhitungan penggalan tanah biasa untuk konstruksi:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan pekerja} &= \text{volume pekerjaan} \times \text{koefisien} \\ &= 412,61 \text{ m}^3 \times 0,75 \\ &= 309,46 \text{ oh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Upah pekerja} &= \text{kebutuhan pekerja} \times \text{harga satuan} \\ &= 309,46 \text{ oh} \times \text{Rp}67.000 \\ &= \text{Rp}20.773.477 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan mandor} &= \text{volume pekerjaan} \times \text{koefisien} \\ &= 412,61 \text{ m}^3 \times 0,0735 \\ &= 30,327 \text{ orang hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Upah mandor} &= \text{kebutuhan mandor} \times \text{harga satuan} \\ &= 30,327 \text{ oh} \times \text{Rp}85.000 \\ &= \text{Rp}2.577.759 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total biaya kegiatan} &= \text{Rp}20.773.477 + \text{Rp}2.577.759 \\ &= \text{Rp}23.311.236 \end{aligned}$$

Perhitungan dilanjutkan untuk kegiatan lainnya dengan cara yang sama. Rencana anggaran biaya IPAL direkapitulasi pada **Tabel 4.51**.

Tabel 4.51 RAB konstruksi dan alat & bahan

| No. | Uraian Pekerjaan | Satuan | Kebutuhan | Total Biaya |
|--|---|----------------|-----------|----------------|
| Pekerjaan Tanah | | | | |
| 1. | Penggalan tanah biasa untuk konstruksi | m ³ | 412,61 | Rp 23.311.236 |
| 2. | Pengurugan tanah kembali | m ³ | 362,12 | Rp 10.486.168 |
| Pekerjaan Beton (K-300 + Waterproofing dengan AM-100) | | | | |
| 1. | Pekerjaan dinding beton (150 kg besi + bekisting) | m ³ | 111,53 | Rp 797.631.541 |
| 2. | Pekerjaan plat lantai beton (115 kg besi + bekisting) | m ³ | 75,37 | Rp 652.309.757 |
| 3. | Pekerjaan tutup beton | m ³ | 1,06 | Rp 13.554.723 |

| No. | Uraian Pekerjaan | Satuan | Kebutuhan | Total Biaya |
|-----------------------------------|---|----------------|-----------|-------------------------|
| Pemasangan Pipa | | | | |
| 1. | Pemasangan pipa PVC AW 1" | m | 124 | Rp 3.808.207 |
| 2. | Pemasangan pipa PVC AW 2½" | m | 16 | Rp 1.046.262 |
| 3. | Pemasangan pipa PVC AW 3" | | 44 | Rp 3.784.059 |
| 4. | Pemasangan pipa PVC AW 4" | m | 16 | Rp 2.122.422 |
| 5. | Pemasangan pipa PVC AW 5" | m | 84 | Rp 16.916.033 |
| Kebutuhan Alat & Bahan | | | | |
| 1. | Manhole Ø 600 mm | pcs | 1 | Rp 1.550.000 |
| 2. | Pompa Ebara Submersibles 80DLA53,7 | pcs | 5 | Rp 155.000.000 |
| 3. | Pompa Ebara Submersibles 100DLC57,5 | pcs | 2 | Rp 109.890.000 |
| 4. | Disc diffuser Ø 30 cm | pcs | 178 | Rp 13.340.723 |
| 5. | Blower Showa Denki SF-75HT | pcs | 2 | Rp 22.620.000 |
| 6. | Impeller 4 blades | pcs | 10 | Rp 85.000.000 |
| 7. | Kontainer custom 4 m x 2 m | pcs | 1 | Rp 14.000.000 |
| 8. | Air saturator | pcs | 1 | Rp 8.687.000 |
| 9. | DAF skimmer | pcs | 2 | Rp 240.000.000 |
| 10. | Static mixer SK686100 | pcs | 1 | Rp 7.400.00 |
| 11. | Submersible mixer Tsurumi model MR21NF750 | pcs | 1 | Rp 45.000.000 |
| 12. | Media Kaldnes K1 | liter | 65.600 | Rp 1.168.500.000 |
| 13. | Filter mesh stainless steel | m ² | 10 | Rp 850.000 |
| 14. | Tangki air Penguin seri TB 32 | pcs | 4 | Rp 2.560.000 |
| 15. | Tangki air Penguin seri TB 80 | pcs | 2 | Rp 2.740.000 |
| 16. | Tangki air Penguin seri TB 220 | pcs | 3 | Rp 19.250.000 |
| 17. | Pompa Hitachi DT-PS300GX | pcs | 1 | Rp 6.200.000 |
| 18. | Filter press Draco FPA AL 120/50 | pcs | 2 | Rp 150.000.000 |
| 19. | Elbow Ø 1" | pcs | 17 | Rp 93.500 |
| 20. | Elbow Ø 3" | pcs | 7 | Rp 493.500 |
| 21. | Elbow Ø 4" | pcs | 4 | Rp 700.000 |
| 22. | Elbow Ø 5" | pcs | 25 | Rp 6.875.000 |
| 23. | Tee Ø 1" | pcs | 2 | Rp 14.000 |
| 24. | Tee Ø 3" | pcs | 2 | Rp 128.000 |
| 25. | Tee Ø 5" | pcs | 6 | Rp 1.164.000 |
| 26. | Increaser 5" x 4" | pcs | 1 | Rp 44.000 |
| 27. | Increaser 4" x 3" | pcs | 1 | Rp 19.500 |
| 28. | Selang silikon Ø 2 mm (<i>dosing</i>) | m | 15 | Rp 245.000 |
| 29. | Selang silikon Ø 6 mm (<i>dosing</i>) | m | 8 | Rp 480.000 |
| Grand Total | | | | Rp 3.546.434.630 |

Selain perhitungan biaya konstruksi dan kebutuhan alat dan bahan, diperlukan pula perhitungan biaya operasional yang mencakup konsumsi listrik, bahan kimia, media filter, dan upah operator. Perincian biaya konsumsi listrik dapat dilihat pada **Tabel 4.52**.

Tabel 4.52 Konsumsi listrik oleh peralatan

| Alat | Jumlah | Daya (kW) | Jumlah Daya (kW) | Durasi operasi (jam/hari) | kWh/hari |
|--|--------|-----------|------------------|---------------------------|---------------|
| Pompa Ebara Submersibles 80DLA53,7 | 3* | 3,7 | 11,1 | 24 | 266,4 |
| Pompa Ebara Submersibles 80DLA53,7 (pompa SHT) | 1 | 3,7 | 3,7 | 12 | 44,4 |
| Pompa Ebara Submersibles 100DLC57,5 | 1 | 7,5 | 7,5 | 24 | 180 |
| DAF (kompresor, pompa, <i>skimmer</i>) | 1 | 8 | 8 | 24 | 192 |
| Pompa Hitachi DT-PS300GX | 1 | 0,3 | 0,3 | 24 | 7,2 |
| Blower Showa Denki SF-75HT | 2 | 0,25 | 0,5 | 24 | 12 |
| <i>Submersible</i> mixer Tsurumi MR21NF750 | 1 | 0,75 | 0,75 | 24 | 9,6 |
| Impeller 4 blades | 6 | 0,375** | 3,75 | 24 | 54 |
| Filter press Draco FPA AL 120/50 | 2 | 4 | 8 | 12 | 96 |
| Jumlah | | | | | 861,60 |

* Jumlah yang beroperasi

** Menyesuaikan spesifikasi *supplier*

Perhitungan pemakaian listrik selama setahun dihitung sebagaimana berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Tarif listrik industri} &= \text{Rp}1.444.70/\text{kWh} \\
 \text{Biaya listrik harian} &= 861,60 \text{ kWh} \times \text{Rp}1.444,70/\text{kWh} \\
 &= \text{Rp}1.206.843,12 \\
 \text{Biaya listrik bulanan} &= \text{Rp}1.206.843,12 \times 30 \text{ hari} \\
 &= \text{Rp}36.205.293,60 \\
 \text{Biaya listrik tahunan} &= \text{Rp}36.205.293,60 \times 12 \text{ bulan} \\
 &= \text{Rp}434.463.523,20 \approx \mathbf{\text{Rp}434.463.524}
 \end{aligned}$$

Adapun perhitungan kebutuhan bahan kimia adalah sebagai berikut:

a. NaOH *flake*

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan harian} &= 1,1 \text{ kg} \\
 \text{Kebutuhan bulanan} &= 1,1 \times 30 \text{ hari/bulan} \\
 &= 33 \text{ kg} \\
 \text{Kebutuhan tahunan} &= 33 \text{ kg} \times 12 \text{ bulan/tahun} \\
 &= 396 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

b. PAC

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan harian} &= 20,85 \text{ kg} \\
 \text{Kebutuhan bulanan} &= 20,85 \text{ kg} \times 30 \text{ hari/bulan} \\
 &= 626 \text{ kg} \\
 \text{Kebutuhan tahunan} &= 626 \text{ kg} \times 12 \text{ bulan/tahun} \\
 &= 7.506 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Polimer anionik

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan per shift} &= 20,6 \text{ kg} \\
\text{Kebutuhan harian} &= 20,6 \text{ kg} \times 3 \text{ shift/hari} \\
&= 61,8 \text{ kg} \\
\text{Kebutuhan bulanan} &= 61,8 \text{ kg} \times 30 \text{ hari/bulan} \\
&= 1.854 \text{ kg} \\
\text{Kebutuhan tahunan} &= 1.854 \text{ kg} \times 12 \text{ bulan/tahun} \\
&= 22.248 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan bahan kimia di atas kemudian dikalikan dengan harga bahan kimia. Perlu diperhatikan bahwa bahan kimia dijual dalam zak, sehingga kebutuhan per kg perlu dibagi dengan kuantitas per zak-nya. Berikut adalah langkah perhitungan biaya kebutuhan bahan kimia, dengan contoh NaOH *flakes*:

$$\begin{aligned}
\text{Kebutuhan tahunan NaOH flakes} &= 396 \text{ kg} \\
\text{Ukuran zak NaOH flakes} &= 25 \text{ kg} \\
\text{Harga 1 zak NaOH flakes} &= \text{Rp}535.000 \\
\text{Biaya tahunan NaOH flakes} &= \frac{396 \text{ kg}}{25 \text{ kg}} \times \text{Rp}535.000 \\
&= \text{Rp}8.474.400
\end{aligned}$$

Biaya tahunan untuk kebutuhan bahan kimia dirangkum pada **Tabel 4.53**.

Tabel 4.53 Biaya tahunan untuk kebutuhan bahan kimia

| Bahan Kimia | Kebutuhan Tahunan (kg) | Ukuran zak (kg) | Harga per zak | Biaya Tahunan |
|--------------------|------------------------|-----------------|---------------|-------------------------|
| NaOH <i>flakes</i> | 396 | 25 | Rp 535.000 | Rp 8.474.400 |
| PAC | 7.506 | 25 | Rp 470.000 | Rp 141.112.800 |
| Polimer anionik | 22.248 | 10 | Rp 875.000 | Rp 1.946.700.000 |
| Jumlah | | | | Rp 2.096.287.200 |

Selanjutnya, untuk perhitungan media filter yaitu pasir silika, antrasit, dan kerikil, adalah penting untuk mengetahui frekuensi penggantian media. Pada perencanaan ini, frekuensi media filter dilakukan setiap 6 bulan sekali. Perhitungan kebutuhan media filter adalah sebagai berikut:

a. Pasir silika

$$\begin{aligned}
\text{Volume pasir} &= 2 \times P_{\text{pasir}} \times L_{\text{pasir}} \times H_{\text{pasir}} \\
&= 2 \times 3,2 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \\
&= 3,072 \text{ m}^3 \\
&\approx 3,1 \text{ m}^3 \\
\text{Densitas pasir silika} &= 2.650 \text{ kg/m}^3 \\
\text{Massa pasir} &= 2.650 \text{ kg/m}^3 \times 3,1 \text{ m}^3 \\
&= 8.215 \text{ kg}
\end{aligned}$$

b. Antrasit

$$\begin{aligned}
\text{Volume antrasit} &= 2 \times P_{\text{antrasit}} \times L_{\text{antrasit}} \times H_{\text{antrasit}} \\
&= 2 \times 3,2 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,072 \text{ m}^3 \\
 &\approx 3,1 \text{ m}^3 \\
 \text{Densitas antrasit} &= 1.500 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Massa antrasit} &= 1.500 \text{ kg/m}^3 \times 3,1 \text{ m}^3 \\
 &= 4.650 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

c. Kerikil

$$\begin{aligned}
 \text{Volume kerikil} &= 2 \times P_{\text{kerikil}} \times L_{\text{kerikil}} \times H_{\text{kerikil}} \\
 &= 2 \times 3,2 \text{ m} \times 1,6 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \\
 &= 3,072 \text{ m}^3 \\
 &\approx 3,1 \text{ m}^3 \\
 \text{Densitas kerikil} &= 1.680 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Massa kerikil} &= 1.680 \text{ kg/m}^3 \times 3,1 \text{ m}^3 \\
 &= 5.208 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Biaya operasional media filter dicantumkan pada **Tabel 4.54**

Tabel 4.54 Biaya media filter dalam satu periode pemakaian

| Media | Kebutuhan per 6 bulan (kg) | Ukuran zak (kg) | Harga per zak | Total Biaya per 6 Bulan |
|---------------|----------------------------|-----------------|---------------|-------------------------|
| Pasir silika | 8.215 | 50 | Rp 136.500 | Rp 22.426.950 |
| Antrasit | 4.650 | 25 | Rp 375.000 | Rp 69.750.000 |
| Kerikil | 5.208 | 20 | Rp 23.000 | Rp 5.989.200 |
| Jumlah | | | | Rp 98.166.150 |

Telah diketahui bahwa periode penggantian filter dilakukan selama 6 bulan, maka kebutuhan biaya untuk setiap tahunnya:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya per 6 bulan} &= \text{Rp}98.166.150 \\
 \text{Periode penggantian selama 1 tahun} &= 2 \text{ kali} \\
 \text{Total biaya selama 1 tahun} &= \text{Rp}98.166.150 \times 2 \\
 &= \text{Rp}196.332.300
 \end{aligned}$$

Adapun untuk perhitungan upah operator dirinci sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah operator/shift} &= 3 \text{ orang/shift} \\
 \text{Jumlah shift} &= 3 \text{ shift} \\
 \text{Jumlah total operator} &= 3 \text{ orang/shift} \times 3 \text{ shift} \\
 &= 9 \text{ orang} \\
 \text{UMK Kab. Bogor 2022} &= \text{Rp}4.217.206,00
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total upah per tahun} &= \text{Rp}4.217.206,00 \times 9 \text{ orang} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \mathbf{\text{Rp}455.458.248,00} \end{aligned}$$

Keseluruhan biaya operasional dan pemeliharaan (*operational & maintenance*, disingkat menjadi O&M) IPAL dirangkum pada **Tabel 4.55**.

Tabel 4.55 Total biaya operasional dan pemeliharaan IPAL dalam satu tahun

| Jenis O&M | Biaya | |
|-------------------|-----------|----------------------|
| Pemakaian listrik | Rp | 434.463.524 |
| Bahan kimia | Rp | 2.096.287.200 |
| Media filter | Rp | 196.332.300 |
| Upah operator | Rp | 455.458.248 |
| Total | Rp | 3.182.541.272 |

Dari rekapitulasi biaya di atas, didapatkan biaya O&M/m³ air limbah sebesar:

$$\text{Rp}3.182.541.272 / (1.500 \text{ m}^3/\text{hari} \times 365 \text{ hari}) = \text{Rp}5.812,86/\text{m}^3 \text{ air limbah}$$

$$\approx \mathbf{\text{Rp}6.000,00/\text{m}^3 \text{ air limbah}}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5 KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan IPAL baru, diperoleh bangunan pengolahan air limbah yang terdiri dari 1 unit sumur pengumpul (1,6 m × 1,6 m × 3 m), 1 unit *grease trap* (5,2 m × 2,6 m × 1,95 m), 1 unit bak ekualisasi berbentuk prisma segi lima sembarang (1,2 m × 15 m × 6,5 m × 11,5 × 5 m), 1 unit *dissolved air flotation* (4,8 m × 2 m × 2,2 m) dengan *chemical aid*, 1 unit *moving bed biofilm bioreactor* (15,5 m × 5 m × 4,5 m), 2 unit *clarifier* (Ø 6,5 m × 6,5 m), 1 unit *sludge holding tank* (4 m × 2 m × 6,5 m), dan 2 unit *filter press* (5,71 m × 1,935 m × 1,79 m). Efluen dari *clarifier* kemudian diolah menggunakan 2 unit *rapid sand filter* (3,2 m × 1,6 m × 1,8 m) dan 1 unit tangki kontak klorin (5,5 m × 2,3 m × 2,1 m), sebelum didaur ulang untuk kegiatan flushing toilet dan kegiatan MCK.
2. Kegiatan pembangunan IPAL membutuhkan biaya sebesar Rp3.546.434.630, sedangkan kegiatan operasional per tahunnya membutuhkan biaya sebesar Rp3.182.541.272.
3. SOP IPAL terdiri dari pemeliharaan dan perbaikan pipa, pembersihan *bar screen*, pengambilan sampel inlet dan pembersihan pada sumur pengumpul, pengurasan minyak dan lemak *grease trap*, pemeliharaan alat-alat pada bak ekualisasi, pencatatan ketersediaan dan jadwal pelarutan bahan kimia, pemeliharaan alat-alat DAF, pengukuran MLSS, pH, dan kekeruhan pada MBBR, pencegahan dan penindaklanjutan apabila terjadi pengapungan lumpur pada *clarifier*, pengoperasian filtrasi, *backwash*, dan penggantian media *rapid sand filter*, pembubuhan kontinyu klorin sesuai dosis optimum, pembersihan berkala *sludge holding tank*, serta pengoperasian *filter press* yang dijadwalkan 4 siklus dalam sehari.

5.2 Saran

1. Untuk melengkapi parameter wajib yang diatur oleh Permenkes 32/2017 yang belum tercantum pada perencanaan ini, diperlukan analisis parameter TDS, rasa, warna, bau, besi, fluorida, kesadahan, mangan, nitrit, sianida, deterjen, dan pestisida total pada air limbah.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan lumpur PT. XYZ sesuai dengan karakteristiknya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

REFERENSI

- Andreoli, C. V., Von Sperling, M., & Fernandes, F. (2007). *Sludge treatment and disposal*. London. IWA publ.
- Andreottola, G., Foladori, P., Ragazzi, M., & Villa, R. (2002). Dairy wastewater treatment in a moving bed biofilm reactor. *Water Science and Technology*, 45(12), 321–328. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0441>
- Bae, T.-H., Han, S.-S., & Tak, T.-M. (2003). Membrane sequencing batch reactor system for the treatment of dairy industry wastewater. *Process Biochemistry*, 39(2), 221–231. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(03\)00063-3](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(03)00063-3)
- Balanec, B., Gésan-Guiziou, G., Chaufer, B., Rabiller-Baudry, M., & Daufin, G. (2002). Treatment of dairy process waters by membrane operations for water reuse and milk constituents concentration. *Desalination*, 147(1–3), 89–94. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00581-7](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00581-7)
- Bengston, H. H. (2017). *Biological Wastewater Treatment Process Design Calculations*. Illinois. Southern Illinois University Edwardsville.
- Beychok, M. R. (1967). *Aqueous wastes from petroleum and petrochemical plants* (1st Edition). London - Newyork - Sydney. John Wiley & Sons.
- Darmasetiawan, M. (2004). *TEORI DAN PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR*. Jakarta. Ekamitra Engineering.
- Dewiandratika, M. (2007). *PERANCANGAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI P.T. Z SUBANG* [S1-Tugas Akhir, Institut Teknologi Bandung]. Bandung. <https://digilib.itb.ac.id/index.php/gdl/view/16387>
- Dodds, W. K., & Whiles, M. R. (2020). *Freshwater ecology: Concepts and environmental applications of limnology* (Third edition). London San Diego Cambridge, MA Kidlington, Oxford. Elsevier, Academic Press.

- Douphrate, D. I., Hagevoort, G. R., Nonnenmann, M. W., Lunner Kolstrup, C., Reynolds, S. J., Jakob, M., & Kinsel, M. (2013). The Dairy Industry: A Brief Description of Production Practices, Trends, and Farm Characteristics Around the World. *Journal of Agromedicine*, 18(3), 187–197. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2013.796901>
- Eckenfelder, W. W. (2006). Wastewater Treatment. In John Wiley & Sons, Inc. (Ed.), *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology* (p. 19052301.a01.pub2). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471238961.19052301.a01.pub2>
- Edzwald, J. K. (2010). Dissolved air flotation and me. *Water Research*, 44(7), 2077–2106. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.12.040>
- EHS. (2014). *Small Wastewater Flow Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)—The EHS SMART-Treat Onsite Moving Media Treatment System—Owner/Operator Start-Up, Operation and Maintenance Manual*.
- Falvey, L., Chantalakana, C., Schelhaas, H., Leeuw, P. D., Boer, J. D., Vercoe, J., V.K. Taneja, Professor V.D. Mudgal, S.K. Ranjhan, E. Zerbini, Alemu Gebre Wold, I. Made Nitis, Humphreys, R., Leng, R., Suneerat Aiumlamai, B.M.A. Oswin Perera, Canagasaby Devendra, Gilmour, D., Thirapong Thirapatsakun, ... Egan, A. R. (1999). *Smallholder Dairying in the Tropics*. International Livestock Research Institute, Nairobi. <https://doi.org/10.13140/2.1.1189.6327>
- Fathima, A., Mangai, J. A., & Gulyani, B. B. (2014). An ensemble method for predicting biochemical oxygen demand in river water using data mining techniques. *International Journal of River Basin Management*, 12(4), 357–366. <https://doi.org/10.1080/15715124.2014.936442>
- Foster, C., Green, K., Bleda, M., Dewick, P., Evans, B., Flynn, A., & Mylan, J. (2006). *Environmental Impacts of Food Production and Consumption: A report to the*

Departement for Environment, Food and Rural Affairs. Defra, London. Manchester Business School.

- Gavala, H. N., Kopsinis, H., Skiadas, I. V., Stamatelatou, K., & Lyberatos, G. (1999). Treatment of Dairy Wastewater Using an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73(1), 59–63. <https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0391>
- Greenberg, A. E., Clesceri, L. S., Eaton, A. D., & Franson, M. A. H. (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (18th ed). Washington. American public health association.
- Gutiérrez, J. L. R., Encina, P. A. G., & Fdz-Polanco, F. (1991). Anaerobic treatment of cheese-production wastewater using a UASB reactor. *Bioresource Technology*, 37(3), 271–276. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(91\)90194-O](https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90194-O)
- Hamoda, M. F., & Al-Awadi, S. M. (1996). Improvement of effluent quality for reuse in a dairy farm. *Water Science and Technology*, 33(10–11). [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00409-X](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00409-X)
- Hena, S., Fatimah, S., & Tabassum, S. (2015). Cultivation of algae consortium in a dairy farm wastewater for biodiesel production. *Water Resources and Industry*, 10, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2015.02.002>
- Hern, T. K., Hin, L. S., Ibrahim, S., Sulaiman, N. M. N., Sharifi, M., & Abe, S. (2014). Impact of Fine Sediment on TSS and Turbidity in Retention Structure. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 02(04), 1–8. <https://doi.org/10.4236/gep.2014.24001>
- Ismail, A. F., Khulbe, K. C., & Matsuura, T. (2019). *Reverse osmosis*. Amsterdam, Netherlands ; Cambridge, MA. Elsevier.

- Ismail, I. M., Fawzy, A. S., Abdel-Monem, N. M., Mahmoud, M. H., & El-Halwany, M. A. (2012). Combined coagulation flocculation pre treatment unit for municipal wastewater. *Journal of Advanced Research*, 3(4), 331–336. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.10.004>
- Kallas, J., & Kindsigo, M. (2006). Degradation of lignins by wet oxidation: Model water solutions. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Chemistry*, 55(3), 132. <https://doi.org/10.3176/chem.2006.3.02>
- Kargi, F., & Uygur, A. (2004). Hydraulic residence time effects in biological nutrient removal using five-step sequencing batch reactor. *Enzyme and Microbial Technology*, 35(2–3), 167–172. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.04.013>
- Karri, R. R., Sahu, J. N., & Chimmiri, V. (2018). Critical review of abatement of ammonia from wastewater. *Journal of Molecular Liquids*, 261, 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.03.120>
- Kawamura, S. (2000). *Integrated design and operation of water treatment facilities* (2nd ed). New York. John Wiley & Sons.
- Kemenperin. (2015). *Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) Tahun 2015-2035*.
- Kementerian PUPR. (2017). *PEDOMAN PERENCANAAN TEKNIK TERINCI INSTALASI PENGOLAHAN LUMPUR TINJA - BUKU A: PANDUAN PERHITUNGAN BANGUNAN PENGOLAHAN LUMPUR TINJA* (1st ed.). Jakarta. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kholif, & Febrianti. (2019). PENERAPAN TEKNOLOGI MOVING BED BIOFILM REACTOR (MBBR) BERMEDIA KALDNESS DALAM MENURUNKAN PENCEMAR AIR LINDI. *JURNALIS*, 2(1).

- Kim, Y., Choi, D., Cui, M., Lee, J., Kim, B., Park, K., Jung, H., & Lee, B. (2015). Dissolved air flotation separation for pretreatment of membrane bioreactor in domestic wastewater treatment. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 64(2), 186–193. <https://doi.org/10.2166/aqua.2014.003>
- Kiuru, H., & Vahala, R. (Eds.). (2001). *Dissolved air flotation in water and waste water treatment: Selected proceedings of the 4th International Conference on DAF in Water and Waste Water Treatment, held in Helsinki, Finland, 11 - 14 September 2000*. IWA Publishing.
- Kolarski, R., & Nyhuis, G. (1995). The use of sequencing batch reactor technology for the treatment of high strength dairy processing waste. *The Proceedings of the 50th Purdue International Waste Conference*, 485–494.
- Kosseva, M. R., & Webb, C. (Eds.). (2013). *Food industry wastes: Assessment and recuperation of commodities* (1st ed). Elsevier/Academic Press.
- Kushwaha, J. P., Srivastava, V. C., & Mall, I. D. (2011). An Overview of Various Technologies for the Treatment of Dairy Wastewaters. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(5), 442–452. <https://doi.org/10.1080/10408391003663879>
- Likens, G. E. (2009). *Encyclopedia of inland waters* (1st ed). London Boston. Academic Press.
- Lundh, M. (2002). *Effects of flow structure on particle separation in dissolved air flotation*. Lund.
- Maeng, M.-S., Kim, H.-S., Lee, K.-S., & Dockko, S. (2017). Effect of DAF configuration on the removal of phosphorus and organic matter by a pilot plant treating combined sewer overflows. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 124, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.07.017>

- Manago, B. L., Vidal, C. M. de S., Souza, J. B. de, Neves, L. C., & Martins, K. G. (2018). Dissolved Air Flotation for Fiber Removal from Clear Water. *Floresta e Ambiente*, 25(2). <https://doi.org/10.1590/2179-8087.012416>
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (G. Tchobanoglous, H. D. Stensel, R. Tsuchihashi, F. L. Burton, M. Abu-Orf, G. Bowden, & W. Pfrang, Eds.; Fifth edition). McGraw-Hill Education.
- Montuelle, B., Goillard, J., & Le Hy, J. B. (1992). A combined anaerobic-aerobic process for the co-treatment of effluents from a piggery and a cheese factory. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 51, 91–100. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(92\)80028-Q](https://doi.org/10.1016/0021-8634(92)80028-Q)
- Muhtamil. (2017). Pengaruh Perkembangan Industri Terhadap Penyerapan TenagaKerja di Provinsi Jambi. *Jurnal Perspektif Pembiayaan Dan Pembangunan Daerah*, 4(3). <https://online-journal.unja.ac.id/JES/article/view/3642/6301>
- Mulla, R. K. (2014). *Low Cost Treatment Technologies for Wastewater Reuse-A Viable alternative*.
- Munavalli, G. R., & Saler, P. S. (2009). Treatment of dairy wastewater by water hyacinth. *Water Science and Technology*, 59(4), 713–722. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.008>
- Nagappan, S., Phinney, D., & Heldman, D. (2018). Management of Waste Streams from Dairy Manufacturing Operations Using Membrane Filtration and Dissolved Air Flotation. *Applied Sciences*, 8(12), 2694. <https://doi.org/10.3390/app8122694>
- Noerbambang, S. M., & Morimura, T. (1986). *Perancangan dan Pemeliharaan Sistem Plambing*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

- Omil, F., Garrido, J. M., Arrojo, B., & Méndez, R. (2003). Anaerobic filter reactor performance for the treatment of complex dairy wastewater at industrial scale. *Water Research*, 37(17), 4099–4108. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00346-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00346-4)
- OWP. (2019). Jar test. *Office of Water Programs*. <https://www.owp.csus.edu/glossary/jar-test.php#:~:text=A%20laboratory%20procedure%20that%20simulates,achieve%20certain%20water%20quality%20goals>.
- Passeggi, M., López, I., & Borzacconi, L. (2009). Integrated anaerobic treatment of dairy industrial wastewater and sludge. *Water Science and Technology*, 59(3), 501–506. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.010>
- Pastor-Soltes, M. (2022). Application of Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) in Wastewater Treatment. *Coftec*. <https://www.coftec.ie/application-of-moving-bed-biofilm-reactor-mbbr-in-wastewater-treatment/?PageSpeed=noscript>
- Patterson, J. W. (1985). *Industrial Wastewater Treatment Technology, Second edition* (2nd ed.). U.S. Butterworth Publishers.
- Perna, V., Castelló, E., Wenzel, J., Zampol, C., Fontes Lima, D. M., Borzacconi, L., Varesche, M. B., Zaiat, M., & Etchebehere, C. (2013). Hydrogen production in an upflow anaerobic packed bed reactor used to treat cheese whey. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(1), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.10.022>
- Pintor, A. M. A., Vilar, V. J. P., Botelho, C. M. S., & Boaventura, R. A. R. (2016). Oil and grease removal from wastewaters: Sorption treatment as an alternative to state-of-the-art technologies. A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 297, 229–255. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.03.121>
- Poompavai. (2002). *Treatment of different industry wastewaters* [M.Phil Thesis]. Pondicherry. Pondicherry University.

- Purwanti, I. F., Titah, H. S., Tangahu, B. V., & Kurniawan, S. B. (2018). *DESIGN AND APPLICATION OF WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR “PEMPEK” FOOD INDUSTRY, SURABAYA, INDONESIA*. 9(13).
- Qasim, S. R., & Zhu, G. (2018). *Wastewater treatment and reuse: Theory and design examples. volume 1: Principles and basic treatment*. Boca Raton London New York. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Qiqi, Y., Qiang, H., & T. Ibrahim, H. (2012). Review on Moving Bed Biofilm Processes. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(9), 804–811. <https://doi.org/10.3923/pjn.2012.804.811>
- Ramasamy, E. V., Gajalakshmi, S., Sanjeevi, R., Jithesh, M. N., & Abbasi, S. A. (2004). Feasibility studies on the treatment of dairy wastewaters with upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Bioresource Technology*, 93(2), 209–212. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.11.001>
- Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J., Johnson, K. M., & Twort, A. C. (2009). *Twort's water supply* (6. ed). Amsterdam Heidelberg. Elsevier.
- Reynolds, T. D., & Richards, P. A. (1996). *Unit operations and processes in environmental engineering* (2nd ed). Boston. PWS Pub. Co.
- Riffat, R. (2019). *FUNDAMENTALS OF WASTEWATER TREATMENT AND ENGINEERING*. S.I. CRC PRESS.
- Rizkya, M. H., & Juliardi AR, N. R. (2020). PENURUNAN TOTAL SUSPENDED SOLID DAN KEKERUHAN AIR BAKU MENGGUNAKAN PIPA CIRCULAR DAN GRAVEL BED FLOCCULATOR DENGAN KOAGULAN POLY ALUMINIUM CHLORIDE. *EnviroUS*, 1(1), 16–21. <https://doi.org/10.33005/enviroUS.v1i1.15>
- Rizvi, H., Ahmad, N., Abbas, F., Bukhari, I. H., Yasar, A., Ali, S., Yasmeen, T., & Riaz, M. (2015). Start-up of UASB reactors treating municipal wastewater and effect of

- temperature/sludge age and hydraulic retention time (HRT) on its performance. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(6), 780–786. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.12.016>
- Rosemount Analytical Inc. (2009). *Coagulation and Flocculation* (Application Data Sheet ADS 43-019/rev.C).
- Rusten, B., Siljudalen, J. G., & Strand, H. (1996). Upgrading of a biological—Chemical treatment plant for cheese factory wastewater. *Water Science and Technology*, 34(11). [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(96\)00819-0](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(96)00819-0)
- Said, N. I. (2006). DAUR ULANG AIR LIMBAH (WATER RECYCLE) DITINJAU DARI ASPEK TEKNOLOGI, LINGKUNGAN DAN EKONOMI. *Jurnal Air Indonesia*, 2(2).
- Said, N. I., & Marsidi, R. (2005). TINJAUAN ASPEK TEKNIS PEMILIHAN MEDIA BIOFILTER UNTUK PENGOLAHAN AIR LIMBAH. *Jurnal Air Indonesia*, 1(3). <https://doi.org/10.29122/jai.v1i3.2355>
- Sari, A. A., & Wiloso, E. I. (2008). Design of Low Cost Water Recycle System in a Small Scale Food Industry to Overcome Groundwater Shortage. *International Symposium Coupling Sustainable & Groundwater Protection*.
- Sarkar, B., Chakrabarti, P. P., Vijaykumar, A., & Kale, V. (2006). Wastewater treatment in dairy industries—Possibility of reuse. *Desalination*, 195(1–3), 141–152. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.11.015>
- Schulz, C. R., & Okun, D. A. (1984). *Surface water treatment for communities in developing countries*. New York. Wiley.
- Şengil, İ. A., & Özacar, M. (2006). Treatment of dairy wastewaters by electrocoagulation using mild steel electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 137(2), 1197–1205. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.04.009>

- Shahbandeh, M. (2021, June). *Estimated dairy market value worldwide in 2019 and 2024* [Business Data & Statistics]. Statista.
<https://www.statista.com/statistics/502280/global-dairy-market-value/>
- Shete, B. S., & Shinkar, N. P. (2013). Dairy Industry Wastewater Sources, Characteristics & its Effects on Environment. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 3(5).
- Shokoohi, R., Asgari, G., Leili, M., Khiadani, M., Foroughi, M., & Sedighi Hemmat, M. (2017). Modelling of moving bed biofilm reactor (MBBR) efficiency on hospital wastewater (HW) treatment: A comprehensive analysis on BOD and COD removal. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(4), 841–852.
<https://doi.org/10.1007/s13762-017-1255-9>
- Siregar, S. (2005). *Instalasi Pengolahan Air Limbah*. Yogyakarta. Kanisius.
- Soukotta, E., Ozaer, R., & Latuamury, B. (2019). ANALISIS KUALITAS KIMIA AIR SUNGAI RIUAPA DAN DAMPAKNYA TERHADAP LINGKUNGAN. *JURNAL HUTAN PULAU-PULAU KECIL*, 3(1), 86–96.
<https://doi.org/10.30598/jhppk.2019.3.1.86>
- Suharto, I. (2010). *Limbah Kimia dalam Pencemaran udara dan air*. Penerbit Andi.
- Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., Burton, F. L., Abu-Orf, M., Bowden, G., Pfrang, W., & Metcalf & Eddy (Eds.). (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (Fifth edition). McGraw-Hill Education.
- Tian, D.-J., Lim, H.-S., Chung, J., & Jun, H.-B. (2015). Nitrogen and phosphorus removal in an anaerobic (UASB)-aerobic (ABF) sewage treatment system. *Desalination and Water Treatment*, 53(10), 2856–2865.
<https://doi.org/10.1080/19443994.2014.993209>

- US EPA. (1992). *Sequencing Batch Reactors for Nitrification and Nutrient Removal*. US EPA.
- US EPA. (2012). 5.5 Turbidity. In *Water: Monitoring & Assessment*. U.S. <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/index-18.html>
- USDA-SCS. (1992). *Agricultural Waste Management Field Handbook*. Washington, DC.
- Wahi, R., Chuah, L. A., Choong, T. S. Y., Ngaini, Z., & Nourouzi, M. M. (2013). Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview. *Separation and Purification Technology*, *113*, 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.04.015>
- Wang, L. K. (Ed.). (2004). *Handbook of industrial and hazardous wastes treatment* (2nd ed., rev.expanded). Marcel Dekker, Inc.
- Warwick, C., Guerreiro, A., & Soares, A. (2013). Sensing and analysis of soluble phosphates in environmental samples: A review. *Biosensors and Bioelectronics*, *41*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2012.07.012>
- Woodard, F., & Woodard & Curran, Inc (Eds.). (2006). *Industrial waste treatment handbook* (2nd ed). Elsevier/Butterworth-Heinemann.
- World Bank Group. (2007). *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Dairy Processing*. World Bank Group. <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/c44f2786-a977-40d0-8190-88e23286eed3/Final%2B-%2BDairy%2BProcessing.pdf?MOD=AJPERES&CVID=jqeI4s9>

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1:
Hasil Analisis Laboratorium

LABORATORY TEST RESULTS

| Job Number : 2211049 | | Date : April 12, 2022 | | | | | |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|-------------------|
| Customer : Mr. Daffa Rayhan | | | | | Position: | | |
| Lab. Sample | Customer Sample ID | Matrix | Date Sampled | Time Sampled | Date Received | Time Received | Interval Analysis |
| 2211049-1/1 | Inlet | Waste Water | 30/03/2022 | - | 1/0/1900 | 15:45 | 30/03 to 12/04 |

| NO. | TEST DESCRIPTION | RESULT | REGULATORY LIMIT* | | | | UNIT | METHOD |
|-----|---|--------|-------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|----------|---------------------|
| | | | Basic Milk | Highest Pollutant Load (Kg/Ton) | Integrated Milk | Highest Pollutant Load (Kg/Ton) | | |
| 1 | Biochemical Oxygen Demand, BOD ₅ | 1671 | 40 | 0.06 | 40 | 0.10 | mg/L | SNI 6989.72-2009 |
| 2 | Chemical Oxygen Demand, COD | 4247.4 | 100 | 0.15 | 100 | 0.25 | mg/L | SNI 6989.2:2009 |
| 3 | Total Suspended Solids, TSS | 2600 | 50 | 0.075 | 50 | 0.125 | mg/L | SNI 06-6989.3-2004 |
| 4 | Oil and Grease | <1.4 | 10 | 0.015 | 10 | 0.025 | mg/L | SNI 6989.10-2011 |
| 5 | Ammonia, NH ₃ -N | 43.149 | 10 | 0.015 | 10 | 0.025 | mg/L | SNI 06-6989.30-2005 |
| 6 | pH | 4.75 | 6.0 - 9.0 | | 6.0 - 9.0 | | pH Units | SNI 06-6989.11-2004 |

* Waste Water Standard Quality Regulations PERMENLH No. 5/2014 State Ministry of Environment (Attachment VIII)

■ = Out of Specification

PRELIMINARY

LABORATORY TEST RESULTS

| Job Number : 2211049 | | Date : April 12, 2022 | | | | | |
|-----------------------------|---|-----------------------|--------------|------------------|---------------|---------------|-------------------|
| Customer : Mr. Daffa Rayhan | | | | | | Position: | |
| Lab. Sample | Customer Sample ID | Matrix | Date Sampled | Time Sampled | Date Received | Time Received | Interval Analysis |
| 2211049-1/1 | Inlet | Waste Water | 30/03/2022 | - | 30/03/2022 | 15:45 | 30/03 to 12/04 |
| NO. | TEST DESCRIPTION | RESULT | UNIT | METHOD | | | |
| 1 | Biochemical Oxygen Demand, BOD ₅ | 765 | mg/L | SNI 6989.72-2009 | | | |
| 2 | Chemical Oxygen Demand, COD | 2981.1 | mg/L | SNI 6989.2:2009 | | | |

Note: Supernatant after Precipitation

PRELIMINARY

01/04/2022

Hasil Jartest Inlet

| Visual limbah | pH Awal | NaOH flakes 0,4% ml/L | pH | PAC 10% ml/L | Polymer Anionic 0,1% ml/L | Hasil | pH Akhir | Sludge (%) |
|---------------|---------|--------------------------|-----|-----------------|------------------------------|-------------|----------|---------------|
| Putih keruh | 4,67 | 60 | 6,2 | 5 | 40 | putih keruh | 5,5 | 20 |
| Putih keruh | 4,67 | 70 | 6,9 | 7 | 40 | keruh | 6 | 20 |
| Putih keruh | 4,67 | 80 | 7,5 | 10 | 40 | Jernih | 6,5 | 30 |

Hasil Analisa Inlet

| Limbah | pH | COD mg/L | NH3 mg/L | TSS mg/L | Color PtCo |
|-----------------------|------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Awal | 4,67 | 1474 | 33 | 620 | 4862 |
| Jartest pakai PAC 10% | 6,5 | 3800 | 8 | 24 | 168 |



Lampiran 2:
Pipa dan Aksesorisnya (*Bend, Tee, dan Increaser*)

Aplikasi Sistem

RUCIKA STANDARD diproduksi untuk berbagai kebutuhan seperti:

- Saluran air bersih
- Saluran pembuangan
- Saluran limbah
- Saluran irigasi
- Pipa ventilasi

Jenjang Produk

RUCIKA STANDARD dapat diklarifikasikan menjadi 2 (dua) kelompok:

1. Kelas AW, untuk air bertekanan tinggi sampai tekanan kerja 10 Bar dengan 14 macam ukuran diameter dari ½ inch sampai 12 inch.
2. Kelas D, untuk saluran pembuangan dan limbah dengan 11 macam ukuran diameter dari 1¼ inch sampai 12 inch.

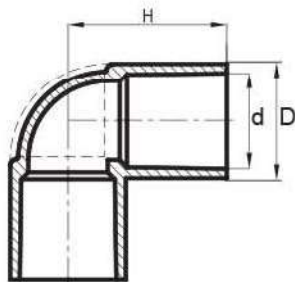
Kedua kelompok tersebut tersedia dalam panjang standar sampai 4 meter.

KELAS AW

| Diameter | | Tebal Dinding (mm) | Panjang (m) | Sistem Penyambungan |
|----------|-----|--------------------|-------------|---------------------|
| inch | mm | | | |
| ½ | 22 | 1,50 | 4 | SC |
| ¾ | 26 | 1,80 | 4 | SC |
| 1 | 32 | 2,00 | 4 | SC |
| 1¼ | 42 | 2,30 | 4 | SC |
| 1½ | 48 | 2,30 | 4 | SC |
| 2 | 60 | 2,30 | 4 | SC |
| 2½ | 76 | 2,60 | 4 | SC |
| 3 | 89 | 3,10 | 4 | SC |
| 4 | 114 | 4,10 | 4 | SC |
| 5 | 140 | 5,40 | 4 | SC |
| 6 | 165 | 6,40 | 4 | SC |
| 8 | 216 | 8,30 | 4 | SC |
| 10 | 267 | 10,30 | 4 | SC |
| 12 | 318 | 12,20 | 4 | SC |

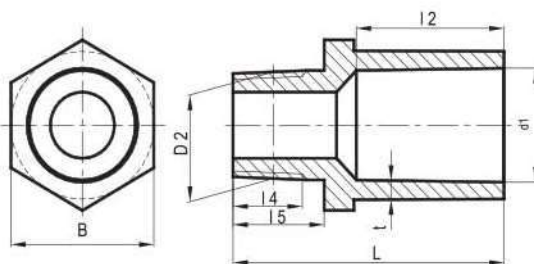
SC : Solvent Cement (Penyambungan dengan Lem)

ELBOW (AW)



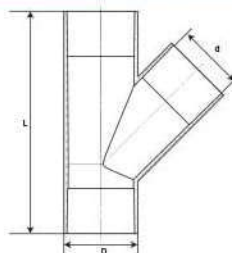
| Ukuran Produk | d | H | D |
|---------------|-----|-----|-----|
| ½" | 22 | 43 | 29 |
| ¾" | 26 | 50 | 33 |
| 1" | 32 | 58 | 40 |
| 1¼" | 42 | 70 | 51 |
| 1½" | 48 | 82 | 57 |
| 2" | 60 | 96 | 70 |
| 2½" | 76 | 110 | 87 |
| 3" | 89 | 120 | 102 |
| 4" | 114 | 153 | 130 |
| 5" | 140 | 187 | 157 |
| 6" | 165 | 230 | 186 |
| 8" | 217 | 290 | 236 |
| 10" | 267 | 280 | 287 |

VALVE SOCKET (AW)



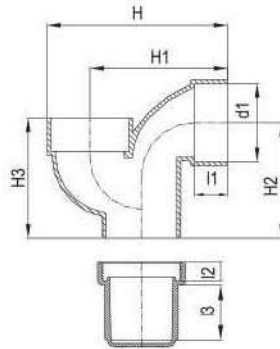
| Ukuran Produk | d1 | D2 | I2 | I4 | I5 | L | B | t (min) |
|---------------|-------|---------|----|----|------|------|------|---------|
| ½" | 22.4 | PT ½" | 30 | 15 | 18.5 | 55 | 29 | 3.3 |
| ½" x ¾" | 26.5 | PT ½" | 35 | 15 | 18.8 | 60 | 33 | 3.3 |
| ¾" x 1" | 22.4 | PT ¾" | 30 | 17 | 20.5 | 58.5 | 33 | 3.3 |
| ¾" | 26.5 | PT ¾" | 35 | 17 | 20.5 | 64 | 33 | 3.3 |
| 1" x 1½" | 22.4 | PT 1" | 30 | 15 | 23 | 71 | 40 | 3.3 |
| 1" x ¾" | 26.5 | PT 1" | 35 | 17 | 23 | 71 | 40 | 3.3 |
| 1" | 32.5 | PT 1" | 40 | 19 | 23 | 71 | 40 | 3.8 |
| 1¼" | 42.6 | PT 1 ¼" | 45 | 22 | 26 | 80 | 51 | 3.7 |
| 1½" | 48.7 | PT 1 ½" | 55 | 22 | 27 | 92 | 57.5 | 4.2 |
| 2" | 60.8 | PT 2" | 63 | 26 | 31 | 106 | 70.5 | 4.6 |
| 2½" | 76.6 | PT 2 ½" | 61 | 30 | 35 | 118 | 86.5 | 4.7 |
| 3" | 89.6 | PT 3" | 72 | 34 | 39 | 127 | 101 | 5.7 |
| 4" | 114.7 | PT 4" | 92 | 40 | 47 | 152 | 129 | 7.2 |

Y BRANCH (AW)



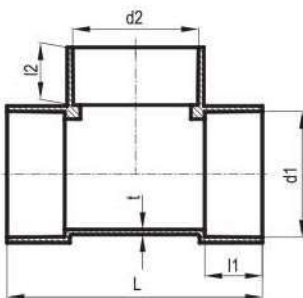
| Ukuran Produk | d | D | L |
|---------------|-------|-----|-----|
| 3" | 89.6 | 102 | 280 |
| 4" | 114.7 | 130 | 342 |
| 8" | 216 | 217 | 712 |

P-TRAP (D)



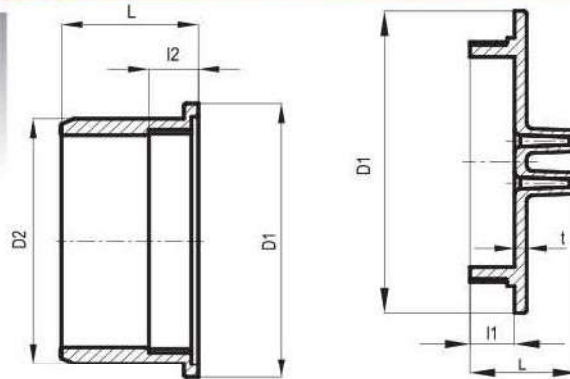
| Ukuran Produk | d1 | l1 | H1 | H2 | H3 | l2 | l3 | H |
|---------------|------|----|-------|------|----|----|----|-----|
| 2" | 60.4 | 25 | 108.7 | 90.5 | 94 | 15 | 45 | 142 |

TEE (D-DT)



| Ukuran Produk | d1 | l1 | d2 | L | l2 | t (min) |
|---------------|-------|-----|-------|-----|-----|---------|
| 1¼" | 42.3 | 20 | 42.3 | 88 | 20 | 2.8 |
| 1½" | 48.3 | 22 | 48.3 | 98 | 22 | 2.8 |
| 2" | 60.4 | 25 | 60.4 | 118 | 25 | 3.3 |
| 2½" | 76.4 | 35 | 76.4 | 155 | 35 | 3.3 |
| 3" x 1½" | 89.5 | 40 | 48.3 | 135 | 22 | 3.6 |
| 3" x 2" | 89.5 | 40 | 60.35 | 147 | 25 | 3.7 |
| 3" x 2½" | 89.5 | 40 | 76.4 | 165 | 35 | 3.6 |
| 3" | 89.5 | 40 | 89.5 | 176 | 40 | 3.7 |
| 4" x 2" | 114.5 | 50 | 60.35 | 171 | 25 | 4.7 |
| 4" x 3" | 114.5 | 50 | 89.45 | 200 | 40 | 4.7 |
| 4" | 114.5 | 50 | 114.5 | 224 | 50 | 4.7 |
| 5" x 4" | 140.7 | 65 | 114.5 | 252 | 50 | 5.1 |
| 5" | 140.7 | 65 | 140.7 | 281 | 65 | 5.4 |
| 6" x 4" | 165.9 | 80 | 114.5 | 287 | 50 | 6.3 |
| 6" | 165.9 | 80 | 165.9 | 338 | 80 | 6.0 |
| 8" x 4" | 217.3 | 105 | 114.5 | 335 | 50 | 5.5 |
| 8" | 217.3 | 105 | 217.3 | 440 | 105 | 4.8 |

CLEAN OUT (D)



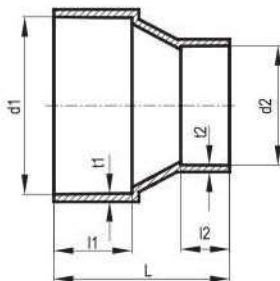
a. Clean Out Socket

| Ukuran Produk | D1 | D2 | l2 | L |
|---------------|-----|-----|----|----|
| 2" | 57 | 48 | 8 | 25 |
| 3" | 102 | 89 | 14 | 42 |
| 4" | 130 | 114 | 14 | 52 |

b. Clean Out Cap

| Ukuran Produk | D1 | l1 | L | t (min) |
|---------------|-----|----|----|---------|
| 2" | 57 | 8 | 25 | 6 |
| 3" | 102 | 14 | 37 | 7 |
| 4" | 130 | 14 | 38 | 7 |

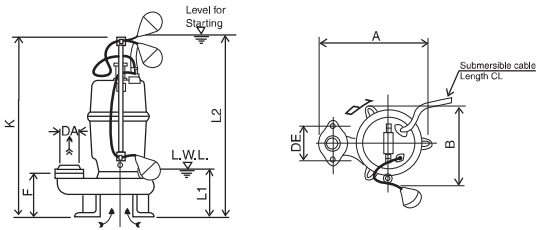
INCREASER (D-IN)



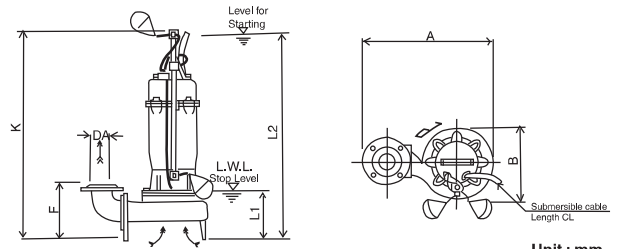
| Ukuran Produk | d1 | l1 | d2 | l2 | L | t1 (min) | t2 (min) |
|---------------|-------|-----|-------|------|-----|----------|----------|
| 1½" x 1¼" | 48.3 | 22 | 42.5 | 20 | 62 | 3.1 | 3.1 |
| 2" x 1¼" | 60.4 | 25 | 42.3 | 20 | 65 | 3.3 | 2.8 |
| 2" x 1½" | 60.43 | 25 | 48.3 | 22 | 67 | 3.3 | 2.8 |
| 2½" x 1½" | 76.4 | 35 | 48.3 | 22.8 | 77 | 3.3 | 2.9 |
| 2½" x 2" | 76.4 | 35 | 60.4 | 25 | 80 | 3.3 | 3.3 |
| 3" x 1¼" | 89.5 | 40 | 42.3 | 20 | 81 | 3.76 | 2.9 |
| 3" x 1½" | 89.5 | 40 | 48.3 | 22 | 87 | 4.1 | 3.1 |
| 3" x 2" | 89.5 | 40 | 60.4 | 25 | 90 | 3.75 | 3.3 |
| 3" x 2½" | 89.5 | 40 | 76.4 | 35 | 100 | 3.75 | 3.3 |
| 4" x 2" | 114.5 | 50 | 60.4 | 25 | 105 | 4.75 | 3.3 |
| 4" x 2½" | 114.5 | 50 | 76.4 | 35 | 115 | 4.75 | 3.3 |
| 4" x 3" | 114.5 | 50 | 89.5 | 40 | 120 | 4.75 | 3.7 |
| 5" x 4" | 140.7 | 65 | 114.5 | 50 | 150 | 5.15 | 4.7 |
| 6" x 3" | 165.9 | 80 | 89.5 | 40 | 161 | 6.05 | 3.7 |
| 6" x 4" | 165.9 | 80 | 114.5 | 50 | 170 | 6.05 | 4.7 |
| 6" x 5" | 165.9 | 80 | 140.7 | 65 | 185 | 6.05 | 5.1 |
| 8" x 4" | 217.3 | 105 | 114.5 | 50 | 225 | 4.85 | 4.7 |
| 8" x 6" | 217.3 | 105 | 165.9 | 80 | 252 | 4.85 | 6.0 |

Lampiran 3:
Katalog Pompa *Submersible*

Automatic type

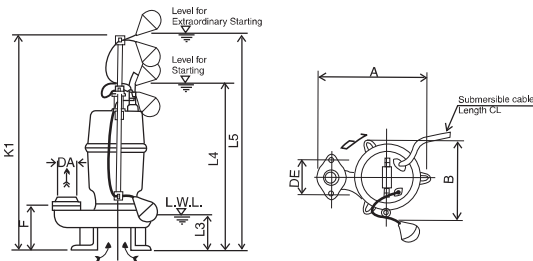


| Size ∅ | Model | Out Put kW | Phase | Pump and Motor | | | | | | | | Weight (Mass) kg |
|-----------|-------------|---------------|--------|----------------|-----|----|----|-----|-----|-----|----|------------------------|
| | | | | A | B | F | DE | K | L1 | L2 | | |
| 50 | 50DVSA5.4S | 0.4 | Single | 239 | 183 | 82 | 96 | 530 | 150 | 490 | 20 | |
| | 50DVSA5.4 | 0.4 | Three | 239 | 183 | 82 | 96 | 530 | 150 | 490 | 18 | |
| | 50DVSA5.75 | 0.75 | Three | 249 | 197 | 82 | 96 | 530 | 150 | 490 | 20 | |
| | 50DVSA5.1.5 | 1.5 | Three | 249 | 201 | 82 | 96 | 530 | 150 | 490 | 30 | |

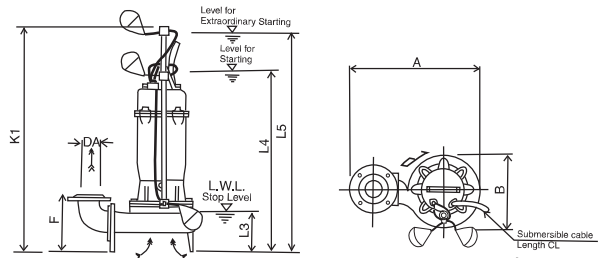


| Size ∅ | Model | Out Put kW | Phase | Pump and Motor | | | | | | | | Weight (Mass) kg |
|-----------|-------------|---------------|-------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------|
| | | | | A | B | F | H | J | K | L1 | L2 | |
| 65 | 65DVSA5.75 | 0.75 | Three | 396 | 206 | 178 | 540 | 145 | 530 | 150 | 490 | 26 |
| | 65DVSA5.1.5 | 1.5 | | 396 | 210 | 178 | 572 | 145 | 530 | 150 | 490 | 35 |
| | 65DVSA5.2.2 | 2.2 | | 427 | 237 | 201 | 736 | 160 | 770 | 250 | 730 | 51 |
| | 65DVSA5.3.7 | 3.7 | | 427 | 237 | 201 | 796 | 160 | 770 | 250 | 730 | 60 |
| 80 | 80DVSA5.75 | 0.75 | Three | 411 | 206 | 183 | 540 | 145 | 530 | 150 | 490 | 27 |
| | 80DVSA5.1.5 | 1.5 | | 411 | 210 | 183 | 572 | 145 | 530 | 150 | 490 | 36 |
| | 80DVSA5.2.2 | 2.2 | | 442 | 237 | 206 | 736 | 160 | 770 | 250 | 730 | 52 |
| | 80DVSA5.3.7 | 3.7 | | 442 | 237 | 206 | 736 | 160 | 770 | 250 | 730 | 61 |

Parallel Alternate type



| Size ∅ | Model | Out Put kW | Phase | Pump and Motor | | | | | | | | Weight (Mass) kg |
|-----------|-------------|---------------|--------|----------------|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|------------------------|
| | | | | A | B | F | DE | K1 | L3 | L4 | L5 | |
| 50 | 50DVJS5.4S | 0.4 | Single | 239 | 183 | 82 | 96 | 530 | 120 | 410 | 600 | 20 |
| | 50DVJS5.4 | 0.4 | Three | 239 | 183 | 82 | 96 | 530 | 120 | 410 | 600 | 19 |
| | 50DVJS5.75 | 0.75 | Three | 249 | 197 | 82 | 96 | 530 | 120 | 410 | 600 | 20 |
| | 50DVJS5.1.5 | 1.5 | Three | 249 | 201 | 82 | 96 | 530 | 120 | 410 | 600 | 30 |

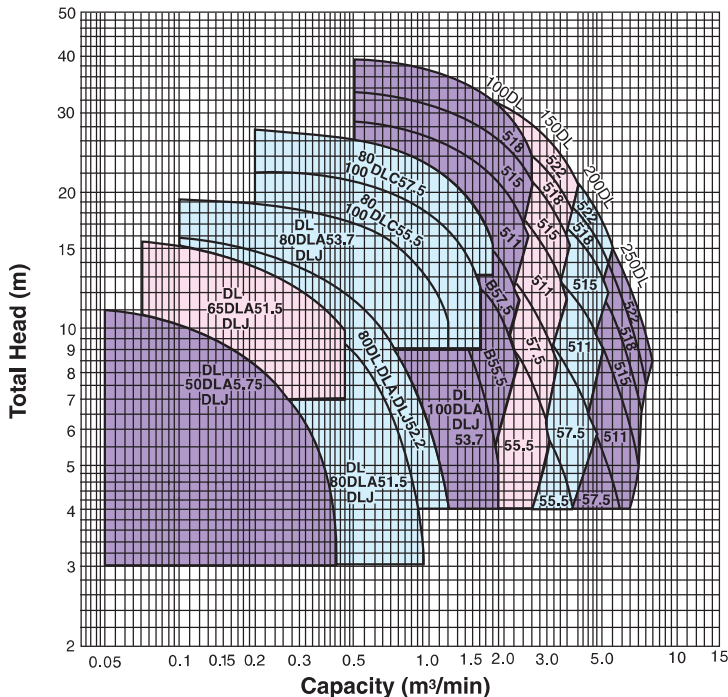


| Size ∅ | Model | Out Put kW | Phase | Pump and Motor | | | | | | | | Weight (Mass) kg |
|-----------|-------------|---------------|-------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|------------------------|
| | | | | A | B | F | K1 | L3 | L4 | L5 | | |
| 65 | 65DVSJ5.75 | 0.75 | Three | 396 | 206 | 178 | 640 | 120 | 410 | 600 | 26 | |
| | 65DVSJ5.1.5 | 1.5 | | 396 | 210 | 178 | 640 | 120 | 410 | 600 | 35 | |
| | 65DVSJ5.2.2 | 2.2 | | 427 | 237 | 201 | 880 | 220 | 650 | 840 | 51 | |
| | 65DVSJ5.3.7 | 3.7 | | 427 | 237 | 201 | 880 | 220 | 650 | 840 | 60 | |
| 80 | 80DVSJ5.75 | 0.75 | Three | 411 | 206 | 183 | 640 | 120 | 410 | 600 | 27 | |
| | 80DVSJ5.1.5 | 1.5 | | 411 | 210 | 183 | 640 | 120 | 410 | 600 | 36 | |
| | 80DVSJ5.2.2 | 2.2 | | 442 | 237 | 206 | 880 | 220 | 650 | 840 | 52 | |
| | 80DVSJ5.3.7 | 3.7 | | 442 | 237 | 206 | 880 | 220 | 650 | 840 | 61 | |

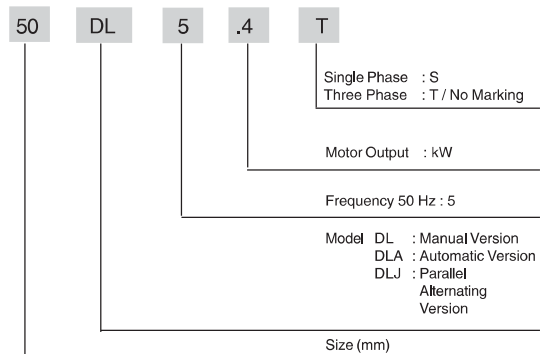
MODEL DL

SELECTION CHARTS

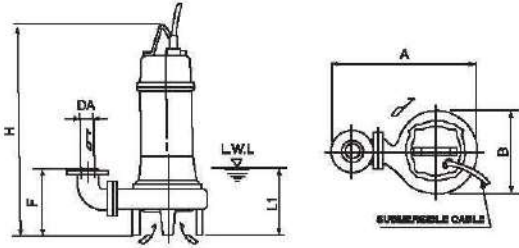
50 Hz (Synchronous speed 1500 min⁻¹)



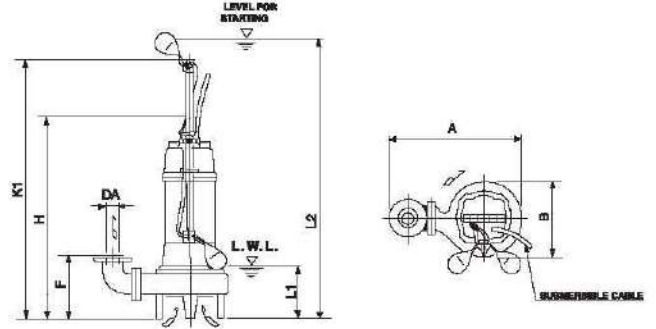
MODEL CODE



Manual type



Automatic type



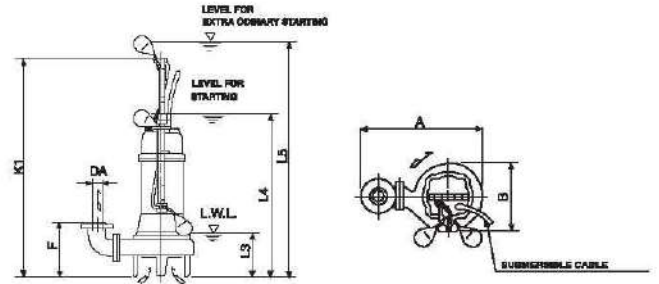
Unit mm

| Size ∅ | Model | Output kW | Pump and Motor | | | | | Weight (Mass) kg |
|-----------|------------|--------------|----------------|-----|-----|------|-----|------------------------|
| | | | A | B | F | H | L1 | |
| 50 | 60DL6.75 | 0.75 | 411 | 239 | 175 | 510 | 120 | 34 |
| 65 | 65DL51.5 | 1.5 | 497 | 291 | 200 | 676 | 140 | 52 |
| | 80DL51.5 | 1.5 | 524 | 292 | 220 | 597 | 185 | 55 |
| 80 | 80DL52.2 | 2.2 | 542 | 308 | 220 | 654 | 185 | 67 |
| | 80DL53.7 | 3.7 | 567 | 328 | 220 | 687 | 165 | 75 |
| | 100DL53.7 | 3.7 | 614 | 335 | 250 | 705 | 185 | 78 |
| 100 | 100DLB55.5 | 5.5 | 646 | 369 | 323 | 767 | 205 | 123 |
| | 100DLC55.5 | 5.5 | 660 | 379 | 322 | 752 | 205 | 134 |
| | 100DLB57.5 | 7.5 | 675 | 385 | 323 | 759 | 205 | 141 |
| | 100DLC57.5 | 7.5 | 690 | 399 | 320 | 750 | 205 | 148 |
| | 100DL611 | 11 | 701 | 402 | 323 | 858 | 205 | 180 |
| | 100DL515 | 15 | 741 | 441 | 330 | 954 | 205 | 230 |
| | 100DL518 | 18.5 | 741 | 441 | 330 | 958 | 205 | 285 |
| 150 | 150DL55.5 | 5.5 | 760 | 398 | 381 | 796 | 245 | 146 |
| | 150DL57.5 | 7.5 | 780 | 418 | 377 | 783 | 245 | 169 |
| | 150DL611 | 11 | 810 | 438 | 377 | 882 | 245 | 199 |
| | 150DL515 | 15 | 810 | 438 | 377 | 971 | 245 | 237 |
| | 150DL518 | 18.5 | 848 | 476 | 381 | 979 | 245 | 300 |
| | 150DL522 | 22 | 848 | 476 | 381 | 979 | 245 | 325 |
| 200 | 200DL55.5 | 5.5 | 832 | 430 | 414 | 825 | 285 | 160 |
| | 200DL57.5 | 7.5 | 863 | 453 | 410 | 808 | 285 | 176 |
| | 200DL511 | 11 | 863 | 453 | 410 | 907 | 285 | 212 |
| | 200DL515 | 15 | 896 | 479 | 411 | 994 | 285 | 260 |
| | 200DL518 | 18.5 | 932 | 512 | 415 | 1001 | 285 | 305 |
| | 200DL522 | 22 | 932 | 512 | 415 | 1001 | 285 | 330 |
| 250 | 250DL57.5 | 7.5 | 969 | 525 | 622 | 903 | 400 | 260 |
| | 250DL511 | 11 | 993 | 541 | 634 | 999 | 400 | 320 |
| | 250DL515 | 15 | 1007 | 549 | 646 | 1085 | 400 | 380 |
| | 250DL518 | 18.5 | 1007 | 549 | 649 | 1089 | 400 | 420 |
| | 250DL522 | 22 | 1007 | 549 | 649 | 1089 | 400 | 440 |

Unit mm

| Size ∅ | Model | Output kW | Pump and Motor | | | | | | Weight (Mass) kg |
|-----------|------------|--------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------|
| | | | A | B | F | K | L1 | L2 | |
| 50 | 50DLA5.75 | 0.75 | 411 | 239 | 175 | 630 | 250 | 650 | 36 |
| 65 | 65DLA51.5 | 1.5 | 497 | 291 | 200 | 840 | 320 | 860 | 55 |
| 80 | 80DLA51.5 | 1.5 | 524 | 292 | 220 | 840 | 320 | 860 | 58 |
| | 80DL52.2 | 2.2 | 542 | 308 | 220 | 840 | 320 | 860 | 70 |
| | 80DLA53.7 | 3.7 | 567 | 328 | 220 | 840 | 320 | 860 | 78 |
| 100 | 100DLA53.7 | 3.7 | 614 | 335 | 250 | 840 | 320 | 860 | 85 |

Parallel Alternate type

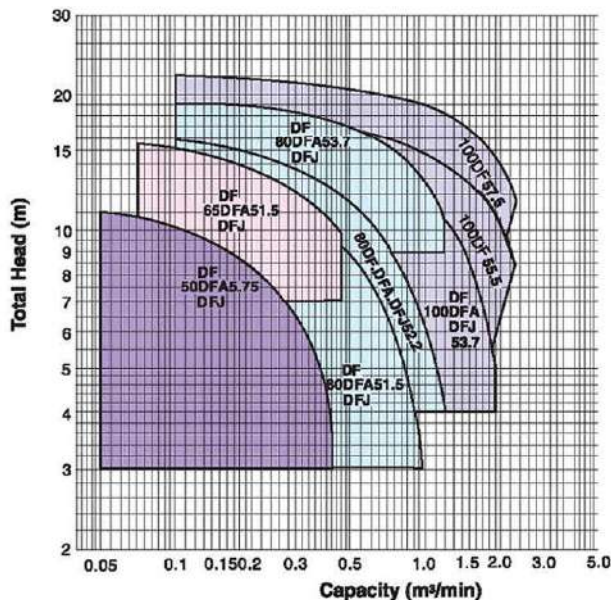


Unit mm

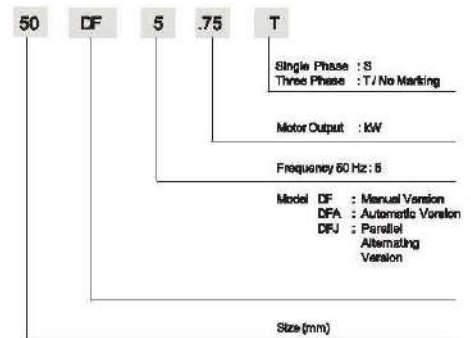
| Size ∅ | Model | Output kW | Pump and Motor | | | | | | Weight (Mass) kg | |
|-----------|------------|--------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------------------|----|
| | | | A | B | F | K1 | L3 | L4 | | L5 |
| 50 | 50DLJ5.75 | 0.75 | 411 | 239 | 175 | 740 | 220 | 570 | 760 | 36 |
| 65 | 65DLJ51.5 | 1.5 | 497 | 291 | 200 | 850 | 290 | 780 | 970 | 55 |
| | 80DLJ51.5 | 1.5 | 524 | 292 | 220 | 850 | 290 | 780 | 970 | 58 |
| 80 | 80DLJ52.2 | 2.2 | 542 | 308 | 220 | 850 | 290 | 780 | 970 | 70 |
| | 80DLJ53.7 | 3.7 | 567 | 328 | 220 | 850 | 290 | 780 | 970 | 78 |
| 100 | 100DLJ53.7 | 3.7 | 614 | 335 | 250 | 850 | 290 | 780 | 970 | 85 |

MODEL DF (With Curtter)

SELECTION CHARTS



MODEL CODE



Lampiran 4:
Katalog Blower

Direct Drive Blowers

General-Purpose Series (SF)

SF-75HT



The general-purpose series includes Sirocco (SF) and Turbo (SB) types. With a general-purpose lineup ranging from 0.025 kW compact models up to 1.5 kW, they are constructed to be easily attached to a range of industrial equipment. Match performance, size, and other specifications to your own application. Note: For intake temperatures greater than 40°C, use our heat-resistant models (HT models).

For details, see our online catalog.

[Online Catalog](#)

[Click here for examples of Options](#)

PDF documentation and CAD data for this product are available for download. 

* Unpack ZIP packages to view the content. The content may consist of PDF or CAD data.

* CAD data is in dxf format. Use a specialized CAD application or similar to view the file.

[General Catalogs](#)

[Manuals](#)

[Performance Curves](#)

[External Dimensions Drawings](#)

[External Dimensions Drawings](#)



Specifications

Model explained

Impeller Type

| | | |
|---|--|----------------|
| Model (→ Model explained) | | SF-75HT |
| Impeller (→ Impeller Type) | | Sirocco |
| Discharge Port Size (mm) | | φ75 |
| Intake Port Size (mm) | | φ123 |
| Phases | | Single phase |
| Output (kW) | | 0.25 |
| Standard Voltage (V) | | 100 |
| 50Hz | Current (A) | 4.5 |
| | Maximum Airflow (m³/min) | 8.0 |
| | Maximum Static Pressure (kPa) | 0.55 |
| 60Hz | Current (A) | 4.5 |
| | Maximum Airflow (m³/min) | 9.5 |
| | Maximum Static Pressure (kPa) | 0.80 |
| Weight (Kg) | | 9 |
| Maximum Intake Temperature (°C) | | 200 |
| Bearing Number | Impeller Side | 6202ZZC3 |
| | Non-Impeller Side | 6202ZZC3 |
| Material | Casing | AC2B |
| | Impeller | SPCC |

Options



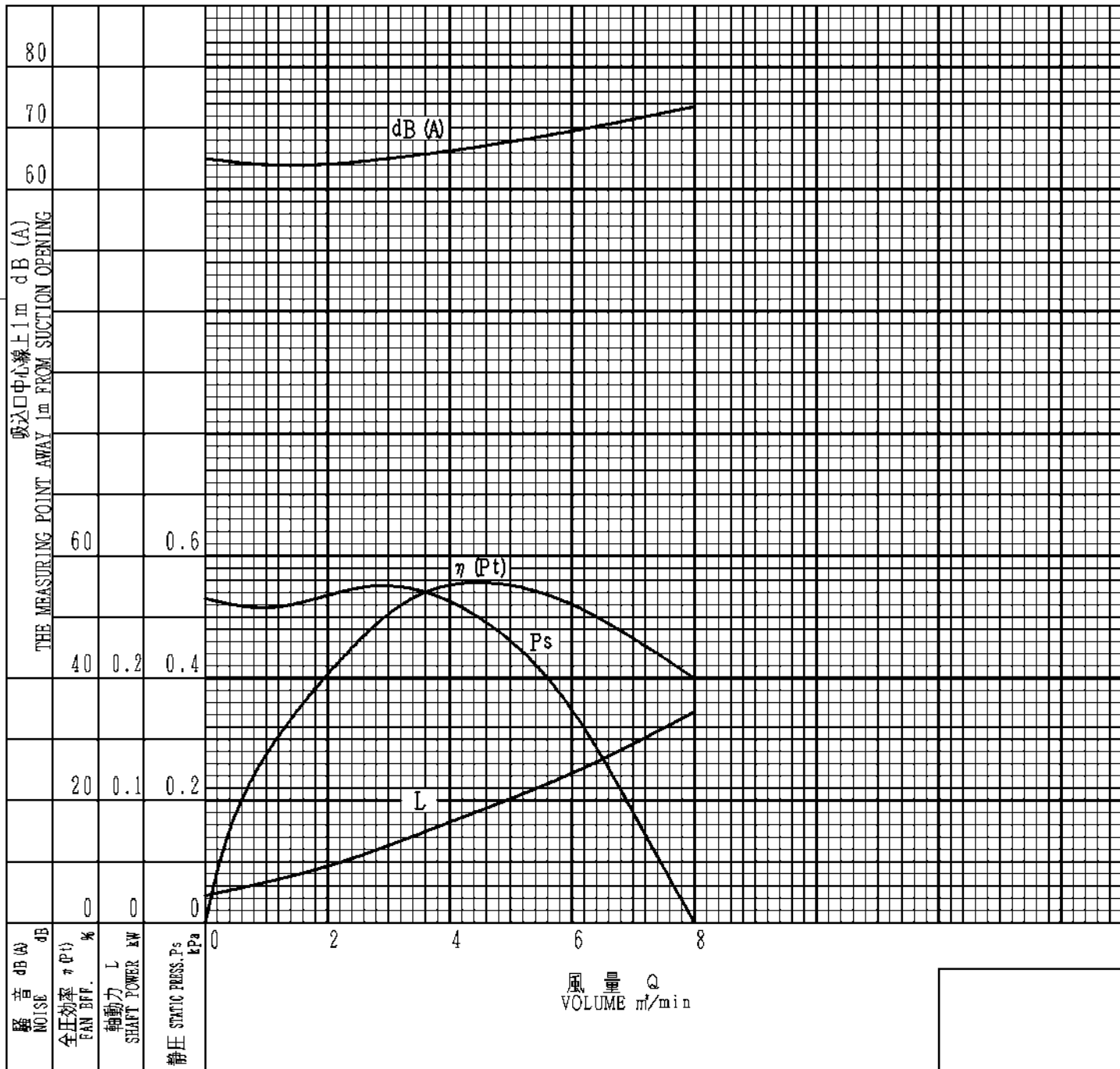


送風機性能曲線図

FAN PERFORMANCE CURVE

| | |
|-------------|---------------------------|
| 日付 DATE | 1999.3.1 MARCH 1, 1999 |
| 作成 DWG. | K.MITSUI |
| 校閲 CHECK | N.YANAGI |

| | | | | | | | | |
|-----------------------|--------------|------|---------------------|-------------------|------|----|---------------|-----------------------|
| 品名/形式 TYPE | SF-75HT-R3A3 | | | 電動機 MOTOR | 0.25 | kW | 2 | P |
| 風量 VOLUME | MAX. | 8.0 | m ³ /min | 電圧 VOLTAGE | 100 | | V | |
| 静圧 STATIC PRESSURE | MAX. | 0.55 | kPa | 電流 CURRENT | 4.5 | | A | |
| 回転速度/回転数 FAN SPEED | | 2800 | min ⁻¹ | 温度 TEMPERATURE | 20 | ℃ | 密度 DENSITY | 1.2 kg/m ³ |
| 周波数 FREQUENCY | | 50 | Hz | | | | | |
| 備考 NOTES | | | | | | | | (99年型) (99 MODEL) |



図番
DWG. NO. JB08R3A160-0

昭和電機株式会社
SHOWA DENKI CO., LTD

Lampiran 5:
Katalog Pompa *Centrifugal*

Tank Type Untuk Sumur Dangkal

O v d h , v d B f , R , d y ,
r N, i d J m N v r ,

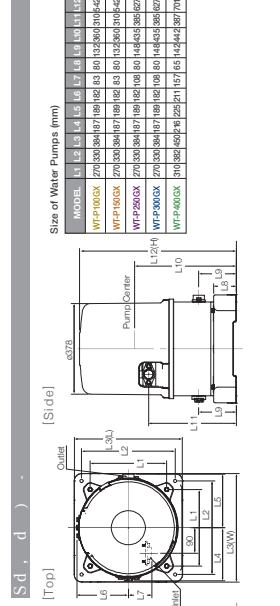


nv b , d
Tangki dibuat dari baja khusus yang tebal dan juga dilapisi 3 lapisan anti karat.

m w D
O v d O d b v ,
Fitur ini bekerja berparangan dengan dibukanya keran air untuk menjamin tekanan air yang stabil. Dibuat dari bahan anti karat dan mudah dipasang untuk dibersihkan.

S v w , r v , i , , n v
Tangki yang dilas dihadirkan untuk bertahan dari tekanan air yang tinggi dan mencegah kebocoran. Tangki dibuat dari baja khusus yang tebal dan juga dilapisi 3 lapisan anti karat, serta dicat metalik untuk membuatnya tahan dengan paparan sinar matahari.

r n 0 C33Xs C3r 2 r n 0 A33Xs A3r 2 r n 0 5DBXs 5Dr
r n 0 4DBXs 4Dr 2 r n 0 433Xs 43r



Stainless Steel Tank Type Untuk Sumur Dalam

S v w , / m v B v & l 0 , d v m v d , m , ,
i , , n v

pertimbangan, serta cocok

**m v d , meel
i , , n v n k**



DT-PS300GX (P-J)

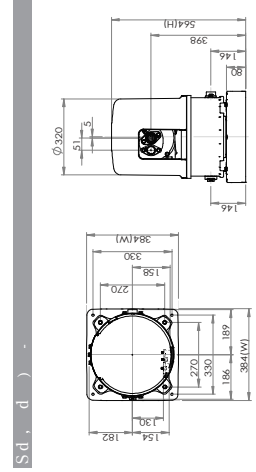
O n
f v & d c v n N y m v d , m , i , , n v
Tangki tekanan terbuat dari stainless steel tebal buatan Jepang tanpa sambungan/pengelasan, bersih, aman, dan anti karat.

m v B (l i , d v f v , d
Lapisan luar pompa air dibuat dari perunggu anti karat dan anti korosi.

g m

n N , P d 0 n N v l , v
Fitur ini akan menghentikan pengoperasian pompa air sementara secara otomatis saat motor pompa menjadi sangat panas. Hal ini untuk mencegah perubahan bentuk pada bagian-bagian dalam pompa air karena suhu yang terlalu panas.

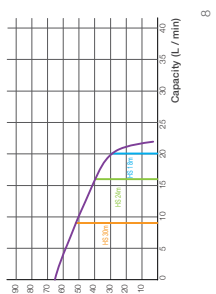
S n 0 m A33Xs j i c A33r



D n w
O v d m d y N
Saklar tekanan air otomatis melakukan dan mematikan pompa air sesuai dibuka-tutupnya keran.

m d w , B g v r , A3 S ,
Cocok untuk sumur dengan kedalaman 30m. Sistem pompa jet-nya dapat menyesuaikan untuk sumur sempit dengan kedalaman 18-30m.

i , B v y , R N r



Lampiran 6:
Katalog *Submersible Mixer*

Lampiran 7:
Katalog Tangki Air

GENERAL TANK

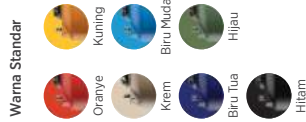


SOLUSI PRAKTIS PENAMPUNGAN AIR BERSIH

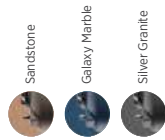
Penampungan air dengan bentuk dasar yang rata dan pilihan ukuran terbanyak. General Tank menawarkan kemudahan dan fleksibilitas dalam pemasangan. Dilingkupi dengan pelindung UV20+, teknologi Light-proof, dan ActiveGuard+ untuk menjamin pemakaian jangka panjang yang bebas dari lumut dan kuman. Menjaga higienitas tangki lebih lama dan menjadikan air lebih bersih.

- Mudah menyesuaikan kebutuhan dengan 14 pilihan ukuran
- Dinding 20% lebih tebal dari standar SNI
- Dinding mulus dan tanpa tulangan memudahkan pembersihan
- Food-Con act & bebas logam berat aman untuk air minum
- Higienis — Bebas dari pertumbuhan kuman, jamur, dan lumut
- Dasar tangki rata memudahkan saat pemasangan dan pemindahan

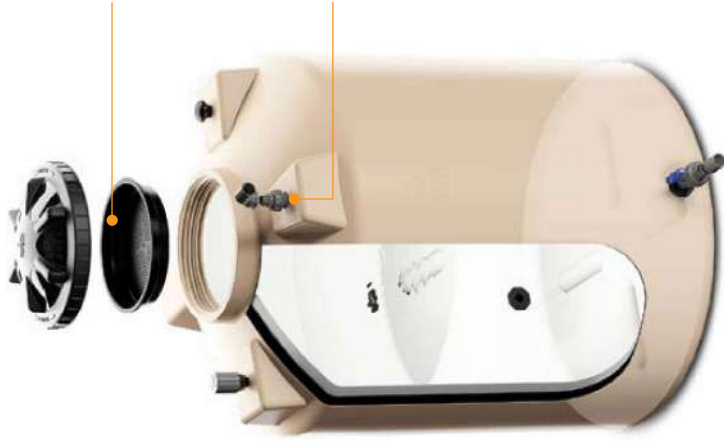
PILIHAN WARNA



Natura Series*



*Natura Series: TB 110 - TB 200



TUTUP ERGONOMIS & MULTIFUNGSI

Tutup ergonomis menutup lebih rapat, membuka lebih mudah. Dilingkupi saringan kotoran (strainer) jika digunakan untuk menampung air hujan.

*Gratis Strainer: TB 33, TB 53, TB 110, TB 120, TB 160



PEMASANGAN MUDAH

Aksesoris pemipaian yang lengkap menghemat waktu dan biaya pemasangan. *Fitting Union* pada *inlet* dan *outlet* memudahkan perawatan karena tidak perlu memotong pemipaian.

GRATIS PLUMBING KIT



SPESIFIKASI

| Tipe | TB 32 | TB 33 | TB 53 | TB 55 | TB 70 | TB 80 | TB 110 | TB 120 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Kapasitas | 300 liter | 300 liter | 520 liter | 520 liter | 650 liter | 800 liter | 1.050 liter | 1.200 liter |
| Inlet | 3/4 inch | 3/4 inch | 3/4 inch | 3/4 inch | 3/4 inch | 3/4 inch | 1 inch | 1 inch |
| Outlet | 3/4 inch | 3/4 inch | 3/4 inch | 3/4 inch | 3/4 inch | 3/4 inch | 1 inch | 1 inch |
| Tebal | 4 - 6 mm | 4 - 6 mm | 6 - 9 mm | 6 - 9 mm | 7 - 10 mm | 7 - 10 mm | 9 - 11 mm | 9 - 11 mm |
| Berat | 9 kg | 9 kg | 16 kg | 16 kg | 19 kg | 22 kg | 26 kg | 28 kg |

| Tipe | TB 160 | TB 200 | TB 220 | TB 300 | TB 400 | TB 500 |
|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Kapasitas | 1.550 liter | 2.000 liter | 2.250 liter | 3.100 liter | 4.100 liter | 5.100 liter |
| Inlet | 1 inch | 1 inch | 1 inch | 1,5 inch | 1,5 inch | 2 inch |
| Outlet | 1 inch | 1 inch | 1 inch | 1,5 inch | 1,5 inch | 2 inch |
| Tebal | 10 - 12 mm | 10 - 12 mm | 10 - 12 mm | 10 - 15 mm | 12 - 18 mm | 12 - 18 mm |
| Berat | 38 kg | 47 kg | 55 kg | 75 kg | 98 kg | 117 kg |

Lampiran 8:
Katalog *Filter Press*

Filter press | Technical Specifications

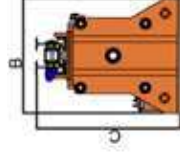
FILTER PRESS SUPERIOR DRAGGING

| Model | Maximum Nº of plates | Maximum length | Maximum width | Maximum height | Maximum filter surface | Maximum filtered volume |
|--|----------------------|----------------|---------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| | | mm (A) | mm (B) | mm (C) | (m ²) | (l) |
| FPA-AR 1000 | 125 | 11.000 | 1.400 | 2.100 | 215 | 3.220 |
| Pump type: Cylinder of 23 cm ³ Tank Volume (l): 150 Power: 7,5 Kw | | | | | | |
| FPA-AR 1200 | 125 | 12.400 | 1.900 | 2.400 | 310 | 4.445 |
| Pump type: Cylinder of 23 cm ³ Tank Volume (l): 150 Power: 7,5 Kw | | | | | | |

Frame: Material ST-37/AISI-304, finish: Epoxy Paint.

Operation: Automatic.

Rat 2011



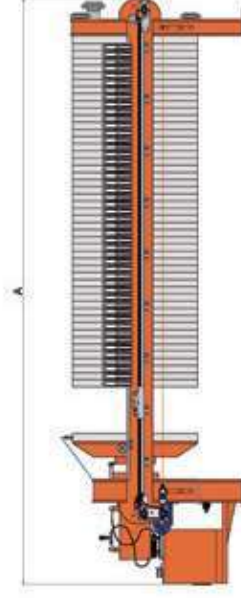
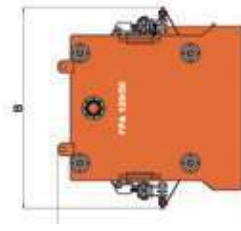
FILTER PRESS LATERAL DRAGGING

| Model | Nº of plates | Nº of chambers | Length | Width | Height | Weight empty | Weight loaded | Total filter area | FP total cake volume | Plates and fabric size |
|---|--------------|----------------|--------|--------|--------|--------------|---------------|-------------------|----------------------|------------------------|
| | ud. | ud. | mm (A) | mm (B) | mm (C) | (Kg) | (kg) | (m ²) | (l) | |
| FPA AL 120/40 | 40 | 39 | 5.020 | 1.935 | 1.790 | 7.800 | 9.420 | 92 | 1.247 | 1.200 |
| FPA AL 120/50 | 50 | 49 | 5.710 | 1.935 | 1.790 | 8.400 | 10.438 | 115,60 | 1.567 | 1.200 |
| FPA AL 120/60 | 60 | 59 | 6.400 | 1.935 | 1.790 | 9.000 | 11.450 | 139,2 | 1.886 | 1.200 |
| Pump type: Cylinder of 25 cm ³ Tank volume (l): 100 Power: 4kw | | | | | | | | | | |

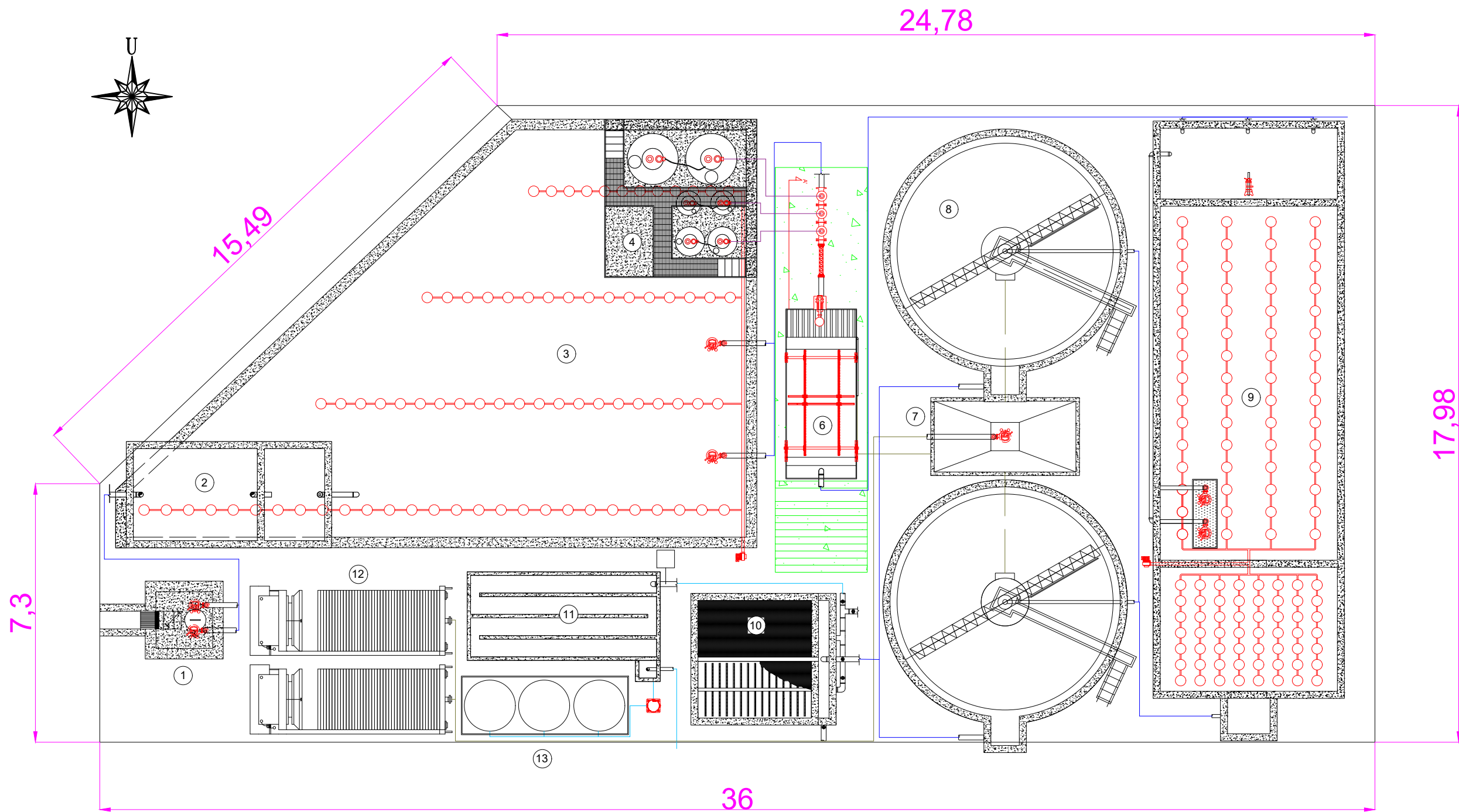
Frame: Material ST-37/AISI-304, Finish: Epoxy paint.

Operation: Automatic.

Rat 2011.



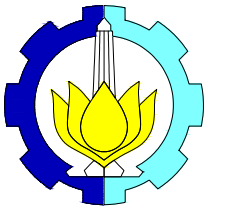
Lampiran 9:
Detail Engineering Design (DED) Drawing



LAYOUT IPAL FASE 2 PT. XYZ

SKALA 1 : 125

- | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------------|--------------|
| ① Sumur pengumpul & bar screen | ④ Area bak chemical | ⑦ Sl. holding tank | ⑩ Rapid sand filter | ⑬ Tangki air |
| ② Grease trap | ⑤ Proses fis-kim | ⑧ Clarifier | ⑪ Tangki kontak klorin | |
| ③ Bak ekualisasi | ⑥ Dissolved air flotation | ⑨ MBBR | ⑫ Filter press | |



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Layout IPAL Fase 2 PT.
XYZ

NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
0321184000078

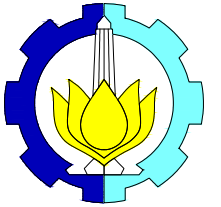
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

- | | |
|--|------------------------|
| | Beton |
| | Platform Beton |
| | Pipa Air Limbah |
| | Pipa Lumpur |
| | Pipa Daur Ulang Efluen |
| | Pipa Dosing |

| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:125 | meter | 1 |



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis




NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

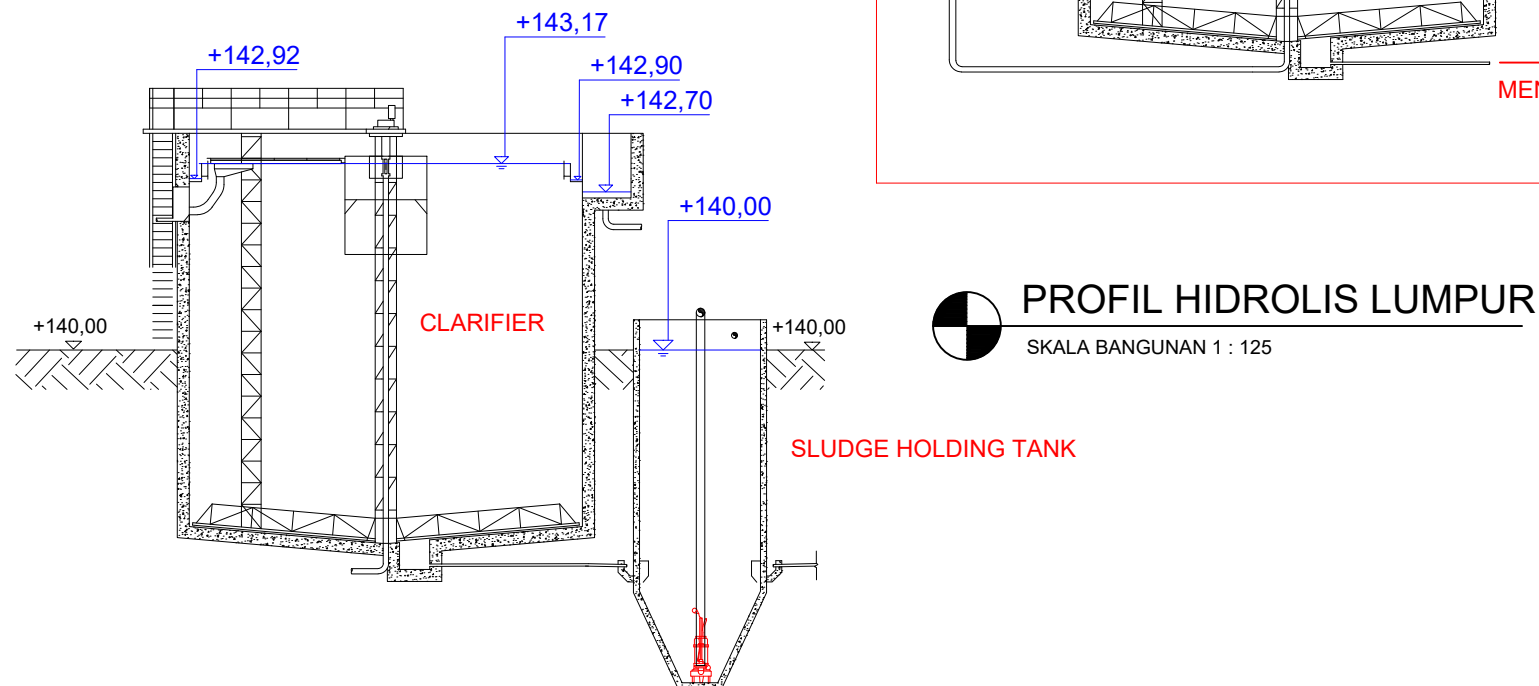
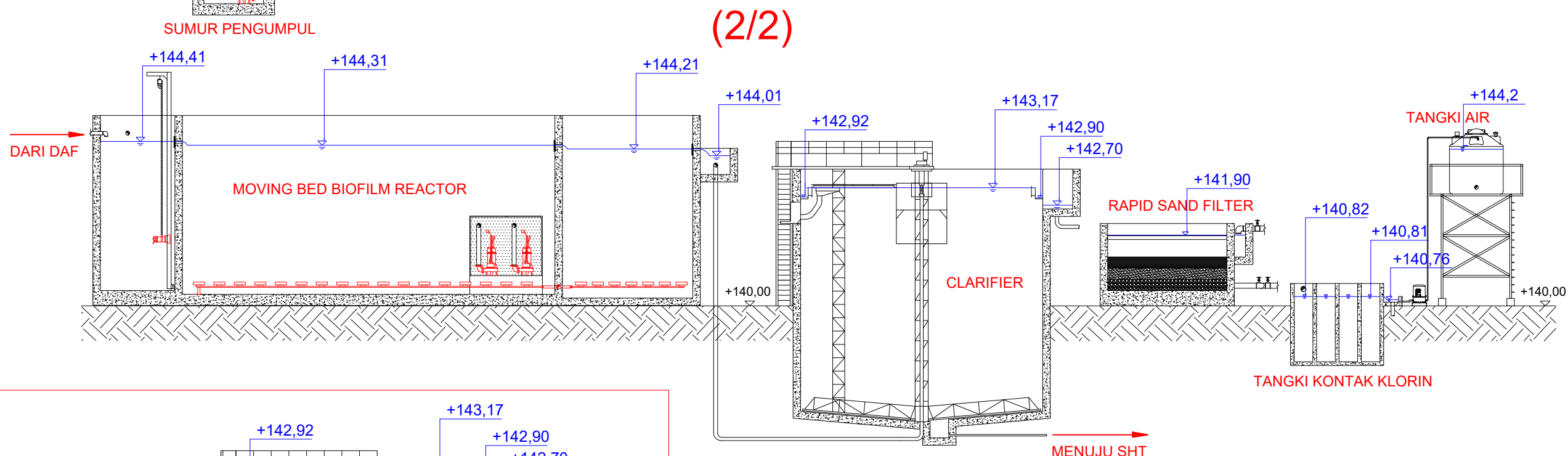
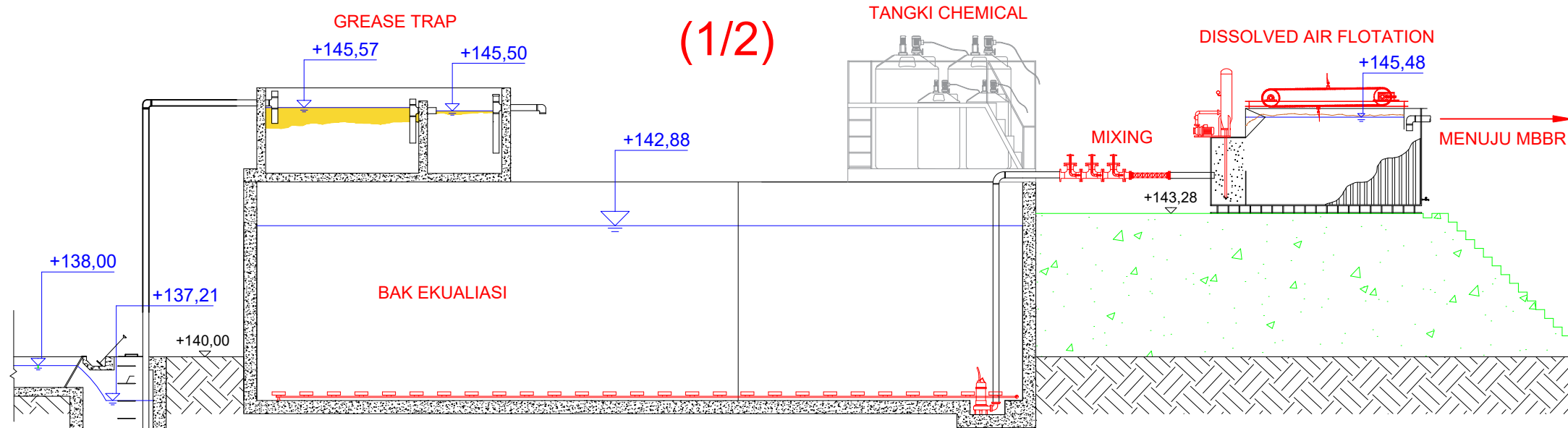
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

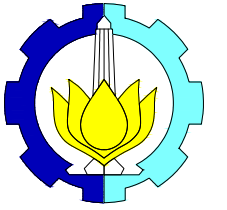
LEGENDA

-  Beton
-  Tanah
-  Elevasi Muka Air

| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:250 | meter | 2 |



PROFIL HIDROLIS IPAL
SKALA BANGUNAN 1 : 125



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Bar screen


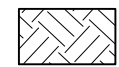
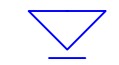
NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

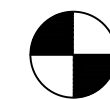
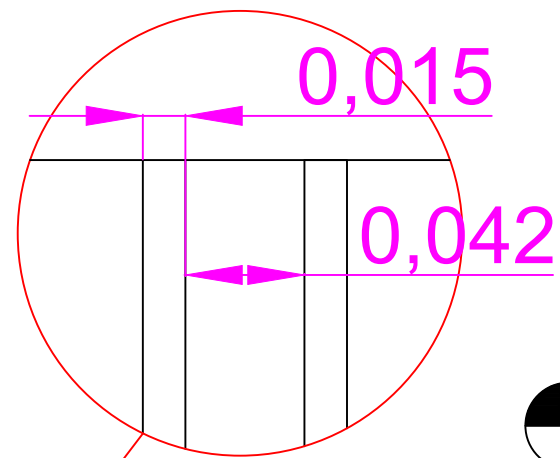
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

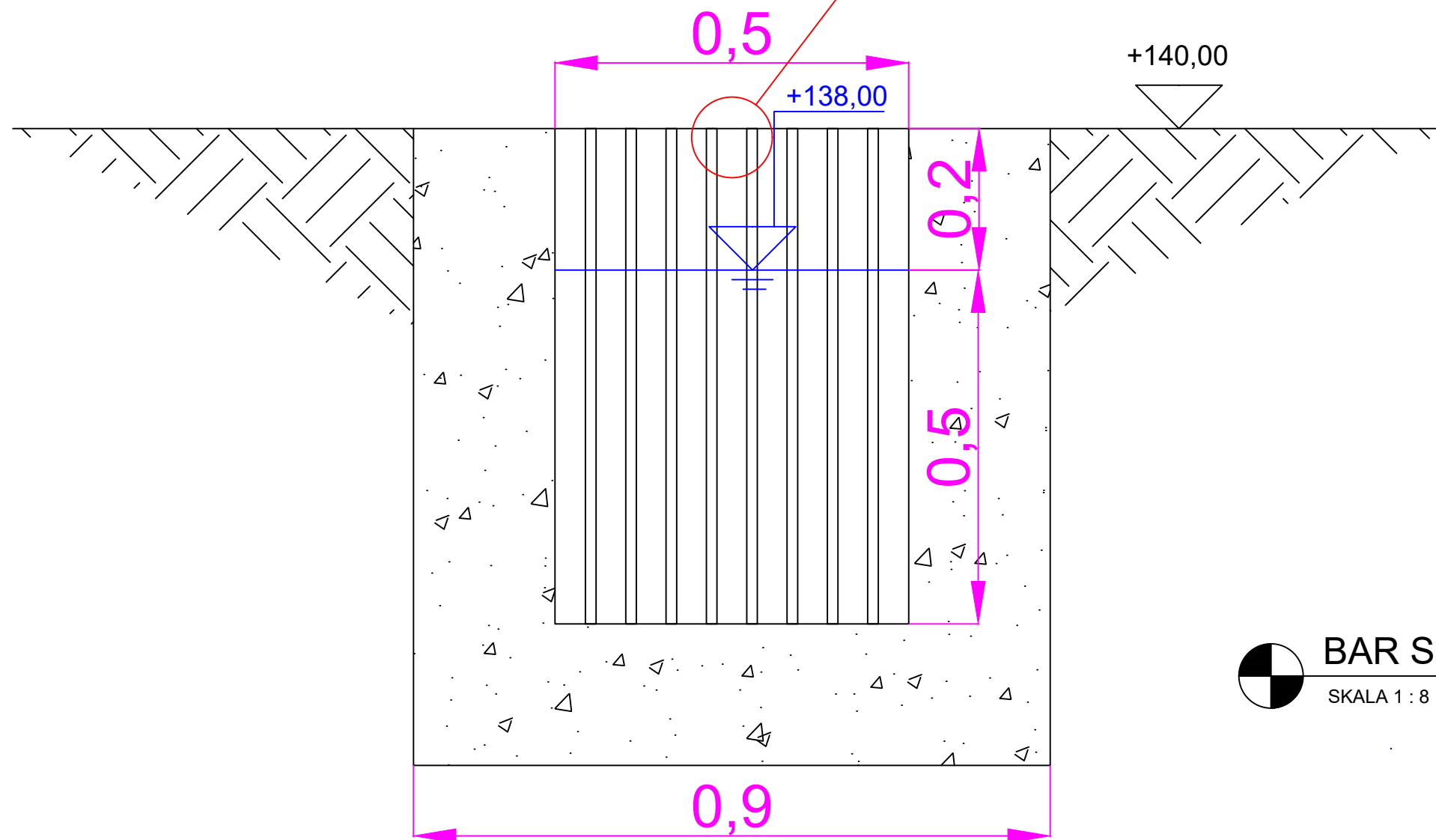
-  Beton
-  Tanah
-  Elevasi Muka Air

| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:8 | meter | 3 |



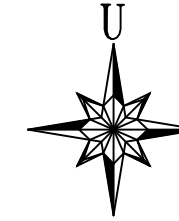
DETAIL SCREEN

SKALA 1 : 3



BAR SCREEN

SKALA 1 : 8



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Sumur Pengumpul

NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

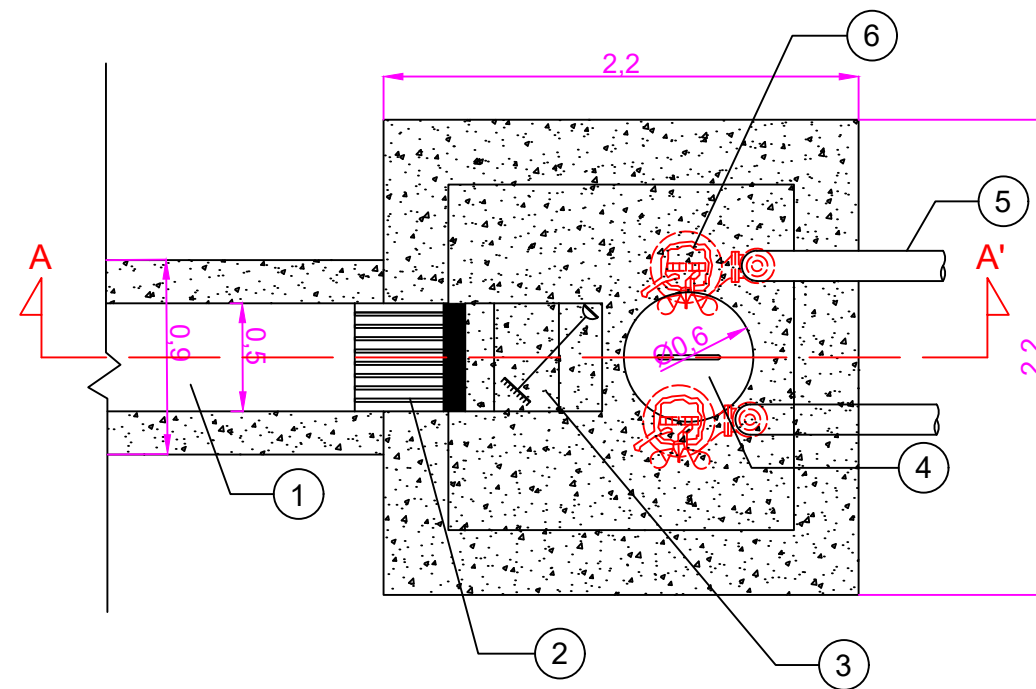
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

| | |
|--|------------------|
| | Beton |
| | Tanah |
| | Elevasi Muka Air |

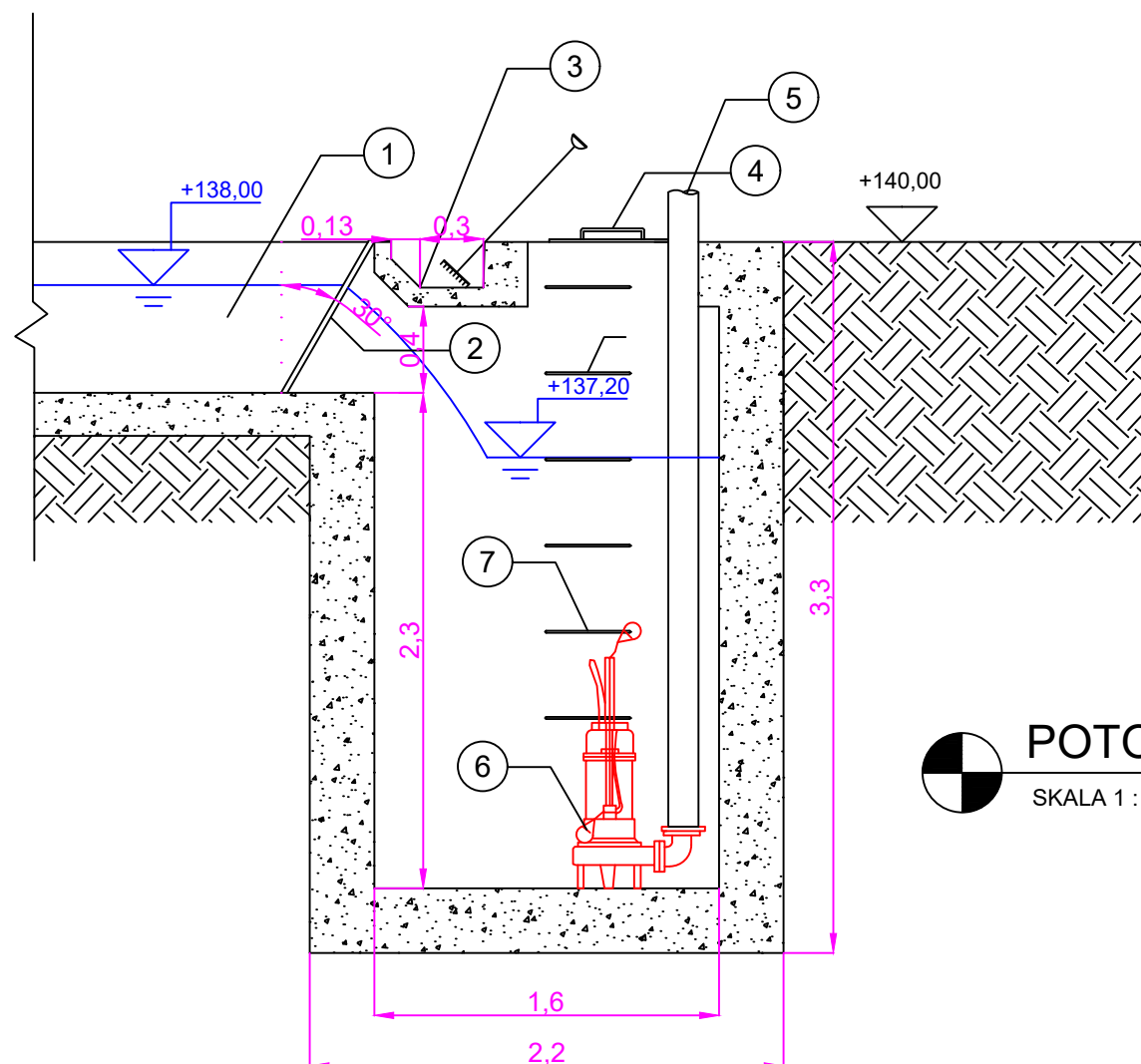
| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:35 | meter | 4 |



DENAH SUMUR PENGUMPUL

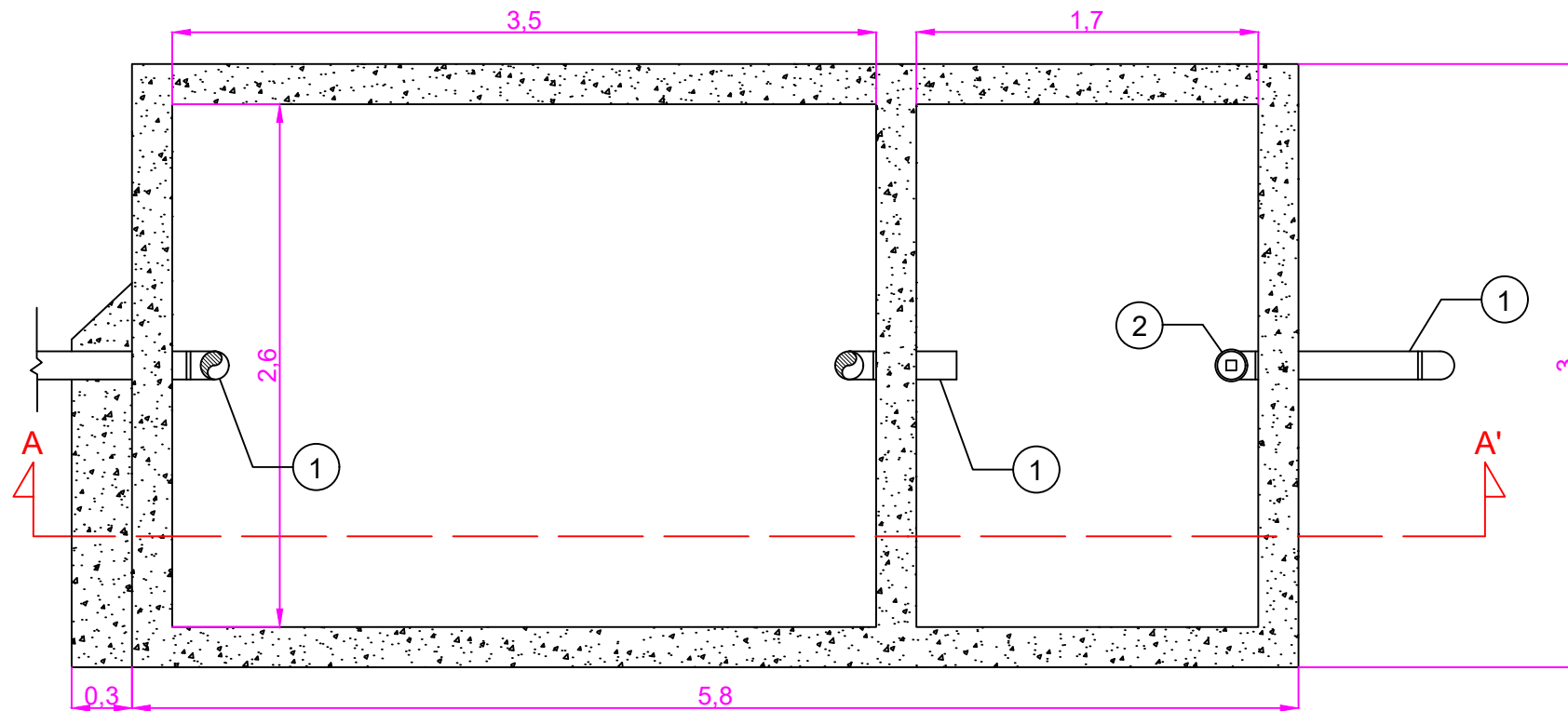
SKALA 1 : 35

- ① Saluran air limbah
- ② Bar screen
- ③ Tempat penampungan sampah
- ④ Manhole Ø 600 mm
- ⑤ Pipa PVC Ø 140 mm
- ⑥ Pompa submersible
- ⑦ Tangga monyet

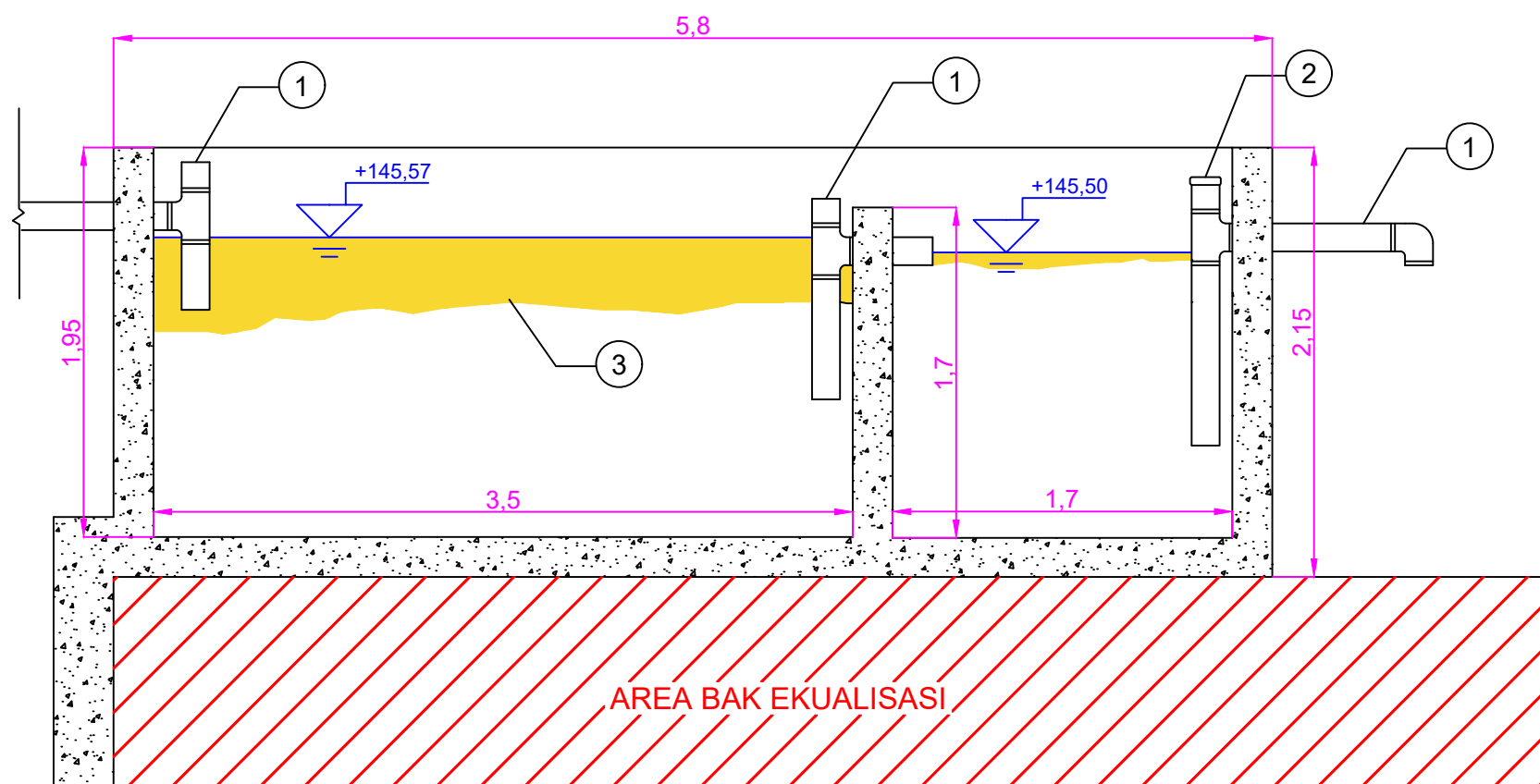


POTONGAN A-A' SUMUR

SKALA 1 : 35



DENAH GREASE TRAP
SKALA 1 : 35



POTONGAN A-A' GREASE TRAP
SKALA 1 : 35



- ① Pipa PVC Ø 140 mm
- ② Clean out cap
- ③ Minyak & lemak



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

**Denah & Potongan A-A'
Grease Trap**




NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

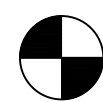
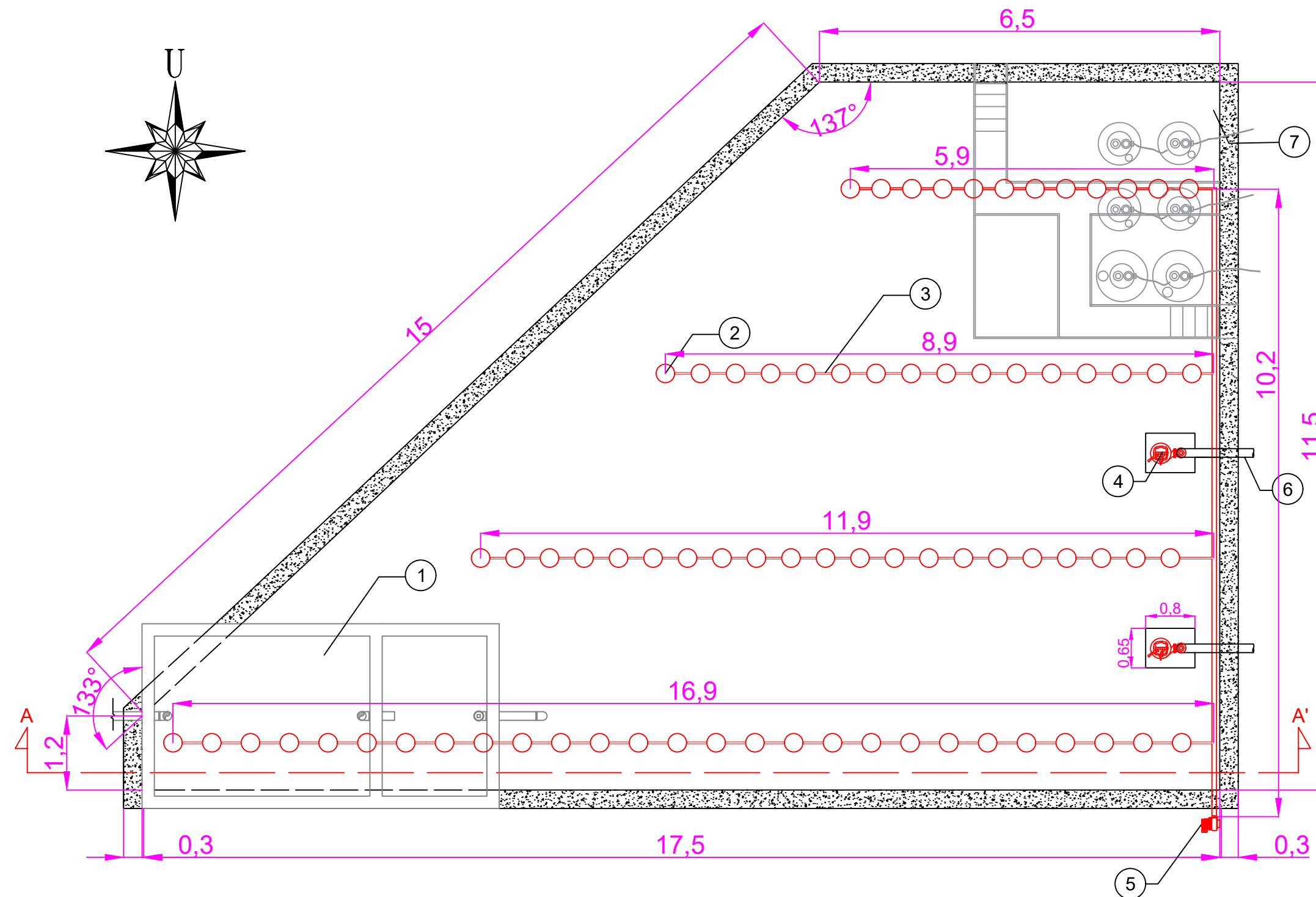
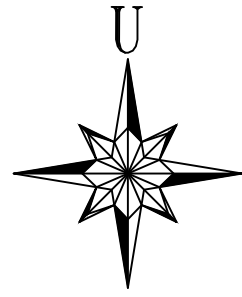
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

-  Beton
-  Tanah
-  Elevasi Muka Air

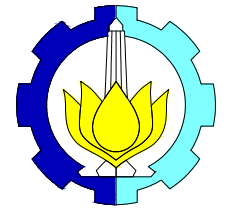
| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:35 | meter | 5 |



DENAH BAK EKUALISASI

SKALA 1 : 75

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| ① Grease trap | ⑤ Blower |
| ② Disc diffuser Ø 300 mm | ⑥ Pipa PVC Ø 140 mm |
| ③ Pipa udara Ø 30 mm | ⑦ Area bak chemical |
| ④ Pompa submersible | |



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Denah Bak Ekualisasi

NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

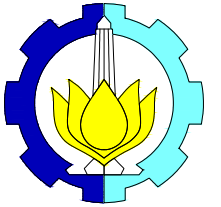
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA



| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:75 | meter | 6.1 |



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Potongan A-A' Bak
Ekualisasi

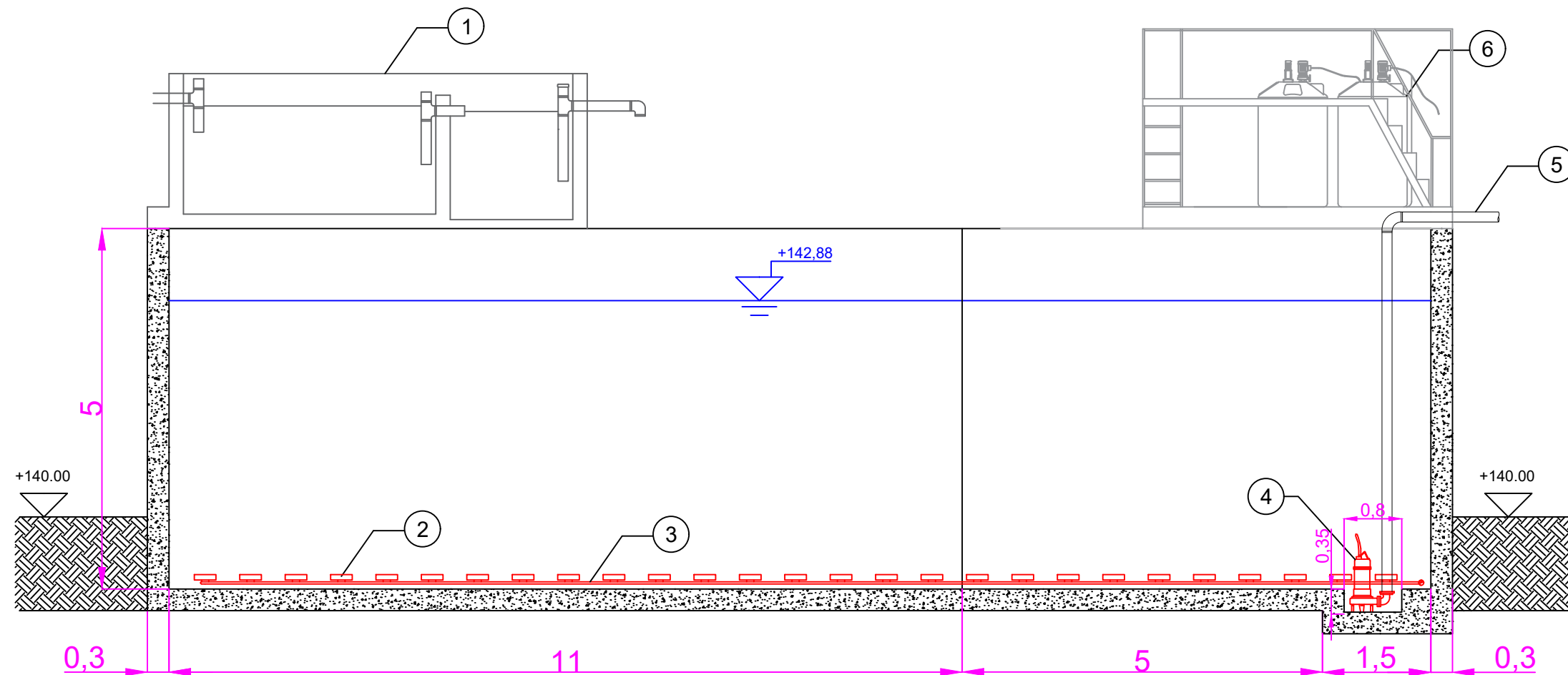
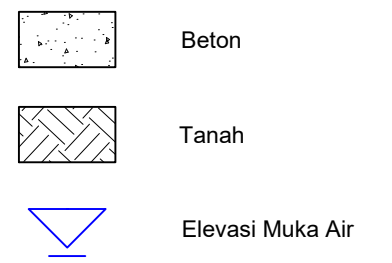
NAMA MAHASISWA


Daffa Rayhan
03211840000078

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

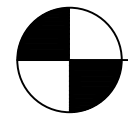
LEGENDA



 **POTONGAN A-A' BAK EKUALISASI**
SKALA 1 : 75

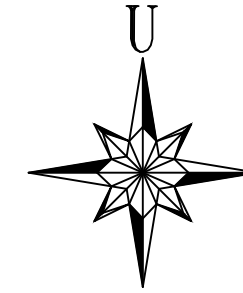
- | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| ① <i>Grease trap</i> | ④ <i>Pompa submersible</i> |
| ② <i>Disc diffuser Ø 300 mm</i> | ⑤ <i>Pipa PVC Ø 140 mm</i> |
| ③ <i>Pipa udara Ø 22 mm</i> | ⑥ <i>Area bak <i>chemical</i></i> |

| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:75 | meter | 6.2 |



DENAH BAK CHEMICAL

SKALA 1 : 30



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Denah Bak *Chemical*

NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

DOSEN PEMBIMBING

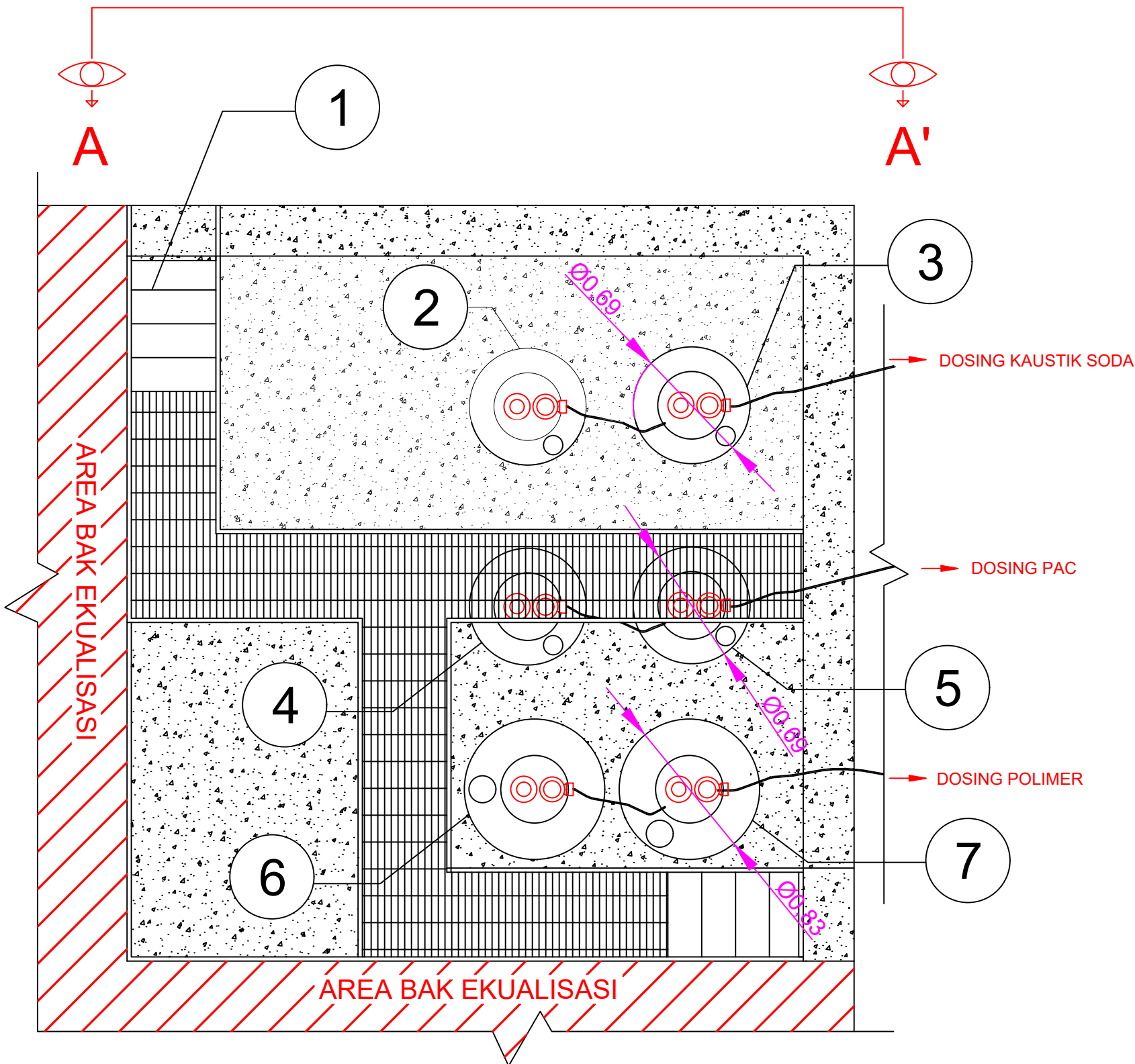
Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

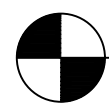
| | |
|--|----------|
| | Beton |
| | Platform |

| | | |
|-------|--------|--------------|
| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|

| | | |
|------|-------|-----|
| 1:30 | meter | 7.1 |
|------|-------|-----|



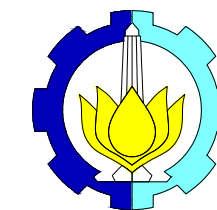
- ① Tangga
- ② Bak pencampur NaOH
- ③ Bak pembubuh NaOH
- ④ Bak pencampur PAC
- ⑤ Bak pembubuh PAC
- ⑥ Bak pelarut polimer
- ⑦ Bak pembubuh polimer



DETAIL BAK CHEMICAL (TAMPAK A-A')

SKALA 1 : 30

| | Netralisasi | Koagulasi | Coag. Aid |
|--------|-------------|-----------|-----------|
| A (m) | 0,69 | 0,69 | 0,83 |
| B (m) | 0,40 | 0,40 | 0,40 |
| C (m) | 0,97 | 0,97 | 1,77 |
| D (mm) | 2 | 2 | 6 |



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Detail Bak Chemical


NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

DOSEN PEMBIMBING

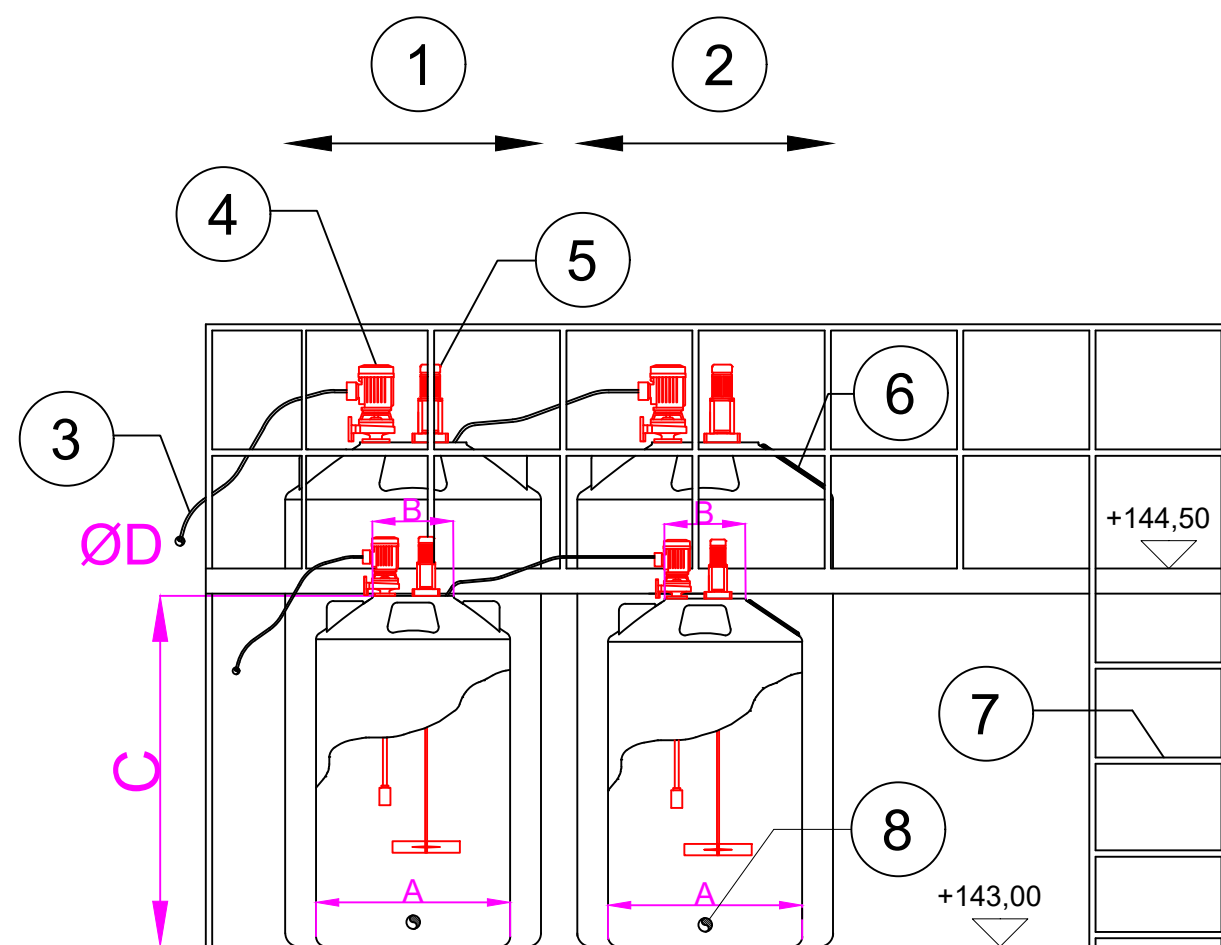
Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

 Beton

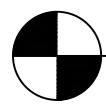
| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
|-------|--------|--------------|

| | | |
|------|-------|-----|
| 1:30 | meter | 7.2 |
|------|-------|-----|



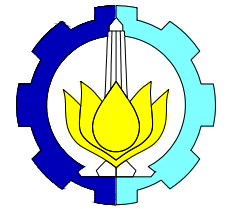
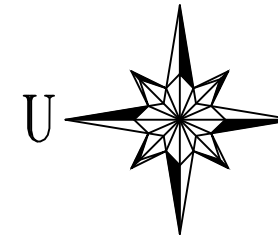
- ① Bak pembubuh
- ② Bak pencampur
- ③ Pipa dosing
- ④ Pompa dosing
- ⑤ Mixer
- ⑥ Inlet chemical
- ⑦ Tangga menuju platform
- ⑧ Pipa air bersih 1"

AREA BAK EKUALISASI



DENAH PROSES FIS-KIM & DAF

SKALA 1 : 40



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Denah Proses Fis-kim &
Dissolved Air Flotation

NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

DOSEN PEMBIMBING

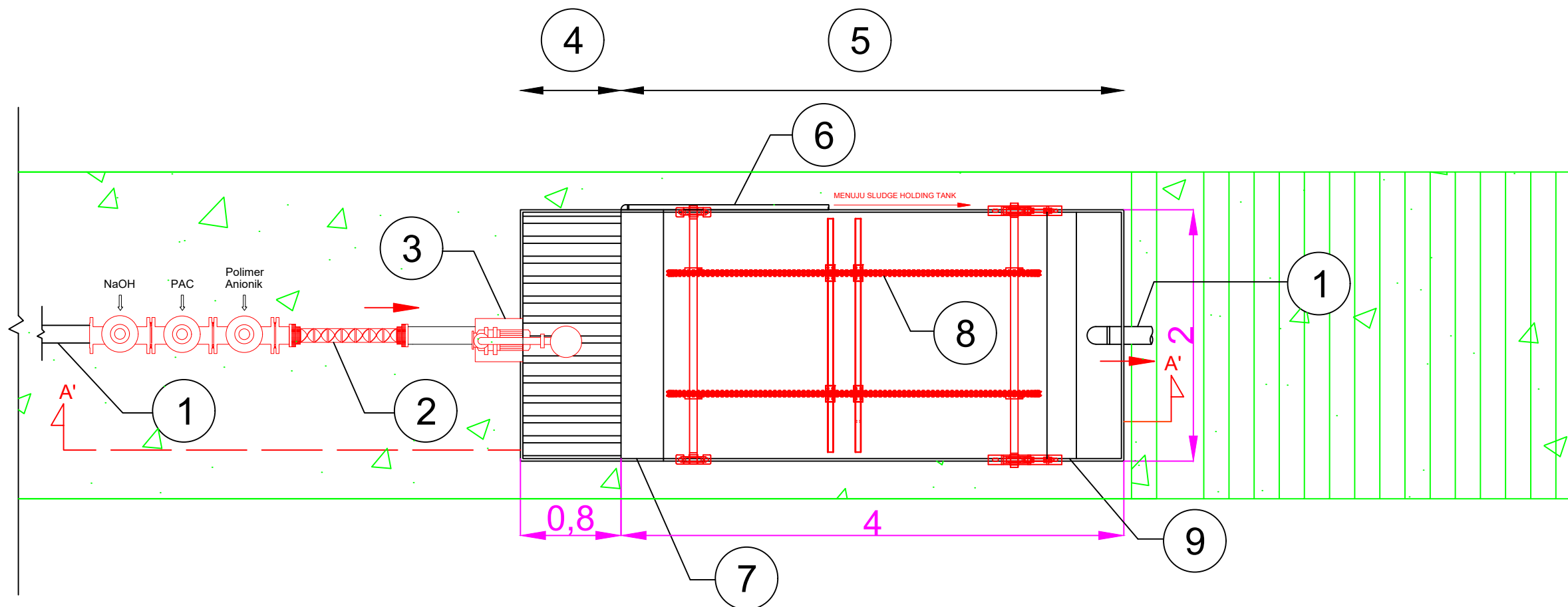
Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

| | |
|--|----------------|
| | Beton |
| | Tanah |
| | Baja |
| | Platform beton |

| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
|-------|--------|--------------|

| | | |
|------|-------|-----|
| 1:40 | meter | 7.3 |
|------|-------|-----|



1) Pipa PVC Ø 140 mm

2) Static mixer

3) Air saturator

4) Tangki tekan

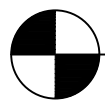
5) Tangki flotasi

6) Pipa PVC Ø 40 mm

7) Scum box

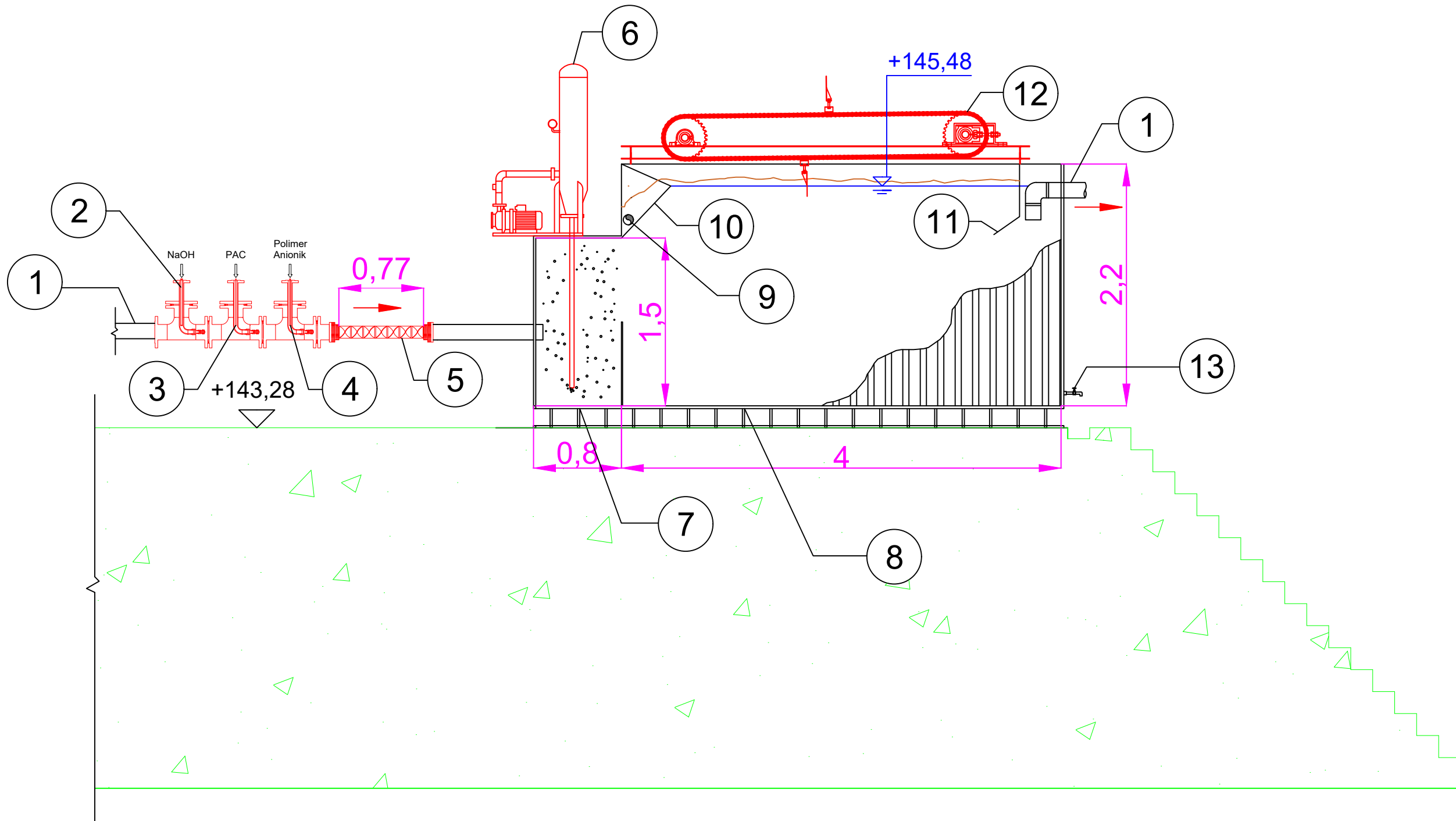
8) Skimmer

9) Baffle

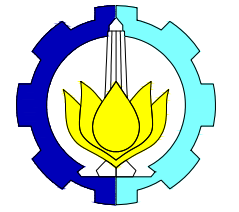


POTONGAN A-A' PROSES FIS-KIM & DAF

SKALA 1 : 40



- ① Pipa PVC Ø 140 mm
- ② Pipa dosing Ø 14 mm
- ③ Pipa dosing Ø 2,5 mm
- ④ Pipa dosing Ø 7 mm
- ⑤ *Static mixer*
- ⑥ *Air saturator*
- ⑦ Tangki tekan
- ⑧ Tangki flotasi
- ⑨ Pipa PVC Ø 40 mm
- ⑩ *Scum box*
- ⑪ *Baffle*
- ⑫ *Skimmer*
- ⑬ *Keran blowdown*



PROGRAM SARJANA
 JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
 FTSPK - ITS SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
 Pengolahan Air Limbah (IPAL)
 Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
 Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Potongan A-A' Proses
 Fis-kim & Dissolved Air
 Flotation

NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
 03211840000078

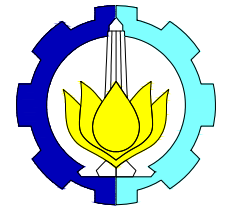
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
 NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

- Beton
- Tanah
- Baja
- Platform beton
- Elevasi Muka Air

| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:50 | meter | 7.4 |



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

**Denah *Moving Bed*
Biofilm Reactor**

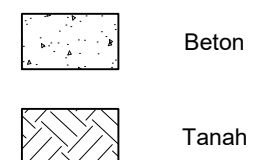
NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

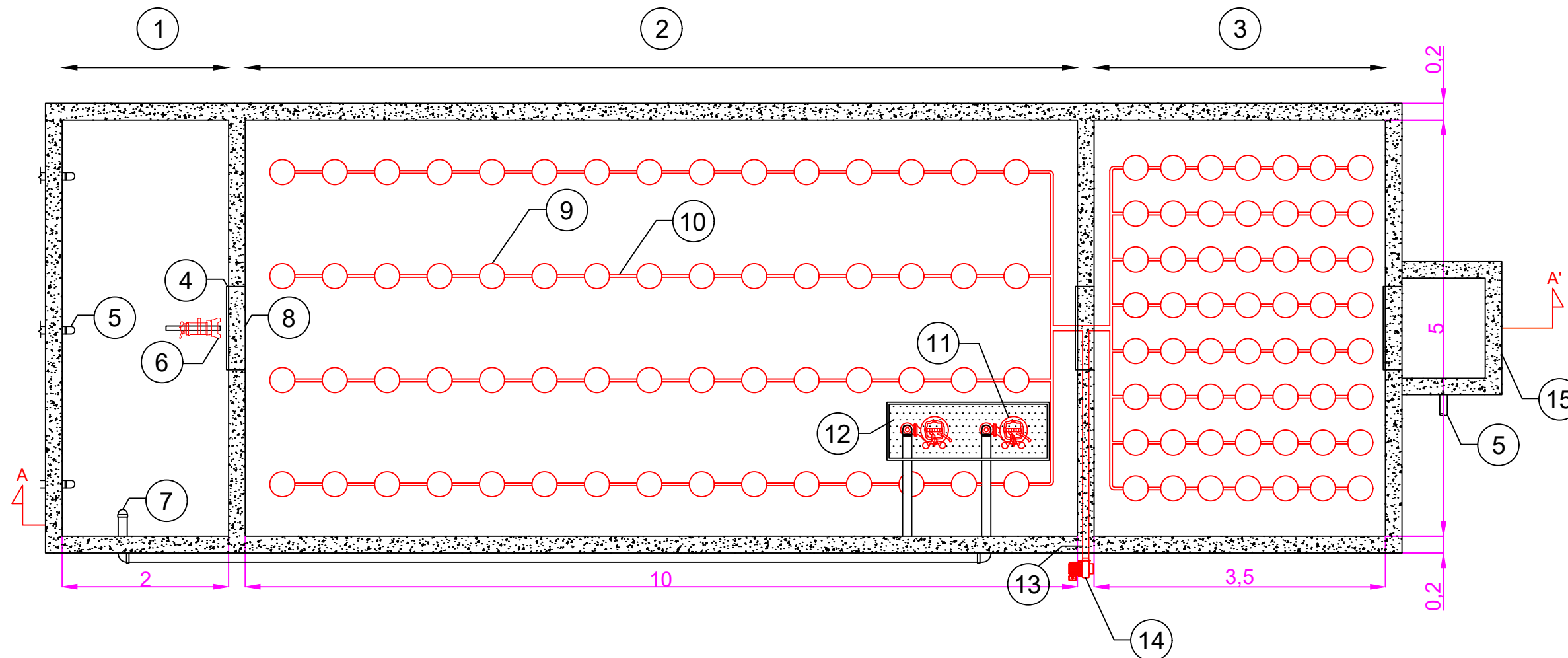
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

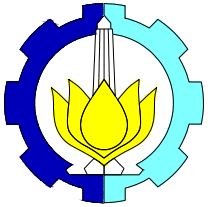


| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:60 | meter | 8.1 |



DENAH MOVING BED BIOFILM REACTOR
SKALA 1 : 60

- | | | | |
|---|---------------------|----------------------------|-------------------------------|
| ① Zona anoksik | ④ Rectangular weir | ⑧ Rectangular weir | ⑫ Mesh filter |
| ② Zona aerobik 1 (penyisihan BOD & nitrifikasi) | ⑤ Pipa PVC Ø 90 mm | ⑨ Disc diffuser Ø 300 mm | ⑬ Pipa manifold udara Ø 76 mm |
| ③ Zona aerobik 2 (penyisihan BOD) | ⑥ Submersible mixer | ⑩ Pipa udara Ø 32 mm | ⑭ Blower |
| | ⑦ Pipa PVC Ø 114 mm | ⑪ Pompa resirkulasi nitrat | ⑮ Effluent box |



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Potongan A-A' *Moving Bed Biofilm Reactor*

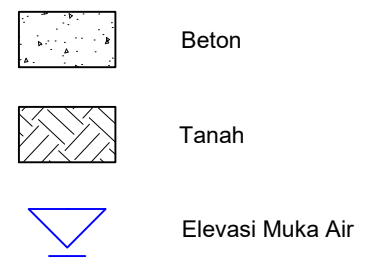
NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

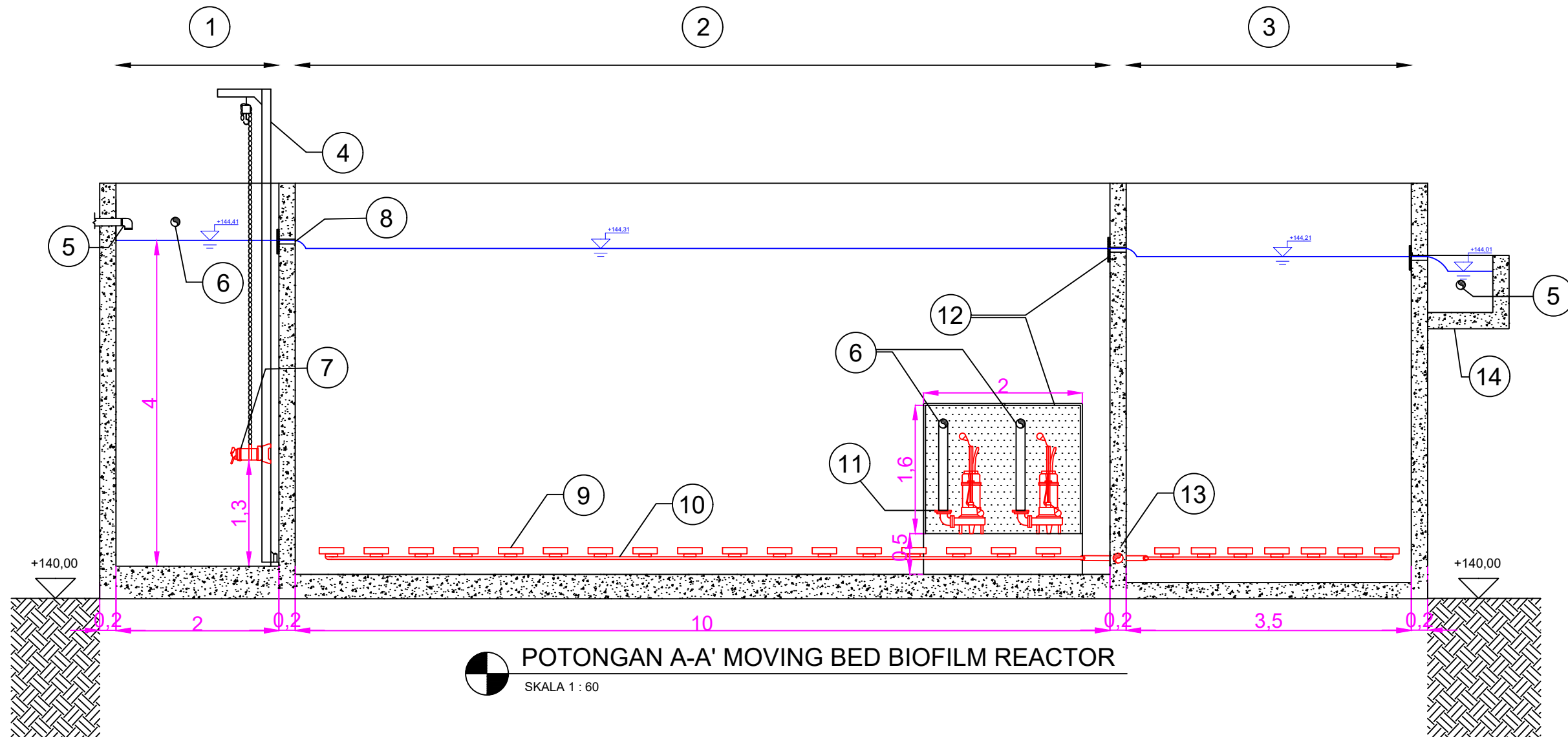
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

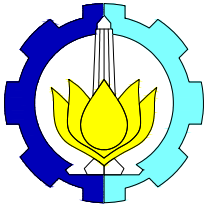


| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:60 | meter | 8.2 |



POTONGAN A-A' MOVING BED BIOFILM REACTOR
SKALA 1 : 60

- | | | | |
|---|---------------------|----------------------------|-------------------------------|
| ① Zona anoksik | ④ Tiang & katrol | ⑧ Rectangular weir | ⑫ Mesh filter |
| ② Zona aerobik 1 (penyisihan BOD & nitrifikasi) | ⑤ Pipa PVC Ø 90 mm | ⑨ Disc diffuser Ø 300 mm | ⑬ Pipa manifold udara Ø 76 mm |
| ③ Zona aerobik 2 (penyisihan BOD) | ⑥ Pipa PVC Ø 114 mm | ⑩ Pipa udara Ø 32 mm | ⑭ Effluent box |
| | ⑦ Submersible mixer | ⑪ Pompa resirkulasi nitrat | |



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Denah & Potongan A-A'
Clarifier

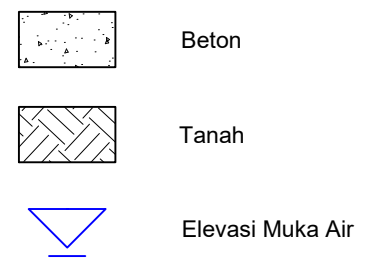
NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

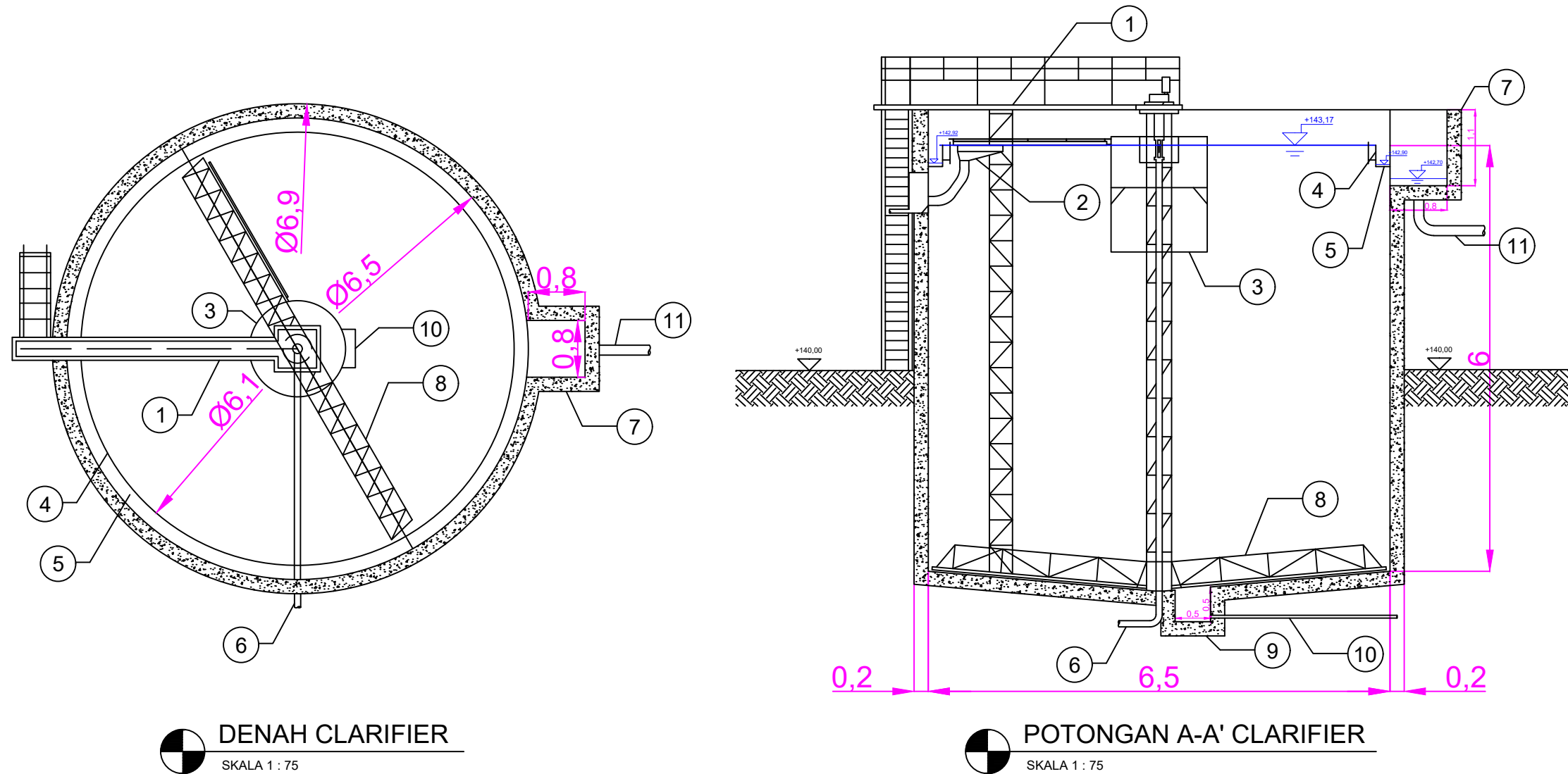
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA



| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:75 | meter | 9 |



DENAH CLARIFIER
SKALA 1 : 75

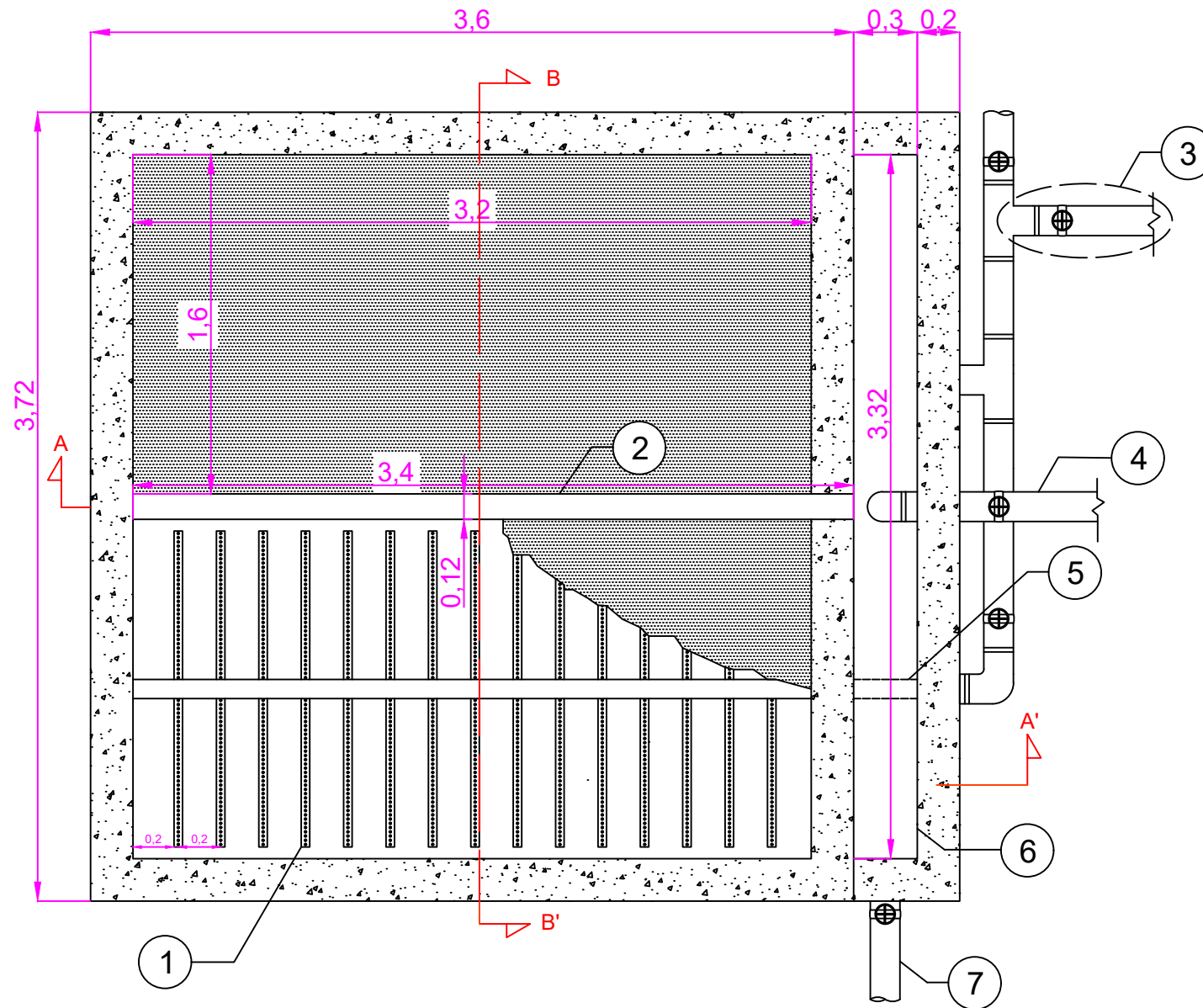
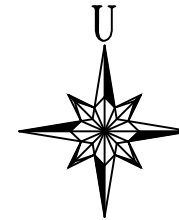
POTONGAN A-A' CLARIFIER
SKALA 1 : 75

- | | | |
|----------------|--------------------|-----------------------|
| ① Platform | ⑤ Launder | ⑨ Sludge storage zone |
| ② Scum box | ⑥ Pipa PVC Ø 90 mm | ⑩ Pipa lumpur Ø 40 mm |
| ③ Center well | ⑦ Junction box | ⑪ Pipa PVC Ø 140 mm |
| ④ V-notch weir | ⑧ Sludge scraper | |

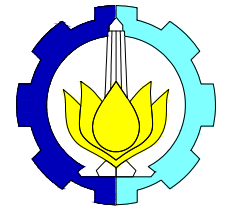


DENAH RAPID SAND FILTER DUAL MEDIA

SKALA 1 : 30



- ① Pipa lateral Ø 40 mm
- ② Gutter
- ③ Pipa backwash PVC Ø 140 mm
- ④ Pipa inlet PVC Ø 140 mm
- ⑤ Pipa manifold PVC Ø 90 mm
- ⑥ Struktur inlet
- ⑦ Pipa menuju drainase PVC Ø 140 mm



PROGRAM SARJANA
 JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
 FTSPK - ITS SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
 Pengolahan Air Limbah (IPAL)
 Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
 Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

**Denah Rapid
 Sand Filter**

NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
 0321184000078

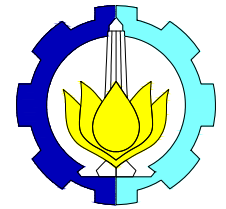
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
 NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

- Beton
- Tanah

| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:30 | meter | 10.1 |



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Potongan A-A' & B-B'
Rapid Sand Filter

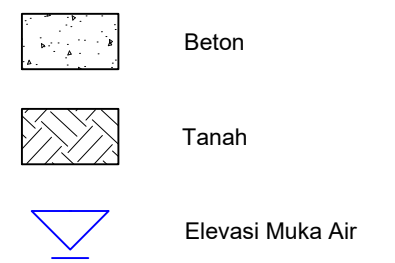
NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

DOSEN PEMBIMBING

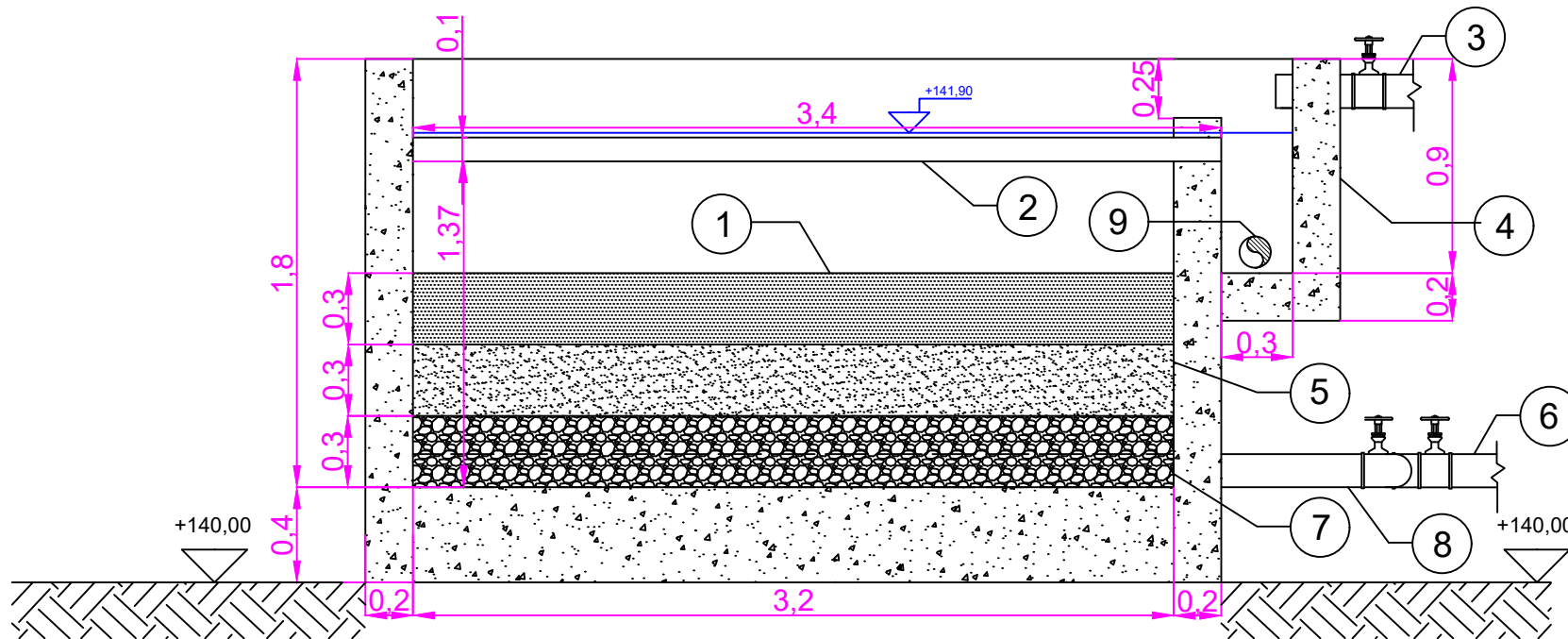
Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

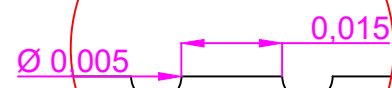
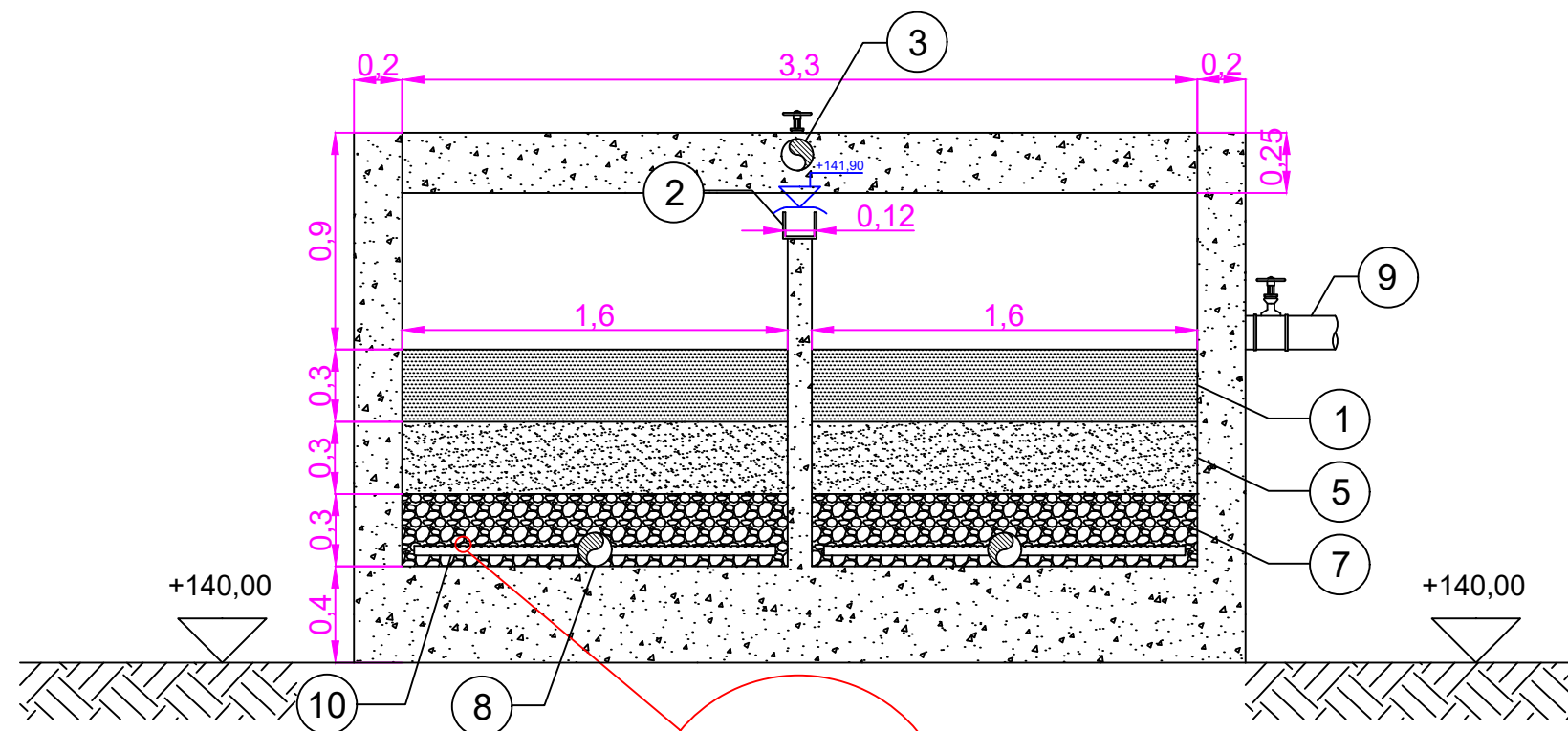


| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:30 | meter | 10.2 |

POTONGAN A-A' RSF DUAL MEDIA
SKALA 1 : 25

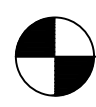


POTONGAN B-B' RSF DUAL MEDIA
SKALA 1 : 25



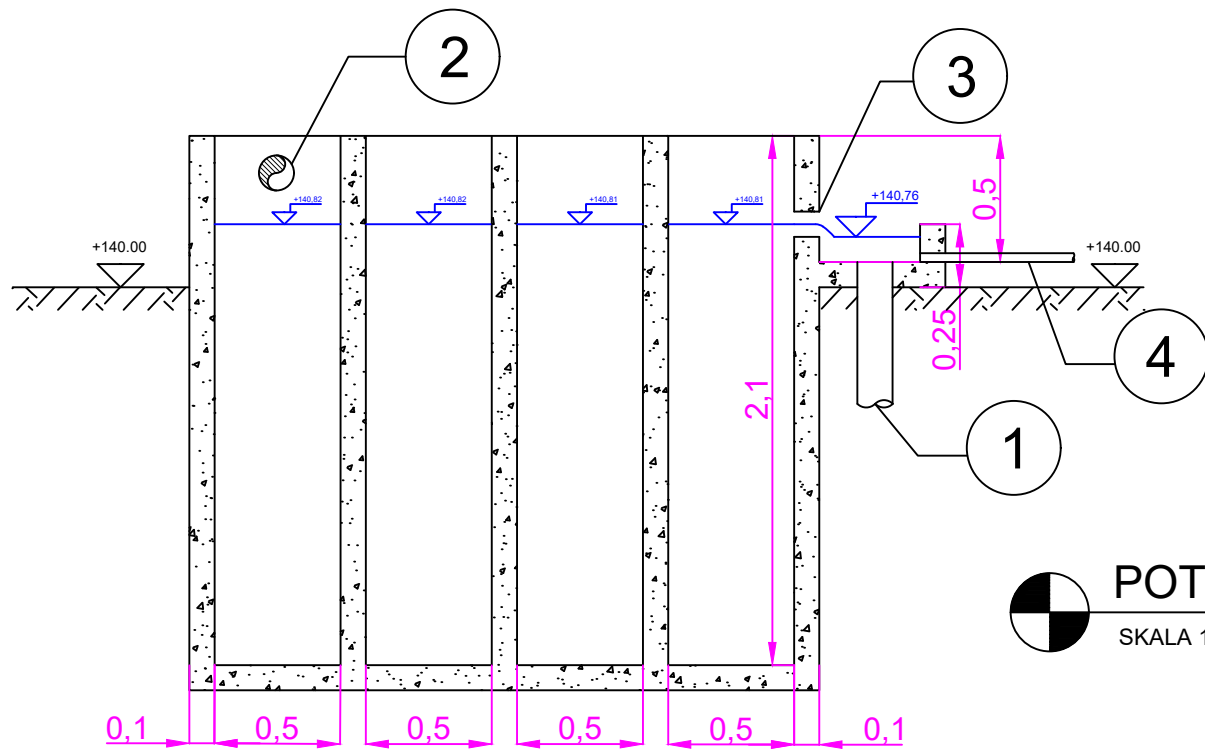
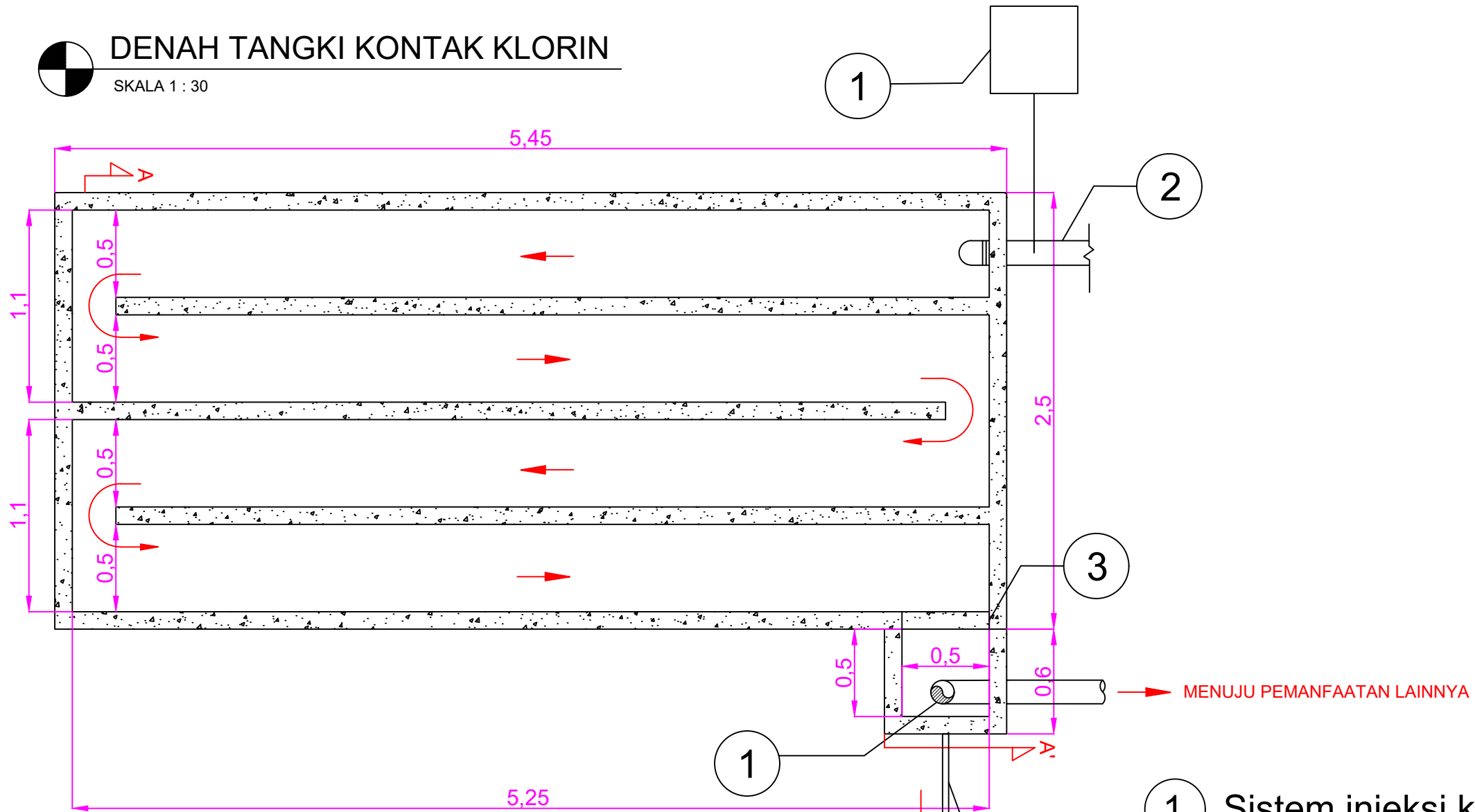
DETAIL ORIFICE PIPA LATERAL
SKALA 1 : 1

- 1 Media antrasit
- 2 Gutter
- 3 Pipa inlet PVC Ø 140 mm
- 4 Struktur inlet
- 5 Media pasir silika
- 6 Pipa backwash PVC Ø 140 mm
- 7 Media penyangga kerikil
- 8 Pipa manifold PVC Ø 90 mm
- 9 Pipa menuju drainase PVC Ø 140 mm
- 10 Pipa lateral PVC Ø 40 mm



DENAH TANGKI KONTAK KLORIN

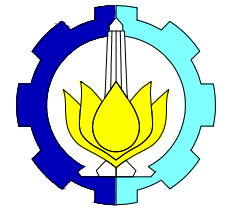
SKALA 1 : 30



POTONGAN A-A' TANGKI KONTAK KLORIN

SKALA 1 : 30

- ① Sistem injeksi klorin
- ② Pipa PVC Ø 140 mm
- ③ *Rectangular weir*
- ④ Pipa PVC Ø 35 mm



PROGRAM SARJANA
 JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
 FTSPK - ITS SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
 Pengolahan Air Limbah (IPAL)
 Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
 Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Denah dan Potongan A-A'
 Tangki Kontak Klorin

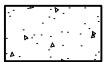
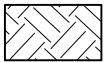

NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
 03211840000078

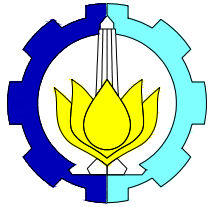
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
 NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

-  Beton
-  Tanah
-  Elevasi Muka Air

| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:30 | meter | 11 |



PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FTSPK - ITS SURABAYA
2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
Pengolahan Air Limbah (IPAL)
Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Denah dan Potongan
Sludge Holding Tank

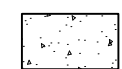

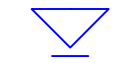
NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
03211840000078

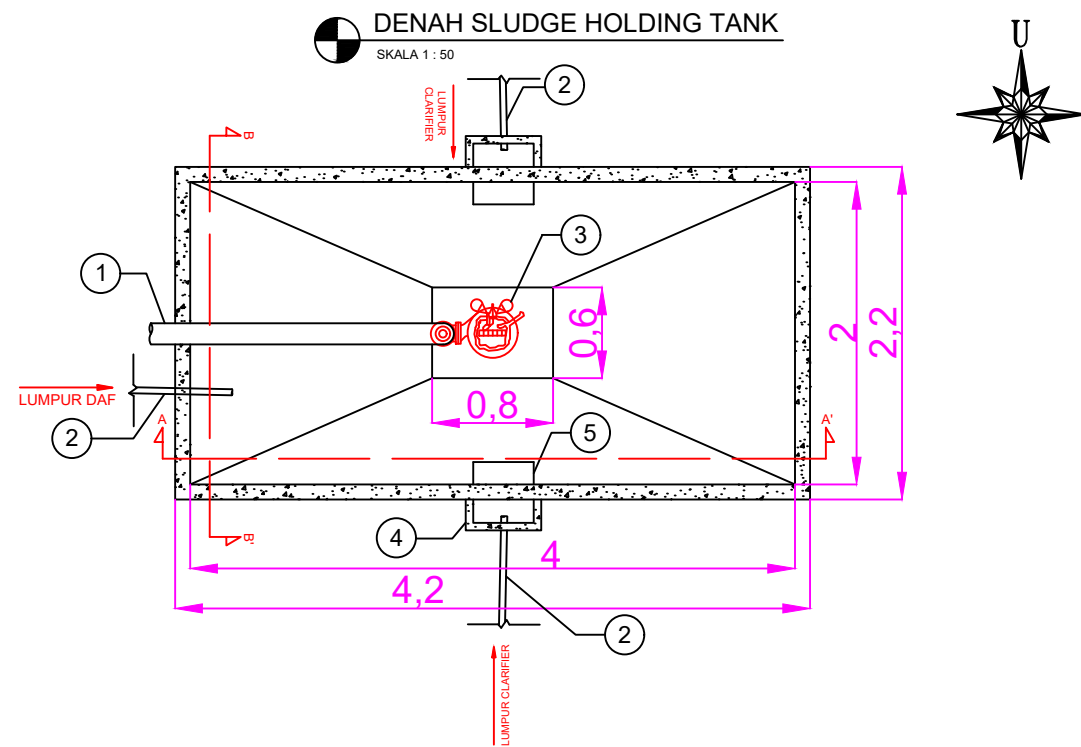
DOSEN PEMBIMBING

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
NIP. 19590811 198701 1 001

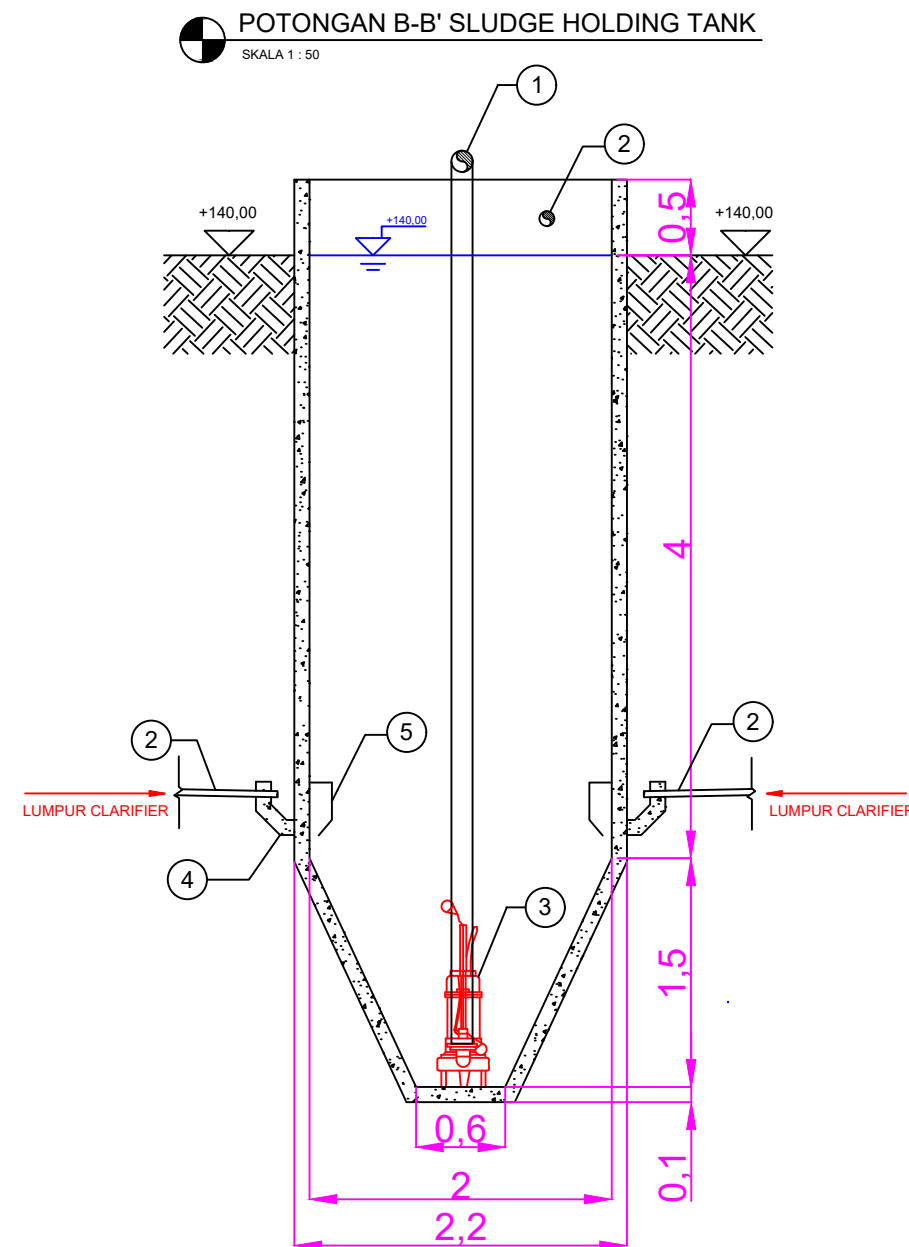
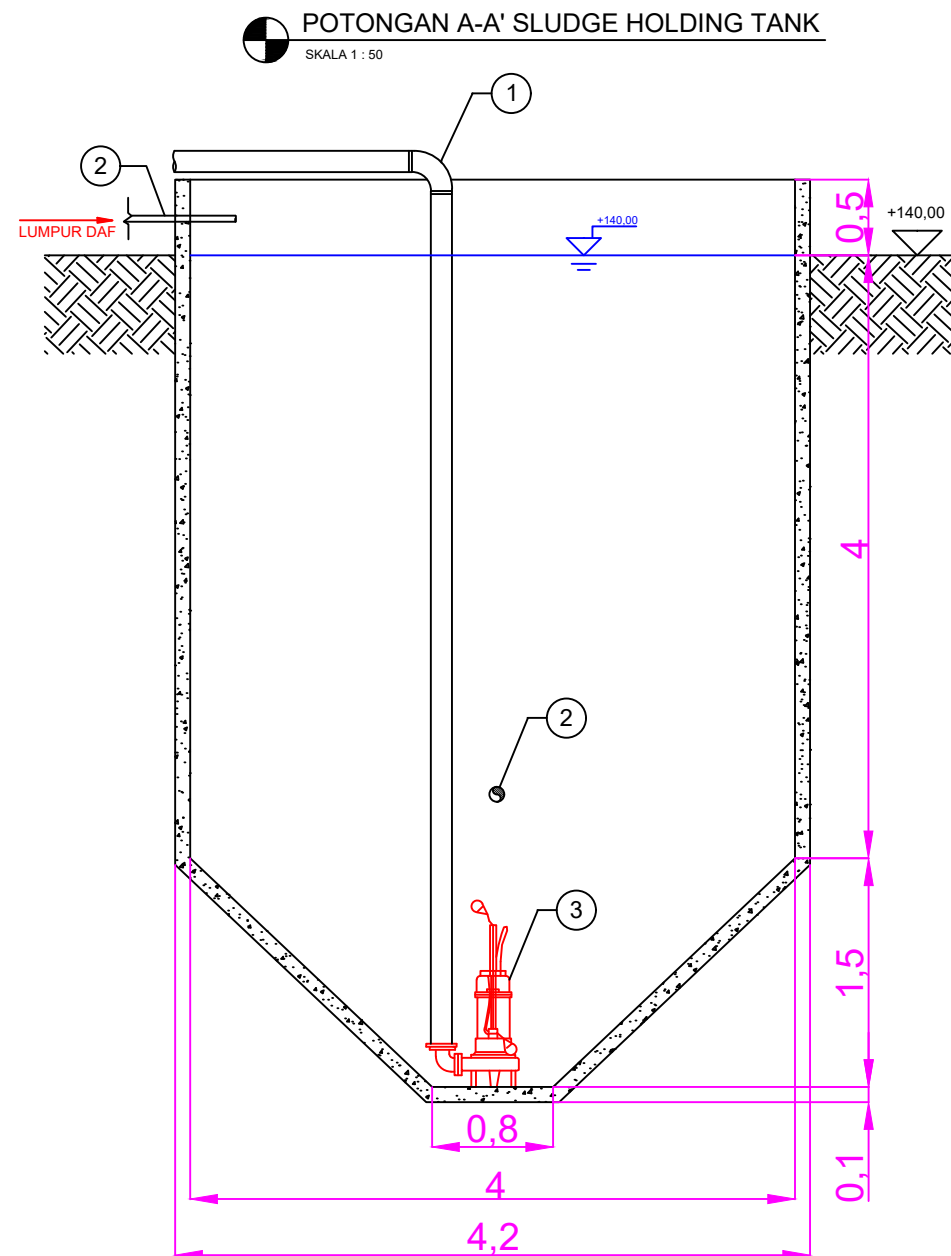
LEGENDA

-  Beton
-  Tanah
-  Elevasi Muka Air

| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:50 | meter | 12 |



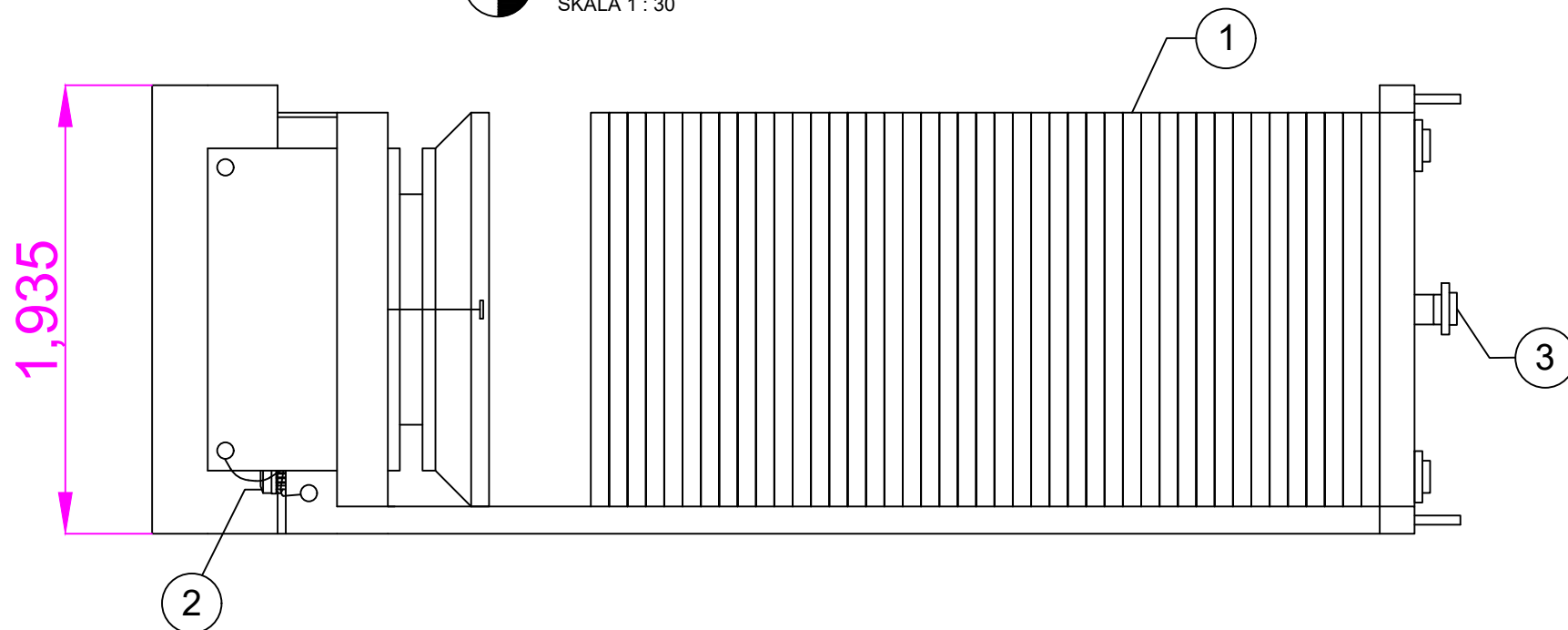
- ① Pipa PVC Ø 140 mm
- ② Pipa PVC Ø 40 mm
- ③ Pipa *submersible*
- ④ Struktur Inlet
- ⑤ *Baffle*





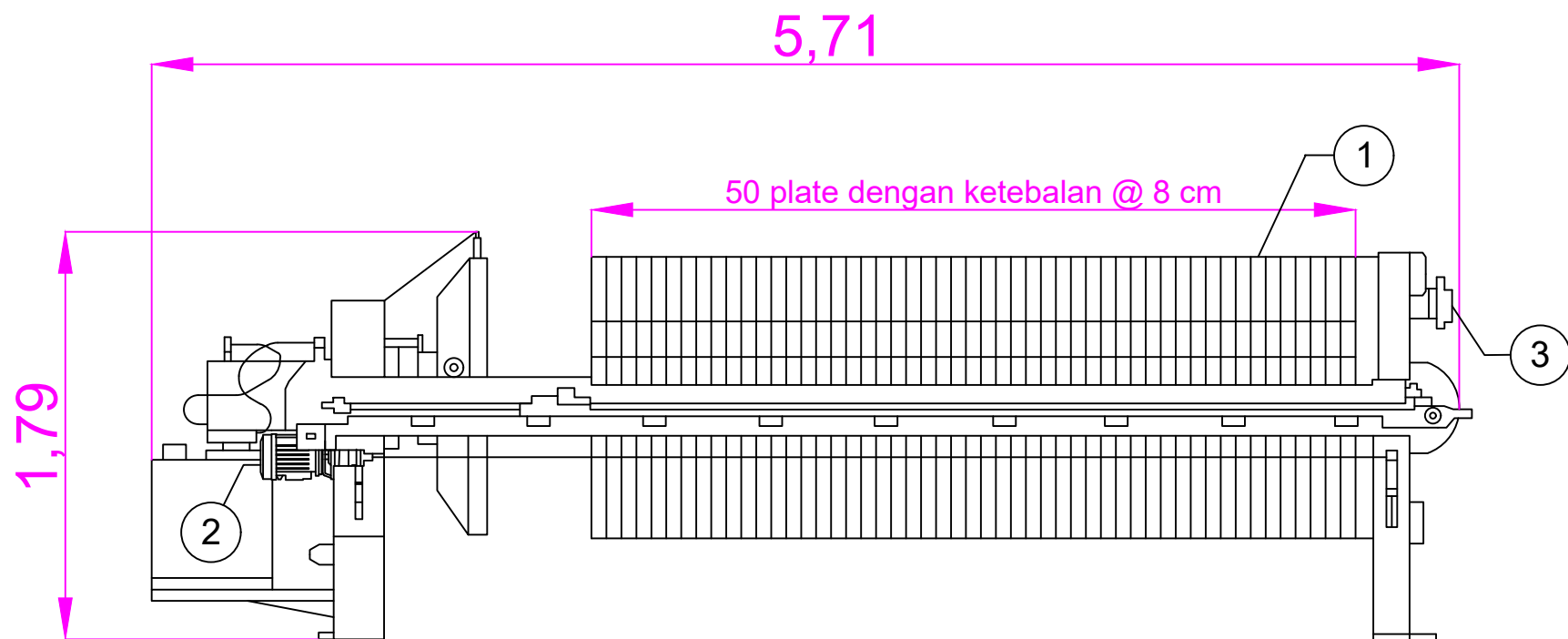
FILTER PRESS - TAMPAK ATAS

SKALA 1 : 30

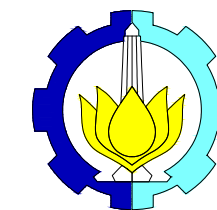


FILTER PRESS - TAMPAK SAMPING

SKALA 1 : 30



- ① *Filter plate*
- ② Motor mesin hidrolik
- ③ Inlet lumpur



PROGRAM SARJANA
 JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
 FTSPK - ITS SURABAYA
 2022

JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan Instalasi
 Pengolahan Air Limbah (IPAL)
 Fase 2 PT. XYZ dengan Skema
 Daur Ulang Efluen

JUDUL GAMBAR

Filter Press

NAMA MAHASISWA

Daffa Rayhan
 0321184000078

DOSEN PEMBIMBING

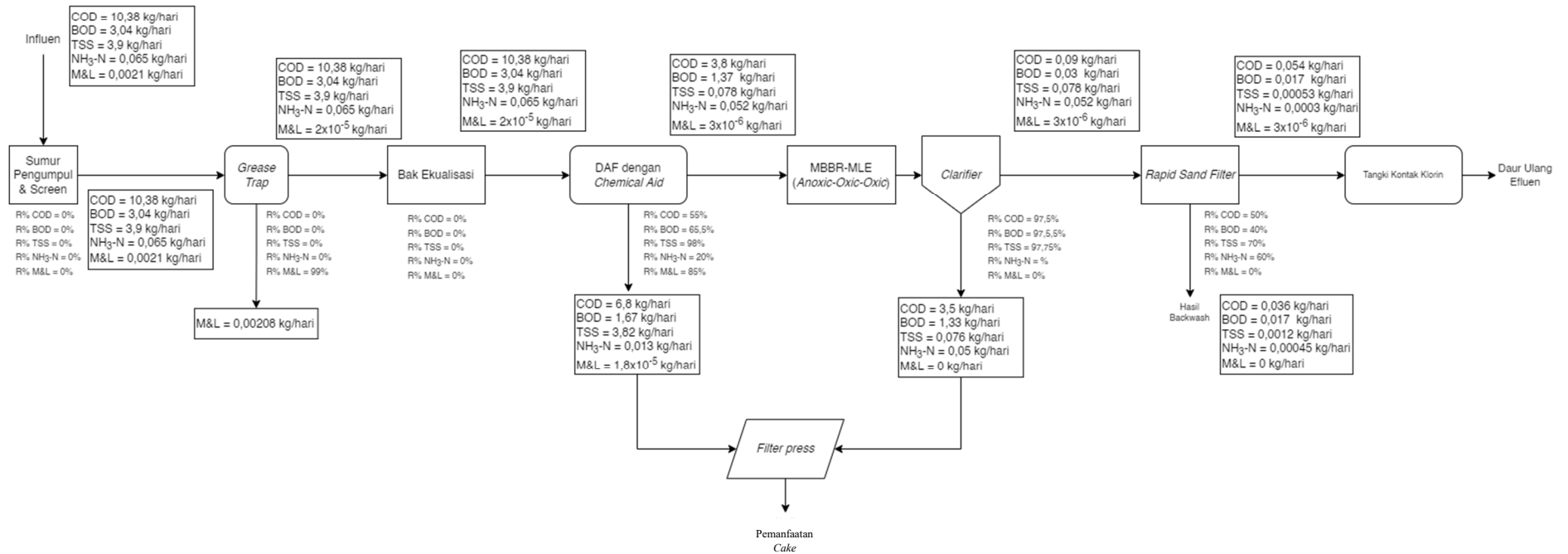
Dr. Ir. Agus Slamet, MSc
 NIP. 19590811 198701 1 001

LEGENDA

| SKALA | SATUAN | NOMOR GAMBAR |
|-------|--------|--------------|
| 1:30 | meter | 13 |

Lampiran 10:
Diagram Neraca Massa

NERACA MASSA IPAL FASE 2 PT. XYZ



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Medan, 5 Juli 2000. Dibesarkan di Cilegon sejak umur 2 tahun, penulis menempuh pendidikan formal di SD Mutiara Bunda Cilegon (2006-2012), SMPN 1 Kota Serang (2012-2015), dan SMAN 1 Cilegon (2015-2018). Di tahun 2018, penulis melanjutkan studinya di Departemen S-1 Teknik Lingkungan FTSPK-ITS dengan NRP 03211840000078 setelah berhasil diterima melalui jalur SBMPTN. Masa perkuliahan penulis, selain tentunya kegiatan pembelajaran di kelas, diisi oleh kegiatan himpunan khususnya di EEEEC dan Al-Kaun, *volunteering* di ITS Global Engagement selama 1 tahun, dan menjadi asisten laboratorium untuk mata kuliah mikrobiologi lingkungan selama 2 tahun berturut-turut.

Di luar kampus, penulis memiliki beberapa pengalaman magang, seperti menjadi *student intern* di Pakar IPAL Indonesia (Tangerang), *project intern* di Risland Indonesia (Tangerang), serta *compliance intern* di Danone Indonesia (Jakarta). Penulis dapat dihubungi melalui email: daffarayhan1120@gmail.com.



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Daffa Rayhan
NRP : 03211840000078
Judul : Perencanaan Instalasi Air Limbah (IPAL) Fase 2 PT. XYZ
dengan Skema Daur Ulang Efluen

| No | Tanggal | Keterangan Kegiatan / Pembahasan | Paraf |
|----|------------|--|-------|
| 1 | 17 Jan '22 | Asistensi Proposal: Review pasca sempro • Topik yang diambil terkait DED IPAL Industri • Industri objek penelitian: industri dairy | |
| 2 | 16 Mar '22 | Asistensi Progress: • Sampling untuk menilai kinerja UO/UP eksisting • Hasil jar test difoto dan dievaluasi untuk DED DAF • Pelajari nitrogen dan life cyclenya | |
| 3 | 4 Apr '22 | Asistensi Progress: BAB 4 Perencanaan IPAL Baru • Penentuan baku mutu daur ulang efluen • Penentuan tertiary treatment • Diskusi hasil jartest | |
| 4 | 26 Apr '22 | Asistensi Progress: BAB 4 Perencanaan IPAL Baru • Proses pengolahan biologis • Kadar koagulan dan dimensi clarifier • Mekanisme filter press | |
| 5 | 24 Mei '22 | Asistensi Revisi Progress: BAB 4 Perencanaan IPAL Baru • Karakteristik air limbah berdasarkan uji pengendapan • Skema penggunaan daur ulang efluen menggantikan effluent discharge | |
| 6 | 14 Jun '22 | Asistensi Laporan Akhir: BAB 4 Perencanaan IPAL Baru • Data ekualisasi, efluen box, dan penempatan kriteria desain • Efluen box menggantikan holding tank | |
| 7 | 17 Jun '22 | Asistensi Laporan Akhir: BAB 4 Perencanaan IPAL Baru • Headloss filtrasi • RAB menggunakan gabungan AHS Bogor dan HSPK Surabaya | |
| 8 | 20 Jun '22 | Asistensi Laporan Akhir: BAB 4 Perencanaan IPAL Baru • Headloss filtrasi • RAB menggunakan gabungan AHS Bogor dan HSPK | |

Surabaya, 24 Juni 2022
Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Agus Slamet, M.Sc.



UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

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

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

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juli 2022
Pukul : 10.30
Lokasi : TL-101
Judul : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Fase 2 Industri Pengolahan Susu PT. XYZ dengan Skema Daur Ulang Efluen
Nama : Daffa Rayhan
NRP. : 03211840000078
Topik : Perencanaan

Nilai TOEFL 550
Tanda Tangan

| No./Hal. | Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir |
|----------|--|
| 1. | Perbaiki penulisan abstrak. |
| 2. | Cek lagi kebutuhan chemical, kebutuhan NaOH. |

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

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

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

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Agus Slamet, MSc.



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

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

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

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juni 2022
Pukul : 10.30
Lokasi : TL-101
Judul : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Fase 2 Industri Pengolahan Susu PT. XYZ dengan Skema Daur Ulang Efluen
Nama : Daffa Rayhan
NRP. : 03211840000078
Topik : Perencanaan

| No./Hal. | Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir |
|----------|---|
| ① | penulisan, cek |
| ② | Gambar, penulisan di menu, font konsistensikan |
| ③ | Cantumkan sumber (referensi) |
| ④ | peraturan & tidak perlu ditampirkan peraturan & tidak perlu ditampirkan |

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

Dosen Penguji Ervin Nurhayati, S.T., M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing Dr. Ir. Agus Slamet, MSc.



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

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

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

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juli 2022
Pukul : 10.30
Lokasi : TL-101
Judul : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Fase 2 Industri Pengolahan Susu PT. XYZ dengan Skema Daur Ulang Efluen
Nama : Daffa Rayhan
NRP. : 03211840000078
Topik : Perencanaan

| No./Hal. | Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir |
|----------|---|
| 1. | Disain penjadwal cepas / lambat diperbaiki |
| 2. | profil hidrologis diperbaiki setelah equalisasi banjir diakhir |
| 3. | Gambar ² diperbaiki |

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

Dosen Penguji Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng.

Dosen Pembimbing Dr. Ir. Agus Slamet, MSc.

(Bowo Marsono)
(Agus Slamet)

AS1-TL-03 TUGAS AKHIR
 Kode: Genap 2021/2022

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

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

Hari, tanggal : Rabu, 6 Juli 2022
 Pukul : 10.30
 Lokasi : TL-101
 Judul : Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Fase 2 Industri Pengolahan Susu PT. XYZ dengan Skema Daur Ulang Efluen
 Nama : Daffa Rayhan
 NRP. : 03211840000078
 Topik : Perencanaan

| No./Hal. | Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir |
|----------|--|
| 1 | Abstrak dilengkapi dgn tujuan |
| 2 | Perbaiki salah tdk. |
| 3 | Eparasi dan penggunaan kaporal pada daftar justifikasi agar diperbaiki. |
| 4 | Gambar 2.1 bluat 1 halaman. |
| 5 | Satuan konsentrasi mg/L |
| | Ⓢ Biaya chemicals apakah telah terlalu tinggi? |
| | Pertanyaan : |
| 1. | Removal N & P (hal 18). Jelaskan mekanismenya |
| 2. | Disinfeksi dgn klorin 8.16 mg/L. Faktor ² apa angka yg menentukan dosis klorin? Bagaimana jika NH ₃ tinggi. Dosis 8-16 mg/L cukup? |
| 3. | Biaya O/M dapat dihitung /m ³ ? hal 149. Mengapa dalam biaya O/M telah diperhitungkan biaya utk SDM, pdhl ada SOP yg melibatkan pekerja. |
| 4. | Cost dari filter press → gudang → pengumpulan limbah B3. Mengapa dianggap |

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

Dosen Penguji : Prof. Dr. Yuliah Trihadiningrum, M.App.Sc
 Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Slamet, MSc.

(*[Signature]*)
 (*[Signature]*)