



TUGAS AKHIR - RE 141581

PERENCANAAN IPAL PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI PANGAN SKALA RUMAH TANGGA

DINDA SYIFA SAKINAH
3314100031

Dosen Pembimbing
Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - RE 141581

***DESIGN OF WASTEWATER TREATMENT
PLANT FOR HOUSEHOLD SCALE FOOD
INDUSTRY***

**DINDA SYIFA SAKINAH
3314100031**

Supervisor
Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D

***DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2018***

HALAMAN PENGESAHAN

**PERENCANAAN IPAL PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
INDUSTRI PANGAN SKALA RUMAH TANGGA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syara
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

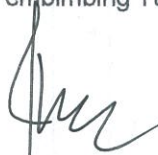
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DINDA SYIFA SAKINAH

NRP. 3314100031

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19711114 200312 2 001



PERENCANAAN IPAL PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI PANGAN SKALA RUMAH TANGGA

Nama Mahasiswa : Dinda Syifa Sakinah
NRP : 3314100031
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Ipung Fitri Purwanti, ST., MT.,
Ph.D

ABSTRAK

Beberapa permasalahan timbul jika limbah industri pangan tidak dikelola dengan baik sebelum dibuang ke lingkungan. Seperti halnya yang terjadi pada salah satu industri pangan skala rumah tangga di Surabaya. Permasalahan yang timbul antara lain terganggunya kehidupan organisme perairan sehingga mengakibatkan kematian dan bau busuk, kelebihan nitrogen dan fosfor yang menyebabkan eutrofikasi, dan sebagainya. Dampak negatif tersebut terjadi karena limbah industri pangan mengandung bahan organik yang tinggi. Dampak ini memerlukan upaya pengolahan limbah melalui alternatif teknologi yang efektif dan efisien. Salah satu teknologi yang potensial adalah menggunakan sistem lahan basah buatan (*Constructed Wetland*).

Prinsip kerja *Constructed Wetland* yaitu dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan air dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran tumbuhan tersebut. Tumbuhan yang digunakan adalah *Scirpus grossus*. Sebelum masuk ke *Constructed Wetland*, limbah terlebih dahulu melewati pengolahan awal. Pada perencanaan ini dipilihlah unit pengolahan biologis berupa *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Constructed Wetland*.

Metode perencanaan dimulai dengan melakukan studi literatur terkait topik perencanaan. Pengumpulan data terdiri dari data primer maupun sekunder diperoleh melalui survei lapangan, *sampling* maupun dari laporan perencanaan terdahulu. Perhitungan *Engineering Design* mencakup

perhitungan dimensi dan aspek hidrolika bangunan IPAL dan SOP operasi dan pemeliharaan IPAL.

Berdasarkan perhitungan *Engineering Design* (ED), diperoleh hasil berupa dimensi *grease trap* (1,215 m x 0,6 m x 0,45 m), bak pengendap (2,1 m x 0,7 m x 2,82 m), bak ekualisasi (1 m x 0,7 m x 1,3 m), *anaerobic baffled reactor* (6,2 m x 0,7 m x 2 m), *constructed wetland* (6,3 m x 0,7 m x 1,4 m). Biaya pembangunan IPAL sebesar Rp 75.300.000., sedangkan untuk pengoperasian IPAL sebesar Rp 7.400.000.

Kata kunci: ABR, *Constructed Wetland*, industri pangan, IPAL, Kecamatan Rungkut Surabaya, *Scirpus grossus*.

DESIGN OF WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR HOUSEHOLD SCALE FOOD INDUSTRY

Nama Mahasiswa : Dinda Syifa Sakinah
NRP : 3314100031
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Ipung Fitri Purwanti, ST., MT.,
Ph.D

ABSTRACT

Several environmental problems may occur if the wastewater from food industry is not treated properly before being disposed to the environment as in the case with one of the household food industries in Surabaya. The untreated wastewater may cause contamination to the aquatic organism which lead to death of aquatic organisms and odors, eutrophication that caused by excess of nitrogen and phosphorus, etc. The negative impact is caused by the high organic substance amount in the wastewater of food industry. Organic substance is a nutrition source for the rapid growth of microorganism and it will reduce dissolved oxygen amount in water. The effective and efficient wastewater treatment technology is necessary to prevent the impact from the wastewater of food industry. Constructed wetland is one of the potential technology.

Working principle of Constructed Wetland is by utilizing symbiosis between water plants and microorganisms in the media around the root system of these plants. The plant used is *Scirpus grossus*. Before entering Constructed Wetland system, wastewater first passes through the initial processing.

The design method began with literature review about the design topic. The collection of data, that consist of primary data and secondary data, are obtained from field survey, sampling, and previous design. The calculation of Engineering Design included the calculation of dimension and hydraulics aspect wastewater treatment. Standard operating procedure (SOP) and maintenance of the Installation of wastewater treatment are also made.

Based on Engineering Design calculation, the result of dimension for *grease trap* (1,215 m x 0,6 m x 0,45 m), bak pengendap (2,1 m x 0,7 m x 2,82 m), bak ekualisasi (1 m x 0,7 m x 1,3 m), *anaerobic baffled reactor* (6,2 m x 0,7 m x 2 m), *constructed wetland* (6,3 m x 0,7 m x 1,4 m). The construction cost for IPAL is Rp 75.300.000., while operation cost is Rp 7.400.000.

Key words: ABR, Constructed Wetland (CW), , household scale food industry, IPAL, Kecamatan Rungkut Surabaya, *Scirpus grossus*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan YME, karena atas rahmat dan karunia-Nya Tugas Akhir dengan judul **“Perencanaan IPAL Pengolahan Limbah Cair Industri Pangan Skala Rumah Tangga”** dapat saya selesaikan. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan keluarga di rumah yang senantiasa memberikan dorongan semangat.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D, selaku dosen pembimbing mata kuliah Tugas Akhir yang telah banyak membantu dan membimbing selama proses pengerjaan Tugas Akhir,
2. Ir. Bowo Djoko Marsono, M.Eng., Dr. Ir. Ellina S Pandebesie, MT., Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D., dan Dr. Ir. Ellina S Pandebesie, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan pada Tugas Akhir ini,
3. Angkatan 2014 yang saling mendukung dalam proses pengerjaan,
4. Seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan bantuan kepada penulis.

Dalam penulisan tugas akhir ini telah diusahakan semaksimal dan sebaik mungkin, namun tentunya masih terdapat keterbatasan dan kekurangan, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna memperbaiki di kemudian hari.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Air Limbah Industri Pangan	5
2.1.1 Sumber dan Karakteristik Air Limbah Industri Pangan	5
2.1.2 Baku Mutu Air Limbah Industri Pangan	6
2.2 Pengolahan Air Limbah	7
2.3 Pengolahan Air Limbah Industri Pangan	8
2.4 Alternatif Pengolahan Air Limbah Industri Pangan	11
2.4.1 <i>Grease Trap</i>	14
2.4.2 Bak Pengendap	15

2.4.3	Bak Ekualisasi	16
2.4.4	<i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i>	17
2.4.4.1	Kelebihan dan Kekurangan <i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i>	19
2.4.4.2	Kriteria Desain <i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i> ...	20
2.4.5	<i>Constructed Wetland (CW)</i>	20
2.4.5.1	<i>Free Surface Constructed Wetland</i>	22
2.4.5.2	<i>Sub-Surface Constructed Wetland</i>	23
2.4.5.3	Kelebihan dan Kekurangan <i>Constructed Wetland</i>	24
2.4.5.4	Kriteria Desain <i>Constructed Wetland</i>	25
2.4.5.5	Mekanisme <i>Constructed Wetland</i>	27
2.4.5.6	Tumbuhan <i>Scirpus grossus</i>	30
2.5	Perhitungan Perencanaan	31
2.6	Perencanaan Terdahulu.....	43
BAB 3 GAMBARAN UMUM DAERAH PERENCANAAN		49
3.1	Gambaran Umum Perencanaan	49
3.2	Gambaran Limbah Industri Pangan	50
3.3	Gambaran Umum Daerah Perencanaan	50
BAB 4 METODE PERENCANAAN.....		53
4.1	Umum.....	53
4.2	Kerangka Perencanaan	53
4.3	Rangkaian Kegiatan Perencanaan	55
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN		61
5.1	Perhitungan Debit Air Limbah Industri Pangan Skala Rumah Tangga	61

5.2	Kualitas Air Limbah Industri Pangan Skala Rumah Tangga	62
5.3	Efisiensi <i>Removal</i> Sistem Pengolahan	63
5.4	Alternatif Pengolahan.....	64
5.5	Perhitungan <i>Engineering Design</i> (ED).....	68
5.5.1	ED <i>Grease Trap</i>	68
5.5.2	ED Bak Pengendap	69
5.5.2	ED Bak Ekualisasi.....	77
5.5.3	ED ABR	85
5.5.6	ED <i>Constructed Wetland</i>	105
5.6	Pembuatan Gambar Unit-Unit IPAL Rencana	119
5.7	Penyusunan Profil Hidrolis.....	119
5.7.1	Grease Trap.....	120
5.7.2	Bak Pengendap.....	123
5.7.3	Bak Ekualisasi.....	124
5.7.4	ABR	126
5.7.5	Constructed Wetland	129
5.8	Penyusunan Prosedur Pengoperasian dan Pemeliharaan IPAL	132
5.8.1	Petunjuk Pengoperasian IPAL	132
5.8.2	Petunjuk Pemeliharaan IPAL	134
5.9	Penyusunan <i>Bill of Quantity</i> (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)	135
5.9.1	<i>Bill of Quantity</i> (BOQ)	135
5.9.2	Rencana Anggaran Biaya (RAB)	143
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		153

6.1 Kesimpulan	153
6.2 Saran	153
DAFTAR PUSTAKA.....	155
LAMPIRAN	161

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Alir Alternatif Pengolahan 1 (a), Alternatif 2 (b), dan Alternatif 3 (c)	13
Gambar 2.2 Grease Trap	15
Gambar 2.3 Bak Pengendap	16
Gambar 2.4 Bak Ekualisasi	17
Gambar 2.5 <i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i>	18
Gambar 2.6 <i>Free Water Constructed Wetland</i>	22
Gambar 2.7 <i>Sub-Surface Constructed Wetland</i>	23
Gambar 2.8 <i>Scirpus grossus</i>	31
Gambar 2.9 Hasil Plot Volume Kumulatif dan Waktu.....	34
Gambar 2.10 Penentuan Faktor <i>Removal COD</i>	38
Gambar 2.11 Faktor <i>Removal BOD terhadap Removal COD</i>	39
Gambar 2.12 Faktor Penyisihan BOD terhadap <i>Organic Loading</i> pada ABR	39
Gambar 2.13 Faktor Penyisihan BOD terhadap Konsentrasi BOD pada ABR.....	40
Gambar 2.14 Faktor Penyisihan BOD terhadap Temperatur..	40
Gambar 2.15 Faktor Penyisihan BOD terhadap HRT	40
Gambar 2.16 Faktor <i>Removal BOD terhadap Removal COD</i>	41
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pengolahan Industri Pangan.....	49
Gambar 3.2 Lokasi Perencanaan IPAL.....	51
Gambar 3.3 Detail Lokasi Perencanaan IPAL.....	51

Gambar 3.4 <i>Layout</i> Lokasi Daerah Perencanaan IPAL	52
Gambar 4.1 Kerangka Perencanaan.....	54
Gambar 5.1a Skema Alternatif 1	65
Gambar 5.1b Skema Alternatif 2	66
Gambar 5.1c Skema Alternatif 3	67
Gambar 5.2 Hasil Plot Volume Kumulatif dan Waktu.....	80
Gambar 5.3 Faktor HRT	87
Gambar 5.4 Rasio BODrem/CODrem	87
Gambar 5.5 Faktor Reduksi Lumpur dengan Masa Simpan ...	89
Gambar 5.6 Faktor Penyisihan BOD terhadap <i>Organic Loading</i> pada ABR	93
Gambar 5.7 Faktor Penyisihan BOD terhadap Konsentrasi BOD pada ABR	93
Gambar 5.8 Faktor Penyisihan BOD terhadap HRT	94
Gambar 5.9 Faktor Penyisihan BOD terhadap Temperatur	94
Gambar 5.10 Faktor Penyisihan BOD terhadap Jumlah Kompartemen.....	95
Gambar 5.11 Penyisihan COD berdasarkan Penyisihan BOD.....	96
Gambar 5.12 Diagram <i>Mass Balance</i> Tangki Anaerobik	101
Gambar 5.13 Diagram <i>Mass Balance</i> ABR	102
Gambar 5.14 Diagram <i>Mass Balance Constructed Wetland</i>	114
Gambar 5.15 Diagram <i>Mass Balance</i> IPAL.....	115
Gambar 5.15 Diagram <i>Mass Balance</i> IPAL.....	116
Gambar 5.16 Diagram Alir Konsentrasi IPAL	117
Gambar 5.16 Diagram Alir Konsentrasi IPAL	118

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Pengolahan Hasil Perikanan	6
Tabel 2.2 Hasil Uji Karakteristik Air Limbah Industri Pengolahan Ikan	11
Tabel 2.3 Kelebihan dan Kelemahan Alternatif Pengolahan I, II dan III	13
Tabel 2.4 Kriteria Desain Zona Tangki Pengendap <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	20
Tabel 2.5 Kriteria Desain Zona Kompartemen <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	20
Tabel 2.6 Kriteria Desain <i>Constructed Wetland</i>	25
Tabel 2.7 Karakteristik Tipikal Media Untuk <i>Sub-Surface Flow System</i>	26
Tabel 2.8 Penghilangan Polutan yang Ada di <i>Constructed Wetland</i>	28
Tabel 2.9 Peranan Media, Tanaman dan Mikroorganisme Terhadap Pengurangan Zat Polutan dalam <i>Sub Surface Flow</i>	30
Tabel 2.10 Simulasi Perhitungan V Kumulatif dan Massa BOD	32
Tabel 2.11 Perhitungan Ekualisasi BOD	35
Tabel 2.12 Perhitungan Rasio Massa BOD	37
Tabel 2.13 Efisiensi Penurunan TSS, COD dan LAS Waktu Tinggal 1 Hari dan Reaktor Berbentuk Bujur Sangkar	45

Tabel 2.14 Efisiensi Penurunan TSS, COD dan LAS Waktu Tinggal 1 Hari dan Reaktor Berbentuk Persegi Panjang	46
Tabel 2.15 Kinerja Horizontal Sub-Surface Flow Constructed Wetland dengan Rumput <i>Vetiveria zizoniodes</i> Di Crater Kenya.....	47
Tabel 3.1 Hasil Uji Pendahuluan Karakteristik Limbah Cair Industri Pangan	50
Tabel 4.1 Metode Analisis Parameter Air Limbah	56
Tabel 5.1 Perhitungan Debit Air Limbah Industri Pangan Skala Rumah Tangga	61
Tabel 5.2 Kualitas Air Limbah Hasil Uji Laboratorium	62
Tabel 5.3 Efisiensi <i>Removal</i> Tiap Unit Pengolahan IPAL	63
Tabel 5.4 <i>Removal</i> Alternatif 1	65
Tabel 5.5 <i>Removal</i> Alternatif 2	66
Tabel 5.6 <i>Removal</i> Alternatif 3	67
Tabel 5.7 Data Fluktuasi Debit Air Limbah	78
Tabel 5.8 Perhitungan Ekualisasi BOD	81
Tabel 5.9 Perhitungan Rasio Massa BOD.....	83
Tabel 5.10 Profil Hidrolis Unit IPAL	130
Tabel 5.11 Nilai Satuan Perhitungan RAB per Jenis Pekerjaan	143
Tabel 5.12 Hasil Rekapitulasi RAB.....	147
Tabel 5.13 Perhitungan Konsumsi Listrik Per Hari.....	152

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013

Lampiran 2 : Prosedur Analisis Laboratorium

Lampiran 3 : Penyesuaian Tarif Listrik

Lampiran 4 : Spesifikasi Pompa

Lampiran 5 : Gambar *Engineering Design* (ED)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu industri pangan skala rumah tangga di Surabaya menghasilkan air limbah yang dapat mencemari lingkungan. Hal tersebut ditandai dengan bau tidak sedap dan air yang keruh. Limbah cair industri pengolahan makanan ini mengandung bahan organik yang tinggi. Kandungan bahan organik yang tinggi tersebut merupakan sumber nutrisi untuk pertumbuhan mikroorganisme. Hal itu dapat mereduksi oksigen terlarut dikarenakan mikroorganisme memerlukan oksigen yang cukup banyak dalam berkembang biak. Secara normal, air mengandung kira-kira 8 ppm oksigen terlarut. Standar minimum oksigen terlarut untuk kehidupan ikan adalah 5 ppm dan di bawah standar ini akan menyebabkan kematian ikan dan biota perairan lainnya (Jenie dan Winiati, 2011).

Sebelumnya, industri pangan ini telah berupaya untuk membangun unit pengolahan air limbah namun efluennya masih belum memenuhi baku mutu. Air limbah tersebut akan menimbulkan dampak negatif berupa penurunan kualitas badan air penerima. Kehidupan organisme dalam perairan terganggu dan akhirnya menimbulkan kematian dan bau busuk akibat penguraian air limbah yang bersifat anaerobik (Setiyono dan Satmoko, 2008). Selain itu, kelebihan nitrogen dan fosfor dalam air yang berasal dari industri pangan menyebabkan suatu keadaan yang tidak seimbang disebut eutrofikasi (Tusseau dan Vuilleman, 2001). Oleh karena itu diperlukan teknik penanganan limbah yang efektif, sesuai dengan kandungan komponen-komponen yang akan diuraikan dalam limbah industri tersebut.

Menurut Direktorat Jenderal Industri Kecil Menengah (2007), sebagian besar limbah cair industri pangan dapat ditangani dengan mudah dengan sistem biologis, karena polutan utamanya berupa bahan organik, seperti karbohidrat, lemak, protein, dan vitamin. Polutan tersebut umumnya dalam bentuk tersuspensi atau terlarut. Melihat kondisi air limbah yang dihasilkan tersebut, diperlukan suatu pengolahan limbah untuk meningkatkan kualitas

air buangan pada industri pangan. Tujuannya adalah untuk memperbaiki kualitas air dan mengurangi efek berbahaya dari limbah, serta menyumbang upaya konservasi air (Suswati dan Gunawan, 2013).

Salah satu teknologi pengolahan limbah cair industri pangan yang efisien adalah dengan menggunakan tanaman air dalam sistem *Constructed Wetland* (lahan basah buatan). Tanaman yang digunakan yaitu *Scirpus grossus*. *Constructed Wetland* adalah sistem pengolahan terkontrol yang didesain dan dibangun dengan menggunakan proses alami. Vegetasi *wetland* meliputi tanah berpasir dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah (Sim, 2003).

Constructed Wetland memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan air dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran tanaman (Sim, 2003). Kinerja *Constructed Wetland* dipengaruhi oleh beberapa parameter desain antara lain ada atau tidaknya tumbuhan, spesies tumbuhan yang digunakan, jarak antar tanaman, tipe aliran *wetland*, tipe media yang digunakan, *Organic Loading Rate* (OLR) yang masuk ke *wetland*, dan *Hydraulic Retention Time* (HRT) (Hijosa-Valsero, 2010). Parameter perencanaan mengacu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 yaitu BOD, COD, TSS, pH, serta minyak dan lemak.

Pada tugas akhir ini dilakukan perencanaan *Constructed Wetland* sebagai teknologi pengolahan limbah cair industri pangan skala rumah tangga. Namun *Constructed Wetland* memerlukan pengolahan pendahuluan sebelum masuk ke *Constructed Wetland* itu sendiri (Muga dan Mihelcic, 2008). Maka dari itu dibuat alternatif pemilihan sesuai karakteristik air limbah untuk mengolah air limbah tersebut. Dengan demikian, dilakukan perencanaan satu kesatuan unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk industri pangan skala rumah tangga ini. Perencanaan tersebut tak hanya dipengaruhi oleh aspek teknis yang mencakup *Engineering Design* dan SOP saja, tetapi juga aspek pembiayaan/finansial. Untuk aspek finansial meliputi *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pembangunan IPAL. Acuan perhitungan RAB adalah Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2016.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari perencanaan ini adalah:

1. Bagaimana kualitas dan kuantitas air limbah industri pangan skala rumah tangga?
2. Bagaimana desain IPAL untuk industri pangan skala rumah tangga?
3. Berapa RAB dalam pembangunan IPAL pada industri pangan skala rumah tangga?
4. Bagaimana *Standard Operational and Procedure* (SOP) operasi dan pemeliharaan IPAL industri pangan skala rumah tangga?

1.3 Tujuan

Tujuan dari perencanaan ini adalah:

1. Menentukan kualitas dan kuantitas air limbah industri pangan skala rumah tangga
2. Merancang IPAL untuk mengolah air limbah industri pangan skala rumah tangga
3. Menghitung RAB pembangunan IPAL pada industri pangan skala rumah tangga
4. Menyusun *Standard Operational and Procedure* (SOP) operasi dan pemeliharaan IPAL industri pangan skala rumah tangga

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari perencanaan ini adalah:

1. Lokasi perencanaan di Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya.
2. Penentuan debit dan karakteristik air limbah.
3. Pengukuran kadar parameter – parameter limbah cair industri pangan (BOD, COD, TSS, Ph, H₂S, NH₃-N, serta minyak dan lemak).
4. Jenis tanaman yang digunakan adalah *Scirpus grossus*.
5. Perencanaan *Engineering Design* mencakup perhitungan dimensi dan aspek hidrolika bangunan IPAL.
6. Aspek yang digunakan yaitu aspek teknis dan aspek finansial.

7. Baku mutu *effluent* air limbah mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri dan Usaha Lainnya.
8. Pembuatan SOP operasi dan pemeliharaan IPAL.
9. Perhitungan RAB mengacu SNI-DT-2007 *series* tentang Pekerjaan Bangunan dan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2016.

1.5 Manfaat

Manfaat dari perencanaan ini adalah:

1. Memberikan informasi ilmiah alternatif pengolahan air limbah industri pangan dengan *Constructed Wetland*.
2. Memberikan rekomendasi desain IPAL untuk industri pangan skala rumah tangga.
3. Membantu mengurangi beban pencemar dari industri pangan tersebut sesuai dengan peraturan yang berlaku.
4. BOQ dan RAB untuk pembangunan IPAL pada industri pangan skala rumah tangga.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Industri Pangan

Komposisi air limbah dari operasi industri sangat bervariasi tergantung pada fungsi dan aktivitas industri tertentu (Metcalf dan Eddy, 2003). Industri pengolahan pangan meliputi pengolahan beraneka ragam jenis makanan seperti buah-buahan dan sayuran, daging, susu dan hasil laut. Setiap industri pangan mempunyai limbah yang berbeda dalam kuantitas dan kualitas. Limbah cair pengolahan pangan umumnya mempunyai kandungan nitrogen yang rendah, BOD dan padatan tersuspensi tinggi, dan berlangsung dengan proses dekomposisi cepat (Jenie dan Winiati, 2011).

Limbah pengolahan makanan dihasilkan dari pencucian, pemotongan, *blanching*, pasteurisasi, pembuatan jus bahan mentah, pembersihan peralatan pengolahan dan pendinginan produk akhir. Komponen limbah cair dari industri pangan sebagian besar adalah bahan organik. Pengolahan buah dan sayuran dapat menyebabkan beban berlebihan dalam fasilitas ini yang disebabkan karena karakteristik yang bervariasi dan musim pengolahan yang singkat. Pengolahan daging, unggas, ikan dan susu kurang musiman dibanding sayur dan buah-buahan (Muga dan Mihelcic, 2008).

2.1.1 Sumber dan Karakteristik Air Limbah Industri Pangan

Industri pangan yang dimaksudkan adalah industri pangan yang berasal dari proses pengolahan ikan. Derajat limbah dalam industri pengolahan hasil laut sangat bervariasi. Ikan yang diolah menjadi tepung ikan tidak menghasilkan limbah padat. Pengolahan kepiting menghasilkan limbah padat hingga mencapai 85 persen. Setiap operasi pengolahan ikan akan menghasilkan cairan dari pemotongan, pencucian, dan pengolahan produk. Cairan ini mengandung darah dan potongan-potongan kecil ikan dan kulit, isi perut, kondensat dari operasi pemasakan, dan air pendingin dari kondenser.

Limbah dapat berupa bekas pencucian ikan yang masih mengandung protein, lemak dan zat padat terlarut (Moertinah, 2010). Proses utama dari pengolahan ikan meliputi penerimaan produk, pemilahan (pemotongan daging ikan, pemfiletan, penghilangan sisik kulit, kepala, isi perut), penimbangan, perendaman dan proses lainnya seperti pengalengan serta pengemasan (Oktavia dkk., 2012). Proses pengolahan inilah yang menghasilkan limbah, yang bila langsung dibuang menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan pesisir dan laut.

Limbah hasil pengolahan ikan mengandung karbohidrat, protein, lemak, garam, mineral, dan sisa-sisa bahan kimia yang digunakan dalam pengolahan atau pembersihan (Jenie dan Winiati, 2011). Menurut Hayati (1998), pengolahan ikan (*sardine*) mengandung BOD sebesar $9,22 \times 10^3$ mg/kg; TSS sebesar $5,41 \times 10^3$ mg/kg; minyak dan lemak sebesar $0,21 \times 10^3$ hingga $0,3 \times 10^3$ mg/kg. Variasi dalam pabrik pengolahan ikan tawar disebabkan oleh jenis ikan, teknik pengolahan, ukuran pabrik, penggunaan air, dan lamanya limbah padat kontak dengan air limbah. Kekuatan polusi akan makin tinggi bila kontak lebih lama (Jenie dan Winiati, 2011).

2.1.2 Baku Mutu Air Limbah Industri Pangan

Pada perencanaan ini digunakan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. Baku mutu tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1. Pada perencanaan ini digunakan baku mutu untuk industri perikanan dengan IPAL terpusat.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah untuk Industri Pengolahan Hasil Perikanan

Parameter	Pengalengan Ikan	Lebih dari Satu Jenis Kegiatan Pengolahan	Industri Perikanan dengan IPAL Terpusat
	Kadar Maksimum (mg/L)	Kadar Maksimum (mg/L)	Kadar Maksimum (mg/L)
pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
TSS	30	30	30
Sulfida (H ₂ S)	1	1	1

Parameter	Pengalangan Ikan	Lebih dari Satu Jenis Kegiatan Pengolahan	Industri Perikanan dengan IPAL Terpusat
	Kadar Maksimum (mg/L)	Kadar Maksimum (mg/L)	Kadar Maksimum (mg/L)
NH ₃ – N (Total)	5	5	5
Khlor Bebas	1	1	1
BOD ₅	75	100	100
COD	150	150	150
Minyak dan Lemak	6,5	15	10
Volume Air Limbah (m ³ /ton bahan baku ikan)	5	5	5

Sumber: PERGUB JATIM No. 72 Tahun 2013

2.2 Pengolahan Air Limbah

Teknologi pengolahan air limbah adalah kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan. Berbagai teknik pengolahan air limbah untuk menyisihkan bahan polutannya telah dicoba dan dikembangkan selama ini. Teknik-teknik pengolahan air buangan yang telah dikembangkan tersebut secara umum dapat dibagi menjadi tiga metode pengolahan, yaitu pengolahan secara fisik, pengolahan secara kimia, dan pengolahan secara biologi (Suharto, 2010). Ketiga proses tersebut dapat digabung/dikombinasikan juga bisa dilakukan terpisah. Jenis pengolahan air limbah tersebut dipilih berdasarkan karakteristik dan jenis air limbah itu sendiri. Berikut adalah penjelasan dari ketiga proses pengolahan air limbah:

1. Pengolahan Secara Fisik

Pengolahan limbah cair secara fisika bisa dilakukan dengan cara filtrasi, sedimentasi, flotasi dan adsorpsi. Filtrasi adalah proses pemisahan padatan dan cairan dengan menggunakan penyaring (filter). Sedangkan proses sedimentasi adalah proses pemisahan padatan dan cairan dengan cara mengendapkan zat tersuspensi dengan memanfaatkan gaya gravitasi (Abramian dan

Houssam, 2000). Flotasi digunakan proses daya apung untuk memisahkan partikel padatan tersuspensi dari limbah cair dan pemisahan lemak, pelumas dari industri olahan susu sapi/kerbau dan juga untuk memisahkan partikel padat rendah densitas. Adsorpsi dilakukan dengan cara penambahan adsorben agar terjadi penumpukan materi pada *interface* antara zat kontaminan dan adsorben.

2. Pengolahan Secara Kimiawi

Pengolahan secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun dengan membubuhkan bahan kimia tertentu sesuai keperluan. Beberapa proses kimia pada pengolahan ini antara lain: netralisasi asam atau basa, koagulasi-flokulasi, dialisis dan ozonisasi.

3. Pengolahan Secara Biologis

Pengolahan limbah secara biologi memanfaatkan aktivitas biologi didalam menguraikan bahan-bahan organik yang terkandung dalam air limbah. Semua air yang bersifat *biodegradable* dapat diolah secara biologi. Pengolahan ini dipandang sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien sebagai pengolahan sekunder. Air limbah yang bisa diolah secara biologi adalah yang bersifat *biodegradable*; dengan nilai perbandingan BOD/COD $\geq 0,5$ (Kindsigo dan Juha, 2006).

2.3 Pengolahan Air Limbah Industri Pangan

Limbah cair industri pangan merupakan salah satu sumber pencemaran ingkungan. Jumlah dan karakteristik air limbah industri bervariasi menurut jenis industrinya. Contoh lain adalah industri tahu dan tempe. Industri tahu dan tempe mengandung banyak bahan organik dan padatan terlarut. Untuk memproduksi 1 ton tahu atau tempe dihasilkan limbah sebanyak 3.000 - 5.000 Liter.

Sebagian besar limbah cair industri pangan dapat ditangani dengan mudah dengan sistem biologis, karena polutan utamanya berupa bahan organik, seperti karbohidrat, lemak, protein, dan vitamin. Polutan tersebut umumnya dalam bentuk

tersuspensi atau terlarut. Sebelum dibuang ke lingkungan, limbah cair industri pangan harus diolah untuk melindungi keselamatan masyarakat dan kualitas lingkungan. Tujuan dasar pengolahan limbah cair adalah untuk menghilangkan sebagian besar padatan tersuspensi dan bahan terlarut, terkadang juga untuk penyisihan unsur hara (nutrien) berupa nitrogen dan fosfor.

Secara umum, pengolahan limbah cair dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu pengolahan primer, pengolahan sekunder, dan pengolahan tersier. Pengolahan primer merupakan pengolahan secara fisik untuk menyisahkan benda-benda terapung atau padatan tersuspensi terendapkan. Pengolahan primer ini berupa penyaringan kasar, dan pengendapan primer untuk memisahkan bahan inert seperti butiran pasir / tanah. Saringan kasar digunakan untuk menahan benda berukuran relatif besar. Karena butiran pasir / tanah merupakan bahan non-biodegradable dan dapat terakumulasi di dasar instalasi pengolahan limbah cair, maka bahan tersebut harus dipisahkan dari limbah cair yang akan diolah. Penyisihan butiran pasir / tanah dapat dilakukan dengan bak pengendapan primer. Pengendapan primer ini umumnya dirancang untuk waktu tinggal sekitar 2 jam.

Pengolahan primer hanya dapat mengurangi kandungan bahan yang mengambang atau bahan yang dapat terendapkan oleh gaya gravitasi. Sebagian polutan limbah cair industri pangan terdapat dalam bentuk tersuspensi dan terlarut yang relatif tidak terpengaruh oleh pengolahan primer tersebut. Untuk menghilangkan / mengurangi kandungan polutan tersuspensi atau terlarut diperlukan pengolahan sekunder dengan proses biologis (aerobik maupun anaerobik).

Pengolahan secara biologis pada prinsipnya adalah pemanfaatan aktivitas mikroorganisme seperti bakteri dan protozoa. Mikroba tersebut mengkonsumsi polutan organik biodegradable dan mengkonversi polutan organik tersebut menjadi karbondioksida, air dan energi untuk pertumbuhan dan reproduksinya. Oleh karena itu, sistem pengolahan limbah cair secara biologis harus mampu memberikan kondisi yang optimum bagi mikroorganisme, sehingga mikroorganisme tersebut dapat menstabilkan polutan organik *biodegradable* secara optimum. Guna mempertahankan agarmikroorganisme tetap aktif dan produktif, mikroorganisme tersebut harus dipasok dengan oksigen

yang cukup, cukup waktu untuk kontak dengan polutan organik, temperatur dan komposisi media yang sesuai. Perbandingan $BOD_5 : N : P$ juga harus seimbang. $BOD_5 : N : P$ juga = 100 : 5 : 1 dianggap optimum untuk proses pengolahan limbah cair secara aerobik. Sistem pengolahan limbah cair yang dapat diterapkan untuk pengolahan sekunder limbah cair industri pangan antara lain adalah sistem lumpur aktif (*activated sludge*), *Trickling Filter*, *Biodisc* atau *Rotating Biological Contactor* (RBC), dan Kolam Oksidasi.

Mikroorganisme anaerobik telah dapat juga diterapkan untuk pengolahan limbah cair dengan kandungan padatan organik tersuspensi tinggi. Pengolahan limbah cair dengan sistem ini memiliki berbagai keuntungan seperti rendahnya produksi lumpur (*sludge*), rendahnya konsumsi energi, dan dihasilkannya gas metana (*gas bio*) sebagai produk samping yang bermanfaat. Sistem anaerobik untuk pengolahan limbah cair industri pangan skala kecil, antara lain sistem septik dan UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*).

Pengolahan sekunder mampu mengurangi kadar BOD dan TSS dalam limbah cair secara signifikan, tetapi efluen masih mengandung amonium atau nitrat, dan fosfor dalam bentuk terlarut. Kedua bahan ini merupakan unsur hara (nutrien) bagi tanaman akuatik. Jika unsur nutrien ini dibuang ke perairan (sungai atau danau), akan menyebabkan pertumbuhan biota air dan alga secara berlebih yang dapat mengakibatkan eutrofikasi dan pendangkalan badan air tersebut. Oleh karena itu, unsur hara tersebut perlu dieliminasi dari efluen. Nitrogen dalam efluen instalasi pengolahan sekunder kebanyakan dalam bentuk senyawa amonia atau ammonium, tergantung pada nilai pH. Senyawa amonia ini bersifat toksik terhadap ikan jika konsentrasinya cukup tinggi. Permasalahan lain yang berkaitan dengan amonia adalah penggunaan oksigen terlarut selama proses konversi dari amonia menjadi nitrat oleh mikroorganisme (nitrifikasi). Oleh karena itu, untuk meningkatkan kualitas efluen dibutuhkan pengolahan tambahan, yang, dikenal sebagai pengolahan tersier (*advanced waste water treatment*) untuk mengurangi / menghilangkan konsentrasi BOD, TSS dan nutrien (N,P). Proses pengolahan tersier yang dapat diterapkan antara lain

adalah filtrasi pasir, eliminasi nitrogen (nitrifikasi dan denitrifikasi), dan eliminasi fosfor (secara kimia maupun biologis).

2.4 Alternatif Pengolahan Air Limbah Industri Pangan

Terdapat tiga alternatif IPAL yang dipilih untuk menangani air limbah pada industri pangan. Alternatif IPAL yang pertama menggunakan *Anaerobic Biofilter* (ABF) disertai dengan *Constructed Wetland*, alternatif kedua yaitu *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dan disertai dengan *Constructed Wetland* (CW) sebagai unit pengolahan biologis utama IPAL, alternatif ketiga menggunakan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) serta *Constructed Wetland* (CW) sebagai unit pengolahan biologis IPAL.

Pemilihan alternatif tersebut didasarkan pada karakteristik air limbah industri pangan skala rumah tangga. Dapat dilihat pada Tabel 2.2 yaitu karakteristik air limbah industri pengolahan ikan skala rumah tangga. Selain itu juga berdasarkan kemampuan dari unit pengolahan dalam mengelola limbah industri pangan hasil perikanan. Diagram alir dari ketiga alternatif dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Tabel 2.2 Hasil Uji Karakteristik Air Limbah Industri Pengolahan Ikan

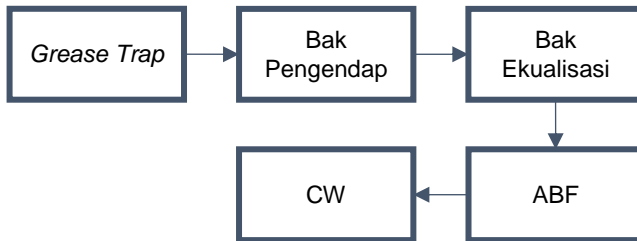
No	Parameter	Nilai	Satuan	Baku Mutu
1.	BOD ₅	7996	mg/L	100
2.	COD	11760	mg/L	150
3.	pH	4,17	-	6,0 – 9,0

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Teknik Lingkungan ITS, 2017

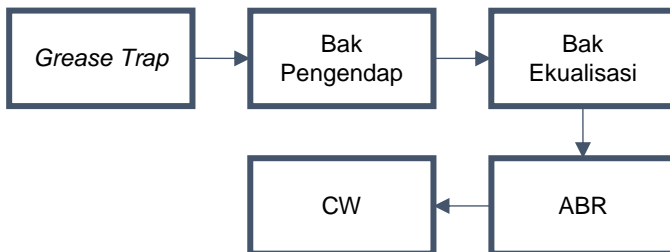
Berdasarkan penelitian Hayati (1998), pengolahan ikan (*sardine*) mengandung BOD sebesar 9220 mg/L, TSS sebesar 5410 mg/L, minyak dan lemak sebesar 210 – 300 mg/L. Pada limbah pengolahan ikan terdapat komponen minyak dan lemak sehingga diperlukan pengolahan fisik untuk memisahkannya yaitu dengan *grease trap* (Morel dan Diener, 2006). Dan untuk memperkecil kadar BOD, COD, dan TSS diberikan bak pengendap sebelum bak ekualisasi. Air limbah pada industri ini sangat

fluktuatif debit dan bebannya sehingga diperlukan bak ekualisasi untuk menstabilkan debit dan beban air limbah tersebut.

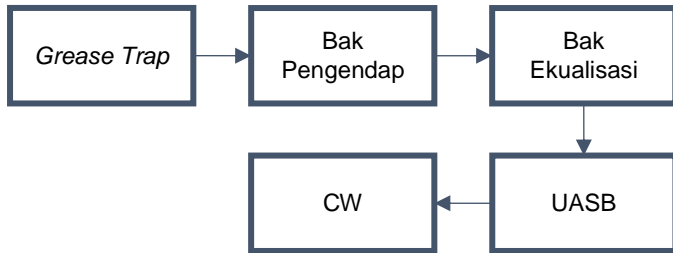
Sebagian besar teknologi pengolahan air limbah yang digunakan khususnya untuk mengolah polutan senyawa organik adalah proses biologis. Proses biologis dapat dilakukan pada kondisi aerobik (dengan udara), kondisi anaerobik (tanpa udara) atau kombinasi anaerobik dan aerobik. Proses biologis aerobik biasanya digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang tidak terlalu besar karena biayanya pun cukup mahal, sedangkan proses anaerobik ditujukan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang sangat tinggi (Said, 2000).



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.1 Diagram Alir Alternatif Pengolahan 1 (a), Alternatif 2 (b), dan Alternatif 3 (c)

Ketiga alternatif yang disajikan pada Gambar 2.1, masing-masing memiliki efluen yang telah memenuhi baku mutu. Dengan demikian, dilakukan perbandingan kualitas masing-masing alternatif dengan kelebihan dan kelemahan yang dimiliki untuk menentukan alternatif terbaik yang digunakan. Kelebihan dan kelemahan alternatif pengolahan dapat dilihat pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Kelebihan dan Kelemahan Alternatif Pengolahan I, II dan III

Faktor	Alternatif I (ABF + CW)	Alternatif II (ABR+CW)	Alternatif III (UASB+CW)
Efisiensi BOD	80-95%	80-95%	85-95%
Kebutuhan Energi	Relatif kecil	Relatif lebih kecil	Besar, dimana biaya listrik lebih tinggi karena penggunaan alat mekanis
Operasional	Cukup Sulit	Tidak Sulit	Cukup Sulit
Bau <i>Effluent</i>	Tidak Berbau	Tidak Berbau	Tidak Berbau

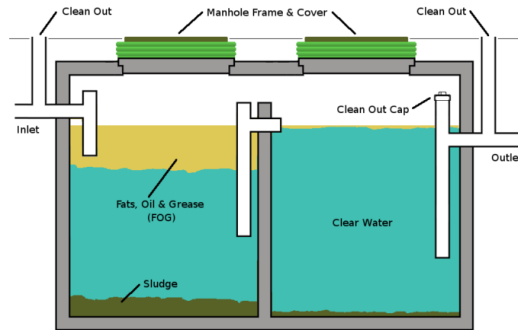
Faktor	Alternatif I (ABF + CW)	Alternatif II (ABR+CW)	Alternatif III (UASB+CW)
Beban Hidrolik	Fleksibel	Kurang Fleksibel	Kurang Fleksibel
Beban Organik	Fleksibel	Fleksibel	Kurang Fleksibel
Pengolahan Lumpur	Dapat langsung stabilisasi	Dapat langsung stabilisasi	Dapat langsung stabilisasi
Kebutuhan Area	Luas lahan kecil	Luas lahan lebih kecil	Luas lahan lebih besar

Dengan demikian, akan dipilih alternatif II sebagai dasar perencanaan yang akan digunakan dalam perhitungan unit pengolahan air limbah domestik. Kemudahan dalam *operation and maintenance* (O&M) dan kebutuhan energi merupakan alasan yang dipertimbangkan selain kualitas *effluent* yang dihasilkan. Oleh karena itu digunakanlah alternatif II yang terdiri dari pengolahan biologis dengan ***Anaerobic Baffled Reactor dan Constructed Wetland***.

2.4.1 Grease Trap

Grease Trap mampu menyisahkan komponen-komponen ringan seperti minyak dan lemak yang terakumulasi di permukaan air. Unit ini digunakan sebagai unit pengolahan primer untuk sumber limbah spesifik seperti limbah dapur dan restoran.

Grease Trap harus dirancang untuk menyesuaikan dua kriteria dasar untuk pemisahan minyak dan lemak secara efektif yaitu waktu/suhu dan turbulensi. Waktu retensi *grease trap* harus cukup untuk mengemulsi minyak dan lemak untuk penurunan suhu. Hal tersebut juga dilakukan untuk memisahkan dan mengapungkan ke permukaan perangkap. Turbulensi harus dikurangi untuk menghindari suspensi minyak dan padatan (Morel dan Diener, 2006).



Gambar 2.2 Grease Trap

Sumber: <https://neworleansgreasetrapcleaning.com/calculate-grease-trap-size-gallons/>

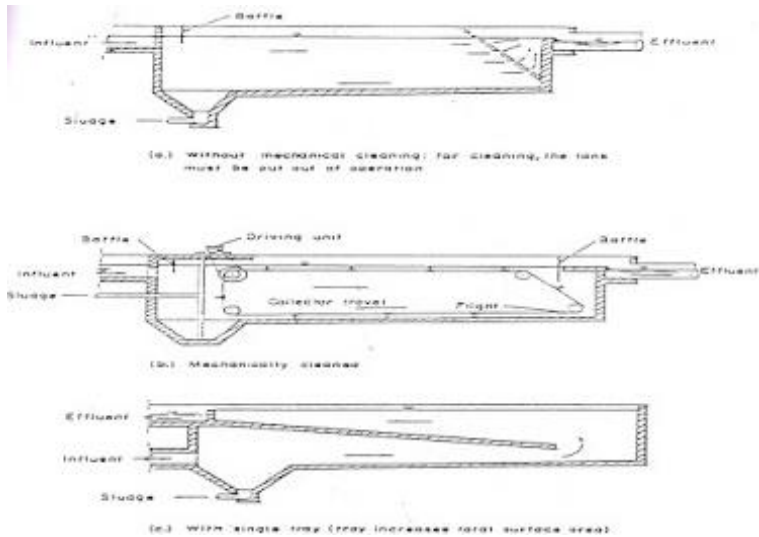
2.4.2 Bak Pengendap

Bak Pengendap berfungsi untuk mengendapkan atau menghilangkan kotoran padatan tersuspensi yang ada di dalam air limbah. Kotoran atau polutan yang berupa padatan tersuspensi misalnya lumpur anorganik seperti tanah liat akan mengendap di bagian dasar bak pengendap. Kotoran padatan tersebut terutama yang berupa lumpur anorganik tidak dapat terurai secara biologis, dan jika tidak dihilangkan atau diendapkan akan menempel pada permukaan media biofilter sehingga menghambat transfer oksigen ke dalam lapisan biofilm, dan mengakibatkan dapat menurunkan efisiensi pengolahan. Bak pengendap awal dapat berbentuk segi empat atau lingkaran. Pada bak ini aliran air limbah dibuat agar sangat tenang untuk memberi kesempatan padatan/suspensi untuk mengendap. Kriteria desain bak pengendap menurut Metcalf dan Eddy (2003) adalah sebagai berikut:

Kriteria *design* bak pengendap:

td	= 1 – 3 jam
OFR	= 20 – 80 m ³ /m ² .hari
Vup	= < 2 m/jam
WLR	= 125 – 500 m ³ /m ² .hari atau jika,
Q < 44 L/detik	= 124 m ³ /m ² .hari
Q > 44 L/detik	= 186 m ³ /m ² .hari

H = 1,5 – 4 m



Gambar 2.3 Bak Pengendap
Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

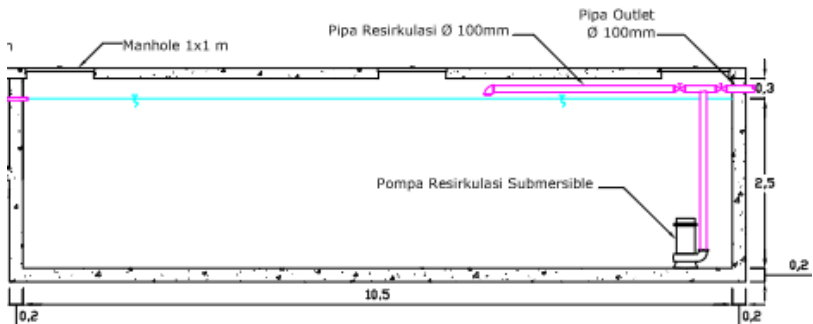
2.4.3 Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi digunakan untuk mengatasi masalah operasional seperti variasi debit. Bak ekualisasi juga untuk meningkatkan kinerja proses aliran bawah dan menurunkan ukuran dan harga fasilitas pengolahan aliran bawah. Ekualisasi debit bertujuan untuk mencapai debit konstan dan dapat diaplikasikan pada kondisi berbeda tergantung karakteristik sistem pengumpulan.

Bak ekualisasi dapat disusun secara *in-line* maupun *off-line*. Pada susunan *in-line*, semua debit melewati bak ekualisasi. Penyusunan ini dapat digunakan untuk mencapai jumlah pengecilan konsentrasi konstituen dan debit. Pada susunan *off-line* hanya debit yang melimpah yang dialirkan menuju bak ekualisasi. Kebutuhan pompa diminimisasi pada susunan ini, namun jumlah pengecilan konsentrasi unsur berkurang. Ekualisasi

secara *off-line* biasanya digunakan untuk menangkap bilasan pertama dari sistem pengumpulan kombinasi.

Bak ekualisasi yang diletakkan setelah pengolahan primer dan sebelum pengolahan biologis bisa menjadi pilihan tepat. Ekualisasi setelah pengolahan primer menghasilkan endapan padatan dan akumulasi buih yang lebih sedikit. Perancangan bak ekualisasi harus menyediakan pencampuran yang cukup untuk mencegah endapan padatan dan variasi konsentrasi serta aerasi untuk mencegah masalah bau (Metcalf dan Eddy, 2003).



Gambar 2.4 Bak Ekualisasi

Sumber: Yasmine, 2017

2.4.4 **Anaerobic Baffled Reactor (ABR)**

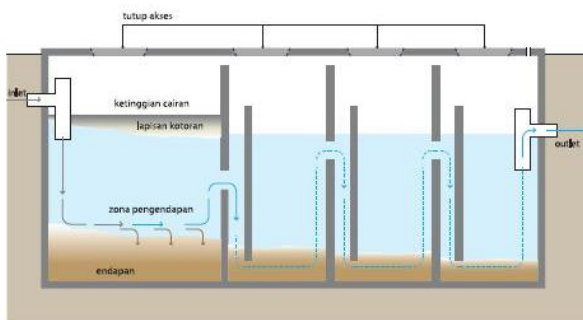
Anaerobic Baffled Reactor (ABR) yaitu suatu jenis reaktor anaerob laju tinggi yang terdiri dari beberapa kompartemen bervolume sama. Antar tiap kompartemen ABR dipisahkan oleh *hanging* dan *standing baffle* secara selang-seling yang berfungsi memaksa cairan mengalir ke atas dan ke bawah pada tiap kompartemen untuk meningkatkan kontak antara air limbah dan mikroorganisme dalam selimut lumpur pada tiap dasar kompartemen (Hudson, 2010).

Pengoperasian ABR dirancang agar alirannya turun naik seperti terlihat pada Gambar 2.2. Aliran seperti ini menyebabkan aliran air limbah yang masuk (*influent*) lebih intensif terkontak dengan biomassa anaerobik, sehingga meningkatkan kinerja

pengolahan (Wang *et al.*, 2009). Operasi awal ABR memerlukan waktu 3 bulan untuk menstabilkan biomassa di awal proses.

Kinerja pengolahan ABR berdasarkan BORDA tahun 2008 adalah:

- *Chemical Oxygen Demand (COD) removal* : 65 % sampai 90 %
- *Biological Oxygen Demand (BOD) removal* : 70 % sampai 95 %
- *Total Suspended Solids (TSS) removal* : sampai dengan 90%
- Reduksi patogen : rendah



Gambar 2.5 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

Sumber: Sasse, 1998

Prinsip perencanaan ABR dalam BORDA sebagai berikut:

- ABR diawali dengan ruang pengendapan untuk padatan tersuspensi diikuti dengan *minimum 2 up-flow chambers*.
- *Hydraulic Retention Time (HRT)* relatif pendek dan bervariasi sampai 2 atau 3 hari.
- *Up-flow velocity* merupakan parameter penting untuk penentuan dimensi, khususnya dengan beban hidrolis yang tinggi. V_{up} tidak boleh lebih dari 2,0 m/jam.
- Beban organik $< 3 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari}$. beban yang besar dimungkinkan untuk air limbah dengan suhu diatas 30°C dan rasio (BOD/COD) $> 0,6$.

ABR dapat diaplikasikan untuk mengolah berbagai macam air limbah, seperti air limbah permukiman, rumah-sakit,

hotel/penginapan, pasar umum, Rumah Potong Hewan (RPH) dan industri makanan. Semakin banyak beban organik, semakin tinggi efisiensinya (Morel dan Dinier, 2006). ABR cocok untuk lingkungan kecil. Selain itu ABR dapat dirancang secara efisien untuk aliran masuk (inflow) harian hingga setara dengan volume air limbah dari 1000 orang (200.000 liter/hari). ABR terpusat (setengah-terpusat) sangat cocok jika teknologi pengangkutan sudah ada. Menurut Sasse (1998), ABR tidak boleh dipasang jika permukaan air tanah tinggi, karena perembesan (*infiltration*) akan memengaruhi efisiensi pengolahan dan akan mencemari air tanah.

2.4.4.1 Kelebihan dan Kekurangan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

Dipilihnya ABR dalam perencanaan ini adalah karena ABR memiliki kelebihan-kelebihan utama antara lain:

1. ABR mampu memisahkan proses asidogenesis dan metanogenesis secara longitudinal yang memungkinkan reaktor memiliki sistem dua fase tanpa adanya masalah pengendalian dan biaya yang tinggi.
2. Desain sederhana, tidak memerlukan pengaduk mekanis, biaya konstruksi relatif murah, biomassa tidak memerlukan karakteristik pengendapan tertentu, lumpur yang dihasilkan rendah, SRT (*Sludge Retention Time*) tinggi dicapai tanpa media pendukung serta tidak memerlukan sistem pemisahan gas. Peningkatan volume limbah cair tidak masalah, bahkan memungkinkan operasional intermitten, selain itu konfigurasi ABR melindungi biomassa dari senyawa toksik dalam influen.
3. Pola hidrodinamik ABR mereduksi terbuangnya bakteri dan mampu menjaga biomassa tanpa penggunaan *fixed media*. Pemisahan dua fase meningkatkan perlindungan terhadap senyawa toksik dan memiliki ketahanan terhadap perubahan parameter lingkungan seperti PH, temperatur dan beban organik (Morel dan Diener, 2006).

Sedangkan kekurangan dari ABR, antara lain adalah sebagai berikut:

1. Memerlukan sumber air yang konstan.
2. Efluen memerlukan pengolahan sekunder atau dibuang ke tempat yang cocok.

3. Penurunan zat patogen rendah.

2.4.4.2 Kriteria Desain *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)

Perhitungan dimensi unit ABR dibagi menjadi 2 tahap, yaitu zona tangki pengendap dan zona kompartemen. Lebar dan kedalaman unit pengolahan ditetapkan sesuai dengan kondisi ketersediaan lahan. Kriteria desain yang digunakan pada perencanaan kali ini dapat dilihat Tabel 2.4. dan Tabel 2.5.

Tabel 2.4 Kriteria Desain Zona Tangki Pengendap *Anaerobic Baffled Reactor*

No	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Periode pengurasan	2-3	tahun
2.	td	2 - 6	jam
3.	SS/COD	0,35 – 0,45	m/jam

Sumber: Sasse, 1998

Tabel 2.5 Kriteria Desain Zona Kompartemen *Anaerobic Baffled Reactor*

No	Parameter	Nilai	Satuan
1.	<i>Organic Loading Rate</i> (OLR)	< 3	kg COD/m ³ .hari
2.	<i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT)	8 – 20	jam
3.	Kecepatan aliran (Vup)	< 2	m/jam
4.	Panjang kompartemen	50 - 60	% dari kedalaman

Sumber: Sasse, 1998

2.4.5 *Constructed Wetland* (CW)

Constructed Wetland atau lahan basah buatan adalah sistem pengolahan terencana atau terkontrol yang didesain menggunakan proses alami. Proses ini melibatkan vegetasi, media dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah (Risnawati dan

Damanhuri, 2009). Sistem pengolahan yang direncanakan, seperti untuk debit limbah, beban organik, kedalaman media, jenis tanaman lainnya, sehingga kualitas air limbah yang keluar dari sistem tersebut dapat dikontrol sesuai dengan yang dikehendaki oleh pembuatnya. Dari aspek hidraulika, *Constructed Wetland* diklasifikasikan menjadi dua tipe, yaitu sistem aliran permukaan (*Surface Flow Constructed Wetland*) atau FWS (*Free Water System*) dan sistem aliran bawah permukaan atau SSF-*Wetland* (*Sub-Surface Flow Constructed Wetland*) (Vymazal, 2010). Berdasarkan pola aliran, CW dapat diklasifikasikan menurut arah aliran horizontal dan vertikal (Suswati dan Gunawan, 2013).

Constructed Wetland berfungsi sebagai pengolah limbah bukan hanya mengolah air limbah domestik, tetapi juga limbah industri, limbah rumah sakit maupun limbah pertambangan. Untuk masing-masing fungsi sebagai pengolah limbah, harus dirancang sesuai dengan karakter limbah yang diolah (Suswati dan Gunawan, 2013). Prinsip kerja sistem pengolahan air limbah jenis *Constructed Wetland* yaitu dengan memanfaatkan simbiosis antara tumbuhan air dengan mikroorganisme dalam media di sekitar sistem perakaran (*Rhizosphere*) tumbuhan tersebut. Bahan organik yang terdapat dalam air limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi senyawa lebih sederhana dan akan dimanfaatkan oleh tumbuhan sebagai *nutrient*. Sistem perakaran tumbuhan air akan menghasilkan oksigen yang dapat digunakan sebagai sumber energi/katalis untuk rangkaian proses metabolisme bagi kehidupan mikroorganisme (Supradata, 2005)

Suriawiria (1993) mengemukakan bahwa klasifikasi *Constructed Wetland* berdasarkan jenis tanaman yang digunakan, terbagi menjadi 3 (tiga) kelompok:

1. Sistem yang menggunakan tanaman *macrophyta* mengambang atau sering disebut dengan lahan basah sistem tanaman air mengambang (*Floating Aquatic Plant System*).
2. Sistem yang menggunakan tanaman *macrophyta* dalam air (*Submerged*) dan umumnya digunakan pada sistem lahan basah buatan tipe aliran permukaan (*Surface Flow Wetlands*).
3. Sistem yang menggunakan tanaman *macrophyta* yang akarnya tenggelam atau sering disebut juga *amphibious plants* dan biasanya digunakan untuk lahan basah buatan tipe

aliran bawah permukaan (*Surface Flow Constructed Wetland*)
SSF-*Wetlands*.

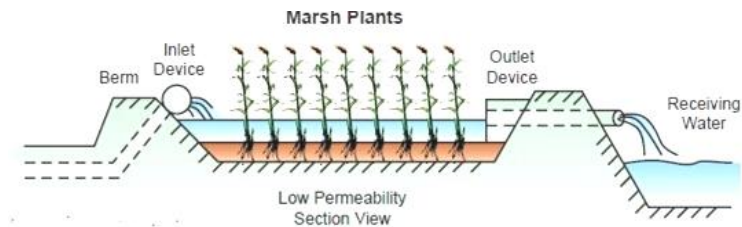
Menurut Hammer (1986), pengolahan limbah sistem *wetland* didefinisikan sebagai sistem pengolahan yang memasukkan faktor utama, yaitu:

1. Area yang tergenangi air dan mendukung kehidupan tumbuhan air sejenis *hydrophyta*.
2. Media tempat tumbuh berupa tanah yang selalu digenangi air (basah).
3. Media bisa juga bukan tanah, tetapi media yang jenuh dengan air.

Definisi *wetland* tersebut disempurnakan oleh Metcalf dan Eddy (1993) yaitu sistem yang termasuk pengolahan alami, dimana terjadi aktivitas pengolahan sedimentasi, filtrasi, transfer gas, adsorpsi, pengolahan kimiawi dan biologis. Hal tersebut terjadi karena adanya aktivitas mikroorganisme dalam tanah serta aktivitas tanaman.

2.4.5.1 *Free Surface Constructed Wetland*

Constructed Wetland terdiri dari 2 tipe yaitu *Free Water Constructed Wetland* dan *Sub Surface Constructed Wetland*. Untuk sketsa dari *Free Water Constructed Wetland* dapat dilihat pada Gambar 2.5. Pada sistem *Free Water Surface* (FWS), air mengalir pada permukaan air yang terbuka. Pada praktiknya, sistem FWS jarang digunakan karena sistem ini dapat menjadi sarang bagi faktor penyakit (seperti nyamuk) dan menimbulkan bau (Wallace dan Robert, 2006).



Gambar 2.6 *Free Water Constructed Wetland*

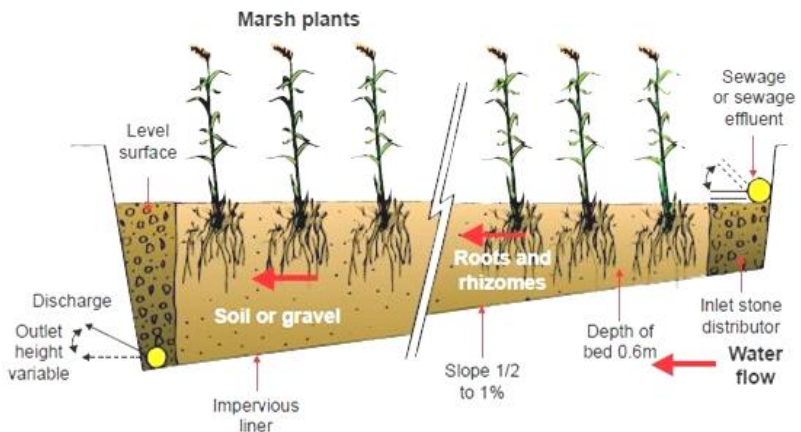
Sumber: Sim, 2003

2.4.5.2 Sub-Surface Constructed Wetland

Sub-Surface Constructed Wetland menggunakan media tanah, pasir atau kerikil yang ditanami dengan vegetasi tumbuhan. Air limbah akan dialirkan dibawah permukaan dari media tanam. Karena air limbah berada dibawah permukaan media tanam, resiko terkena paparan manusia atau organisme patogen dapat diminimisasi (Wallace dan Robert, 2006). Sistem *Sub-Surface Constructed Wetland* paling sesuai untuk pengolahan primer dari air limbah, karena tidak ada kontak langsung dengan kolom air dan atmosfer (Suswati *et al.*, 2013). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat sketsa *Sub-Surface Constructed Wetland* pada Gambar 2.6.

Menurut Tangahu dan Warmadewanthi (2001), pengolahan air limbah dengan sistem *wetland* lebih dianjurkan karena beberapa alasan sebagai berikut:

1. Dapat mengolah limbah domestik, pertanian dan sebagian limbah industri termasuk logam berat.
2. Efisiensi pengolahan tinggi (80 %).
3. Biaya perencanaan, pengoperasian dan pemeliharaan murah dan tidak membutuhkan keterampilan yang tinggi.



Gambar 2.7 Sub-Surface Constructed Wetland

Sumber: Sim, 2003

Vertical Flow System

Sistem pengaliran *Vertical Flow System* tidak dilakukan secara kontinu tetapi dengan sistem *batch*. Air limbah mengalir dari atas ke bawah dengan melewati zona akar dan keluar dari dasar media. Sistem ini baik digunakan untuk proses nitrifikasi karena kemampuan transfer oksigen, dan penyisihan BOD dan COD yang tinggi. Kekurangan dari *Vertical Flow System* adalah kurang bagus didalam penyisihan partikel tersuspensi apabila pemilihan media yang kurang tepat karena akan terjadi *clogging*.

Horizontal Flow System

Horizontal Flow System adalah sistem aliran pada *Sub-Surface Wetland* dengan mengalirkan air limbah secara horizontal dibawah tanaman yang ditanam di media lapisan paling atas. Tanaman tersebut memiliki kemampuan dalam mengadsorpsi oksigen dengan menggunakan daun dan batang yang berada diatas permukaan media. Oksigen terserap akan ditransfer ke akar. *Aerobic microsities* yang ada pada akar dapat membantu proses aerobik pada mikroorganismenya, seperti proses nitrifikasi.

Kelebihan dari sistem ini adalah tidak adanya genangan air yang dapat menimbulkan bau dan menjadi tempat berkembang biak nyamuk. Selain itu, *Horizontal Flow System* juga baik didalam penyisihan partikel tersuspensi karena kemampuan didalam menyaring dan penyisihan BOD. Kekurangan dari sistem ini adalah tidak bagus di dalam proses nitrifikasi karena kemampuan didalam transfer oksigen yang terbatas dan sering terjadi aliran pendek yang menyebabkan menurunnya efisiensi pengolahan. Oleh karena itu, sistem ini tidak cocok untuk pengolahan air limbah yang mengandung *suspended solid* yang tinggi (Kayombo *et al.*, 2006).

2.4.5.3 Kelebihan dan Kekurangan *Constructed Wetland*

Dalam aplikasinya, *constructed wetland* memiliki kelebihan dan kekurangan. Berikut ini adalah penjelasan mengenai kelebihan dan kekurangan tersebut. Kelebihan dari penggunaan *Constructed Wetland* sebagai salah satu alternatif pengolahan air limbah domestik menurut Khambali (2011) adalah:

1. Teknologi tepat guna yang murah
2. Tahan lama dan mudah dalam perawatan

3. Tidak memerlukan teknologi yang rumit dan peralatan mesin atau bahan kimia
4. Tidak memerlukan biaya operasional yang tinggi
5. Menggunakan sumber daya alam yang ada
6. Dapat diisi dengan keanekaragaman tumbuhan lokal setempat
7. Dapat dibuat dengan berbagai ukuran (skala rumah tangga, klinik, sekolah, rumah sakit, hotel, dsb)
8. Menyediakan ekosistem untuk tumbuhan maupun hewan
9. Tertata sebagai taman dengan lanskap yang indah dipandang.

Kekurangan dari penggunaan *Constructed Wetland* sebagai salah satu alternatif pengolahan air limbah domestik menurut Khambali (2011) adalah:

1. Pengoperasian sistem ini tergantung pada kondisi lingkungan termasuk iklim dan suhu. Pengolahan kurang optimal untuk daerah dengan suhu rendah
2. Untuk *Constructed Wetland dengan free water system*, dapat berpotensi menimbulkan bau dan menjadi sarang bagi vektor penyakit (nyamuk).

2.4.5.4 Kriteria Desain *Constructed Wetland*

Kriteria desain yang sangat penting untuk sistem *Constructed Wetland* adalah waktu detensi hidrolis, kedalaman bak (panjang dan lebar), laju beban BOD₅, dan laju beban hidrolis. Menurut Vymazal (2010), *Constructed Wetland* dirancang dengan perlakuan lebih terkontrol, misalnya dengan pengaturan *Hydraulic Retention Time* (HRT) dan *Hydraulic Loading Rate* (HLR) untuk mempertimbangkan dimensinya. Rentang tipikal yang disarankan untuk perencanaan diberikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kriteria Desain *Constructed Wetland*

No.	Paramater desain	Unit	Tipe Sistem	
			FWS	SSF
1.	<i>Hydraulic detention time</i>	day	4 – 15	4 – 15
2.	<i>BOD₅ loading rate</i>	lb/acre	< 60	< 60
3.	<i>Hydraulic loading rate</i>	Mgal/acre.d	< 60	< 60

No.	Paramater desain	Unit	Tipe Sistem	
			FWS	SSF
4.	<i>Specific area</i>	<i>Acre/(Mgal/d)</i>	0.015 – 0.050 67 – 20	0.015 – 0.05 67 – 20

Sumber : Metcalf dan Eddy, 2003

Rentang tipikal yang disarankan untuk perencanaan diberikan dibawah ini:

Removal TSS : 60 – 75%

Removal BOD oleh media : 75 – 98%

Removal BOD yang dibantu dengan adanya tanaman : 4,4% (Diaz *et al.*, 2014)

Karakteristik tipikal media yang digunakan pada sistem SSF terdapat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Karakteristik Tipikal Media Untuk *Sub-Surface Flow System*

<i>Media Type</i>	<i>Max 10% grain size, mm</i>	<i>Porosity, α</i>	<i>Hydraulic Conductivity, ks, ft³/ft².d</i>	<i>K₂₀</i>
<i>Medium sand</i>	1	0.42	1.380	1.84
<i>Coarse sand</i>	2	0.39	1.575	1.34
<i>Gravelly sand</i>	8	0.35	1.610	0.86
Medium gravel	32 ^(*)	0.4 ^(*)	1.640 ^(*)	1.104 ^(*)

Sumber : Metcalf dan Eddy, 2003

^(*)EPA, 1999

Penyumbatan merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan pada filtrasi horizontal. Bila penyumbatan (*clogging*) ini terjadi, maka konstruksi tersebut tidak akan berfungsi dengan semestinya dan perlu dilakukan pembongkaran dan pergantian media dan hal tersebut merupakan pekerjaan yang menyulitkan.

Karena itu pemilihan media merupakan salah satu masalah yang amat penting dalam mendesain filtrasi horizontal sehingga media yang lazim digunakan untuk filtrasi horizontal adalah *gravel* (kerikil) (Metcalf dan Eddy, 2003).

2.4.5.5 Mekanisme *Constructed Wetland*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, *Constructed Wetland* dibagi menjadi 2 sistem yaitu *Free Water Surface* (FWS) dan *Sub Surface Flow* (SSF). Kedua sistem tersebut memiliki mekanisme yang berbeda. Menurut Wijayanti dkk. (2008), sistem FWS berupa kolam atau saluran-saluran yang dilapisi dengan lapisan *impermeable* di bawah saluran atau kolam. Lapisan tersebut berfungsi untuk mencegah merembesnya air keluar kolam saluran.

FWS berisi tanah sebagai tempat hidup tanaman yang hidup pada air tergenang (*emerge plant*) dengan kedalaman 0,1-0,6 m (Metcalf dan Eddy, 1993). Pada sistem ini, limbah cair melewati akar tanaman, kemudian air limbah akan diserap oleh akar tanaman dengan bantuan bakteri (Crites dan Tchobanoglous, 1998).

Pada SSF, air limbah mengalir melalui tanaman yang ditanam pada media yang berpori. Sistem ini menggunakan media seperti pasir dan kerikil dengan diameter bervariasi antara 3-32 mm. Untuk zona inlet dan outlet biasanya digunakan diameter kerikil yang lebih besar untuk mencegah terjadinya penyumbatan. Proses pengolahan yang terjadi yaitu filtrasi, absorpsi oleh mikroorganisme, dan adsorpsi oleh akar-akar tanaman terhadap tanah dan bahan organik (Novotny dan Olem, 1994).

Pada sistem SSF diperlukan *slope* untuk pengaliran air limbah dari inlet ke outlet. Tipe pengaliran air limbah pada umumnya secara horizontal, karena jenis ini memiliki efisiensi pengolahan terhadap *suspended solid* dan bakteri lebih tinggi dibandingkan tipe lain. Hal ini disebabkan karena adanya filtrasi yang lebih baik. Penurunan BOD juga lebih baik karena kapasitas transfer oksigen lebih besar (Khiattudin, 2003).

Mekanisme paling utama degradasi bahan organik pada *constructed wetland* adalah reaksi simbiosis antara tanaman dan bakteri, dimana oksigen yang dihasilkan dari fotosintesis maupun dipakai untuk respirasi oleh tanaman, dipakai oleh bakteri aerobik

dan fakultatif dalam mendegradasi bahan organik (Popraset *et al*, 1998). Sedangkan produk lain yang dihasilkan dari aktivitas dekomposisi oleh bakteri adalah CO₂ dan senyawa amonium (proses amonifikasi).

Tanaman uji dipakai untuk mempercepat proses penurunan TS, karena kemampuan tanaman dalam menahan padatan secara mekanik sehingga kecepatan aliran dapat diperkecil dan waktu tinggal dapat ditingkatkan, serta pengendapan partikel padatan lebih mudah (Tangahu dan Warmadewanthi, 2001).

Dalam menghilangkan atau mengurangi kandungan bahan pencemar, beberapa proses terjadi di dalam *Constructed Wetland*. Proses yang terjadi adalah fisik, biologi dan kimia (Suswati dan Gunawan, 2013). Proses secara fisik yang terjadi adalah proses sedimentasi, filtrasi, adsorpsi oleh media tanah yang ada. Menurut Tangahu dan Warmadewanthi (2001), dengan adanya proses secara fisik ini hanya dapat mengurangi konsentrasi COD dan BOD solid maupun TSS, sedangkan COD dan BOD terlarut dapat dihilangkan dengan proses gabungan kimia dan biologi melalui aktivitas mikroorganisme maupun tanaman. Mekanisme penghilangan polutan yang ada di *Constructed Wetland* yang disajikan pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Penghilangan Polutan yang Ada di *Constructed Wetland*

Jenis Polutan	Proses Penghilangan
Bahan organik (diukur sebagai BOD)	Degradasi secara biologis, sedimentasi, dan digunakan oleh mikroorganisme
Kontaminan organik (contoh: pestisida)	Adsorpsi, volatilisasi, fotolisis, dan degradasi secara biotik/abiotik
SS (<i>Suspended Solids</i>)	Sedimentasi, filtrasi
Fosfor	Sedimentasi, filtrasi, adsorpsi, digunakan oleh mikroorganisme dan tumbuhan
Patogen	Mati secara alami, sedimentasi, filtrasi, dimakan oleh predator, degradasi oleh sinar UV, adsorpsi

Jenis Polutan	Proses Penghilangan
Logam berat	Sedimentasi, adsorpsi, digunakan oleh tumbuhan

Sumber: Kayombo et al, 2003

Remediasi zat pencemar yang dilakukan oleh tumbuhan dibantu oleh mikroorganisme (Ariani dan Eddy, 2011). Menurut Surakusumah (2012), yang berperan aktif untuk meremediasi zat pencemar adalah mikroorganisme sedangkan tumbuhan hanya berperan sebagai media dan fasilitator bagi mikroorganisme serta pendorong percepatan remediasi. Fungsi tumbuhan didalam proses remediasi adalah:

1. *Solar Riven Pump and Treat System*
Akar tumbuhan akan menarik zat cair dan larutan pada saat proses transpirasi dengan bantuan sinar matahari. Sehingga, mikroorganisme akan mudah mengambil sumber nutrisi dalam polutan yang menempel di akar.
2. Penghasil Sumber Karbon dan Energi
Sebelum menggunakan polutan sebagai sumber nutrisi, mikroorganisme dapat menggunakan Eksudat atau hasil metabolisme oleh akar tumbuhan sebagai sumber karbon dan energi. Hal ini dapat mengatasi mikroorganisme kekurangan nutrisi akibat polutan yang belum terlarut dengan baik.
3. Transfer Oksigen dan Menurunkan Permukaan Air (*Water Table*)
Akar tumbuhan dapat berfungsi sebagai penyalur oksigen bagi mikroorganisme. Selain itu, permukaan air (*water table*) juga dapat diturunkan oleh akar sehingga difusi gas dapat terjadi.

Mikroorganisme dapat mendegradasi polutan menjadi ion-ion sehingga dapat terserap oleh tumbuhan. Sebaliknya, ion-ion tersebut dapat berguna untuk mencegah penumpukan ion-ion yang bersifat toksik bagi mikroorganisme itu sendiri (Ariani dan Eddy, 2011). Peranan media, tanaman maupun mikroorganisme yang terdapat dalam sistem pengolahan limbah *Sub Surface Flow*, berdasarkan 3 (tiga) komponen utama zat polutan lebih jelasnya digambarkan dalam Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Peranan Media, Tanaman dan Mikroorganismes Terhadap Pengurangan Zat Polutan dalam *Sub Surface Flow*

Polutan	Lokasi	Proses
BOD ₅	Akar	Peruaian oleh mikroba
	Media	Peruaian oleh mikroba
	Media	Pengendapan
	Daun	Volatilisasi (sebagai N ₂ dan N ₂ O)
Nitrogen	Algae di saluran air	Denitrifikasi
	Akar tumbuhan	Pengendapan
	Tanah, media	Peruaian oleh mikroba
Phospor	Akar	Penyerapan
	Akar	Sedimentasi
	Media	Adsorpsi
	Media	

Sumber: Mitchell *et al*, 1998

2.4.5.6 Tumbuhan *Scirpus grossus*

Scirpus grossus adalah tumbuhan yang potensial sebagai tumbuhan hiperakumulator (Tangahu *et al*, 2013). *Scirpus grossus* pada umumnya hidup di lahan basah (daerah berair), namun dapat pula di daerah tanah yang subur dengan sirkulasi yang baik. Berasosiasi dengan tanaman padi. Dalam penelitian Yasril (2009) didapatkan hasil bahwa *Scirpus grossus* mampu mereduksi konsentrasi BOD dan COD yang terdapat dalam limbah cair hingga 90%.

Tumbuhan *Scirpus grossus* termasuk dalam suku *Cyperaceae* ini dikenal dengan nama lain seperti, basiang, mansiang, mansiro daun, walingi, dan wlingian. Tumbuhan ini mempunyai akar rimpang, tumbuh pada daerah *wetland-wetland* yang tergenang air tawar, seperti kolam dan sawah, tumbuh baik pada dataran rendah sampai ketinggian 800 m dpl dengan tinggi tanaman antara 0,80 – 2 meter, bentuk batangnya bersegi tiga. Tumbuhan ini sering ditemukan dalam jumlah besar secara berkelompok (Heyne, 1987). *Scirpus grossus* dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Kingdom : *Plantae*
 Filum : *Tracheophyta*
 Kelas : *Liliopsida*
 Ordo : *Cyperales*
 Famili : *Cyperaceae*

Genus : *Scirpus*
Spesies : *grossus*
(Gupta, 2011)

Menurut Setiyawan (2007) bahwa terdapat alasan-alasan digunakannya tanaman *Scirpus grossus* sebagai vegetasi pada *Constructed Wetland*, yaitu:

- Tanaman ini berupa tanaman air yang dapat hidup pada media tidak tergenang air karena pada percobaan ini aliran yang digunakan yaitu aliran bawah permukaan (*horizontal subsurface flow*).
- Tanaman ini hidup secara liar sehingga tidak membutuhkan perawatan secara khusus, dan mudah ditemukan di berbagai daerah. Tanaman ini juga tumbuh liar pada lahan bekas pertanian atau rawa-rawa
- Tanaman ini memiliki nilai ekonomis. Pada umumnya banyak dimanfaatkan sebagai pakan ternak, tanaman hias, dan bahan baku untuk kerajinan.
- Tanaman ini merupakan tanaman tahunan dan memiliki umur yang panjang sehingga tanaman ini tidak perlu sering dipanen.



Gambar 2.8 *Scirpus grossus*
Sumber: Setiyawan, 2007

2.5 Perhitungan Perencanaan

Rumus perhitungan volume *grease trap* adalah:

$$V = \left(\frac{\text{Meals}}{\text{jam puncak}} \right) \times \text{debit limbah (L)} \times \text{Waktu Retensi (jam)} \times \text{Faktor Penyimpanan} \quad (2.1)$$

Rumus perhitungan dimensi *grease trap* adalah:

$$A_{surface} = \frac{V}{h} \quad (2.2)$$

Rumus perhitungan pipa *grease trap* adalah:

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \quad (2.3)$$

Rumus perhitungan kecepatan di pipa *grease trap* adalah:

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

dimana:

V = Volume air limbah (m³)

A_{surface} = Luas permukaan bak (m²)

H = Kedalaman bak (m)

D = Diameter pipa (m)

A = Luas penampang basah pipa (m²)

v = kecepatan air di pipa (m/detik)

Pada bak ekualisasi berlangsung dua proses, yakni ekualisasi debit dan ekualisasi kualitas. Metode proses ekualisasi debit dan kualitas adalah:

1. Memasukkan data fluktuasi debit dan kualitas air limbah (konsentrasi BOD) melalui pengukuran selama 24 jam dalam bentuk tabel. Tabel tersebut berisi data waktu per jam, debit rata-rata, konsentrasi BOD rata-rata, volume kumulatif, dan beban massa BOD. Berikut adalah contoh simulasi perhitungan bak ekualisasi menurut Metcalf dan Eddy (2003) dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Simulasi Perhitungan V Kumulatif dan Massa BOD

Waktu (Jam ke-)	Q rata-rata (m ³ /s)	BOD rata-rata (mg/L)	V Kumulatif (m ³)	Massa BOD (kg/jam)
M-1	0,275	150	990	149
1-2	0,220	115	1.782	91
2-3	0,165	75	2.376	45
3-4	0,130	50	2.844	23
4-5	0,105	45	3.222	17

Waktu (Jam ke-)	Q rata-rata (m ³ /s)	BOD rata-rata (mg/L)	V Kumulatif (m ³)	Massa BOD (kg/jam)
5-6	0,100	60	3.582	2
6-7	0,120	90	4.014	39
7-8	0,205	130	4.752	96
8-9	0,355	175	6.030	223
9-10	0,410	200	7.506	295
10-11	0,425	215	9.036	329
11-N	0,430	220	10.584	341
N-1	0,425	220	12.114	337
1-2	0,405	210	13.572	306
2-3	0,385	200	14.958	277
3-4	0,350	190	16.218	239
4-5	0,325	180	17.388	211
5-6	0,325	170	18.558	199
6-7	0,330	175	19.746	208
7-8	0,365	210	21.060	276
8-9	0,400	280	22.500	403
9-10	0,400	305	23.940	439
10-11	0,380	245	25.308	335
11-M	0,345	180	26.550	224
Rata-rata	0,307			213

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

- Perhitungan volume air limbah per jam dan perhitungan volume kumulatif.

$$V \text{ per jam} = Q \text{ rata-rata (m}^3\text{/s)} \times 3.600 \text{ s/jam} \times \text{jam} \quad (2.5)$$

Contoh:

$$V_{M-1} = 0,275 \text{ m}^3\text{/s} \times 3.600 \text{ s/jam} \times \text{jam} = 990 \text{ m}^3$$

$$V_{1-2} = 0,220 \text{ m}^3\text{/s} \times 3.600 \text{ s/jam} \times \text{jam} = 792 \text{ m}^3$$

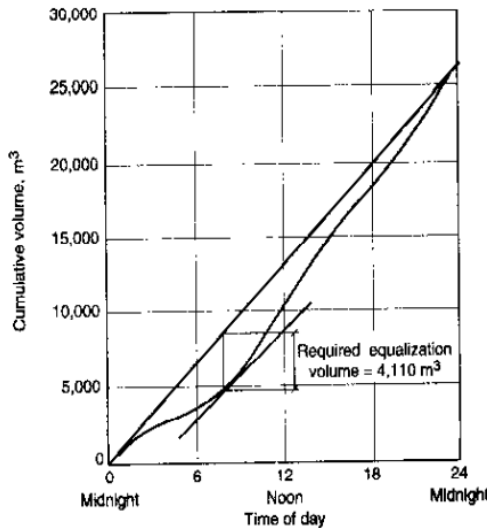
V kumulatif

Contoh:

$$V_1 = 990 \text{ m}^3$$

$$V_2 = (990 + 792) \text{ m}^3 = 1.782 \text{ m}^3$$

3. Plot volume kumulatif (sumbu y) dan waktu selama 24 jam (sumbu x) dalam sebuah kurva. Nilai *slope* (dari garis awal hingga titik akhir kurva volume kumulatif) merepresentasikan debit harian rata-rata. Nilai ini merupakan hasil dari proses ekualisasi debit. Hasil plot volume kumulatif dan waktu dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.9 Hasil Plot Volume Kumulatif dan Waktu

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

4. Penentuan volume bak penyimpanan yang dibutuhkan berdasarkan nilai jarak vertikal dari titik singgung ke garis lurus (debit rata-rata).

$$\text{Volume bak ekualisasi} = 4.110 \text{ m}^3$$

5. Memasukkan data volume air limbah di bak ekualisasi pada akhir waktu tertentu.

$$V_{sc} = V_{sp} + V_{ic} + V_{oc} \quad (2.6)$$

Dimana:

V_{sc} = volume di bak ekualisasi pada akhir waktu sekarang

V_{sp} = volume di bak ekualisasi pada akhir waktu sebelumnya

V_{ic} = volume debit masuk pada waktu sekarang

V_{oc} = volume debit keluar pada waktu sekarang

Contoh:

$$V_{oc} = 0,307 \text{ m}^3/\text{s} \times 3.600 \text{ s/jam} = 1.106 \text{ m}^3$$

$$\text{Periode 8-9, } V_{sc} = 0 + 1.278 \text{ m}^3 - 1.106 \text{ m}^3 = 172 \text{ m}^3$$

$$\text{Periode 9-10, } V_{sc} = 172 + 1.476 \text{ m}^3 - 1.106 \text{ m}^3 = 542 \text{ m}^3$$

Perhitungan ekualisasi BOD dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Perhitungan Ekualisasi BOD

Waktu (Jam ke-)	V sebelumnya (m ³)	V saat ini (m ³)	BOD rata-rata (mg/L)	BOD terekualisasi (mg/L)	Massa BOD terekualisasi (kg/jam)
8-9	1.278	172	175	175	193
9-10	1.476	542	200	197	218
10-11	1.530	966	215	210	232
11-N	1.548	1.408	220	216	239
N-1	1.530	1.832	220	218	241
1-2	1.458	2.184	210	214	237
2-3	1.386	2.464	200	209	231
3-4	1.260	2.618	190	203	224
4-5	1.170	2.680	180	198	217
5-6	1.170	2.746	170	188	208
6-7	1.188	2.828	175	184	203
7-8	1.314	3.036	210	192	212
8-9	1.440	3.370	280	220	243
9-10	1.440	3.704	305	245	271
10-11	1.386	3.966	245	245	271

Waktu (Jam ke-)	V sebelumnya (m ³)	V saat ini (m ³)	BOD rata-rata (mg/L)	BOD terekualisasi (mg/L)	Massa BOD terekualisasi (kg/jam)
11-M	1.242	4.102	180	230	254
M-1	990	3.986	150	214	237
1-2	792	3.972	115	196	217
2-3	594	3.160	75	179	198
3-4	468	2.522	50	162	179
4-5	378	1.794	45	147	162
5-6	360	1.048	60	132	146
6-7	432	374	90	119	132
7-8	738	0	130	126	139
Rata-rata					213

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

6. Perhitungan konsentrasi BOD *effluent* selama 24 jam. Nilai ini merupakan hasil dari proses ekualisasi kualitas.

$$X_{oc} = \frac{(V_{ic} \cdot X_{ic}) + (V_{sp} \cdot X_{sp})}{(V_{ic} \cdot V_{sp})} \quad (2.7)$$

Dimana:

X_{oc} = Konsentrasi BOD *influent* (mg/L)

X_{ic} = Konsentrasi BOD *effluent* (mg/L)

X_s = Konsentrasi BOD di bak penyimpanan (mg/L)

V_{ic} = Volume *influent* (m³)

V_{sp} = Volume *effluent* (m³)

Contoh:

Periode 8-9

$$X_{oc} = \frac{(1.278 \text{ m}^3 \times 175 \text{ g/m}^3) + (0 \times 0)}{(1.278 \text{ m}^3)} = 175 \text{ g/m}^3$$

Periode 9-10

$$X_{oc} = \frac{(1.476 \text{ m}^3 \times 200 \text{ g/m}^3) + (172 \times 175)}{(1.476 + 172) \text{ m}^3} = 197 \text{ g/m}^3$$

7. Perhitungan beban massa BOD selama 24 jam.

$$\text{Beban massa BOD} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right) = \frac{X_{oc} (g/m^3) + Q (m^3/s) (3600 \frac{s}{\text{jam}})}{(10^3 g/kg)} \quad (2.8)$$

Contoh:

$$\text{Periode 8-9} = \frac{175 (g/m^3) + 0,307 (m^3/s) (3600 \frac{s}{\text{jam}})}{(10^3 g/kg)} = 193 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

8. Perhitungan rasio beban massa BOD, baik yang telah terekualisasi maupun tidak. Nilai rasio tersebut ada tiga kondisi, yakni $\frac{\text{peak}}{\text{rata-rata}}$, $\frac{\text{minimum}}{\text{rata-rata}}$, dan $\frac{\text{peak}}{\text{minimum}}$. Perhitungan rasio massa BOD dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Perhitungan Rasio Massa BOD

Rasio	Massa BOD	
	Tanpa Ekualisasi	Dengan Ekualisasi
Peak / rata-rata	$\frac{439}{213} = 2,06$	$\frac{271}{213} = 1,27$
Minimum / rata-rata	$\frac{17}{213} = 0,08$	$\frac{132}{213} = 0,62$
Peak / minimum	$\frac{439}{17} = 25,83$	$\frac{271}{132} = 2,05$

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2003

Rumus perhitungan dimensi bak ekualisasi adalah:

$$A_{\text{surface}} = \frac{V}{h}$$

Rumus perhitungan pipa ekualisasi adalah:

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$$

Rumus perhitungan kecepatan di pipa ekualisasi adalah:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Mengacu pada kriteria desain, dimensi dan efisiensi *removal* dari unit ABR dapat dihitung dengan langkah-langkah berikut:

A. Perhitungan Zona Tangki Pengendap

1. Presentase *removal* COD diketahui setelah mendapatkan faktor *removal* COD. Penentuan faktor *removal* COD dengan cara menarik garis pada grafik *removal* COD terhadap HRT di tangki pengendap. Grafik dapat dilihat pada Gambar 2.7. Waktu tinggal direncanakan selama berapa jam sehingga didapatkan faktor *removal* COD.

2. Perkiraan presentase *removal* COD

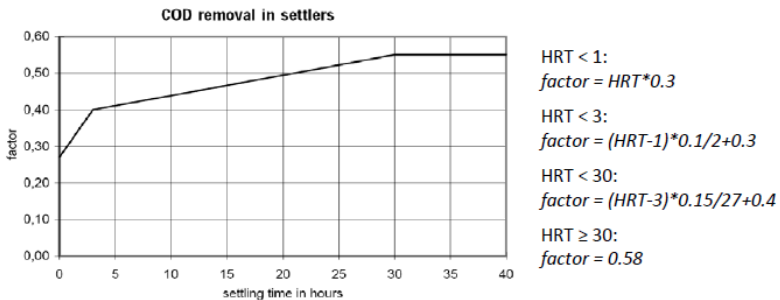
$$\frac{\text{rasio SS/COD}}{0,6} \times \text{faktor } \textit{removal} \quad (2.9)$$

3. Presentase *removal* BOD dapat ditentukan dengan mengetahui faktor *removal* BOD. Faktor *removal* BOD didapat dari grafik hubungan antara faktor *removal* BOD terhadap *removal* COD. Grafik dapat dilihat pada Gambar 2.8.

4. Perkiraan presentase *removal* BOD

$$\text{faktor } \textit{removal} \text{ BOD} \times \text{presentase } \textit{removal} \text{ COD} \quad (2.10)$$

5. Perhitungan dimensi tangki pengendap mengacu pada literatur dan kriteria desain



Gambar 2.10 Penentuan Faktor Removal COD

Sumber: Sasse, 1998

B. Perhitungan Zona Kompartemen

1. Jumlah kompartemen

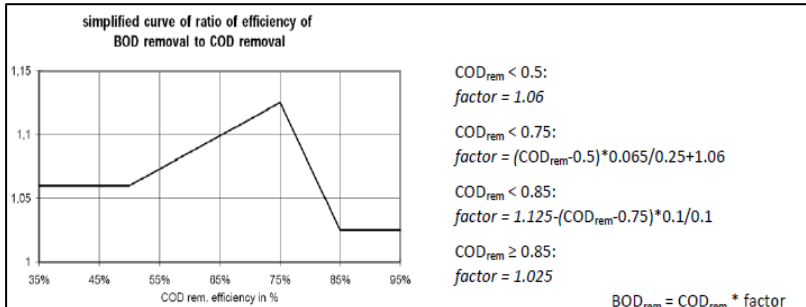
$$\text{Luas (A)} = \frac{Q_{\text{average}}}{\text{HLR (asumsi)}} \quad (2.20)$$

$$\text{Panjang} = \text{Luas} / \text{lebar} \quad (2.21)$$

$$h \text{ total ABR} = \text{HLR} \times \text{HRT} \quad (2.22)$$

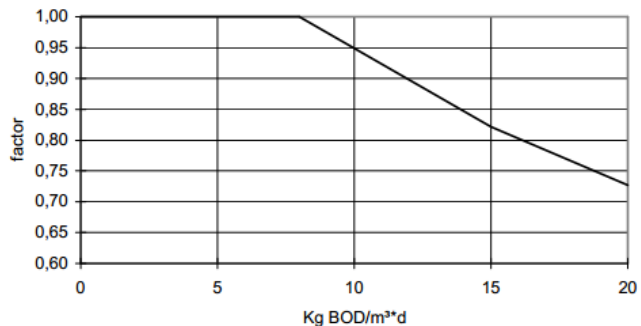
$$\text{Jumlah Kompartemen} = \frac{h \text{ total ABR}}{h \text{ kompartemen}} \quad (2.23)$$

- Perhitungan efisiensi *removal* COD dipengaruhi oleh faktor OLR (Gambar 2.9), faktor BOD *strength* (Gambar 2.10), faktor temperatur (Gambar 2.11), dan faktor HRT (Gambar 2.12).

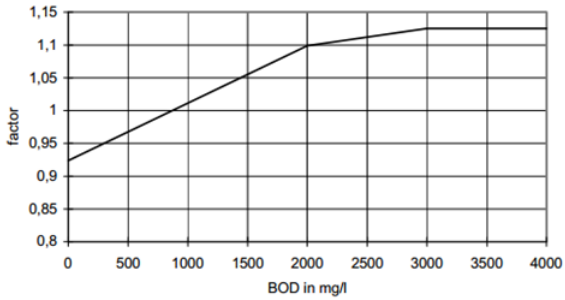


Gambar 2.11 Faktor Removal BOD terhadap Removal COD
 Sumber: Sasse, 1998

- Perhitungan efisiensi *removal* BOD dengan menggunakan grafik faktor *removal* BOD terhadap *removal* COD di kompartemen. Grafik dapat dilihat pada Gambar 2.13.
- Perhitungan dimensi kompartemen

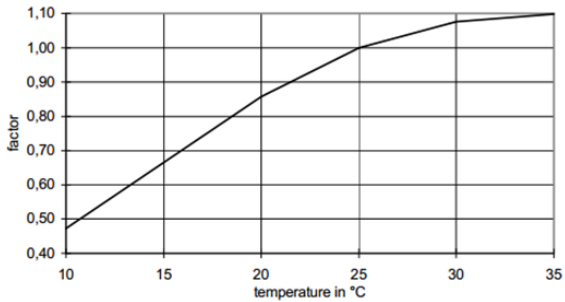


Gambar 2.12 Faktor Penyisihan BOD terhadap Organic Loading pada ABR
 Sumber: Sasse, 1998



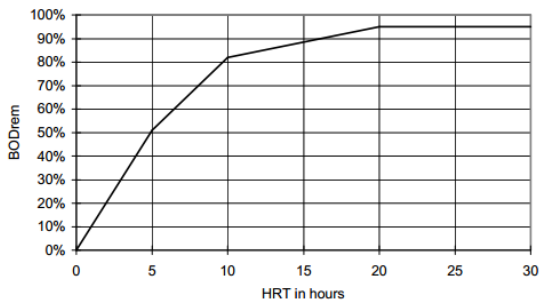
Gambar 2.13 Faktor Penyisihan BOD terhadap Konsentrasi BOD pada ABR

Sumber: Sasse, 1998



Gambar 2.14 Faktor Penyisihan BOD terhadap Temperatur

Sumber: Sasse, 1998

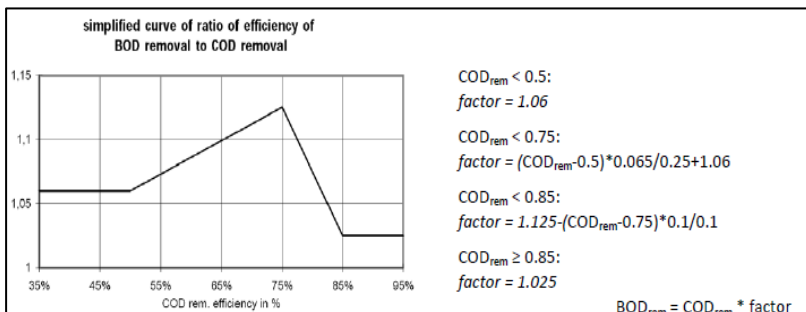


Gambar 2.15 Faktor Penyisihan BOD terhadap HRT

Sumber: Sasse, 1998

Efisiensi BOD:

$$\eta_{\text{BOD}} = \text{OLR} \times \text{BOD Strength} \times T^{\circ} \times \Sigma_{\text{kompt}} \times \text{HRT} \times 100\% \quad (2.24)$$



Gambar 2.16 Faktor Removal BOD terhadap Removal COD

Sumber: Sasse, 1998

Pembuatan profil hidrolis:

$$A_{\text{surface}} = \frac{Q}{v_{\text{asumsi}}} \quad (2.25)$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \quad (2.26)$$

$$hf_{\text{mayor}} = ((Q / (0,00155 \cdot C \cdot (D^{2,63})))^{1,85}) \cdot L \quad (2.27)$$

$$hf_{\text{minor}} = (k \cdot v^2) / 2g \quad (2.28)$$

Terdapat beberapa rumus teoritis untuk merancang ABR adalah:

$$Lv = \frac{Q \times So}{V} \quad (2.29)$$

$$V_{\text{up}} = \frac{Q}{\Sigma N_s \times \Sigma N_k \times L} \quad (2.30)$$

$$\text{HRT} = \frac{V}{Q} \quad (2.31)$$

$$\text{HLR} = \frac{Q}{A} \quad (2.32)$$

Keterangan:

HLR = Hydraulic Loading Rate ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$)

A = Luas permukaan media filter (m^2)

Q = Debit rata-rata (m^3/hari)

Lv = Organic Loading Rate ($\text{kgBOD}/\text{m}^3 \cdot \text{hari}$)

- S_o = Influent BOD (kgBOD/m³)
 V = Volume total media *filter* (m³)
 V_{up} = Kecepatan *up-flow* (jam)
 N_s = Sekat
 N_k = Kompartemen
 L = Lebar reaktor
 HRT = Waktu tinggal hidrolik (jam)
(Wang *et al*, 2009).

Dalam perhitungan desain *Constructed Wetland* terdapat beberapa langkah dan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut. Waktu detensi (t_d) untuk sistem FWS dapat diperoleh dari persamaan di bawah ini. Model yang sama juga telah disarankan untuk menentukan waktu detensi yang diperlukan untuk sistem SSF untuk penyisihan BOD (Metcalf dan Eddy, 1991):

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_t \cdot t_d} \quad (2.33)$$

$$t_d = \frac{-\ln\left(\frac{C_e}{C_o}\right)}{K_t} \quad (2.34)$$

Sedangkan untuk nilai K_t dapat dilihat pada persamaan 2.35. Untuk FWS adalah 2.35a dan untuk SSF adalah 2.35b.

$$K_t = K_{20} (1.06)^{(T-20)} \quad (2.35a)$$

$$K_t = K_{20} (1.1)^{(T-20)} \quad (2.35b)$$

Menghitung panjang basin (L) dengan berdasarkan porositas dari medium (Metcalf dan Eddy, 1991):

$$L = \frac{t_d \cdot Q}{W \cdot \alpha \cdot d} \quad (2.36)$$

Untuk sistem SFS, *cross sectional area* ditentukan dari persamaan berikut (Metcalf dan Eddy, 1991):

$$A_s = \frac{Q}{k_s \cdot S} \quad (2.37)$$

Kecepatan aliran didefinisikan oleh ($k_s \cdot S$) harus dibatasi hingga nilai 22 ft/d (6.8 m/d) untuk mengurangi pengikisan lapisan bakteri. Lebar basin yang diperlukan adalah fungsi dari *cross-sectional area* dengan desain kedalaman, dan dihitung berdasarkan persamaan berikut (Metcalf dan Eddy, 1991):

$$W = \frac{A_s}{d} \quad (2.38)$$

Rumus perhitungan luas permukaan dapat dihitung dengan persamaan berikut (Metcalf dan Eddy, 1991):

$$A_s = L \cdot W \quad (2.39)$$

Secara tipikal, lebar basin dari sistem SSF lebih besar daripada panjang basin.

Keterangan:

C_o = konsentrasi BOD influen (mg/L)

C_e = konsentrasi BOD efluen (mg/L)

K_{20} = koefisien standar pada suhu 20° C (per hari)

T = suhu (°C)

t_d = waktu detensi wilayah pori, d

L = panjang basin, ft

W = lebar basin, ft

α = porositas medium basin

d = kedalaman basin, ft

Q = debit rata-rata (m³/hari)

A_s = luas permukaan (m²)

K_s = konduktivitas hidrolik (m/hari)

α = porositas media (desimal)

S = *Slope* media

Sedangkan untuk perhitungan *loading rate* digunakan rumus:

$$L_w = \frac{Q}{L \cdot W} \quad (2.40)$$

$$BOD_{LR} = \frac{Q \cdot C}{A} \quad (2.41)$$

Keterangan:

L_w = *Hydraulic Loading Rate* (Mgal/acre-hari)

BOD_{LR} = *BOD Loading Rate* (lb/acre-hari)

C = konsentrasi BOD (mg/L)

Penyisihan TSS dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.42.

Untuk FWS pada 2.42a dan untuk SSF 2.42b.

$$C_e = C_o[0,1139 + 0,00213(HLR)] \quad (2.42a)$$

$$C_e = C_o[0,1058 + 0,0011(HLR)] \quad (2.42b)$$

2.6 Perencanaan Terdahulu

Pada tugas akhir ini dilakukan peninjauan beberapa hasil perencanaan terdahulu yang berkaitan dengan topik tugas akhir

untuk dijadikan sebagai referensi. Penelitian terdahulu ini lebih difokuskan pada kinerja dari IPAL yang berupa bak pengumpul, *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dan *Constructed Wetland* (CW).

Karakteristik aliran dalam reaktor ABR dan gas yang dihasilkan tiap-tiap kompartemen menyebabkan mikroorganisme di dalam reaktor menjadi naik secara perlahan. Hal tersebut akan membentuk lapisan (selimut) lumpur yang melayang namun bergerak secara horizontal turun ke bagian bawah reaktor dengan laju yang relatif lambat. Peristiwa ini akan meningkatkan waktu detensi hidraulik (HRT) 20 jam (Grobicki dan Stuckey, 1991). Kemudian, hal tersebut juga akan memisahkan waktu retensi hidrolis (HRT) dengan waktu detensi solid (SRT). Oleh karena itu, konsentrasi mikroorganisme yang tinggi dan penyisihan COD yang baik dapat tercapai. HRT yang terlalu lama akan dapat menyebabkan kelaparan mikroorganisme pada kompartemen terakhir (Orozco, 1988).

Menurut Barber dan Stuckey (1999), sebuah unit ABR dengan 3 ruang, bersama dengan modifikasi fisik, menyediakan *Sludge Retention Time* (SRT) yang lebih lama dan kinerja yang lebih baik daripada reaktor yang memiliki 2 ruang. Analisis selanjutnya mengatakan bahwa selain menghilangkan *solid* 3 ruang reaktor juga lebih efisien dalam mengkonversi *solid* yang terperangkap ke dalam bentuk metan.

ABR memiliki banyak variasi kompartemen (2-11 kompartemen). Umumnya ABR memiliki 4 kompartemen yang dirangkai secara seri. Kompartemen terakhir dapat ditambahkan *filter* di bagian atas unit, dengan maksud untuk menyisihkan partikel padatan yang masih ada. Sebuah *settler* dapat diletakkan di akhir unit untuk mengendapkan partikel-partikel padatan yang masih ada (Sasse, 1998).

Dalam perencanaan *Constructed Wetland* perlu diketahui jumlah tanaman yang dibutuhkan tiap meternya. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dalam penelitian Yusrina (2017), kebutuhan tanaman dihitung sebagai berikut:

a. Rumus konversi satuan mg/L ke mg/kg = $\frac{k \times v}{w}$

Keterangan:

k = konsentrasi air limbah (mg/L)

v = volume air limbah saat *Range Finding Test* (RFT) (mL)

w = berat pasir yang digunakan untuk *Range Finding Test* (RFT) (kg)

b. Kebutuhan tumbuhan pada reaktor CW

$$\text{Konsentrasi air limbah (mg/kg)} = \frac{k \times v}{\text{jumlah tumbuhan}}$$

Keterangan:

k = konsentrasi air limbah (mg/L)

v = volume air limbah dalam reaktor (L)

Berdasarkan perhitungan Husnabilah (2016), kebutuhan tanaman kana pada perencanaan *horizontal sub-surface* CW adalah 2 tanaman per m². Sehingga, kebutuhan tanaman pada perencanaan dapat dihitung sebagai berikut:

Diketahui:

Luas permukaan 1 CW (As) = 2.375 m²

Kebutuhan tanaman = As x kerapatan tanaman
= 2.375 m² x 2 tanaman/m²
= 4.750 tanaman

Kebutuhan tanaman 6 CW = 4.750 tanaman x 6
= 28.500 tanaman

Sehingga, tanaman kana yang dibutuhkan pada setiap unit CW adalah sebanyak 4.750 tanaman. Sedangkan, total kebutuhan tanaman untuk seluruh CW adalah 28.500 tanaman.

Kinerja CW bisa dilihat dari kemampuannya dalam menurunkan hasil persentase penurunan polutan misal BOD hingga mencapai 60-99,7% (Raude *et al.*, 2009). Menurut Dhokikah (2006), kinerja CW berdasarkan bentuk reaktor dengan menggunakan tanaman air yang sama dalam menurunkan kadar polutan memiliki perbandingan yang disajikan pada Tabel 2.13 dan 2.14.

Tabel 2.13 Efisiensi Penurunan TSS, COD dan LAS Waktu Tinggal 1 Hari dan Reaktor Berbentuk Bujur Sangkar

Parameter	Konsentrasi influen air limbah (mg/l)	Efisiensi Penurunan (%) oleh Tumbuhan Air		Konsentrasi efluen air limbah (mg/l)	
		<i>Cattail</i>	Kana	<i>Cattail</i>	Kana
		TS	1282	52%	56%

Parameter	Konsentrasi influen air limbah (mg/l)	Efisiensi Penurunan (%) oleh Tumbuhan Air		Konsentrasi efluen air limbah (mg/l)	
		<i>Cattail</i>	Kana	<i>Cattail</i>	Kana
COD	323	65%	61%	113	126
LAS	1,013	48%	42%	0,53	0,59

Sumber: Dhokikah, 2006

Tabel 2.14 Efisiensi Penurunan TSS, COD dan LAS Waktu Tinggal 1 Hari dan Reaktor Berbentuk Persegi Panjang

Parameter	Konsentrasi influen air limbah (mg/l)	Efisiensi Penurunan (%) oleh Tumbuhan Air		Konsentrasi efluen air limbah (mg/l)	
		<i>Cattail</i>	Kana	<i>Cattail</i>	Kana
TS	1282	41%	46%	756	692
COD	323	72%	72%	90	90
LAS	1,013	68%	65%	0,32	0,35

Sumber: Dhokikah, 2006

Perbedaan bentuk reaktor sebagaimana disajikan pada di atas, menunjukkan bahwa reaktor berbentuk empat persegi panjang memiliki kinerja yang lebih baik dalam menurunkan COD dan LAS. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *Cattail* memiliki kinerja yang baik dalam menurunkan beban pencemar dalam bentuk BOD dan TSS, untuk waktu tinggal 1 hari dan 3 hari. Dari kedua penelitian tersebut belum terlihat kinerja optimal CW pada waktu tinggal beberapa hari.

Penelitian lain dilakukan di Kota Nakuru Kenya, untuk mengolah limbah cair domestik (*grey water*). Kinerja CW dengan ukuran 2 x 1 m² dan kedalaman 0,86 m yang didahului dengan proses *pre treatment*, dan waktu tinggal 2 hari menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan kinerja reaktor dari penelitian lain (Raude *et al.*, 2009). *Constructed Wetland* ini menggunakan rumput *Vetiveria zizonioides* (akar wangi). Kemampuan CW dengan waktu

tinggal 2 hari mampu menurunkan kadar TSS sebesar 97% dan BOD₅ 99,7%, menggunakan CW dua tahap dengan menggunakan tanaman *Coix lacryma-jobi* memberikan hasil penurunan BOD sebesar 99,9%, penurunan kadar *Coliformes* sebesar 99,9% (Dallas, 2004).

Dengan demikian penggunaan rumput *Vetiveria zizonioides* memberikan hasil yang baik dalam mereduksi kadar BOD₅ namun kurang dalam menurunkan kadar *Coliformes*. Dapat dilihat pada Tabel 2.15, bahwa dari hasil tersebut pemilihan jenis tanaman akan menunjang kinerja CW bila mempertimbangkan jenis limbah yang akan diolah (Suswati et al., 2013)

Tabel 2.15 Kinerja Horizontal Sub-Surface Flow Constructed Wetland dengan Rumput *Vetiveria zizonioides* Di Crater Kenya

Parameter	Units	Influent	Effluent	Reduction
EC	µS/cm	1929	1644	14
Salinity	g/L	1.00	0.80	20
DO	mg/L	3.01	0.08	-
TDS	mg/L	1257	1084	14
BOD ₅	mg/L	104.0	0.33	99.7
TSS	mg/L	255	9.00	97
TP	mg/L	2.43	0.29	88
FC	Log 10FC/100 ml	4.97	4.09	18
NH ₄	mg/L	3.17	0.09	97

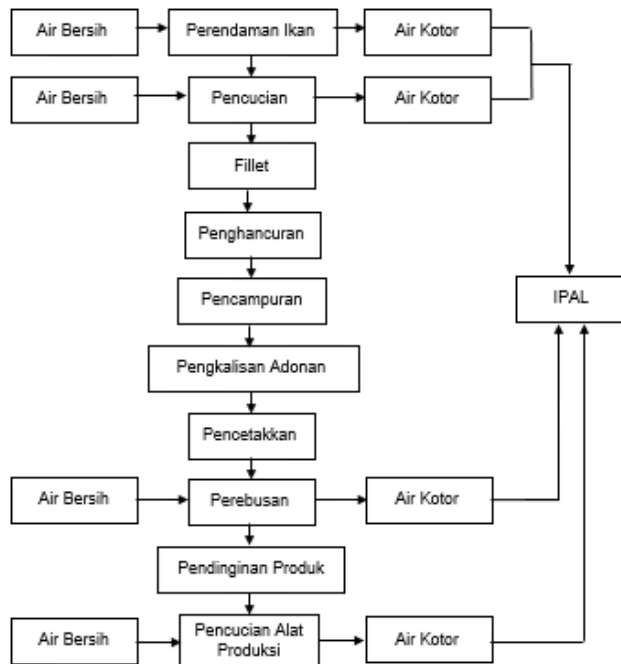
Sumber: Raude et al, 2009

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 GAMBARAN UMUM DAERAH PERENCANAAN

3.1 Gambaran Umum Perencanaan

Pada tugas akhir ini dilakukan perencanaan IPAL untuk industri pangan pada skala rumah tangga di daerah Rungkut, Surabaya. Industri pangan yang akan direncanakan sebuah IPAL tersebut berfokus pada pengolahan hasil laut (ikan). IPAL industri pengolahan ikan digunakan untuk mengolah limbah cair yang berasal dari proses kegiatannya, antara lain: air bekas rendaman ikan dan pencucian ikan, rebusan ikan serta pencucian alat-alat masak yang telah digunakan. Dapat dilihat pada Gambar 3.1 yaitu proses pengolahan yang terjadi pada industri pangan terkait.



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Pengolahan Industri Pangan

Berdasarkan hasil survei didapati bahwa semua air bersih menjadi air limbah, dimana 90-100% dari air bersih tersebut digunakan dalam pengolahan ikan dalam proses produksi. Dapat dilihat pada Tabel 3.1 yaitu hasil uji pendahuluan untuk limbah cair industri pangan skala rumah tangga.

Tabel 3.1 Hasil Uji Pendahuluan Karakteristik Limbah Cair Industri Pangan

No	Parameter	Nilai	Satuan	Baku Mutu
1.	BOD ₅	7996	mg/L	100
2.	COD	11760	mg/L	150
3.	pH	4.17	-	6,0 – 9,0

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Teknik Lingkungan ITS (2017)

3.2 Gambaran Limbah Industri Pangan

Industri pangan hasil perikanan ini mengolah ikan tenggiri untuk dijadikan produk makanan pempek. Sebanyak 100-150 kg ikan yang diolah pada industri ini dengan jumlah ikan paling sedikit sebesar 91 kg dan ikan terbanyak sebesar 160 kg. Proses produksi berlangsung mulai pukul 06.30 hingga 12.00 WIB.

3.3 Gambaran Umum Daerah Perencanaan

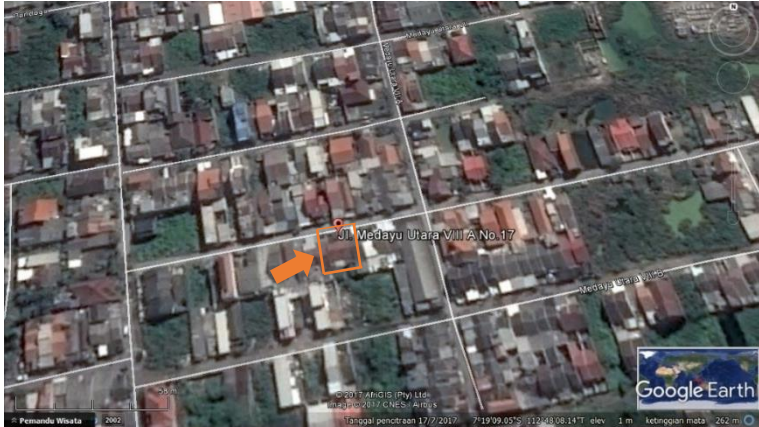
Perencanaan IPAL dilakukan di daerah Kecamatan Rungkut, Surabaya yaitu tepatnya di Jalan Medayu Utara. Dapat dilihat lokasi perencanaan IPAL pada Gambar 3.2 dan 3.3. Kecamatan Rungkut dibatasi oleh wilayah berikut:

Sebelah utara	: Kecamatan Sukolilo
Sebelah timur	: Selat Madura
Sebelah selatan	: Kecamatan Gununganyar
Sebelah barat	: Kecamatan Tenggilis Mejoyo

Berdasarkan hasil survei lapangan, dapat digambar *layout* lokasi daerah perencanaan IPAL industri pangan skala rumah tangga seperti pada Gambar 3.4. Dapat diketahui ukuran lahan dengan perincian sebagai berikut:

$$\text{Luas tanah} = 10 \times 20 \text{ m}^2$$

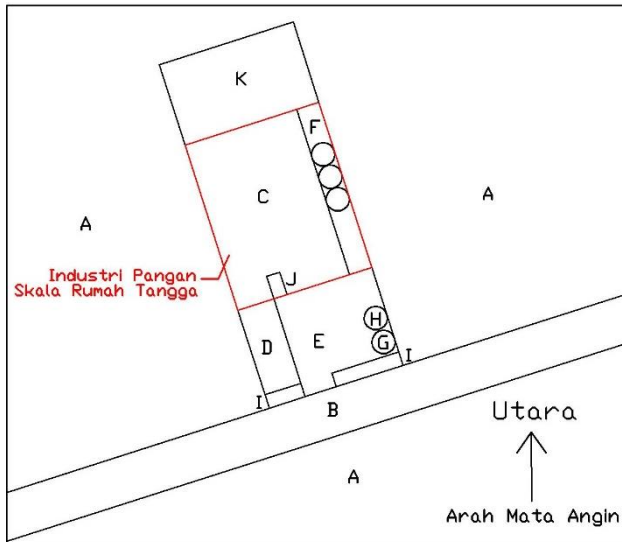
Luas bangunan = $9 \times 13 \text{ m}^2$
Luas lahan kosong E = $7 \times 7 \text{ m}^2$
Luas lahan kosong F = $1 \times 9 \text{ m}^2$



Gambar 3.2 Lokasi Perencanaan IPAL
Sumber: Google Earth, 2017



Gambar 3.3 Detail Lokasi Perencanaan IPAL
Sumber: Google Earth, 2017



Gambar 3.4 Layout Lokasi Daerah Perencanaan IPAL
Sumber: Hasil Survei Lapangan, 2017

Keterangan gambar:

A = permukiman warga

B = jalan

C = ruang produksi

D = gudang

E = lahan kosong

F = lahan kosong

G = tandon air

H = tangki anaerobik

I = pagar

J = pintu masuk

K = lahan kosong permukiman warga

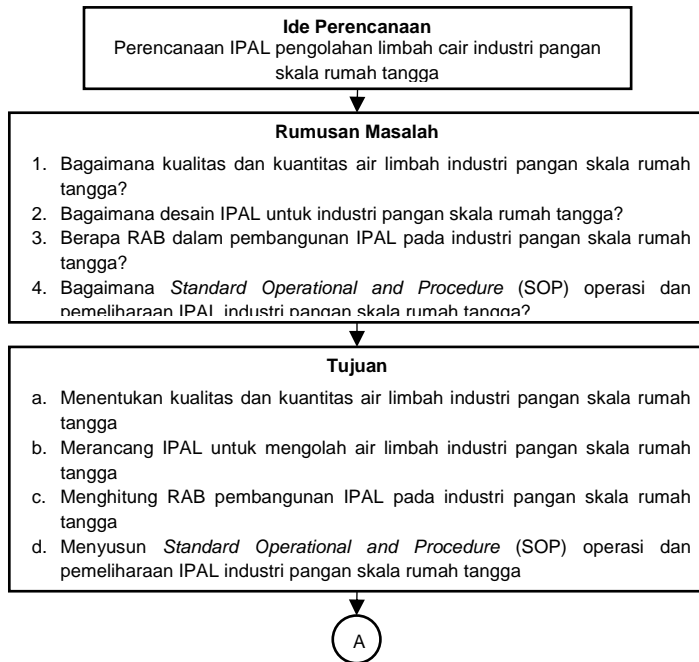
BAB 4 METODE PERENCANAAN

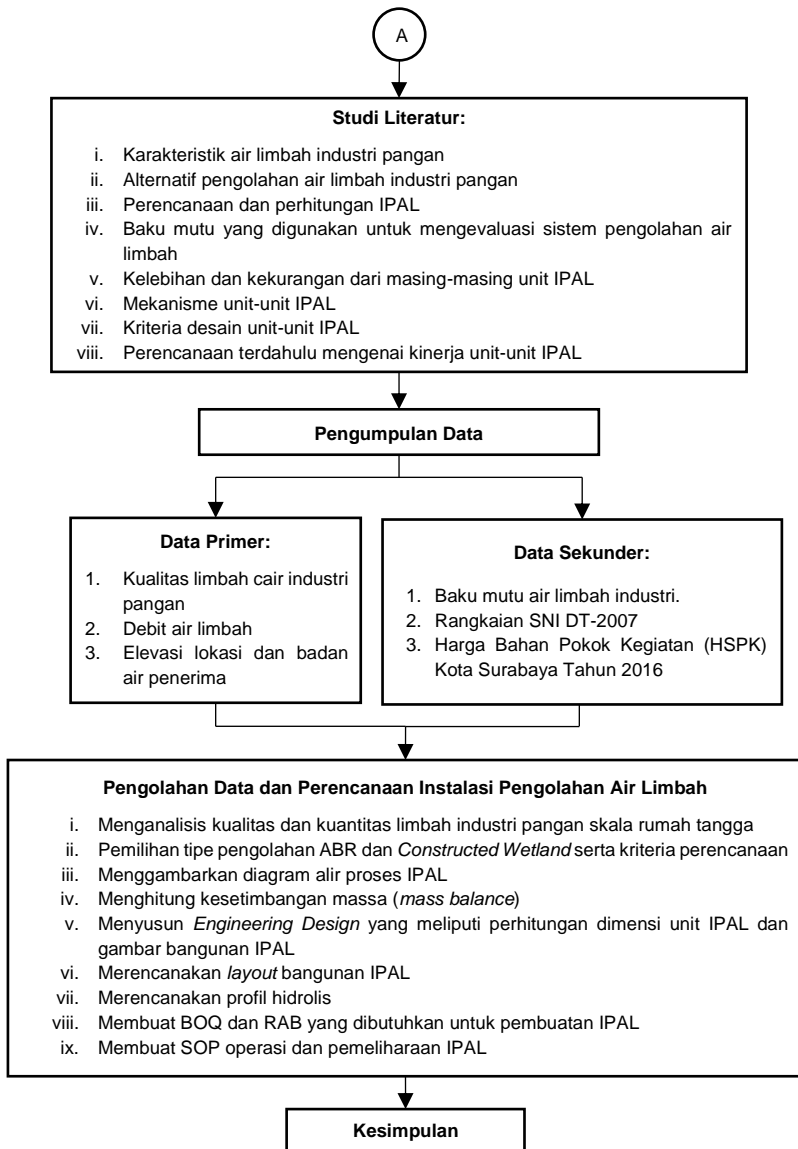
4.1 Umum

Tugas akhir ini merencanakan sistem pengolahan limbah cair industri pangan di Surabaya menggunakan ABR dan *Constructed Wetland*. Hasil perencanaan akan didapatkan rencana dasar gambar rencana, SOP operasi dan pemeliharaan IPAL, *Bill of Quantity* (BOQ), dan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

4.2 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan merupakan gambaran awal mengenai alur perencanaan. Penyusunan kerangka perencanaan yang jelas dan sistematis dapat mempermudah proses pelaksanaan perencanaan. Kerangka ini berisi tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perencanaan dari awal hingga akhir perencanaan, dapat dilihat pada Gambar 4.1.





Gambar 4.1 Kerangka Perencanaan

4.3 Rangkaian Kegiatan Perencanaan

Rangkaian kegiatan perencanaan terdiri dari penjelasan tahapan-tahapan kegiatan yang dilakukan selama pelaksanaan perencanaan ini. Rangkaian kegiatan perencanaan dijelaskan sebagai berikut:

1. Ide Perencanaan

Ide perencanaan didapatkan akibat sudah ada pengolahan limbah cair pada industri pangan skala rumah tangga, tetapi *effluen* belum memenuhi baku mutu. Idealnya limbah cair tersebut harus diolah terlebih dahulu sesuai baku mutu sebelum dibuang ke badan air.

2. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori tentang topik perencanaan ini sehingga dapat menjadi acuan dalam tugas akhir ini. Studi literatur digunakan dengan cara pencarian beberapa sumber literatur yang ada. Sumber tersebut berupa jurnal, artikel, *text book*, peraturan dan laporan tugas akhir maupun tesis. Berikut adalah literatur pendukung yang digunakan dalam perencanaan:

- i. Karakteristik air limbah industri pangan
- ii. Alternatif pengolahan air limbah industri pangan
- iii. Perencanaan dan perhitungan IPAL
- iv. Baku mutu yang digunakan untuk mengevaluasi sistem pengolahan air limbah
- v. Kelebihan dan kekurangan dari masing-masing unit IPAL
- vi. Mekanisme unit-unit IPAL
- vii. Kriteria desain unit-unit IPAL
- viii. Perencanaan terdahulu mengenai kinerja unit-unit IPAL

3. Pengumpulan data

Pada tugas akhir ini dilakukan pengumpulan data yang relevan dan lengkap sehingga dapat dihasilkan perencanaan yang sesuai dengan kondisi lapangan. Pengumpulan data disesuaikan dengan jenis data yang dibutuhkan. Data yang dikumpulkan yaitu data primer dan sekunder.

a. Data Primer

Data primer didapatkan melalui survei lapangan, pengamatan, wawancara dan pengukuran terhadap lahan. Selain itu, dilakukan dengan cara menggunakan aplikasi

google earth untuk mengetahui elevasi lokasi. Berikut adalah penjelasan lebih lengkapnya:

- Kualitas air limbah industri pangan. Data ini didapatkan melalui *sampling* dan analisis laboratorium. Parameter yang diukur adalah BOD, COD, TSS, Ph, H₂S, NH₃-N, serta minyak dan lemak. Metode analisis parameter air limbah dapat dilihat pada Tabel 4.1. Sedangkan untuk prosedur analisis laboratorium dapat dirujuk pada Lampiran. *Sampling* air limbah dilakukan untuk mengetahui debit dan karakteristik air limbah. *Sampling* dilakukan sesuai dengan SNI 6989.59:2008 tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Teknik pengambilan sampel yang dipilih adalah metode *grab sampling*. Sampel air limbah industri pangan diambil pada bagian pembuangan. Bagian pembuangan tersebut berisi air yang berasal dari rendaman ikan dan pencucian ikan, rebusan ikan serta pencucian alat masak. Pengambilan sampel dilakukan pada rentang waktu pagi hingga siang hari (12 jam) sesuai dengan waktu produksi, sebanyak 3 kali pengambilan. Sampel dibawa ke Laboratorium Pemulihan Air Departemen Teknik Lingkungan ITS untuk dianalisis.

Tabel 4.1 Metode Analisis Parameter Air Limbah

No	Parameter	Metode Analisis	SNI
1	BOD	Winkler	SNI 6989.72:2009
2	COD	Titrimetri	SNI 6989.73:2009
3	TSS	Gravimetri	SNI 06.6989.3:2004
4	pH	pH-meter	SNI 06.6989.11:2004
5	Minyak dan Lemak	Gravimetri	SNI 06.6989.10:2004

- Kuantitas air limbah industri pangan. Kuantitas air limbah diperoleh berdasarkan hasil pengukuran menggunakan alat ukur berupa meteran dari setiap kegiatan yang menghasilkan air limbah. Selain itu juga dilakukan pengukuran debit air limbah industri pangan skala rumahan tersebut. Debit air limbah

didapatkan dari 90-100% jumlah air bersih yang digunakan selama proses produksi per harinya. Debit air limbah ini memiliki satuan yaitu m³/hari.

b. Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan dalam tugas akhir perencanaan ini adalah:

- Baku mutu air limbah industri
Baku mutu *effluent* air limbah disesuaikan dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013. Peraturan tersebut mengenai Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri dan Usaha Lainnya untuk Industri Pengolahan Hasil Perikanan.
- Rangkaian SNI DT-2007
Rangkaian SNI DT-2007 meliputi beberapa tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan yang berbeda digunakan untuk perhitungan BOQ IPAL.
- Harga Bahan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya Tahun 2016
Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2016 digunakan sebagai acuan Perhitungan RAB pembangunan IPAL. HSPK ini disesuaikan dengan harga pasar.

4. Pengolahan Data dan Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah

Perencanaan dilakukan berdasarkan data yang telah didapatkan, baik data primer maupun sekunder. Keluaran dari perencanaan ini adalah gambar rencana IPAL, *Bill of Quantity* (BOQ), Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan *Standard Operational and Procedure* (SOP). Langkah-langkah perencanaan IPAL industri pangan skala rumah tangga yaitu:

- i. Menganalisis kualitas dan kuantitas limbah industri pangan skala rumah tangga
- ii. Pemilihan tipe pengolahan ABR dan *Constructed Wetland* serta kriteria perencanaan
- iii. Menggambar diagram alir proses IPAL
- iv. Menghitung kesetimbangan massa (*mass balance*)

- v. Menyusun *Engineering Design* yang meliputi perhitungan dimensi unit IPAL dan gambar bangunan IPAL
Penyusunan *Engineering Design* berhubungan dengan perhitungan matematis dimensi dari masing-masing unit IPAL yang direncanakan. Sebelum menghitung dimensi, dilakukan terlebih dahulu perhitungan efisiensi penyisihan parameter pencemar. Efisiensi penyisihan ini digunakan dalam menghitung kesetimbangan massa dari IPAL. Kesetimbangan massa menentukan jumlah zat pencemar yang disisihkan, beban air limbah terolah, dan jumlah lumpur maupun gas yang terbentuk. Setelah didapatkan dimensi IPAL dilakukan penggambaran detail tiap unitnya. Gambar detail ini berupa gambar denah bangunan, potongan memanjang dan melintang bangunan, dan gambar detail bangunan maupun komponen pendukung IPAL. Penggambaran ini dilakukan menggunakan *software autocad 2007* dengan skala yang telah disesuaikan. Gambar detail yang tepat dapat mempermudah perhitungan volume pekerjaan yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam menghitung BOQ dan RAB.
- vi. Merencanakan *layout* bangunan IPAL
- vii. Merencanakan profil hidrolis
- viii. Membuat BOQ dan RAB yang dibutuhkan untuk pembuatan IPAL
Perhitungan BOQ dan RAB untuk pembuatan IPAL pada perencanaan ini dilakukan berdasarkan hasil perhitungan dimensi unit-unit pengolahan limbah. Selain itu, perhitungan BOQ pembangunan IPAL mengacu pada rangkaian SNI DT-2007 meliputi beberapa tata cara perhitungan harga satuan pekerjaan yang berbeda. Perhitungan RAB pembangunan IPAL mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2016 yang telah disesuaikan dengan harga pasar yang berlaku di masyarakat.

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran diperoleh dari hasil perencanaan yang telah dilakukan. Berdasarkan analisis data dan pembahasan

dapat ditarik suatu kesimpulan yang menjawab tujuan perencanaan. Saran diberikan berkenaan dengan pengembangan ataupun tindak lanjut dari kesimpulan tugas akhir ini. Kesimpulan yang dibuat meliputi:

- a. Kualitas dan kuantitas air limbah industri pangan skala rumah tangga
- b. Desain IPAL untuk mengolah air limbah industri pangan skala rumah tangga
- c. SOP operasi dan pemeliharaan IPAL industri pangan skala rumah tangga
- d. RAB pembangunan IPAL pada industri pangan skala rumah tangga

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Perhitungan Debit Air Limbah Industri Pangan Skala Rumah Tangga

Sebelum melakukan perhitungan dimensi dari masing-masing unit pengolahan yang akan digunakan, terlebih dahulu diukur debit air limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri pangan skala rumah tangga. Selain itu, perhitungan debit juga dilakukan untuk mendapatkan debit influen yang akan masuk ke dalam IPAL. Industri pangan skala rumah tangga ini terdiri dari 3 kegiatan yang menghasilkan air limbah, yaitu perendaman dan pencucian ikan, perebusan ikan, dan pencucian alat produksi serta lain-lain seperti membersihkan lantai produksi. Perhitungan debit air limbah untuk industri pangan skala rumah tangga dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Perhitungan Debit Air Limbah Industri Pangan Skala Rumah Tangga

No	Kegiatan	Ukuran	Keterangan	Volume (L)	Per Hari
1	Rendaman dan Cuci Ikan	2 bak (1 minggu sekali)	@bak = 185 L	370	370 / 7 hari = 53 L/hari
2	Rebusan	1,5 panci	@panci = 190 L	285	285 L/hari
3	Cuci Alat	5 bak		925	925 L/hari
4	Lain-lain (Membersihkan lantai produksi)	10 ember	@ember = 74 L	740	740 L/hari
Total					= 2003 L/hari = 2 m³/hari

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan pada Tabel 5.1, didapatkan debit air limbah industri pangan skala rumah tangga sebesar **2 m³/hari**.

5.2 Kualitas Air Limbah Industri Pangan Skala Rumah Tangga

Pada tugas akhir ini untuk mengetahui kualitas air limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri pangan skala rumah tangga, dilakukan dengan cara sampling air limbah untuk kemudian dianalisis di Laboratorium Departemen Teknik Lingkungan ITS. Hasil uji laboratorium dapat dilihat dalam Tabel 5.2. Kualitas air limbah dibutuhkan untuk mengetahui zat pengotor yang masuk ke dalam IPAL.

Tabel 5.2 Kualitas Air Limbah Hasil Uji Laboratorium

Parameter	Satuan	Hasil Analisa				Baku Mutu
		Limbah Rendaman dan Cuci Ikan	Limbah Rebusan Ikan	Limbah Cuci Alat Produksi	Limbah Campuran	
pH	-	7,50	7,20	7,45	7,40	6,0 – 9,0
TSS	mg/L	660	720	1516	1300,46	30
Sulfida (H ₂ S)	mg/L	0,45	0,00	1,52	1,13	1
NH ₃ – N (Total)	mg/L	68,40	239,50	16,84	69,25	5
Khlor Bebas	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	1
BOD ₅	mg/L	9970	7140	2170	3618,81	100
COD	mg/L	22400	12320	3758	6472,33	150
Minyak dan Lemak	mg/L	874	1034	316	501,43	10

Sumber: Hasil Analisis, 2017

Setelah didapatkan data kualitas air limbah industri pangan skala rumah tangga, maka dicari rata-rata parameter dari ketiga kegiatan tersebut menggunakan rumus sebagai berikut:

$$M1 \times V1 + M2 \times V2 + M3 \times V3 = MC \times VC$$

Rumus tersebut digunakan untuk mencari konsentrasi campuran dari parameter ketiga kegiatan yang telah diketahui. Dengan

volume campuran sebesar 1263 L. Hasil perhitungan limbah campuran dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Baku mutu air limbah merupakan batas maksimum air limbah boleh memasuki badan air. Hal ini sudah diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu untuk Industri Pengolahan Hasil Perikanan. Berdasarkan perbandingan hasil analisis limbah campuran dengan baku mutu, dapat diketahui bahwa kualitas air limbah industri pangan skala rumah tangga tidak memenuhi baku mutu. Oleh karena itu, diperlukan sebuah unit pengolahan terhadap air limbah tersebut agar efluen yang dihasilkan tidak mencemari lingkungan di sekitarnya.

5.3 Efisiensi *Removal* Sistem Pengolahan

Efisiensi *removal* sistem pengolahan merupakan suatu hal yang harus diketahui untuk menentukan apakah jenis pengolahan yang telah dipilih efektif dan efisien. Dalam pemilihan alternatif pengolahan, *effluent* yang dihasilkan harus memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan yaitu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013. Efisiensi *removal* sendiri adalah persen pengolahan pencemar pada setiap unit IPAL. Efisiensi *removal* digunakan dalam pemilihan alternatif sebagai langkah awal penentuan unit biologis manakah yang sesuai untuk mengolah air limbah agar *effluent* sesuai baku mutu. Besarnya efisien *removal* tiap unit pengolahan dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Efisiensi *Removal* Tiap Unit Pengolahan IPAL

Proses Pengolahan	Efisiensi <i>Removal</i> (%)					Minyak dan Lemak
	BOD	COD	TSS	N	S	
Grease Trap	-	-	-	-	-	95% ^a
Bak Ekualisasi	-	-	-	-	-	-
Bak Pengendap I	30-40 ^b	30-40 ^b	50-65 ^b	10-20 ^b	10-20 ^b	-
Anaerobic Baffled Reactor (ABR)	70-95 ^c	65-95 ^c	90 ^c	-	-	-
Constructed Wetland (CW)	90 ^f	90 ^f	90 ^f	95 ^g	50 ^g	-

Proses Pengolahan	Efisiensi Removal (%)					Minyak dan Lemak
	BOD	COD	TSS	N	S	
Anaerobic Biofilter (ABF) Upflow	96 ^j	85 ^k	95 ^l	97 ^m		
Anaerobic Sludge Blanket (UASB)	89-98 ⁱ	96 ^h	85-97 ⁱ	87 ⁱ		

Sumber: ^aWongthanate et al., 2014

^bQasim, *Wastewater Treatment Unit Operations and Processes*, 1985

^cBorda, 2008

^dSasse; *Decentralised Waste Water Treatment in Developing Countries*, 1997

^e Morel dan Diener, 2006

^f Yasril, 2009

^g Achmadi, 2015

^hKargi, F. *Hydraulic Residence Time Effects in Biological Nutrient Removal Using Five-Step*

ⁱUS-EPA. *Sequencing Batch Reactors for Nitrification and Nutrient Removal*, 1992

^j Prashant a. Kadu, 2013

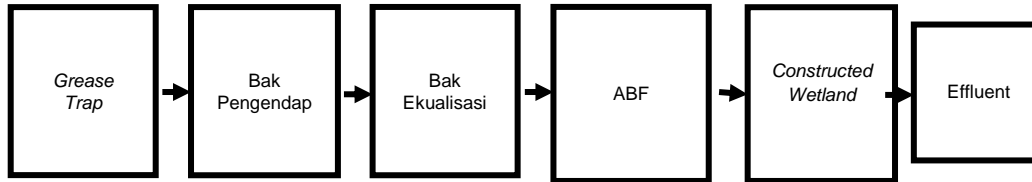
^k A.H Ghawi, 2009

^l Abdel kader, 2012

^m Abraham pano, 1981

5.4 Alternatif Pengolahan

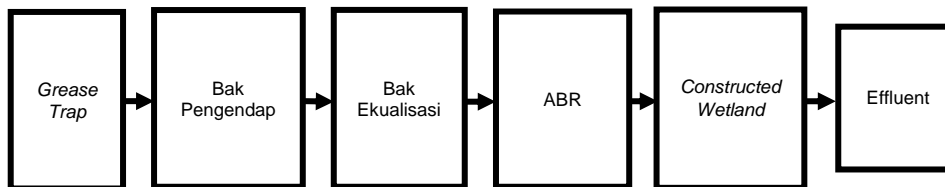
Alternatif pengolahan digunakan untuk memilih alternatif yang akan digunakan pada IPAL industri pangan skala rumah tangga. Alternatif pengolahan ini mengacu pada kualitas air limbah campuran pada Tabel 5.2. Terdapat 3 alternatif yang akan dipilih pada tugas akhir ini. Untuk lebih lengkapnya, alternatif pengolahan dapat dilihat pada Gambar 5.1a, Gambar 5.1b, dan Gambar 5.1c.



Gambar 5.1a Skema Alternatif 1

Tabel 5.4 Removal Alternatif 1

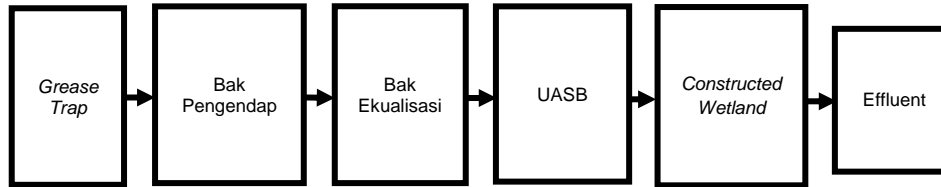
Parameter	Kandungan Awal	Satuan	Grease Trap		Bak Pengendap		Bak Ekualisasi	ABF		Constructed Wetland		Baku Mutu
			Removal	Efluen	Removal	Efluen		Removal	Efluen	Removal	Efluen	
TSS	1300,46	mg/L	0%	1300,46	60%	520,18	520,18	80%	104,04	90%	10,40	30
Sulfida (H ₂ S)	1,13	mg/L	0%	1,13	0%	1,13	1,13	0%	1,13	50%	0,57	1
NH ₃ – N (Total)	69,25	mg/L	0%	69,25	0%	69,25	69,25	0%	69,25	90%	6,93	5
BOD ₅	3618,81	mg/L	0%	3618,81	40%	2171,29	2171,29	80%	434,26	90%	43,43	100
COD	6472,33	mg/L	0%	6472,33	40%	3883,40	3883,40	90%	388,34	80%	77,67	150
Minyak dan Lemak	501,43	mg/L	95%	25,0715	0%	25,07	25,07	0%	25,07	0%	25,07	10



Gambar 5.1b Skema Alternatif 2

Tabel 5.5 Removal Alternatif 2

Parameter	Kandungan Awal	Satuan	Grease Trap		Bak Pengendap		Bak Ekualisasi	ABR		Constructed Wetland		Baku Mutu
			Removal	Efluen	Removal	Efluen		Removal	Efluen	Removal	Efluen	
TSS	1300,46	mg/L	0%	1300,46	60%	520,18	520,18	85%	78,03	85%	11,70	30
Sulfida (H ₂ S)	1,13	mg/L	0%	1,13	0%	1,13	1,13	0%	1,13	50%	0,57	1
NH ₃ – N (Total)	69,25	mg/L	0%	69,25	0%	69,25	69,25	0%	69,25	95%	3,46	5
BOD ₅	3618,81	mg/L	0%	3618,81	40%	2171,29	2171,29	85%	325,69	85%	48,85	100
COD	6472,33	mg/L	0%	6472,33	40%	3883,40	3883,40	85%	582,51	85%	87,38	150
Minyak dan Lemak	501,43	mg/L	95%	25,0715	0%	25,07	25,07	0%	25,07	0%	25,07	10



Gambar 5.1c Skema Alternatif 3

Tabel 5.6 Removal Alternatif 3

Parameter	Kandungan Awal	Satuan	Grease Trap		Bak Pengendap		Bak Ekualisasi	UASB		Constructed Wetland		Baku Mutu
			Removal	Efluen	Removal	Efluen		Removal	Efluen	Removal	Efluen	
TSS	1300,46	mg/L	0%	1300,46	60%	520,18	520,18	90%	52,02	85%	7,80	30
Sulfida (H ₂ S)	1,13	mg/L	0%	1,13	0%	1,13	1,13	0%	1,13	50%	0,57	1
NH ₃ – N (Total)	69,25	mg/L	0%	69,25	0%	69,25	69,25	0%	69,25	95%	3,46	5
BOD ₅	3618,81	mg/L	0%	3618,81	40%	2171,29	2171,29	85%	325,69	85%	48,85	100
COD	6472,33	mg/L	0%	6472,33	40%	3883,40	3883,40	87%	504,84	85%	75,73	150
Minyak dan Lemak	501,43	mg/L	95%	25,0715	0%	25,07	25,07	0%	25,07	0%	25,07	10

5.5 Perhitungan *Engineering Design* (ED)

5.5.1 ED *Grease Trap*

Grease trap merupakan unit pengolahan air limbah pertama yang berfungsi untuk menyisihkan minyak dan lemak yang terkandung pada air limbah. *Grease trap* terdiri dari 2 kompartemen. Kompartemen 1 untuk menampung air limbah awal (*sewage pit*) sedangkan kompartemen 2 untuk menyisihkan minyak dan lemak. Waktu detensi (td) *grease trap* berdasarkan kriteria desain adalah 30 - 60 menit. Dalam perencanaan ini direncanakan terdapat 2 *grease trap* yang dipasang seri dengan dimensi yang sama. Selanjutnya yaitu dilakukan penentuan kriteria perencanaan *grease strap* sebagai berikut:

Direncanakan:

Debit air limbah (Q) = 2 m³/hari

Rasio P : L = 2 : 1

Kedalaman air (H) = 0,45 m

Perhitungan:

Ditentukan lebar bak = 0,3 m

Panjang bak = 2 x L

$$= 2 \times 0,3 \text{ m} = 0,6 \text{ m}$$

Volume bak (V) = P x L x H

$$= 0,6 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \times 0,45 \text{ m}$$

$$= 0,081 \text{ m}^3$$

Td = Volume / Q

$$= 0,081 \text{ m}^3 / (2 \text{ m}^3/\text{hari} \times \text{hari}/1440 \text{ menit})$$

$$= 58 \text{ menit (memenuhi)}$$

Gambar *detail engineering design* (DED) *grease trap* dapat dilihat pada Lampiran.

Pada *grease trap* tidak terjadi penyisihan BOD, COD, maupun TSS. Efisiensi penyisihan pada *grease trap* hanya terhadap minyak dan lemak yaitu sebesar 95% (Wongthanate *et al.*, 2014). Perhitungan konsentrasi efluen air limbah adalah sebagai berikut:

Konsentrasi minyak dan lemak inlet = 501,43 mg/L

Efisiensi penyisihan = 90%

Konsentrasi minyak dan lemak outlet pada bak pertama

$$= (100-90)/100 \times 501,43 \text{ mg/L}$$

$$= 50,1 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi minyak dan lemak outlet pada bak kedua} \\ &= (100-85)/100 \times 50,1 \text{ mg/L} \\ &= 7,5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Hal tersebut menunjukkan bahwa *grease trap* dapat menyetor konsentrasi minyak dan lemak dalam air limbah menjadi memenuhi baku mutu yang disyaratkan (< 10 mg/L).

a) Diameter Pipa Influen dan Efluen *Grease Trap*

Debit air limbah yang masuk *grease trap* sama dengan debit yang keluar sehingga pipa influen dan efluen akan memiliki ukuran yang sama.

Direncanakan:

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan air di pipa (v)} &= 0,6 \text{ m/detik} \\ Q &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

- Luas Penampang Basah (A)

$$\begin{aligned} A &= Q / v \\ &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,6 \text{ m/detik} \\ &= 0,000038 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Diameter pipa (D)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \\ 0,000038 \text{ m}^2 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \\ D &= 0,007 \text{ m} \\ &= 7 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

- Cek v

$$\begin{aligned} V &= Q / \left(\frac{1}{4} \pi \times D^2 \right) \\ &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} / \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,075^2 \right) \\ &= 0,005 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

5.5.2 ED Bak Pengendap

Kriteria *design* bak pengendap I:

$$\text{td} = 1 - 3 \text{ jam}$$

$$\text{OFR} = 20 - 80 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$\text{WLR} = 125 - 500 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari atau jika,}$$

$$Q < 44 \text{ L/detik} = 124 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$Q > 44 \text{ L/detik} = 186 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$$

$$H = 1,5 - 4 \text{ m}$$

Direncanakan:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah bak} &= 1 \text{ buah} \\ Q \text{ bak} &= 2 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} \\ t_d &= 2 \text{ jam} = 7200 \text{ detik} \\ \rho_s &= 1,25 \text{ g/cm}^3; \rho_{\text{air}} = 1 \text{ g/cm}^3 \\ T = 28^\circ\text{C}; \text{ sehingga } v &= 0,8394 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik} \\ \mu &= 0,8363 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{detik}/\text{m}^2 \\ \rho &= 0,99626 \cdot 10^{-3} \text{ gram}/\text{cm}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan:

a) Zona Inlet

Debit air limbah yang masuk bak pengendap sama dengan debit yang keluar sehingga pipa influen dan efluen akan memiliki ukuran yang sama.

Direncanakan:

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan air di pipa } (v) &= 0,6 \text{ m/detik} \\ Q &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

- Luas Penampang Basah (A)

$$\begin{aligned} A &= Q / v \\ &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,6 \text{ m/detik} \\ &= 0,000038 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Diameter pipa (D)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \\ 0,000038 \text{ m}^2 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \\ D &= 0,007 \text{ m} \\ &= 7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diameter aplikasi = 75 mm

- Cek v

$$\begin{aligned} V &= Q / \left(\frac{1}{4} \pi \times D^2 \right) \\ &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} / \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,075^2 \right) \\ &= 0,005 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

b) Zona Pengendapan

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= Q_{\text{design}} \times t_d \\ &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} \times 7200 \text{ detik} \\ &= 0,166 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

H direncanakan 2 m, maka:

$$\begin{aligned} \text{As} &= \frac{\text{Volume}}{H} = \frac{0,166 \text{ m}^3}{2 \text{ m}} \\ &= 0,083 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek OFR} &= \frac{Q_{\text{design}}}{\text{As}} = \frac{0,000023 \frac{\text{m}^3}{\text{detik}} \times 86400 \frac{\text{detik}}{\text{hari}}}{0,083 \text{ m}^2} \\ &= 24 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek } V_{\text{upflow}} &= \text{debit rata-rata} / \text{luas permukaan} \\ &\text{kompartemen} \\ &= 0,083 \text{ m}^3/\text{jam} / 0,083 \text{ m}^2 \\ &= 1 \text{ m/jam} \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Dimensi bak:

$$\text{Perbandingan } P : L = 3 : 1 \text{ sehingga } P = 3L$$

$$\text{Lebar bak (L)} = \sqrt{\frac{\text{As}}{3}} = \sqrt{\frac{0,083}{3}} = 0,16 \text{ m}$$

$$\text{Lebar aplikasi} = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Panjang bak (P)} = 3 \times L = 3 \times 0,7 \text{ m} = 2,1 \text{ m}$$

Cek *Scouring*:

$$\begin{aligned} 1. \text{ Kecepatan pengendapan (Vs)} &= \frac{Q_{\text{design}}}{\text{As}} = \frac{0,000023 \frac{\text{m}^3}{\text{detik}}}{(0,7 \times 2,1) \text{ m}^2} \\ &= 0,0000156 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Diameter partikel (dp)} &= \left[\frac{18 \times V_s \times \nu}{g(sg-1)} \right]^{1/2} \\ &= \left[\frac{18 \times 0,000016 \times 0,8394 \cdot 10^{-6}}{9,81(1,02-1)} \right]^{1/2} \\ &= 0,000034 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Kecepatan } \textit{scouring} \text{ (Vsc)} &= \left[\frac{8k(\rho_s - \rho_{air}) \times g \times dp}{f} \right]^{1/2} = \left[\frac{8,05(1,25-1) \times 9,81 \times 0,000034}{0,025} \right]^{1/2} \\ &= 0,036 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

$$4. \text{ Kecepatan horizontal (Vh)} = \frac{Q_{\text{design}}}{Ac} = \frac{0,000023 \frac{\text{m}^3}{\text{detik}}}{0,7 \times 2}$$

$$= 0,000016 \text{ m/detik}$$

$V_h < V_{sc}$ sehingga tidak terjadi *scouring*.

Cek N_{Re} dan N_{Fr} :

1. $R = \frac{L \times H}{L+2H} = \frac{0,7 \times 2}{0,7+2(2)} = 0,29 \text{ m}$
2. $N_{Re} \text{ aliran} = \frac{V_h \cdot R}{\nu} = \frac{0,000016 \times 0,297}{0,8394 \cdot 10^{-6}} = 5,67$
3. $N_{Re} \text{ partikel} = \frac{V_s \cdot dp}{\nu} = \frac{0,0000156 \cdot 0,000034}{0,8394 \cdot 10^{-6}} = 0,006 < 1 \text{ (OK!)}$
4. $N_{Fr} = \frac{V_h^2}{g \cdot R} = \frac{0,000016^2}{9,81 \cdot 0,297} = 4,3 \cdot 10^{-10} < 10^{-5} \text{ (tidak OK)}$

$N_{Fr} < 10^{-5}$ sehingga digunakan *perforated baffle* untuk menghindari *short circuit*.

Perforated Baffle → di zona inlet

Direncanakan:

- Diameter lubang = 0,1 m
- Panjang *baffle* = lebar bak = 0,7 m
- Tinggi *baffle* = 1,7 m
- Tebal *baffle* = 0,1 m
- Baffle* diletakkan 0,2 m di depan inlet.

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Jari – jari hidrolis (R)} &= A/P &= \frac{1}{4} D \\ &= \frac{1}{4} \times 0,10 \text{ m} &= 0,025 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{re} &= \frac{v_h \times R}{\nu} \\ 2000 &= \frac{v_h \times 0,025}{0,8975 \times 10^{-6}} \end{aligned}$$

$$V_h = 0,072 \text{ m/detik}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ tiap lubang (q)} &= V_h \cdot A_{\text{cross}} \\ &= 0,072 \text{ m/detik} \cdot (\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,10^2) \\ &= 0,0005 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lubang (n)} &= \text{Jumlah lubang horizontal} \times \\ &\text{Jumlah lubang vertikal} \\ &= 5 \text{ buah} \times 9 \text{ buah} \\ &= 45 \text{ lubang} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Susunan lubang} \\ \text{Horisontal} &= 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

Vertikal = 9 buah

Jarak horisontal antar lubang (sh)

$$sh = \frac{\text{lebar baffle} - (\sum \text{lubang} \times d)}{(\sum \text{lubang} + 1)} = \frac{0,7 - (5 \times 0,10)}{(5 + 1)} = 0,03 \text{ m}$$

Jarak vertikal antar lubang (sv)

$$sv = \frac{\text{tinggi baffle} - (\sum \text{lubang} \times d)}{(\sum \text{lubang} + 1)} = \frac{1,7 - (9 \times 0,10)}{(9 + 1)} = 0,06 \text{ m}$$

Cek N_{Re} dan N_{Fr} :

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{v_h \times R}{\nu} \\ &= \frac{0,058 \times 0,031}{0,8394 \cdot 10^{-6}} \\ &= 1144 < 2000 \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_{Fr} &= \frac{v_h^2}{g \times R} \\ &= \frac{0,072^2}{9,81 \times 0,025} \\ &= 0,01 > 10^{-5} \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

c) Zona Lumpur

Diketahui:

$$\text{TSSin} = 1300,46 \text{ mg/L}$$

$$Q = 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\% \text{Removal TSS} = 60\%$$

Direncanakan:

$$\text{Sg partikel} = 1,02 \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{Kadar solid} = 5\%$$

Perhitungan:

$$\text{TSS removal} = 60\%[\text{TSSin}]$$

$$= 60\%[1300,46 \text{ mg/L}]$$

$$= 780,27 \text{ mg/L}$$

MTSS removal

$$= \text{TSS removal} \times Q$$

$$= 780,27 \text{ mg/L} \times 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} \times 10^3 \text{ L/m}^3$$

$$= 179,5 \text{ mg/detik} = 15,5 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Densitas lumpur} &\rightarrow \frac{Ws}{Ss.\rho_w} = \frac{Wf}{Sf.\rho_w} + \frac{Wv}{Sv.\rho_w} = \frac{0,05}{1,02} + \frac{0,95}{1} \\ &= 0,999 \text{ gram/cm}^3 \\ &= 999 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat lumpur} &= \frac{100}{5} \times \text{MTSS total removal dry} \\ &= \frac{100}{5} \times 15,5 \text{ kg/hari} \\ &= 310 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume lumpur} &= \frac{\text{berat lumpur}}{\text{densitas lumpur}} = \frac{310 \text{ kg/hari}}{999 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0,31 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Dimensi ruang lumpur:

$$\begin{aligned} \text{H ruang lumpur rencana} &= \frac{1}{3} \times \text{H bak pengendap} \\ &= \frac{1}{3} \times 2 \text{ m} = 0,67 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{P ruang lumpur atas} = \text{lebar bak} = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{L ruang lumpur atas} = 0,7 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{L ruang lumpur bawah} &= 0,7 - (2,0,1) \\ &= 0,5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{P ruang lumpur bawah} = 0,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{H ruang lumpur sebenarnya} &= \frac{3 \times \text{volume lumpur}}{\frac{A1+A2+\sqrt{A1.A2}}{3 \times 0,31}} \\ &= \frac{0,7^2+0,5^2+\sqrt{0,7 \times 0,5}}{0,7} \\ &= 0,7 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ruang lumpur akan full dalam waktu} &= \frac{h \text{ lumpur rencana}}{h \text{ lumpur sebenarnya}} \\ &= \frac{0,67}{0,7} = 0,9 \text{ hari} \end{aligned}$$

Jadi, waktu pengurasan lumpur direncanakan 1 hari 1 x sehingga volume lumpur yaitu sebesar 0,31 m³/hari.

Pipa penguras lumpur BP1:

Direncanakan:

$$\text{Waktu pengurasan} = 30 \text{ menit} = 1800 \text{ detik}$$

$$\text{Kecepatan pengurasan} = 0,8 \text{ m/detik}$$

Perhitungan:

$$Q = \frac{\text{volume lumpur}}{\text{lama waktu pengurasan}} = \frac{0,31 \text{ m}^3}{1800 \text{ detik}} = 0,0002 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,0002 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,8 \text{ m}/\text{detik}} = 0,00025 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,00025 \cdot 4}{\pi}} = 0,00032 \text{ m} = 0,32 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$$

D aplikasi

d) Zona Outlet
Direncanakan:

$$\begin{aligned} \text{Weir loading rate (WLR)} &= 124 \text{ m}^3/\text{m.hari} \\ &= 0,0014 \text{ m}^3/\text{m.detik} \\ \text{Qave} &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\text{Total panjang weir} = \frac{Q}{WLR} = \frac{0,000023}{0,0014} = 0,016 \text{ m}$$

$$\text{Lebar bak} = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Lebar gutter (l)} = 0,1 \text{ m}$$

$$\text{Tebal weir} = 0,2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang gutter} &= \text{lebar bak} - (2 \times \text{lebar gutter}) \\ &= 0,7 - 2(0,2) \\ &= 0,3 \text{ m} \end{aligned}$$

Jumlah gutter yang diperlukan, dengan:

$$l = 0,2 \text{ m dan } s = 0,3 \text{ m}$$

Jumlah gutter 3 buah

$$\begin{aligned} \text{Q tiap gutter} &= \frac{Q \text{ bak}}{n} = \frac{0,00023}{3} \\ &= 0,000077 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi air diatas gutter} \rightarrow Q &= 1,84 \times C \times H^{3/2} \\ 0,000077 &= 1,84 \times 3,78 \times H^{3/2} \\ H^{3/2} &= 0,000001 \\ H &= 0,0001 \text{ m} \end{aligned}$$

Tinggi limpasan air (*weir*):

$$y_c = \sqrt{\frac{(Q/s)^2}{g}} = \sqrt{\frac{(0,0000077/0,6)^2}{9,81}} = 0,0015 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y_u &= 1,73 \times y_c \\ &= 1,73 \times 0,0015 \text{ m} \\ &= 0,002 \text{ m} \end{aligned}$$

Gullet → lebar (l) = 0,2 m

Kedalaman air pada *gullet* (h) = y upstream (y_u)

$$\begin{aligned} y \text{ kritis } (y_c) &= \sqrt{\frac{Q/l^2}{g}} = \sqrt{\frac{0,000077/0,1^2}{9,81}} \\ &= 0,008 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y \text{ upstream } (y_u) &= 1,73 \times y_c \\ &= 1,73 \times 0,008 \text{ m} \\ &= 0,014 \text{ m} \end{aligned}$$

$$h \text{ air} = y_u = 0,014 \text{ m}$$

Saluran Pengumpul

Direncanakan:

$$Q_{ave} = 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$V_{rencana} = 0,6 \text{ m/detik}$$

$$\text{Panjang saluran} = 0,30 \text{ m}$$

$$H \text{ saluran} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien gesek } (n) = 0,015$$

Perhitungan:

$$A \text{ cross} = \frac{Q}{v} = \frac{0,000023 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,6 \text{ m/detik}} = 0,000038 \text{ m}^2$$

$$\text{Cek } v \rightarrow v = \frac{Q}{A} = \frac{0,000023 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,000038 \text{ m}^2} = 0,6 \text{ m/detik (OK!)}$$

Perbandingan $L : H = 2 : 1$, sehingga:

L direncanakan: 0,20 m

$$A_c = L \times H$$

$$0,1 \text{ m}^2 = L \times 0,48 \text{ m}$$

$$L = 0,2 \text{ m}$$

Sehingga dimensi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$P = 0,30 \text{ m} \quad H = 0,48 \text{ m}$$

$$L = 0,25 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= \frac{L+H}{(L+2H)} = \frac{0,25+0,48}{(0,25+2 \cdot 0,48)} = 3,04 \text{ m} \\ \text{Kemiringan saluran (S)} &= \frac{v \times n}{R^{2/3}} = \frac{0,6 \times 0,015}{3,04^{2/3}} = 0,043 \text{ m/m} \\ \text{Hf} &= \text{slope} \times \text{panjang saluran} \\ &= 0,043 \text{ m/m} \times 0,30 \text{ m} \\ &= 0,013 \text{ m} \end{aligned}$$

Perhitungan pipa efluen:

Kecepatan air di pipa (v) = 0,6 m/detik

Q = 0,000023 m³/detik

- Luas Penampang Basah (A)

$$A = Q / v$$

$$= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,6 \text{ m/detik}$$

$$= 0,000038 \text{ m}^2$$

- Diameter pipa (D)

$$A = \frac{1}{4} \pi \times D^2$$

$$0,000038 \text{ m}^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$$

$$D = 0,007 \text{ m}$$

$$= 7 \text{ mm}$$

Diameter aplikasi = 75 mm

- Cek v

$$V = Q / \left(\frac{1}{4} \pi \times D^2 \right)$$

$$= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} / \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,075^2 \right)$$

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

5.5.2 ED Bak Ekualisasi

Untuk menghitung dimensi dari bak ekualisasi ini dibutuhkan data fluktuasi dari debit air limbah yang masuk ke dalam bak ekualisasi.

Direncanakan:

Q = 2 m³/hari
Presentase pengaliran air per jam = Q / 24 jam/hari
= 0,083 m³/jam
Konsentrasi BODin = 2171,29 mg/L

Hasil perhitungan V kumulatif dan Massa BOD disajikan pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Data Fluktuasi Debit Air Limbah

Waktu (Jam ke-)	Q rata- rata (m ³ /jam)	BOD rata- rata (mg/L)	V Kumulatif (m ³)	Massa BOD (kg/jam)
M-11	0,023	1840	0,023	0,042
1-2	0,032	1880	0,055	0,060
2-3	0,036	2150	0,091	0,077
3-4	0,044	2175	0,135	0,096
4-5	0,053	2188	0,188	0,116
5-6	0,06	2196	0,248	0,132
6-7	0,079	2280	0,327	0,180
7-8	0,09	2268	0,417	0,204
8-9	0,17	2350	0,587	0,400
9-10	0,196	2376	0,783	0,466
10-11	0,21	2384	0,993	0,501
11-N	0,165	2390	1,158	0,394
N-1	0,154	2370	1,312	0,365
1-2	0,125	2320	1,437	0,290
2-3	0,097	2305	1,534	0,224
3-4	0,08	2297	1,614	0,184
4-5	0,075	2283	1,689	0,171
5-6	0,07	2280	1,759	0,160

Waktu (Jam ke-)	Q rata-rata (m ³ /jam)	BOD rata-rata (mg/L)	V Kumulatif (m ³)	Massa BOD (kg/jam)
6-7	0,061	2050	1,82	0,125
7-8	0,045	2010	1,865	0,090
8-9	0,042	2020	1,907	0,085
9-10	0,038	1986	1,945	0,075
10-11	0,032	1870	1,977	0,060
11-M	0,023	1840	2	0,042
Rata-rata	0,0833			0,189

Sumber: Hasil Analisis

Berdasarkan Tabel 5.7, plot volume kumulatif (sumbu y) dan waktu selama 24 jam (sumbu x) dalam sebuah kurva. Nilai slope (dari garis awal hingga titik akhir kurva volume kumulatif) merepresentasikan debit harian rata-rata. Nilai ini merupakan hasil dari proses ekualisasi debit. Hasil plot volume kumulatif dan waktu dapat dilihat pada Gambar 5.2.

Volume bak ekualisasi direpresentasikan oleh garis tegak pada grafik. Diperoleh volume bak ekualisasi:

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 1 \text{ m}^3 - 0,4 \text{ m}^3 \\ &= 0,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\text{Kedalaman bak} = 1 \text{ m}$$

Perhitungan:

$$\text{As} = \frac{V}{H} = \frac{0,6}{1} = 0,6 \text{ m}^2$$

$$\text{As} = P \times L$$

$$\text{Lebar direncanakan} = 0,7 \text{ m}$$

$$0,6 \text{ m}^2 = P \times 0,7 \text{ m}$$

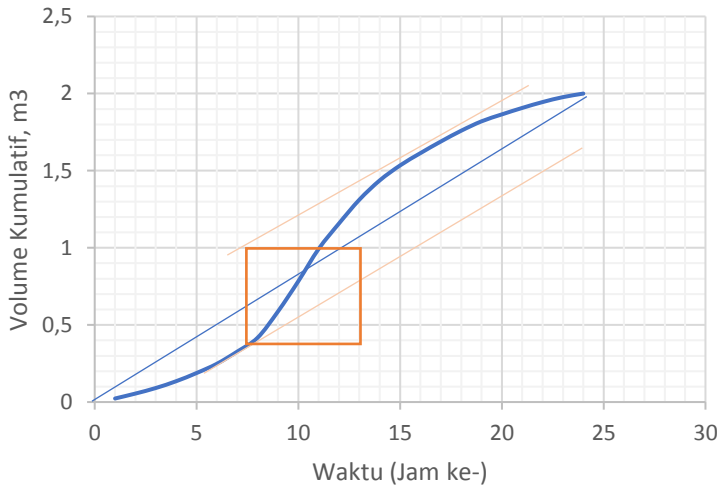
$$L = 0,7 \text{ m}$$

$$P = 0,9 \text{ m} \cong 1 \text{ m}$$

$$\text{H total} = 1 \text{ m} + \text{freeboard}$$

$$= 1 \text{ m} + 0,3 \text{ m}$$

$$= 1,3 \text{ m}$$



Gambar 5.2 Hasil Plot Volume Kumulatif dan Waktu

$$\begin{aligned}
 T_d &= \text{volume bangunan} / \text{debit} \\
 &= 0,6 \text{ m}^3 / 2 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 0,3 \text{ hari} = 7,2 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan h air saat minimum:

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{A \cdot h}{t} \\
 0,023 \text{ m}^3/\text{jam} &= \frac{0,6 \cdot h}{7,2} \\
 h &= 0,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Memasukkan data volume air limbah di bak ekualisasi pada akhir waktu tertentu dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{sc} &= V_{sp} + V_{ic} + V_{oc} \\
 V_{sc} &= \text{volume di bak ekualisasi pada akhir waktu sekarang} \\
 V_{sp} &= \text{volume di bak ekualisasi pada akhir waktu sebelumnya} \\
 V_{ic} &= \text{volume debit masuk pada waktu sekarang} \\
 V_{oc} &= \text{volume debit keluar pada waktu sekarang}
 \end{aligned}$$

Perhitungan:

$$V_{oc} = 0,0833 \text{ m}^3$$

Periode 8-9, $V_{sc} = 0 + 0,17 \text{ m}^3 - 0,0833 \text{ m}^3 = 0,0867 \text{ m}^3$
 Periode 9-10, $V_{sc} = 0,0867 + 0,196 \text{ m}^3 - 0,0833 \text{ m}^3 = 0,1994 \text{ m}^3$
 Perhitungan ekualisasi BOD dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 5.8 Perhitungan Ekualisasi BOD

Waktu (Jam ke-)	V sebelum (m ³)	V saat ini (m ³)	BOD rata- rata (mg/L)	BOD terekuali- sasi (mg/L)	Massa BOD terekualisasi (kg/jam)
9	0,170	0,0867	2350	2350	2,350
10	0,196	0,1993	2376	2368	2,368
11	0,210	0,3260	2384	2380	2,380
12	0,165	0,4077	2390	2386	2,386
13	0,154	0,4783	2370	2385	2,385
14	0,125	0,5200	2320	2360	2,360
15	0,097	0,5337	2305	2318	2,318
16	0,080	0,5303	2297	2304	2,304
17	0,075	0,5220	2283	2295	2,295
18	0,070	0,5087	2280	2283	2,283
19	0,061	0,4863	2050	2255	2,255
20	0,045	0,4480	2010	2047	2,047
21	0,042	0,4067	2020	2011	2,011
22	0,038	0,3613	1986	2017	2,017
23	0,032	0,3100	1870	1977	1,977
24	0,023	0,2497	1840	1868	1,868
25	0,023	0,1893	1840	1840	1,840
26	0,032	0,1380	1880	1846	1,846
27	0,036	0,0907	2150	1936	1,936
28	0,044	0,0513	2175	2158	2,158
29	0,053	0,0210	2188	2182	2,182
30	0,06	0,0135	2196	2194	2,194
31	0,079	0,0078	2280	2268	2,268

Waktu (Jam ke-)	V sebelum (m ³)	V saat ini (m ³)	BOD rata-rata (mg/L)	BOD terekualisasi (mg/L)	Massa BOD terekualisasi (kg/jam)
32	0,09	0,0000	2268	2269	2,269
Rata-rata					2,179

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan konsentrasi BOD *effluent* selama 24 jam. Nilai ini merupakan hasil dari proses ekualisasi kualitas.

$$X_{oc} = \frac{(V_{ic} \cdot X_{ic}) + (V_{sp} \cdot X_{sp})}{(V_{ic} \cdot V_{sp})}$$

Dimana:

X_{oc} = Konsentrasi BOD *influent* (mg/L)

X_{ic} = Konsentrasi BOD *effluent* (mg/L)

X_s = Konsentrasi BOD di bak penyimpanan (mg/L)

V_{ic} = Volume *influent* (m³)

V_{sp} = Volume *effluent* (m³)

Periode 8-9

$$X_{oc} = \frac{(0,17 \text{ m}^3 \times 2350 \text{ g/m}^3) + (0 \times 0)}{(0,17 \text{ m}^3)} = 2350 \text{ g/m}^3$$

Periode 9-10

$$X_{oc} = \frac{(0,196 \text{ m}^3 \times 2376 \text{ g/m}^3) + (0,0867 \times 2350)}{(0,196 + 0,0867) \text{ m}^3} = 2386 \text{ g/m}^3$$

Perhitungan beban massa BOD selama 24 jam.

$$\text{Beban massa BOD} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right) = \frac{X_{oc} (\text{g/m}^3) + Q (\text{m}^3/\text{s}) (3600 \frac{\text{s}}{\text{jam}})}{(10^3 \text{ g/kg})}$$

Perhitungan:

$$\text{Periode 8-9} = \frac{2350 (\text{g/m}^3) + 0,0833 (\text{m}^3/\text{jam})}{(10^3 \text{ g/kg})} = 2,35 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

Perhitungan rasio beban massa BOD, baik yang telah terekualisasi maupun tidak. Nilai rasio tersebut ada tiga kondisi, yakni $\frac{\text{peak}}{\text{rata-rata}}$,

$\frac{\text{minimum}}{\text{rata-rata}}$, dan $\frac{\text{peak}}{\text{minimum}}$. Perhitungan rasio massa BOD dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 5.9 Perhitungan Rasio Massa BOD

Rasio	Massa BOD	
	Tanpa Ekualisasi	Dengan Ekualisasi
Peak / rata-rata	$\frac{0,501}{0,189} = 2,65$	$\frac{2,386}{2,179} = 1,09$
Minimum / rata-rata	$\frac{0,042}{0,189} = 0,22$	$\frac{1,840}{2,179} = 0,84$
Peak / minimum	$\frac{0,501}{0,042} = 11,93$	$\frac{2,386}{1,840} = 1,29$

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan pipa influen dan efluen:

Debit air limbah yang masuk bak ekualisasi sama dengan debit yang keluar sehingga pipa influen dan efluen akan memiliki ukuran yang sama.

Direncanakan:

Kecepatan air di pipa (v) = 0,6 m/detik

$Q = 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik}$

- Luas Penampang Basah (A)

$$A = Q / v$$

$$= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,6 \text{ m/detik}$$

$$= 0,000038 \text{ m}^2$$

- Diameter pipa (D)

$$A = \frac{1}{4} \pi \times D^2$$

$$0,000038 \text{ m}^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2$$

$$D = 0,007 \text{ m}$$

$$= 7 \text{ mm}$$

Diameter aplikasi = 75 mm

- Cek v

$$V = Q / \left(\frac{1}{4} \pi \times D^2 \right)$$

$$= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} / \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,075^2 \right)$$

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

Setelah mengetahui dimensi bak ekualisasi, kemudian dilakukan perhitungan pompa untuk mengetahui karakteristik pompa dan aksesoris yang dibutuhkan. Pompa berfungsi untuk mengalirkan air secara konstan dari bak ekualisasi ke unit IPAL selanjutnya. Menurut Rosidi (2016), terdapat 2 hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan pompa, antara lain:

- a. Kecepatan air dalam pipa < 2 m/detik untuk mencegah penggerusan dalam pipa.
- b. Pompa yang digunakan adalah pompa *submersible* untuk air limbah.

Dalam perencanaan ini, direncanakan terdapat 2 pompa dimana 1 pompa untuk cadangan. Untuk perhitungan pompa dapat dilihat di bawah ini.

Perhitungan pompa

Direncanakan:

Kecepatan air di pipa	= 0,6 m/detik
Debit air limbah	= 0,000023 m ³ /detik
L _{suction}	= 0 m
L _{discharge}	= 2 m

Perhitungan:

Luas Penampang Basah (A)

$$\begin{aligned}
 A &= Q / v \\
 &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,6 \text{ m/detik} \\
 &= 0,000038 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Diameter pipa (D)

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \\
 0,000038 \text{ m}^2 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \\
 D &= 0,007 \text{ m} \\
 &= 7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Diameter aplikasi = 75 mm

Head pompa	= Hstatik + Hf mayor + Hf minor + hv
Hstatik	= 1,1 m (tinggi dari pangkal pompa ke <i>influent</i> unit selanjutnya)
Hf discharge	= Hf mayor
	= $\frac{L}{(0,00155.C.D^{2,63})^{1,85}} \times Q^{1,85}$

$$= \frac{1}{(0,00155 \cdot 120 \cdot 7,5^{2,63})^{1,85}} \times 0,023^{1,85}$$

$$= 0,0000012 \text{ m}$$

Hf suction = 0 m

Hf minor = $k \times \left(\frac{v^2}{2 \times g}\right)$

Hf minor Tee (k = 0,9)

$$= k \times \left(\frac{v^2}{2 \times g}\right)$$

$$= 0,9 \times \left(\frac{0,6^2}{2 \times 9,81}\right)$$

$$= 0,0165 \text{ m}$$

Hf minor Bend 90° (k = 0,5)

$$= k \times \left(\frac{v^2}{2 \times g}\right)$$

$$= 0,5 \times \left(\frac{0,6^2}{2 \times 9,81}\right)$$

$$= 0,0091 \text{ m}$$

Hf minor *check valve* (k = 0,25)

$$= k \times \left(\frac{v^2}{2 \times g}\right)$$

$$= 0,25 \times \left(\frac{0,6^2}{2 \times 9,81}\right)$$

$$= 0,0045 \text{ m}$$

Hf minor *gate valve* (k = 0,19)

$$= k \times \left(\frac{v^2}{2 \times g}\right)$$

$$= 0,19 \times \left(\frac{0,6^2}{2 \times 9,81}\right)$$

$$= 0,0034 \text{ m}$$

Head pompa = Hstatik + Hf mayor + Hf minor

$$= 1,1 \text{ m} + 0,0000012 \text{ m} + (0,0165 + 0,0091 + 0,0045 + 0,0034)$$

$$= 1,13 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, pompa yang diperlukan pompa *submersible* air limbah dengan kode SEG.A15.20.R2.2.1.603 dari produsen pompa *Grundfoss*.

5.5.3 ED ABR

Pada ABR direncanakan terdapat tangki anaerobik yang diintegrasikan dengan *anaerobic baffled reactor*. Unit tangki

anaerobik berfungsi sebagai pengolahan awal untuk mengurangi kadar BOD, COD, dan TSS pada air limbah. Bangunan tangki anaerobik ini menjadi satu bangunan dengan bangunan ABR.

A. Perhitungan Dimensi

Perhitungan dimensi didasarkan pada kriteria desain bangunan IPAL. Menurut Sasse (1998), kriteria desain *Anaerobic Baffled Reactor* adalah sebagai berikut:

1. *Upflow Velocity* : < 2 m/jam
2. Penyisihan BOD : 70% - 95%
3. *Organic loading* : < 3 kg COD/m³.hari
4. HRT : 8 – 20 jam
5. Panjang Kompartemen : 50%-60% dari kedalaman
6. Rasio SS/COD : 0,35 – 0,45

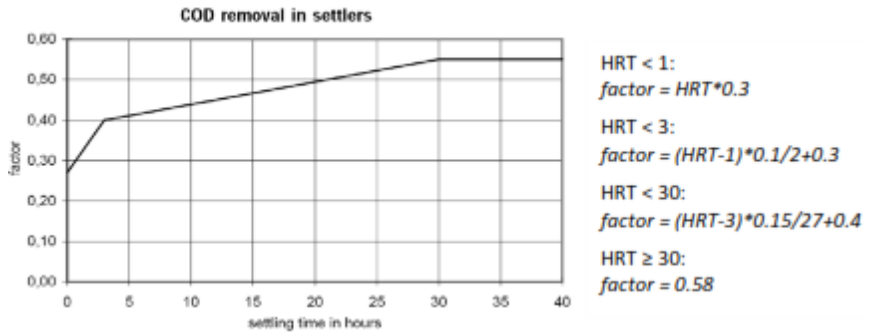
Diketahui:

Qave	= 2 m ³ /hari
CODin	= 3883,40 mg/L
BODin	= 2171,29 mg/L
TSSin	= 520,18 mg/L
Suhu air	= 25 °C
Operasional	= 24 jam

Perhitungan %removal tangki anaerobik:

HRT tangki anaerobik	= 2 jam
Qper jam	= Qave / waktu pengaliran = 2 m ³ /hari / 24 jam = 0,083 m ³ /jam
%Removal COD	= rasio SS/COD / 0,6 x faktor HRT

Faktor HRT adalah faktor yang menunjukkan hubungan antara *removal* COD pada tangki anaerobik dengan lamanya waktu tinggal air pada unit tersebut (*Hydraulic Retention Time*). Penentuan faktor HRT ini berdasarkan grafik pada Gambar 5.3.



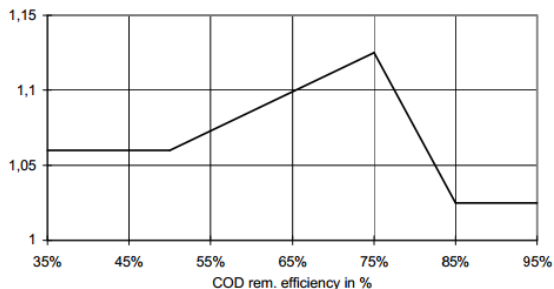
Gambar 5.3 Faktor HRT

Sumber: Sasse, 1998

Faktor HRT = $(HRT - 1) \times (0,1/2) + (0,3)$
 = $(2 - 1) \times (0,1/2) + (0,3)$
 = 0,35

% removal COD = $0,1 / 0,6 \times 0,35$
 = 23%

Untuk menentukan persentase *removal* BOD, harus ditentukan terlebih dahulu rasio *removal* BODrem/CODrem yang dapat ditentukan menggunakan grafik pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Rasio BODrem/CODrem

Sumber: Sasse, 1998

Merujuk pada perhitungan sebelumnya didapat *removal* COD yaitu sebesar 23%. Apabila dihubungkan dengan Gambar 5.4, maka

didapat rasio % BODrem/CODrem yaitu sebesar 1,06. Meskipun dalam grafik tidak terdapat efisiensi *removal* yang didapat, kita dapat menarik garis lurus dari batas minimum efisiensi pada grafik hingga persentase efisiensi yang kita dapat. Sehingga, dapat dicari efisiensi *removal* BOD dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ removal BOD} &= \text{rasio BODrem/CODrem} \times \% \text{removal COD} \\ &= 1,06 \times 23\% \\ &= 25\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD removal} &= \text{CODin} \times \% \text{removal COD} \\ &= 3883,40 \text{ mg/L} \times 23 \% \\ &= 893,18 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD removal} &= \text{BODin} \times \% \text{removal BOD} \\ &= 2171,29 \times 25\% \\ &= 542,8 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD ef} &= \text{CODin} \times (1 - \% \text{removal COD}) \\ &= 3883,40 \text{ mg/L} \times 77 \% \\ &= 2990,2 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BOD ef} &= \text{BODin} \times (1 - \% \text{removal BOD}) \\ &= 2171,29 \times 75\% \\ &= 1628,5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Menurut Tchobanoglous *et al.* (2003), efisiensi *removal* untuk TSS dapat ditentukan berdasarkan waktu detensi didalam unit tersebut. Berikut merupakan persamaan yang digunakan:

$$\% \text{Removal} = \frac{\theta H}{a + b\theta H}$$

Dimana:

θH = waktu detensi t_d

a = konstanta (BOD= 0,018; TSS= 0,0075)

b = konstanta (BOD= 0,020; TSS= 0,014)

dengan t_d selama 2 jam, maka didapatkan %*removal* TSS:

$$\% \text{Removal} = \frac{\theta H}{a + b\theta H} = \frac{2 \text{ jam}}{0,0075 + 0,014(2 \text{ jam})} = 56,3\%$$

Maka TSS *effluent* dari tangki anaerobik adalah:

$$\begin{aligned} \text{TSS ef} &= \text{TSS in} - (\text{TSS in} \times \text{TSS removal}) \\ &= 520,18 \text{ mg/L} - (520,18 \text{ mg/L} \times 56,3\%) \\ &= 227,3 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Perhitungan dimensi tangki anaerobik yang berfungsi sebagai bak pengendap adalah sebagai berikut:

Direncanakan:

Jumlah kompartemen = 1 buah

H air di inlet = 1,5 m

Lebar dalam = 0,7 m

Waktu pengurasan = 24 bulan

Setelah direncanakan waktu pengurasan lumpur pada bak pengendap maka dicari volume lumpur setelah reduksi pada masa pengendapan menggunakan Gambar 5.5.

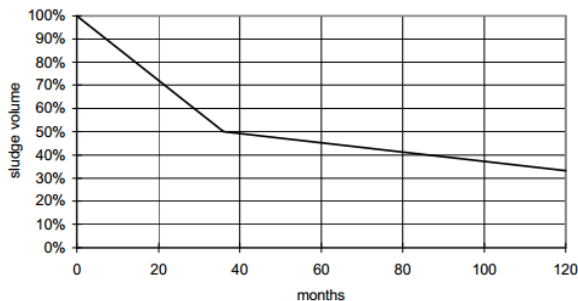
Berdasarkan Gambar 5.5, dengan memasukkan perencanaan masa simpan lumpur kedalam grafik, maka didapatkan penurunan volume lumpur hingga 66%

Perhitungan:

Lumpur / BOD rem = 0,005 x faktor reduksi lumpur

= 0,005 x 66%

= 0,00332 L/kg BODrem



Gambar 5.5 Faktor Reduksi Lumpur dengan Masa Simpan

Sumber: Sasse, 1998

Volume tangki anaerobik (termasuk lumpur)

= akumulasi lumpur x (BOD_{in} – BOD_{ef}) / 1000 x Q x 30 hari x 24 bulan + (HRT x Q per jam)

= 0,00332 L/kg BODrem x (2171,29 – 1628,5) mg/L / 1000 x 2 m³/hari x 30 hari x 24 bulan + (2 jam x 0,083 m³/jam)

= 2,76 m³

Panjang tangki anaerobik:

= V tangki anaerobik / lebar tangki anaerobik / h air

= 2,76 m³ / 0,7 / 1,5

= 2,6 m

Perhitungan Produksi Biogas

Diketahui:

$$\begin{aligned}Q \text{ in} &= 2 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{CODin} &= 3883,40 \text{ mg/L} \\ \text{CODout} &= 2990,2 \text{ mg/L} \\ \text{Mr CH}_4 &= 64\end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\begin{aligned}\text{Synthesis yield in anaerob (Y)} &= 0,03 \text{ dan } 0,06 \text{ g VSS/g COD} \\ \text{Ratio MLVSS/MLSS} &= 0,85\end{aligned}$$

Perhitungan Kesetimbangan Massa

$$\begin{aligned}\text{Akumulasi} &= \text{Massa in} - \text{Massa out} + \text{Massa hasil konversi} \\ 0 &= \text{CODin} - \text{COD out} - \text{CODmetana} - \text{CODvss} \\ \text{CODin} - \text{COD out} &= \text{COD metana} + \text{CODvss} \\ \text{CODin} &= Q \times \text{CODin} \\ &= 2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3883,40 \text{ mg/hari} \\ &= 7766,8 \text{ g/hari} \\ \text{CODout} &= Q \times \text{CODout} \\ &= 2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 2990,2 \text{ mg/hari} \\ &= 5980,4 \text{ g/hari} \\ \text{CODvss} &= 1,42 \times Y \times (\text{CODin} - \text{CODout}) \\ &= 1,42 \times 0,06 \times (7766,8 - 5980,4) \text{ mg/L} \\ &= 152,2 \text{ g/hari} \\ \text{CODmetana} &= \text{CODin} - \text{CODout} - \text{CODvss} \\ &= (7766,8 - 5980,4 - 152,2) \text{ g/hari} \\ &= 1634,2 \text{ g/hari}\end{aligned}$$

Produksi Biogas

$$\begin{aligned}\text{CODmetana} &= 1634,2 \text{ g/hari} \\ T &= 25 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 298,15 \text{ }^\circ\text{K} \\ \text{Konstanta gas (R)} &= 0,082057 \text{ atm.L/mol.K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol gas (n)} &= 1 \text{ mol} \\ \text{Tekanan gas} &= 1 \text{ atm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume gas (Vgas)} &= n \times R \times T / P \\ &= 1 \times 0,082057 \times 298,15 / 1 \\ &= 24,47 \text{ L/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produksi CH}_4 &= (\text{Vgas} / 64) \times \text{CODmetana} \\ &= (24,47 / 64) \times 1634,2 \\ &= 624,8 \text{ L/hari} \\ &= 0,62 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Produksi Lumpur

$$\begin{aligned} \text{CODvss} &= 152,2 \text{ g/hari} \\ \text{CODtss} &= \text{CODvss} / \text{ratio MLVSS/MLSS} \\ &= 152,2 / 0,85 \\ &= 179,1 \text{ g/hari} \\ &= 0,18 \text{ kg/hari} \\ \text{Ssi} &= 1,025 \\ \rho \text{ air} &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \\ \% \text{solid} &= 5\% \\ \text{Debit lumpur (Qsludge)} &= \text{CODtss} / (\text{Ssi} \times \rho \text{ air} \times \% \text{solid}) \\ &= 0,18 / (1,025 \times 1.000 \times 0,05) \\ &= 0,0035 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Perhitungan pipa influen:

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan air di pipa (v)} &= 0,6 \text{ m/detik} \\ \text{Q} &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

- Luas Penampang Basah (A)

$$\begin{aligned} A &= Q / v \\ &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,6 \text{ m/detik} \\ &= 0,000038 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Diameter pipa (D)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \\ 0,000038 \text{ m}^2 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \\ D &= 0,0069 \text{ m} \end{aligned}$$

$$= 6,98 \text{ mm}$$

Ukuran diameter pipa yang terdapat di pasaran = 75 mm

- Cek v

$$\begin{aligned} V &= Q / \left(\frac{1}{4} \pi \times D^2 \right) \\ &= 0,000023 \text{ m}^3/\text{detik} / \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,075^2 \right) \\ &= 0,05 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Selanjutnya, untuk melakukan perhitungan dimensi dan *removal* pada ABR, maka dilakukan perhitungan dengan cara sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{COD}_{in} = 2990,2 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD}_{in} = 1628,5 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS}_{in} = 227,3 \text{ mg/L}$$

Direncanakan:

$$Q = 2 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Kecepatan upflow} = 1 \text{ m/jam} \quad (\text{kriteria desain} : < 2 \text{ m/jam})$$

$$\text{HRT} = 12 \text{ jam} \quad (\text{kriteria desain} : 8 - 20 \text{ jam})$$

$$\text{H air} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{OLR} < 3 \text{ kg COD/ m}^3.\text{hari}$$

$$\text{Lebar bak} = \text{lebar tangki anaerobik}$$

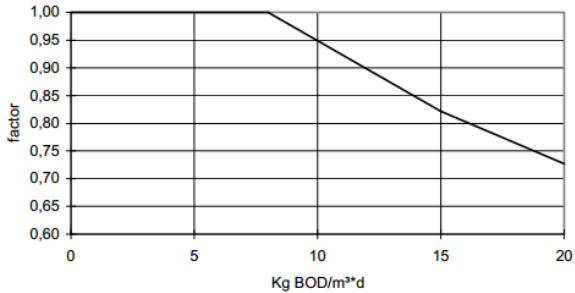
$$\text{Panjang kompartemen} = (50\% - 60\%) \text{ kedalaman ABR}$$

$$\text{Panjang kompartemen} = 0,75 \text{ m}$$

Perhitungan:

Efisiensi penyisihan pada *Anaerobic Baffled Reactor*, dihitung berdasarkan empat faktor. Keempat faktor tersebut meliputi:

- a. *f-overload*, yaitu faktor yang menunjukkan hubungan antara penyisihan BOD akibat beban organik yang berlebihan dengan OLR yang sudah direncanakan. Penentuan *f-overload* ini berdasarkan grafik yang tertera pada Gambar 5.6 tentang faktor penyisihan BOD terhadap *organic loading* pada ABR.

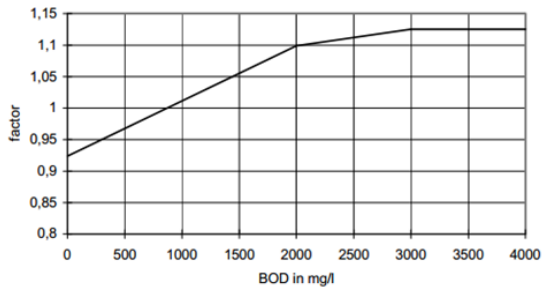


Gambar 5.6 Faktor Penyisihan BOD terhadap *Organic Loading* pada ABR

Sumber: Sasse, 1998

Berdasarkan Gambar 5.6, dengan OLR yang direncanakan sebesar $< 3 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari}$ didapat F-overload sebesar 1.

- b. Faktor kekuatan (*f-strength*), yaitu faktor yang menunjukkan hubungan antara *removal* BOD pada unit ABR, dengan kekuatan atau konsentrasi BOD yang ada pada air limbah yang akan diolah. Penentuan *f-strength* ini berdasarkan grafik yang tertera pada Gambar 5.7 yaitu grafik faktor penyisihan BOD terhadap konsentrasi BOD pada ABR.

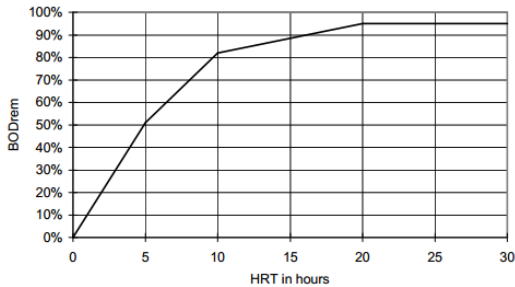


Gambar 5.7 Faktor Penyisihan BOD terhadap Konsentrasi BOD pada ABR

Sumber: Sasse, 1998

Berdasarkan Gambar 5.7, dengan memasukkan konsentrasi BOD influen ABR yaitu sebesar $1628,5 \text{ mg/L}$, maka didapat *fstrength* sebesar 1,07.

- c. F-HRT, yaitu faktor yang menunjukkan hubungan antara *removal* BOD pada unit ABR dengan HRT. Penentuan FHRT ini berdasarkan pada grafik yang tertera pada Gambar 5.8.

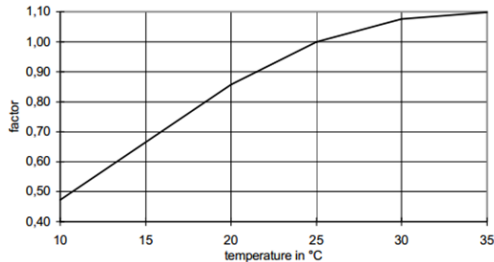


Gambar 5.8 Faktor Penyisihan BOD terhadap HRT

Sumber: Sasse, 1998

Berdasarkan Gambar 5.8, dengan memasukkan nilai HRT pada ABR yaitu 12 jam, maka akan didapat F-HRT sebesar 0,83.

- d. *f-temperature* yaitu faktor yang menunjukkan hubungan antara *removal* BOD yang ada pada ABR dengan suhu air limbah yang akan diolah. Penentuan *f-temperature* ini berdasarkan pada grafik yang tertera pada Gambar 5.9 yaitu Grafik Hubungan efisiensi *removal* COD dengan temperatur pada ABR.

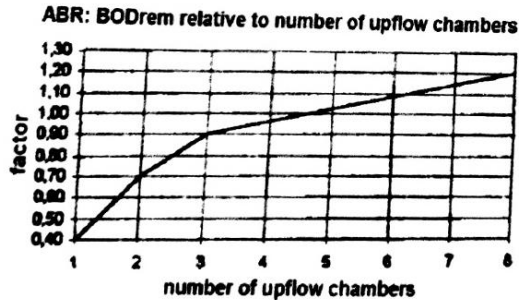


Gambar 5.9 Faktor Penyisihan BOD terhadap Temperatur

Sumber: Sasse, 1998

Berdasarkan Grafik 5.9, dengan suhu air yang akan diolah pada IPAL Anaerobic Filter ini sebesar 25°C, maka didapatkan Ftemp sebesar 1.

- e. f-jumlah kompartemen yaitu faktor yang menunjukkan hubungan antara *removal*/BOD yang ada pada ABR dengan jumlah kompartemen. Penentuan f-jumlah kompartemen ini berdasarkan pada grafik yang tertera pada Gambar 5.10 yaitu grafik faktor penyisihan BOD terhadap jumlah kompartemen.



Gambar 5.10 Faktor Penyisihan BOD terhadap Jumlah Kompartemen

Sumber: Sasse, 1998

Berdasarkan Gambar 5.10, dengan jumlah kompartemen sebanyak 4, maka didapatkan f-jumlah kompartemen sebesar 0,96.

Setelah kelima faktor tersebut diketahui besarnya, maka dapat diketahui *removal* BOD pada *Anaerobic Baffled Reactor* dengan rumus sebagai berikut.

%remBOD pada ABR = F-overload x F-strength x F-HRT x Ftemp x F-jumlah kompartemen

$$= 1 \times 1,07 \times 0,83 \times 1 \times 0,96$$

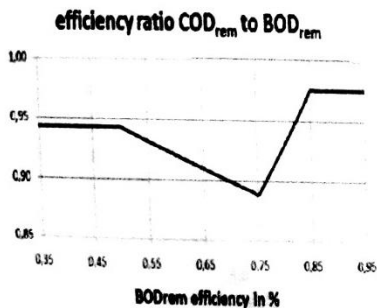
$$= 85\%$$

$$\text{BOD}_{\text{ef}} \text{ ABR} = \text{BOD}_{\text{in}} \text{ ABR} \times (1 - \text{COD}_{\text{rem}} \text{ ABR})$$

$$= 1628,5 \text{ mg/L} \times (1 - 0,85)$$

$$= 244,3 \text{ mg/L}$$

Kemudian, dihitung *removal* COD dengan menggunakan grafik pada Gambar 5.11 tentang penyisihan COD berdasarkan penyisihan BOD.



Gambar 5.11 Penyisihan COD berdasarkan Penyisihan BOD

Sumber: Sasse, 1998

Berdasarkan Gambar 5.11, dapat diketahui bahwa BOD *removal* berdasarkan COD *removal*. Dari hasil perhitungan, didapat COD *removal* sebesar 94%. Apabila disesuaikan dengan grafik tersebut, maka didapat faktor rasio *removal* BOD/COD sebesar 1.

$$\begin{aligned} \% \text{COD penyisihan total} &= \% \text{BOD penyisihan total} \times \text{faktor penyisihan BOD/COD} \\ &= 85\% \times 0,98 \\ &= 83\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CDef ABR} &= (1 - \% \text{penyisihan COD}) \times \text{COD influen} \\ &= (1 - 0,83) \times 2990,2 \text{ mg/L} \\ &= 508,3 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Menurut Tchobanoglous *et al.* (2003), efisiensi *removal* untuk TSS dapat ditentukan berdasarkan waktu detensi didalam unit tersebut. Berikut merupakan persamaan yang digunakan:

$$\% \text{Removal} = \frac{\theta H}{a + b\theta H}$$

Dimana:

θH = waktu detensi t_d

a = konstanta (BOD= 0,018; TSS= 0,0075)

b = konstanta (BOD= 0,020; TSS= 0,014)

dengan t_d selama 3 jam, maka didapatkan $\% \text{removal}$ TSS:

$$\% \text{Removal} = \frac{\theta H}{a + b\theta H} = \frac{12 \text{ jam}}{0,0075 + 0,014(12 \text{ jam})} = 68,4\%$$

Maka TSS effluent dari ABR adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{TSS ef} &= \text{TSS in} - (\text{TSS in} \times \text{TSS removal}) \\
 &= 227,3 \text{ mg/L} - (227,3 \text{ mg/L} \times 68,4\%) \\
 &= 71,8 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Maka didapat efluen akhir dari ABR adalah sebagai berikut:

- a. BOD efluen = 244,3 mg/L
- b. COD efluen = 508,3 mg/L
- c. TSS efluen = 71,8 mg/L

Hasil dari efluen air limbah yang telah diolah, nantinya akan langsung dibuang ke saluran air terbuka di sekitar tempat tersebut. Selanjutnya, untuk melakukan perhitungan dimensi pada kompartemen ABR, maka diperlukan data sebagai berikut:

- a. Lebar kompartemen = Lebar tangki anaerobik
- b. Kedalaman = 1,5 m
- c. Panjang kompartemen = 0,75 m (50% dari kedalaman)

Maka didapat volume kompartemen ABR adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V \text{ kompartemen ABR} &= p \times l \times h \\
 V &= 0,75 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \\
 V &= 0,788 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dihitung volume keseluruhan dari ABR menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume total ABR} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{kedalaman} \times \text{jumlah kompartemen} \\
 &= 0,75 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 4 \\
 &= 3,15 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$V \text{ masuk} = 0,083 \text{ m}^3/\text{jam} \times 12 \text{ jam} = 0,9 \text{ m}^3$$

Maka, volume ABR tersebut memenuhi.

$$\begin{aligned}
 \text{Cek OLR} &= \text{Debit rata-rata} \times \text{CODin} / (\text{volume total ABR} \times 1000) \\
 &= 2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 2990,2 \text{ mg/L} / (3,15 \text{ m}^3 \times 1000) \\
 &= 1,89 \text{ kg COD} / \text{m}^3 \cdot \text{hari} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cek } V \text{ upflow} &= \text{debit rata-rata} / \text{luas permukaan kompartemen} \\
 &= 0,083 \text{ m}^3/\text{jam} / 0,53 \text{ m}^2 \\
 &= 0,2 \text{ m/jam} \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Produksi Biogas

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 Q \text{ in} &= 2 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{CODin} &= 2990,2 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CODout} &= 508,3 \text{ mg/L} \\ \text{Mr CH}_4 &= 64 \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\begin{aligned} \text{Synthesis yield in anaerob (Y)} &= 0,03 \text{ dan } 0,06 \text{ g VSS/g COD} \\ \text{Ratio MLVSS/MLSS} &= 0,85 \end{aligned}$$

Perhitungan Kestimbangan Massa

$$\begin{aligned} \text{Akumulasi} &= \text{Massa in} - \text{Massa out} + \text{Massa hasil konversi} \\ 0 &= \text{CODin} - \text{COD out} - \text{CODmetana} - \text{CODvss} \\ \text{CODin} - \text{COD out} &= \text{COD metana} + \text{CODvss} \\ \text{CODin} &= Q \times \text{CODin} \\ &= 2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 2990,2 \text{ mg/hari} \\ &= 5980,4 \text{ g/hari} \\ \text{CODout} &= Q \times \text{CODout} \\ &= 2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 508,3 \text{ mg/hari} \\ &= 1016,6 \text{ g/hari} \\ \text{CODvss} &= 1,42 \times Y \times (\text{CODin} - \text{CODout}) \\ &= 1,42 \times 0,06 \times (5980,4 - 1016,6) \text{ mg/L} \\ &= 423 \text{ g/hari} \\ \text{CODmetana} &= \text{CODin} - \text{CODout} - \text{CODvss} \\ &= (5980,4 - 1016,6 - 423) \text{ g/hari} \\ &= 4540,8 \text{ g/hari} \end{aligned}$$

Produksi Biogas

$$\begin{aligned} \text{CODmetana} &= 4540,8 \text{ g/hari} \\ T &= 25 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 298,15 \text{ K} \\ \text{Konstanta gas (R)} &= 0,082057 \text{ atm.L/mol.K} \\ \text{Mol gas (n)} &= 1 \text{ mol} \\ \text{Tekanan gas} &= 1 \text{ atm} \\ \text{Volume gas (Vgas)} &= n \times R \times T / P \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1 \times 0,082057 \times 298,15 / 1 \\
&= 24,47 \text{ L/mol} \\
\text{Produksi CH}_4 &= (V_{\text{gas}} / 64) \times \text{COD}_{\text{metana}} \\
&= (24,47 / 64) \times 4540,8 \\
&= 1736,15 \text{ L/hari} \\
&= 1,73 \text{ m}^3/\text{hari}
\end{aligned}$$

Produksi Lumpur

$$\begin{aligned}
\text{COD}_{\text{vss}} &= 423 \text{ g/hari} \\
\text{COD}_{\text{tss}} &= \text{COD}_{\text{vss}} / \text{ratio MLVSS/MLSS} \\
&= 423 / 0,85 \\
&= 497,65 \text{ g/hari} \\
&= 0,49 \text{ kg/hari} \\
\text{Ssi} &= 1,025 \\
\rho_{\text{air}} &= 1.000 \text{ kg/m}^3 \\
\% \text{solid} &= 5\% \\
\text{Debit lumpur (Q}_{\text{sludge}}) &= \text{COD}_{\text{tss}} / (\text{Ssi} \times \rho_{\text{air}} \times \% \text{solid}) \\
&= 0,49 / (1,025 \times 1.000 \times 0,05) \\
&= 0,0095 \text{ m}^3/\text{hari}
\end{aligned}$$

B. Mass Balance

Perhitungan *mass balance* diperlukan untuk mengetahui apakah terjadi kehilangan massa pada saat proses pengolahan terjadi. Pengecekan *Mass Balance* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Tangki Anaerobik

1. Inlet

$$\begin{aligned}
\text{COD}_{\text{in}} &= 3883,40 \text{ mg/L} \\
\text{MCOD}_{\text{in}} &= \text{COD influen} \times \text{Q rata-rata} \\
&= 7,76 \text{ kg/hari} \\
\text{BOD}_{\text{in}} &= 2171,29 \text{ mg/L} \\
\text{MBOD}_{\text{in}} &= \text{BOD influen} \times \text{Q rata-rata} \\
&= 4,34 \text{ kg/hari} \\
\text{TSS}_{\text{in}} &= 520,18 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MTSSin} &= \text{TSS influen} \times \text{Q rara-rata} \\ &= 1,04 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

2. Massa terolah

$$\text{CODrem} = 893,18 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{MCODrem} &= \text{CODrem} \times \text{Q rata-rata} \\ &= 1,78 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{MCOD gas} = 30\% \times \text{MCODrem} = 0,53 \text{ kg/hari}$$

$$\text{MCOD solid} = 70\% \times \text{MCODrem} = 1,25 \text{ kg/hari}$$

$$\text{BOD rem} = 542,8 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{MBODrem} &= \text{BODrem} \times \text{Q rara-rata} \\ &= 1,08 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{TSS rem} = 292,86 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{MTSSrem} &= \text{TSSrem} \times \text{Q rara-rata} \\ &= 0,58 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

3. Outlet

$$\text{COD out} = 2990,2 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{MCODout} &= \text{COD efluen} \times \text{Q rara-rata} \\ &= 5,98 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

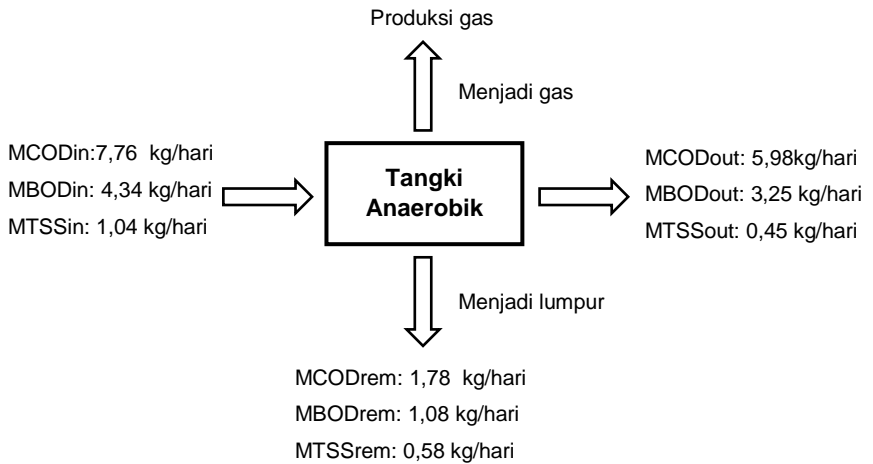
$$\text{BOD out} = 1628,5 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{MBODout} &= \text{BOD efluen} \times \text{Q rara-rata} \\ &= 3,25 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{TSS out} = 227,3 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{MTSSout} &= \text{TSS efluen} \times \text{Q rara-rata} \\ &= 0,45 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Diagram *mass balance* pada pengolahan ABR, dapat dilihat pada Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Diagram *Mass Balance* Tangki Anaerobik

ABR

1. Inlet

CODin = 2990,2 mg/L
 MCODin = COD influen x Q rata-rata
 = 5,98 kg/hari
 BODin = 1628,5 mg/L
 MBODin = BOD influen x Q rata-rata
 = 3,25 kg/hari
 TSSin = 227,3 mg/L
 MTSSin = TSS influen x Q rata-rata
 = 0,45 kg/hari

2. Massa terolah

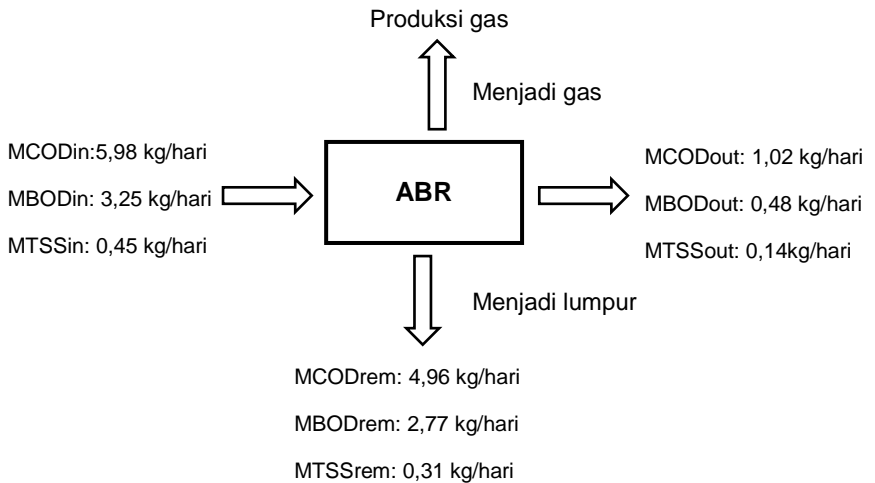
CODrem = 2481,86 mg/L
 MCODrem = CODrem x Q rata-rata
 = 4,96 kg/hari
 MCOD gas = 30% x MCODrem = 1,48 kg/hari
 MCOD solid = 70% x MCODrem = 3,47 kg/hari
 BOD rem = 1384,2 mg/L

$$\begin{aligned} \text{MBODrem} &= \text{BODrem} \times Q \text{ rata-rata} \\ &= 2,77 \text{ kg/hari} \\ \text{TSS rem} &= 155,5 \text{ mg/L} \\ \text{MTSSrem} &= \text{TSSrem} \times Q \text{ rata-rata} \\ &= 0,31 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

3. Outlet

$$\begin{aligned} \text{COD out} &= 508,3 \text{ mg/L} \\ \text{MCODout} &= \text{COD efluen} \times Q \text{ rata-rata} \\ &= 1,02 \text{ kg/hari} \\ \text{BOD out} &= 244,3 \text{ mg/L} \\ \text{MBODout} &= \text{BOD efluen} \times Q \text{ rata-rata} \\ &= 0,48 \text{ kg/hari} \\ \text{TSS out} &= 71,8 \text{ mg/L} \\ \text{MTSSout} &= \text{TSS efluen} \times Q \text{ rata-rata} \\ &= 0,14 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Diagram *mass balance* pada pengolahan ABR, dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Diagram *Mass Balance* ABR

C. Kebutuhan Nutrien

Kebutuhan nutrien adalah jumlah kandungan organik yang terdapat dalam air limbah yang digunakan untuk mendukung proses degradasi kandungan polutan dalam air limbah dalam proses pengolahan biologis. Kebutuhan nutrient dilihat dari kandungan C, N, dan P. Nilai C didapatkan dari konsentrasi BOD dalam air limbah. Kebutuhan nutrien perlu diketahui guna melihat apakah konsentrasi C, N, dan P berlebih, kurang atau sesuai dengan kebutuhan. Kebutuhan nutrient ini juga berpengaruh terhadap kerja mikroorganisme dalam proses pengolahan biologis. Berikut merupakan perhitungan kebutuhan nutrien dalam unit *Anaerobic Baffled Reactor*:

Direncanakan:

Q	= 2	m ³ /hari	
Y	= 0,6	mg vss/mg BOD	KD (0,4-0,8)
Kd	= 0,08	g vss/g vss.day	KD (0,06-0,2)
Ratio			KD (0,8-0,9)
MLVSS/MLSS	= 0,85		
MLSS	= 3000	mg/L	Kd (1000-3000)
	= 3	kg/m ³	
OLR	= < 4,5	kg BOD/m ³ .hari	
SRT	= 30	hari	
So [BOD]	= 1628,5	mg/L	
	= 1,63	kg/m ³	
Se [BOD]	= 244,3	mg/L	
	= 0,24	kg/m ³	
NH ₃ bebas	= 69,25	mg/L	
	= 0,069	kg/m ³	
S So [TSS]	= 227,3	mg/L	
	= 0,23	kg/m ³	
S Se [TSS]	= 71,8	mg/L	
	= 0,071	kg/m ³	

Perhitungan:

$$\begin{aligned} Y \text{ obs} &= Y/(1+ K_d.SRT) \\ &= 0,6 \text{ mg vss/mg BOD} / \\ &\quad (1+(0,08 \text{ vss/ g vss day} \times \\ &\quad 30 \text{ hari}) \\ &= 0,019 \quad \text{g vss/ kg BOD} \\ \text{Px bio (Px MLVSS)} &= Y \text{ obs} \times Q \text{ ave} \times (S_o - S_e) \\ &\quad 0,019 \text{ kg VSS/Kg BOD} \times \\ &\quad 2 \text{ m}^3/\text{hari} \times \\ &\quad (1,63 - 0,24) \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,053 \quad \text{kg/hari} \\ \text{V bangunan} &= 3,15 \quad \text{m}^3 \\ \text{Cek OLR} &= (Q \text{ ave} \times [\text{BODin}])/V \text{ bangunan} \\ &\quad (2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,63 \text{ kg/m}^3) / \\ &\quad 3,15 \text{ m}^3 \\ &= 1,03 \quad \text{Kg BOD/m}^3 \text{ day} \\ &\quad \text{(memenuhi)} \\ \text{TSS Removed} &= (S_o - S_e) \times Q \text{ bangunan} \\ &\quad (0,23 \text{ kg/m}^3 - 0,071 \text{ kg/m}^3) \times \\ &\quad 2 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,318 \quad \text{kg/hari} \\ \text{Px TSS (Px MLSS)} &= (X \text{ TSS} \times V \text{ bangunan})/SRT \\ &= (3 \text{ kg/m}^3 \times 3,15 \text{ m}^3) / 30 \text{ hari} \\ &= 0,315 \quad \text{kg/hari} \\ \text{Px SS (sludge yg dibuang)} &= \text{Px TSS} + \text{TSS removed} \\ &= 0,315 \text{ kg/hari} + 0,318 \text{ kg/hari} \\ &= 0,633 \quad \text{kg/hari} \\ \\ \text{Kontrol F/M} & \\ \text{MLVSS} &= \text{Ratio MLVSS/MLSS} \times \text{MLSS} \\ &= 0,85 \times 3000 \text{ mg/L} \\ &= 2.550 \quad \text{mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2,55 \quad \text{Kg/m}^3 \\
\text{Cek F/M} &= (Q \text{ ave} \times \text{So [BOD]}) / \\
&\quad (V \text{ bangunan} \times \text{MLVSS}) \\
&= (2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,63 \text{ kg/m}^3) / \\
&\quad (3,15 \text{ m}^3 \times 2,55 \text{ kg/m}^3) \\
&= 0,04 \quad \text{Kg BOD/ Kg MLVSS day} \\
\\
\text{Kebutuhan nutrien} & \\
\text{Nitrogen} &= \text{Mr C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N} \\
&= 113 \\
\text{Kebutuhan N} &= ((\text{Ar N}/\text{Mr C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}) \times \text{Px bio}) \\
&= 12\% \times 0,053 \text{ Kg/hari} \\
&= 0,0064 \quad \text{Kg/hari} \\
\text{N input [No]} &= Q \text{ ave} \times [\text{No}] \\
&= 2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 0,069 \text{ kg/m}^3 \\
&= 0,138 \quad \text{Kg/hari} \\
\text{Sisa N} &= \text{N input [No]} - \text{Kebutuhan N} \\
&= 0,138 \text{ kg/hari} - 0,0064 \text{ kg/hari} \\
&= 0,132 \quad \text{Kg/hari} \\
\text{Konsentrasi N ef} &= \text{Sisa N}/Q \\
&= (0,132 \text{ kg/hari} / 2\text{m}^3/\text{hari}) \\
&= 0,066 \quad \text{kg/m}^3 \\
&= 66 \quad \text{mg/L}
\end{aligned}$$

5.5.6 ED Constructed Wetland

Direncanakan:

$$\begin{aligned}
\text{Jumlah CW} &= 1 \text{ buah} \\
\text{Kedalaman media CW (d)} &= 70 \text{ cm (} \textit{Scirpus grossus} \text{)} \\
\text{Media yang digunakan} &= \textit{medium gravel} \\
&\bullet \text{ Ks} &= 5.000 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}^{(*)} \\
&\bullet \alpha &= 0,4^{(*)} \\
&\bullet \text{ K}_{20} &= 1,104^{(*)}
\end{aligned}$$

Kemiringan tanah (*slope*) = 0,01

(Keterangan (*): EPA, 1999)

Diketahui karakteristik awal air limbah:

Q influen CW = 2 m³/hari

Konsentrasi BOD = 244,3 mg/L

Konsentrasi COD = 508,3 mg/L

Konsentrasi TSS = 71,8 mg/L

pH = 7,4

Suhu = 25°C

Karena pada umumnya suhu di daerah perencanaan tidak dapat diprediksikan secara pasti. Sehingga diasumsikan suhu minimum sama dengan suhu normal pada daerah perencanaan.

Kedalaman media CW (d)

Kedalaman media CW ditentukan berdasarkan jenis vegetasi yang akan digunakan pada sistem CW yang direncanakan (Wallace dan Robert, 2006). Dalam perencanaan ini, vegetasi yang akan digunakan adalah *Scirpus grossus*. Tanaman ini saat dewasa mempunyai kemampuan penetrasi rizoma hingga sedalam 0,7 m (Konnerup *et al.*, 2009). Oleh karena itu, kedalaman media CW yang digunakan sedalam $d = 0,7 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$.

Tinggi air dalam media wetland (h)

Pada perhitungan wetland ini, diketahui kedalaman media sebesar 1 m dengan sehingga tinggi air dalam media dapat direncanakan sedalam 1 m.

Direncanakan:

Panjang = 5 m

Lebar = 0,7 m

Laju konstan suhu (K_T)

Nilai K_T pada temperatur air limbah industri pangan skala rumah tangga (suhu air limbah, $T = 25^\circ\text{C}$) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$K_T = K_{20} (1,1)^{(T-20)}$, T dalam °C

$$K_{25} = 0,86 (1,1)^{(25-20)},$$

$$K_{25} = 1,38/\text{hari}$$

Waktu detensi *pore-space* (t')

$$t' = \frac{L \times W \times \alpha \times d}{Q}$$

$$t' = \frac{5 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 0,4 \times 1 \text{ m}}{2 \text{ m}^3/\text{hari}}$$

$$t' = 0,7 \text{ hari}$$

Konsentrasi BOD efluen (C_e)

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{(-K_T \cdot t')}$$

$$\frac{C_e}{244,3} = e^{(-1,38 \cdot 0,7)}$$

$$C_e = 0,38 \times 244,3 \text{ mg/L}$$

$$C_e = 92,8 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu } < 100 \text{ mg/L)}$$

% Efisiensi penyisihan BOD

$$\text{Konsentrasi BOD awal } (C_o) = 244,3 \text{ mg/L}$$

$$\text{Konsentrasi BOD akhir } (C_e) = 92,8 \text{ mg/L}$$

$$\text{Removal BOD} = \frac{(BOD_{in} - BOD_{ef})}{BOD_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{(244,3 - 92,8)}{244,3} \times 100\%$$

$$= 62 \%$$

Luas permukaan CW (A_s)

$$A_s = L \times W$$

$$A_s = 5 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}$$

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

Berdasarkan perhitungan diatas, dimensi CW adalah:

$$\text{Panjang } (L) = 5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar } (W) = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman total} = \text{kedalaman media} + \text{freeboard}$$

$$= 1 \text{ m} + 0,4 \text{ m}$$

$$= 1,4 \text{ m}$$

Pengecekan *hydraulic loading rate* (HLR)

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

$$\text{HLR} = \frac{2 \text{ m}^3/\text{hari}}{3,5 \text{ m}^2}$$

$$\text{HLR} = 0,57 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$
$$= 57 \text{ cm/hari}$$

(OK, karena $0,57 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} < \text{HLR} < 1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ (Ellis *et al.*, 2003))

Pada perencanaan CW ini, dibuat saluran penampung air sebelum masuk ke dalam media wetland. Saluran ini direncanakan sebagai berikut:

Lebar = 0,7 m (sesuai lebar CW)

Kedalaman = 1,4 m (sesuai kedalaman CW)

Panjang = 0,5 m

Direncanakan perforated wall dengan perhitungan berikut: Perforated Baffle → di zona inlet dan outlet

Direncanakan:

Diameter lubang = 0,1 m

Panjang *baffle* = lebar bak = 0,7 m

Tinggi *baffle* = 1,1 m

Tebal *baffle* = 0,05 m

Perhitungan:

$$\text{Jari – jari hidrolis (R)} = A/P = \frac{1}{4} D$$
$$= \frac{1}{4} \times 0,10 \text{ m} = 0,025 \text{ m}$$

$$\text{Nre} = \frac{v_h \times R}{u}$$
$$= \frac{0,072 \times 0,025}{0,8975 \times 10^{-6}}$$

$$\text{Vh} = 0,072 \text{ m/detik}$$

$$\text{Q tiap lubang (q)} = \text{Vh} \cdot A_{\text{cross}}$$
$$= 0,072 \text{ m/detik} \cdot (\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,10^2)$$
$$= 0,0005 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Jumlah lubang (n)} = \text{Jumlah lubang horizontal} \times \text{Jumlah lubang vertikal}$$
$$= 5 \text{ buah} \times 8 \text{ buah}$$
$$= 40 \text{ lubang}$$

Susunan lubang

Horizontal = 5 buah (jarak antar horizontal 0,03 m)
 Vertikal = 8 buah (jarak antar vertikal 0,06 m)

Jarak horizontal antar lubang (sh)

$$sh = \frac{\text{lebar baffle} - (\sum \text{lubang} \times d)}{(\sum \text{lubang} + 1)} = \frac{0,7 - (5 \times 0,10)}{(5 + 1)} = 0,03 \text{ m}$$

Jarak vertikal antar lubang (sv)

$$sv = \frac{\text{tinggi baffle} - (\sum \text{lubang} \times d)}{(\sum \text{lubang} + 1)} = \frac{1,1 - (8 \times 0,10)}{(8 + 1)} = 0,03 \text{ m}$$

Debit efluen (Q_{ef})

Debit yang masuk (Q_{in}) ke dalam CW tidak akan sama dengan debit yang keluar (Q_{ef}) dari CW. Debit efluen CW dipengaruhi oleh laju evapotranspirasi (ET), presipitasi (P) dan infiltrasi (I).

Debit efluen CW dapat dihitung menggunakan cara berikut:

$$Q_{ef} = Q_{in} - Q_{ET} + Q_P + Q_I$$

Keterangan:

Q_{ET} = debit evapotranspirasi, $m^3/hari$

Q_P = debit presipitasi, $m^3/hari$

Q_I = debit infiltrasi, $m^3/hari$

Berikut ini merupakan perhitungan dari debit yang keluar (Q_{ef}) dari CW:

Diketahui:

Q_{in} = 2 $m^3/hari$
 Luas permukaan CW (A_s) = 3,5 m^2
 ET = 28,55 mm/hari
 P = 18,8 mm/hari
 I = 0 mm/hari

Debit evapotranspirasi (Q_{ET})

$$Q_{ET} = A_s \times ET$$

$$= 3,5 \text{ m}^2 \times \frac{28,55}{1000} \text{ m/hari}$$

$$= 0,09 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Debit presipitasi (Q_P)

$$Q_P = A_s \times P$$

$$= 3,5 \text{ m}^2 \times \frac{18,8}{1000} \text{ m/hari}$$

$$= 0,06 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Debit efluen (Q_{ef})

$$Q_{ef} = Q_{in} - Q_{ET} + Q_P + Q_i$$

$$= (2 - 0,9 + 0,6 + 0) \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 1,7 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Perhitungan dimensi pipa efluen CW

$$\text{Slope} = 0,01 \text{ m}$$

$$\text{Panjang pipa} = 0,85 \text{ m}$$

$$\text{Debit aliran keluar dari CW (Q)} = 0,00002 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Koefisien kekasaran pipa (C)} = 120$$

$$\text{Headloss pada pipa (Hf)} = \text{slope} / L$$

$$= 0,01 / 0,85 \text{ m}$$

$$= 0,012 \text{ m}$$

Perhitungan diameter pipa (D) menggunakan rumus berikut:

$$Hf = \left(\frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times L$$

$$0,012 = \left(\frac{0,00002}{0,00155 \times 120 \times D^{2,63}} \right)^{1,85} \times 0,85$$

$$= 75 \text{ mm (diameter pipa pasaran)}$$

Perhitungan kecepatan aliran dalam pipa menggunakan ukuran pipa pasaran, yaitu:

$$v = Q / \left(\frac{1}{4} \pi \times D^2 \right)$$

$$= 0,00002 \text{ m}^3/\text{detik} / \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,75^2 \right)$$

$$= 0,1 \text{ m/detik}$$

- Degradasi BOD air limbah yang dibantu dengan adanya tanaman

Proses degradasi CW tidak hanya dibantu oleh media, tetapi juga oleh tanaman dan *rhizobacteria*. *Rhizobacteria* merupakan bakteri berkoloni pada akar dan hidup bermutualisme dengan tanaman. Bakteri ini memanfaatkan limbah sebagai sumber nutrisi untuk hidup. Menurut Diaz, *et al.* (2014), CW yang ditumbuhi tanaman (*planted*) memiliki nilai *removal* BOD yang lebih besar dibanding CW tanpa tanaman (*unplanted*). *Planted* CW mempunyai nilai *removal* BOD lebih besar 4,4% daripada *unplanted* CW. Fungsi tanaman pada CW selain mempunyai nilai estetika adalah menyediakan jalur hidraulik pada media dan menjaga agar konduktivitas hidraulik limbah tetap stabil (Mara, 2006).

Berikut ini merupakan perhitungan konsentrasi BOD air limbah yang dapat didegradasi oleh tanaman.

Konsentrasi BOD awal (BOD_{in}) = 244,3 mg/L

Konsentrasi BOD yang terdegradasi dibantu oleh tanaman (BOD_{dt})

$$\begin{aligned} BOD_{dt} &= 4,4\% \times 244,3 \text{ mg/L} \\ &= 10,75 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Sedangkan, konsentrasi BOD yang dapat didegradasi oleh media CW adalah:

Konsentrasi BOD terdegradasi oleh media CW

$$\begin{aligned} BOD_{dm} &= BOD_{in} - BOD_{ef} \\ &= (244,3 - 92,8) \text{ mg/L} \\ &= 151,5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Sehingga, konsentrasi BOD efluen pada CW adalah:

Konsentrasi BOD pada efluen CW (BOD_{ef} CW)

$$\begin{aligned} BOD_{ef} \text{ CW} &= BOD_{in} - BOD_{dt} - BOD_{dm} \\ &= 244,3 - 10,75 - 151,5 \text{ mg/L} \\ &= 82,1 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Konsentrasi BOD pada efluen CW sebesar 82,1 mg/L yang sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya untuk Industri Pengolahan Hasil Perikanan, yaitu sebesar 100 mg/L.

Kebutuhan tanaman CW

Kerapatan tanaman pada perencanaan *horizontal subsurface* CW ini adalah 8 tanaman/m².

Sehingga kebutuhan tanaman pada perencanaan kali ini dapat dihitung sebagai berikut:

Diketahui:

$$\text{Luas permukaan CW (As)} = 3,5 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tanaman CW} &= \text{As} \times \text{kerapatan tanaman} \\ &= 3,5 \text{ m}^2 \times 8 \text{ tanaman/m}^2 \\ &= 28 \text{ tanaman} \end{aligned}$$

Sehingga, tanaman yang dibutuhkan pada unit CW adalah sebanyak 28 tanaman.

Penyisihan Total Suspended Solid (TSS)

Penyisihan TSS dapat dihitung menggunakan rumus dari Metcalf dan Eddy (2003) berikut ini:

$$C_e = C_o [0,1058 + 0,0011 (\text{HLR})]$$

Keterangan:

C_e = efluen TSS, mg/L

C_o = influen TSS, mg/L

HLR = *hydraulic loading rate*, cm/hari

Pada perencanaan ini diketahui:

$$C_o = 71,8 \text{ mg/L}$$

$$\text{HLR} = 57 \text{ cm/hari}$$

$$\begin{aligned} C_e &= 71,8 \text{ mg/L} [0,1058 + 0,0011 (57 \text{ cm/hari})] \\ &= 12 \text{ mg/L (OK, karena memenuhi baku mutu} < 30 \text{ mg/L)} \end{aligned}$$

Cek efisiensi penyisihan TSS

$$\text{Konsentrasi TSS awal (TSSin)} = 71,8 \text{ mg/L}$$

$$\text{Konsentrasi TSS akhir (TSSef)} = 12 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned} \text{Removal TSS} &= \frac{(TSS_{in} - TSS_{ef})}{TSS_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{(71,8 - 12)}{71,8} \times 100\% \\ &= 82\% \end{aligned}$$

Cek efisiensi penyisihan COD

Menurut Akrotos dan Vassilios (2007), CW mempunyai nilai efisiensi removal sebesar ± 85%. Sehingga pada perencanaan ini,

nilai efisiensi removal COD dianggap sama dengan penelitian yang telah dilakukan yaitu sebesar 80%.

Konsentrasi COD awal (COD_{in}) = 508,3 mg/L

Konsentrasi COD akhir (COD_{ef}) = (100-80)% x 508,3 mg/L
= 101,6 mg/L (OK, karena konsentrasi COD kurang dari baku mutu, yaitu 150 mg/L)

Selanjutnya dibuat diagram *mass balance* untuk *constructed wetland* dengan perhitungan sebagai berikut:

1. Inlet

COD_{in} = 508,3 mg/L

MCOD_{in} = COD influen x Q rata-rata
= 1,02 kg/hari

BOD_{in} = 244,3 mg/L

MBOD_{in} = BOD influen x Q rata-rata
= 0,49 kg/hari

TSS_{in} = 71,8 mg/L

MTSS_{in} = TSS influen x Q rata-rata
= 0,14 kg/hari

2. Massa Terolah

COD_{rem} = 406,64 mg/L

MCOD_{rem} = COD_{rem} x Q rata-rata
= 0,82 kg/hari

BOD_{rem} = 162,25 mg/L

MBOD_{rem} = BOD_{rem} x Q rata-rata
= 0,33 kg/hari

TSS_{rem} = 59,8 mg/L

MTSS_{rem} = TSS_{rem} x Q rata-rata
= 0,116 kg/hari

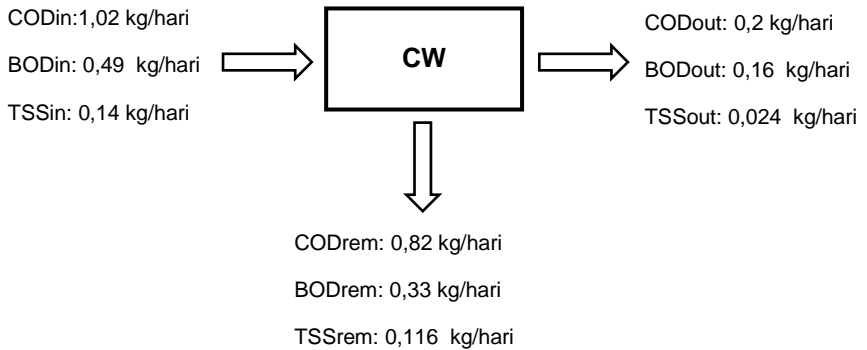
3. Outlet

COD_{out} = 101,6 mg/L

MCOD_{out} = COD efluen x Q rata-rata
= 0,2 kg/hari

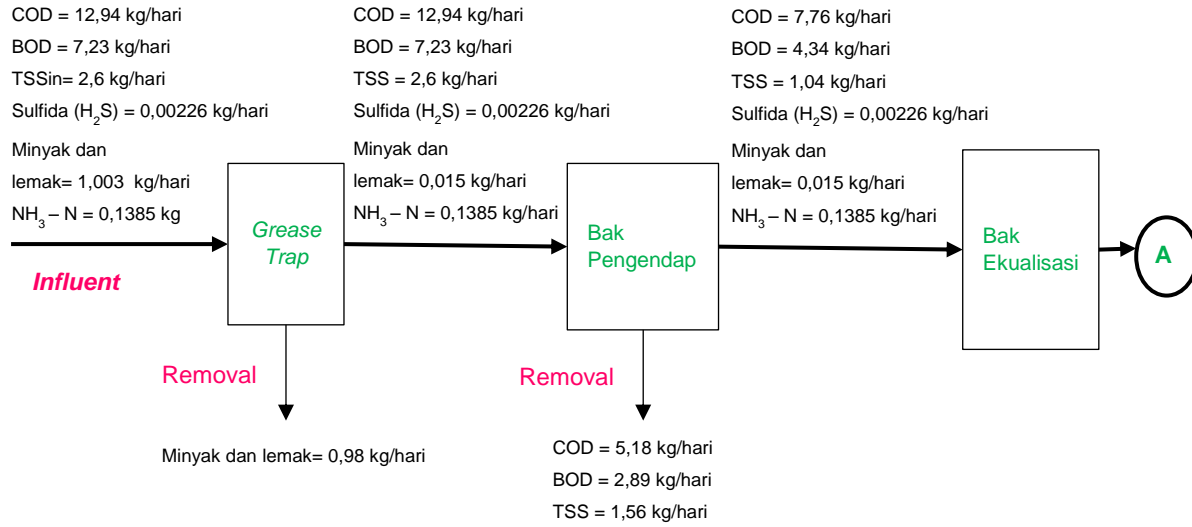
$$\begin{aligned}
 \text{BOD}_{\text{out}} &= 82,1 \text{ mg/L} \\
 \text{MBOD}_{\text{out}} &= \text{BOD efluen} \times \text{Q rata-rata} \\
 &= 0,16 \text{ kg/hari} \\
 \text{TSS}_{\text{out}} &= 12 \text{ mg/L} \\
 \text{MTSS}_{\text{out}} &= \text{TSS efluen} \times \text{Q rata-rata} \\
 &= 0,024 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Diagram *mass balance* pada pengolahan *Constructed Wetland*, dapat dilihat pada Gambar 5.15.

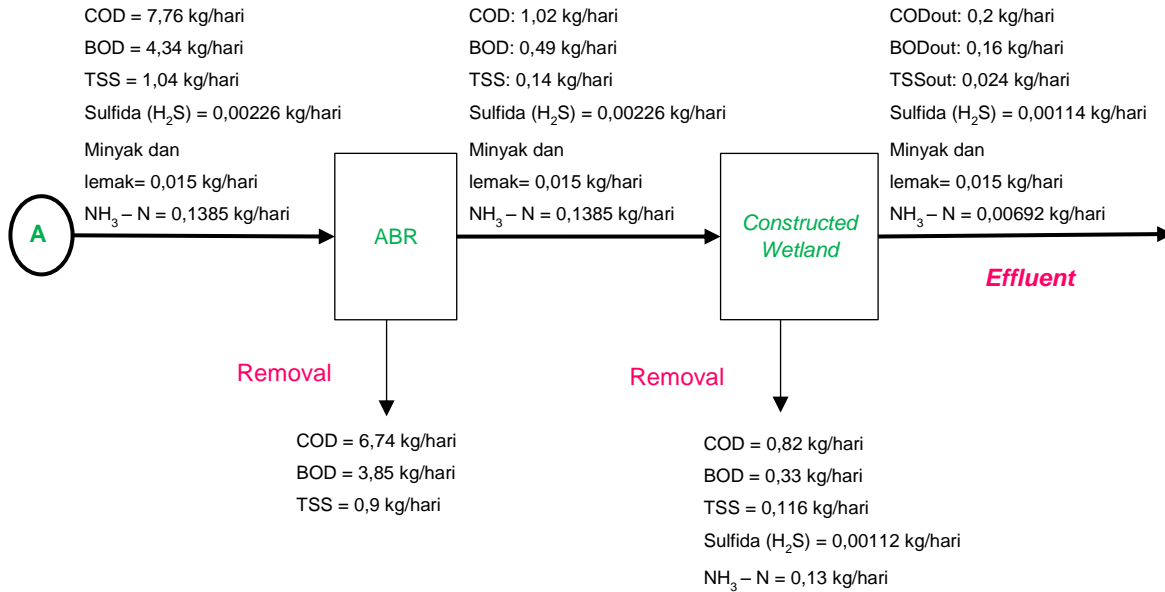


Gambar 5.14 Diagram *Mass Balance Constructed Wetland*

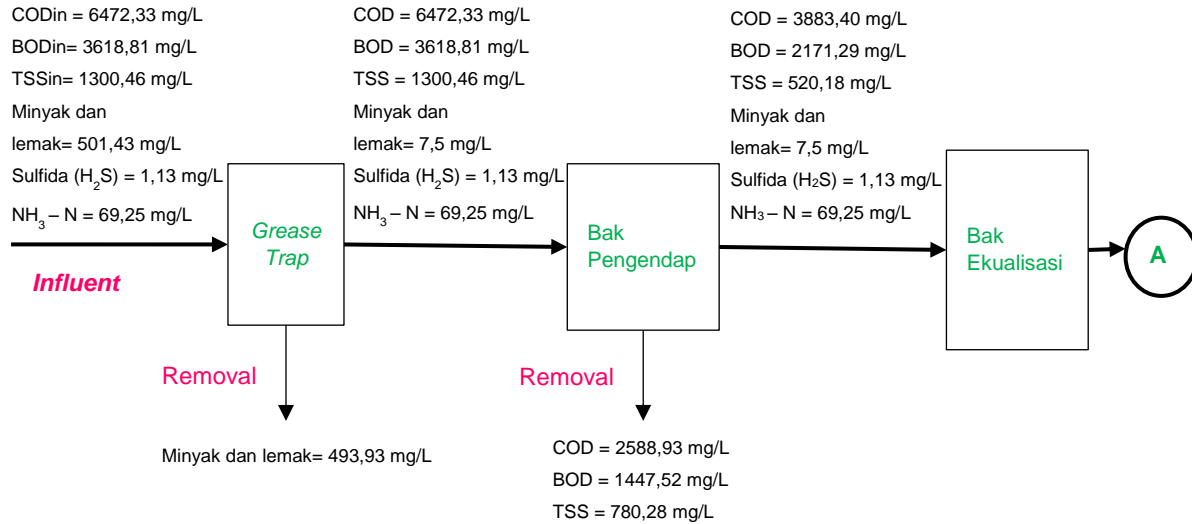
Kemudian dibuat diagram *mass balance* dari keseluruhan unit-unit IPAL. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui beban yang masuk maupun keluar serta yang tersisihkan. Diagram *mass balance* IPAL disajikan pada Gambar 5.15. Selain itu, untuk mengetahui konsentrasi yang keluar dari unit-unit IPAL, kemudian dibuat pula diagram alir dari konsentrasi IPAL yang masuk, tersisihkan dan keluar. Hasil perhitungan disajikan dengan diagram yang dapat dilihat pada Gambar 5.16. Hal ini bertujuan untuk mengetahui berapa kualitas air limbah yang masuk dan berapa kualitas air limbah yang keluar menuju badan air penerima. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, didapatkan *effluent* yang memenuhi baku mutu yaitu PERGUB Jatim No. 72 Tahun 2013.



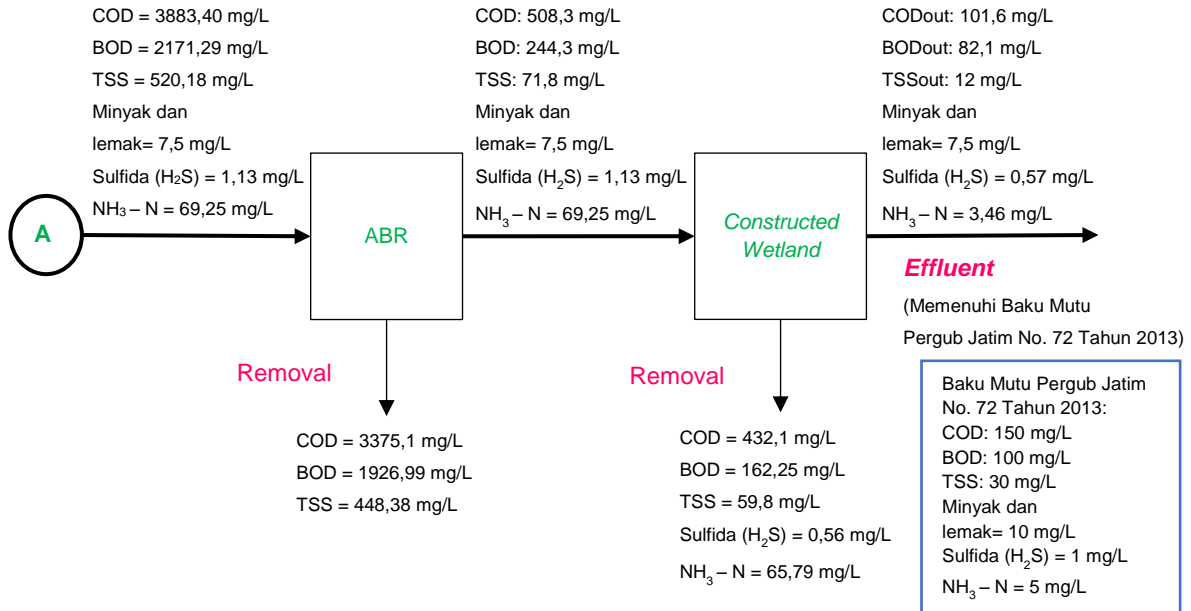
Gambar 5.15 Diagram Mass Balance IPAL



Gambar 5.15 Diagram *Mass Balance* IPAL



Gambar 5.16 Diagram Alir Konsentrasi IPAL



Gambar 5.16 Diagram Alir Konsentrasi IPAL

5.6 Pembuatan Gambar Unit-Unit IPAL Rencana

Setelah dilakukan perhitungan terhadap dimensi masing-masing unit IPAL dilanjutkan dengan membuat gambar detail yaitu *engineering design* dengan program Autocad 2007. Gambar detail ini bertujuan untuk memvisualisasikan unit IPAL ke dalam bentuk gambar agar mudah dipahami. Gambar detail tiap unit IPAL dapat dilihat pada Lampiran 5.

5.7 Penyusunan Profil Hidrolis

Profil hidrolis merupakan gambaran perbandingan tentang permukaan air dengan elevasi tanah. Profil hidrolis ini dihitung dengan memperkirakan seberapa besar penurunan muka air (*headloss*) akibat adanya gesekan, belokan, jatuhnya, kecepatan air di bangunan, dan akibat adanya gesekan air dengan media, serta beberapa faktor lain yang mempengaruhi penurunan muka air antar unit pengolahan.

Dalam perhitungan *headloss* akibat kehilangan tekanan dalam pipa, menggunakan persamaan Hazen-William sebagai berikut:

$$H_f = \frac{L}{(0,00155 \cdot C \cdot D^{2,63})^{1,85}} \times Q^{1,85}$$

Keterangan:

H_f = *mayor losses* (m)

L = panjang pipa (m)

Q = debit (L/detik)

C = koefisien kekasaran pipa (C = 120 untuk pipa PVC)

D = diameter pipa (cm)

Headloss akibat adanya kecepatan air di bangunan, menggunakan persamaan Darcy-Weisbach yang dijabarkan sebagai berikut:

$$H_f = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}f &= 1,5 \times \left(0,01989 + \frac{0,0005078}{4R}\right) \\L &= \text{panjang bangunan (m)} \\v &= 0,3 \text{ m/detik (kecepatan aliran)} \\g &= 9,81 \text{ m/detik}^2\end{aligned}$$

Headloss jatuhan dan belokan didasarkan pada persamaan *Manning*. Aliran air yang masuk ke dalam pipa inlet memiliki *headloss* akibat adanya jatuhan dan belokan yang disebabkan oleh aksesoris maupun faktor lainnya yang terdapat dalam bangunan. Persamaan *Manning* dijelaskan sebagai berikut:

$$Hf = \left(\frac{v \cdot n}{R^{\frac{2}{3}}}\right)^2 \times L$$

Dimana:

$$\begin{aligned}n &= 0,015 \text{ (kekerasan beton)} \\R &= \text{jari jari hidolis (m)} \\L &= \text{panjang jatuhan atau belokan}\end{aligned}$$

5.7.1 Grease Trap

Headloss pipa influen

$$\text{Debit} = 0,023 \text{ L/detik}$$

$$\text{Panjang pipa} = 0,84 \text{ m}$$

$$\text{Diameter pipa} = 7,5 \text{ cm}$$

$$\text{Koefisien kekasaran pipa (C)} = 120$$

$$Hf = \frac{0,84}{(0,00155 \cdot C \cdot 7,5^{2,63})^{1,85}} \times 0,023^{1,85}$$

$$Hf = 0,000001 \text{ m}$$

Kompartemen 1

Headloss jatuhan

$$\text{Lebar (b)} = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 0,03 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi sekat (L)} = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien kekasaran beton} = 0,015$$

$$\begin{aligned}
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/detik} \\
\text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/detik}^2 \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (0,7 \times 0,03) / (0,7 + 2(0,03)) \\
&= 0,027 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v.n}{R^3} \right)^2 \times L \\
&= (0,1 \times 0,015 / 0,027^{2/3})^2 \times 0,35 \\
&= 0,0000943 \text{ m}
\end{aligned}$$

Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
\text{Lebar (b)} &= 0,7 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 0,03 \text{ m} \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (0,7 \times 0,03) / (0,7 + 2(0,03)) \\
&= 0,027 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4(0,027)) \\
&= 0,029 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panjang aliran (L)} &= 0,30 \text{ m} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Headloss (Hf)} &= f x \frac{L}{4R} x \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,029 x \frac{0,3}{4(0,027)} x \frac{0,1^2}{2(9,8)} \\
&= 0,0000413 \text{ m}
\end{aligned}$$

Kompartemen 2

Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}
\text{Lebar (b)} &= 0,7 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 0,03 \text{ m} \\
\text{Tinggi sekat (L)} &= 0,1875 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Koefisien kekasaran beton} &= 0,015 \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/detik} \\
\text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/detik}^2 \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (0,7 \times 0,03) / (0,7 + 2(0,03)) \\
&= 0,027 \text{ m} \\
\text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
&= (0,1 \times 0,015 / 0,027^{2/3})^2 \times 0,1875 \\
&= 0,0000505 \text{ m}
\end{aligned}$$

Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
\text{Lebar (b)} &= 0,7 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 0,03 \text{ m} \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (0,7 \times 0,03) / (0,7 + 2(0,03)) \\
&= 0,027 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4(0,027)) \\
&= 0,029 \text{ m} \\
\text{Panjang aliran (L)} &= 0,30 \text{ m} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/detik} \\
\text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,029 \times \frac{0,3}{4(0,027)} \times \frac{0,1^2}{2(9,8)} \\
&= 0,0000413 \text{ m}
\end{aligned}$$

Headloss pipa efluen

$$\begin{aligned}
\text{Debit} &= 0,023 \text{ L/detik} \\
\text{Panjang pipa} &= 0,47 \text{ m} \\
\text{Diameter pipa} &= 7,5 \text{ cm} \\
\text{Koefisien kekasaran pipa (C)} &= 120
\end{aligned}$$

$$H_f = \frac{L}{(0,00155 \cdot C \cdot D^{2,63})^{1,85}} \times Q^{1,85}$$

$$H_f = 0,0000054$$

5.7.2 Bak Pengendap

Headloss jatuhan

$$\text{Lebar (b)} = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 0,142 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi sekat (L)} = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien kekasaran beton} = 0,015$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = 0,1 \text{ m/detik}$$

$$\text{Percepatan gravitasi (g)} = 9,8 \text{ m/detik}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (0,7 \times 0,142) / (0,7 + 2(0,142)) \\ &= 0,101 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= (0,1 \times 0,015 / 0,101^{2/3})^2 \times 1,7 \\ &= 0,0000813 \text{ m} \end{aligned}$$

Headloss kecepatan

$$\text{Lebar (b)} = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 0,11 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (0,7 \times 0,11) / (0,7 + 2(0,11)) \\ &= 0,085 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4(0,085)) \\ &= 0,029 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang aliran (L)} = 2,1 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = 0,1 \text{ m/detik}$$

$$\begin{aligned} \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,029 \times \frac{2,1}{4(0,085)} \times \frac{0,1^2}{2(9,8)} \end{aligned}$$

$$= 0,0000942 \text{ m}$$

Headloss belokan

Panjang belokan (L) = 0,3 m

Jari-jari hidrolis (R) = $(b \times y) / (b + 2y)$
 $= (0,7 \times 0,11) / (0,7 + 2(0,11))$
 $= 0,085 \text{ m}$

Kecepatan aliran = 0,1 m/detik

Headloss (Hf) = $\left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}}\right)^2 \times L$
 $= (0,1 \times 0,015 / 0,085^{2/3})^2 \times 0,3$
 $= 0,0000121 \text{ m}$

Headloss saluran pengumpul

Jari-jari hidrolis (R) = $\frac{L+H}{(L+2H)} = \frac{0,25+0,48}{(0,25+2 \cdot 0,48)} = 3,04 \text{ m}$

Kemiringan saluran (S) = $\frac{v \times n}{R^{2/3}} = \frac{0,6 \times 0,015}{3,04^{2/3}} = 0,043 \text{ m/m}$

Hf = slope x panjang saluran
 $= 0,0043 \text{ m/m} \times 0,30 \text{ m}$
 $= 0,0013 \text{ m}$

Headloss pipa efluen

Debit = 0,023 L/detik

Panjang pipa = 0,22 m

Diameter pipa = 7,5 cm

Koefisien kekasaran pipa (C) = 120

$$H_f = \frac{L}{(0,00155 \cdot C \cdot D^{2,63})^{1,85}} \times Q^{1,85}$$

Hf = 0,0000002

5.7.3 Bak Ekualisasi

Headloss jatuhan

Lebar (b) = 0,7 m

Tinggi (y) = 0,1 m

Tinggi sekat (L) = 0,1 m

$$\begin{aligned}
\text{Koefisien kekasaran beton} &= 0,015 \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/detik} \\
\text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/detik}^2 \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (0,7 \times 0,1) / (0,7 + 2(0,1)) \\
&= 0,078 \text{ m} \\
\text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
&= (0,1 \times 0,015 / 0,078^{2/3})^2 \times 0,1 \\
&= 0,0000068 \text{ m}
\end{aligned}$$

Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
\text{Lebar (b)} &= 0,7 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 0,1 \text{ m} \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (0,7 \times 0,1) / (0,7 + 2(0,1)) \\
&= 0,078 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4(0,078)) \\
&= 0,029 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panjang aliran (L)} &= 1 \text{ m} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,029 \times \frac{1}{4(0,078)} \times \frac{0,1^2}{2(9,8)} \\
&= 0,0002864 \text{ m}
\end{aligned}$$

Headloss belokan

$$\begin{aligned}
\text{Panjang belokan (L)} &= 0,14 \text{ m} \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (0,7 \times 0,1) / (0,7 + 2(0,1)) \\
&= 0,078 \text{ m}
\end{aligned}$$

Kecepatan aliran = 0,1 m/detik

Headloss (Hf) = $\left(\frac{v.n}{R^3}\right)^2 \times L$
= $(0,1 \times 0,015 / 0,078^{2/3})^2 \times 0,2$
= 0,0000136 m

Headloss pipa efluen

Debit = 0,023 L/detik

Panjang pipa = 0,22 m

Diameter pipa = 7,5 cm

Koefisien kekasaran pipa (C) = 120

$Hf = \frac{L}{(0,00155 \cdot C \cdot D^{2,63})^{1,85}} \times Q^{1,85}$

Hf = 0,0000002

5.7.4 ABR

Tangki anaerobik

Headloss jatuhan

Lebar (b) = 0,7 m

Tinggi (y) = 0,13 m

Tinggi sekat (L) = 0,15 m

Koefisien kekasaran beton = 0,015

Kecepatan aliran (v) = 0,1 m/detik

Percepatan gravitasi (g) = 9,8 m/detik²

Jari-jari hidrolis (R) = $(b \times y) / (b + 2y)$
= $(0,7 \times 0,13) / (0,7 + 2(0,13))$
= 0,095 m

Headloss (Hf) = $\left(\frac{v.n}{R^3}\right)^2 \times L$
= $(0,1 \times 0,015 / 0,095^{2/3})^2 \times 0,15$
= 0,0000078 m

Headloss kecepatan

Lebar (b) = 0,7 m

Tinggi (y) = 0,14 m

$$\begin{aligned}
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
 &= (0,7 \times 0,13) / (0,7 + 2(0,13)) \\
 &= 0,095 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
 &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4(0,095)) \\
 &= 0,029 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang aliran (L)} &= 5,85 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= f x \frac{L}{4R} x \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,029 x \frac{5,85}{4(0,095)} x \frac{0,1^2}{2(9,8)} \\
 &= 0,0000943 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Headloss belokan

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang belokan (L)} &= 0,14 \text{ m} \\
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
 &= (0,7 \times 0,13) / (0,7 + 2(0,13)) \\
 &= 0,095 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Kecepatan aliran} = 0,1 \text{ m/detik}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 x L \\
 &= (0,1 \times 0,015 / 0,095^{2/3})^2 x 0,15 \\
 &= 0,0000078 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kompartemen 1

Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar (b)} &= 0,15 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (y)} &= 1,1 \text{ m} \\
 \text{Tinggi sekat (L)} &= 1,1 \text{ m} \\
 \text{Koefisien kekasaran beton} &= 0,015 \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/detik} \\
 \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/detik}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
 &= (0,15 \times 1,1) / (0,15 + 2(1,1)) \\
 &= 0,070 \text{ m} \\
 \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
 &= (0,1 \times 0,015 / 0,070^{2/3})^2 \times 1,1 \\
 &= 0,0000854 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar (b)} &= 0,7 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (y)} &= 1,1 \text{ m} \\
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
 &= (0,7 \times 1,1) / (0,7 + 2(1,1)) \\
 &= 0,266 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
 &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4(0,266)) \\
 &= 0,029 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang aliran (L)} &= 0,75 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,1 \text{ m/detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,029 \times \frac{0,75}{4(0,266)} \times \frac{0,1^2}{2(9,8)} \\
 &= 0,0000108 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Headloss belokan

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang belokan (L)} &= 1,1 \text{ m} \\
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
 &= (0,15 \times 1,1) / (0,15 + 2(1,1)) \\
 &= 0,070 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan aliran} &= 0,1 \text{ m/detik} \\
 \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L
 \end{aligned}$$

$$= (0,1 \times 0,015 / 0,07^{2/3})^2 \times 1,1$$

$$= 0,0000854 \text{ m}$$

Headloss pipa efluen ABR

Debit = 0,023 L/detik

Panjang pipa = 0,22 m

Diameter pipa = 7,5 cm

Koefisien kekasaran pipa (C) = 120

$$H_f = \frac{L}{(0,00155 \cdot C \cdot D^{2,63})^{1,85}} \times Q^{1,85}$$

Hf = 0,0000002

Untuk kompartemen 2,3, dan 4 dilakukan perhitungan yang sama seperti kompartemen 1.

5.7.5 Constructed Wetland

Headloss jatuhan:

Lebar (b) = 0,7 m

Tinggi (y) = 0,15 m

Tinggi sekat (L) = 0,15 m

Koefisien kekasaran beton = 0,015

Kecepatan aliran (v) = 0,1 m/detik

Percepatan gravitasi (g) = 9,8 m/detik²

Jari-jari hidrolis (R) = $(b \times y) / (b + 2y)$
 = $(0,7 \times 0,15) / (0,7 + 2(0,15))$
 = 0,105 m

Headloss (Hf) = $\left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}}\right)^2 \times L$
 = $(0,1 \times 0,015 / 0,070^{2/3})^2 \times 0,15$
 = 0,0000068 m

Headloss belokan

Panjang belokan (L) = 0,15 m

Jari-jari hidrolis (R) = $(b \times y) / (b + 2y)$
 = $(0,7 \times 0,15) / (0,7 + 2(0,15))$

$$\begin{aligned}
 &= 0,105 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan aliran} &= 0,1 \text{ m/detik} \\
 \text{Headloss (Hf)} &= \left(\frac{v \cdot n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
 &= (0,1 \times 0,015 / 0,105^{2/3})^2 \times 0,15 \\
 &= 0,0000068 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Headloss saluran pengumpul

$$\begin{aligned}
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= \frac{L+H}{(L+2H)} = \frac{0,7+1,4}{(0,7+2 \cdot 1,4)} = 0,6 \text{ m} \\
 \text{Kemiringan saluran (S)} &= \frac{v \times n}{R^{2/3}} = \frac{0,6 \times 0,015}{0,6^{2/3}} = 0,013 \text{ m/m} \\
 \text{Hf} &= \text{slope} \times \text{panjang saluran} \\
 &= 0,013 \text{ m/m} \times 0,5 \text{ m} \\
 &= 0,0062 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Headloss pipa efluen

$$\begin{aligned}
 \text{Debit} &= 0,023 \text{ L/detik} \\
 \text{Panjang pipa} &= 0,36 \text{ m} \\
 \text{Diameter pipa} &= 7,5 \text{ cm} \\
 \text{Koefisien kekasaran pipa (C)} &= 120 \\
 Hf &= \frac{L}{(0,00155 \cdot C \cdot D^{2,63})^{1,85}} \times Q^{1,85} \\
 Hf &= 0,0000004
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan profil hidrolis selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.10 Profil Hidrolis Unit IPAL

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss (m)	Muka Air (m)
Grease Trap			0,350
Kompartemen 1			0,350
	Hf pipa influen	0,0000054	0,350

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss (m)	Muka Air (m)
	Hf jatuhan	0,0000943	0,350
	Hf kecepatan	0,0000413	0,350
Kompartemen 2			0,350
	Hf jatuhan	0,0000505	0,350
	Hf kecepatan	0,0000413	0,350
	Hf pipa effluen	0,0000010	0,350
Bak Pengendap			0,350
	Hf jatuhan	0,0000813	0,350
	Hf kecepatan	0,0000942	0,350
	Hf belokan	0,0000121	0,350
	Hf saluran pengumpul	0,0013000	0,348
	Hf pipa effluen	0,0000002	0,348
Bak Ekualisasi			0,348
	Hf jatuhan	0,0000069	0,348
	Hf kecepatan	0,0002864	0,348
	Hf belokan	0,0000136	0,348
	Hf pipa effluen	0,0000002	0,348
ABR			0,348
Tangki anaerobik			0,348
	Hf jatuhan	0,0000078	0,348
	Hf kecepatan	0,0000943	0,348
	Hf belokan	0,0000078	0,348
Kompartemen 1			0,348
	Hf jatuhan	0,0000854	0,348
	Hf kecepatan	0,0000108	0,348
	Hf belokan	0,0000854	0,348

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss (m)	Muka Air (m)
Kompartemen 2			0,348
	Hf jatuhan	0,0000854	0,348
	Hf kecepatan	0,0000108	0,348
	Hf belokan	0,0000854	0,348
Kompartemen 3			0,348
	Hf jatuhan	0,0000854	0,347
	Hf kecepatan	0,0000108	0,347
	Hf belokan	0,0000854	0,347
Kompartemen 4			0,347
	Hf jatuhan	0,0000854	0,347
	Hf kecepatan	0,0000108	0,347
	Hf belokan	0,0000854	0,347
	Hf pipa efluen	0,0000002	0,347
Constructed Wetland			0,347
	Hf jatuhan	0,0000068	0,347
	Hf kecepatan	0,0001813	0,347
	Hf belokan	0,0000068	0,347
	Hf saluran pengumpul	0,0062	0,341
	Hf pipa efluen	0,0000004	0,341
Badan Air Penerima			0,341
	Hf jatuhan		

5.8 Penyusunan Prosedur Pengoperasian dan Pemeliharaan IPAL

5.8.1 Petunjuk Pengoperasian IPAL

1. Pipa Air Limbah

- Periksa sambungan-sambungan pipa pada instalasi untuk mencegah kebocoran pipa

- Periksa semua katup pada setiap unit untuk memastikan dapat berfungsi sebagaimana mestinya
 - Periksa *gate valve* pada pipa utama, pastikan selalu terbuka sebagai mana mestinya
2. Bak Ekualisasi
- Seluruh peralatan elektrik harus dipastikan dalam keadaan berjalan dengan baik
 - Air limbah yang berasal dari bak pengendap dialirkan ke bak ekualisasi. Bak ekualisasi dilengkapi dengan pompa air limbah yang bekerja secara otomatis dengan menggunakan radar atau pelampung air, fungsinya yaitu jika permukaan air limbah lebih tinggi melampaui batas level minimum maka pompa air limbah akan berjalan dan air limbah akan dipompa ke reaktor anaerobik (ABR) pada sistem IPAL. Jika permukaan air limbah di dalam bak ekualisasi mencapai level minimum pompa air limbah secara otomatis akan berhenti (mati).
3. *Anaerobic Baffled Reactor*
- Pada saat pertama kali IPAL dioperasikan (*start up*), reaktor anaerobik (ABR) harus sudah terisi air sepenuhnya.
 - Proses pembiakan mikroba dapat dilakukan secara alami atau natural karena di dalam air limbah industri pangan sudah mengandung mikroba atau organisme yang dapat menguraikan polutan yang ada di dalam air limbah atau dapat pula dilakukan *seeding* dengan memberikan benih mikroba yang sudah dibiakkan.
4. *Constructed Wetland*
- Lakukan pemeriksaan keseluruhan terhadap struktur wetland, dari kemungkinan retakan yang dapat berakibat pada kebocoran.
 - Persiapkan media gravel dengan ukuran 10 mm dan 20-30 mm. Basahi media gravel dengan air dan pastikan gravel tidak tercampur.

- Siapkan tumbuhan untuk wetland, yaitu *Scirpus grossus*. Pastikan tanaman berada pada keadaan sehat dan tidak layu.

5.8.2 Petunjuk Pemeliharaan IPAL

1. Pipa Air Limbah
 - Periksa dan bersihkan lumpur yang mengendap di pipa
 - Bersihkan lingkungan di sekitar pipa
2. *Grease Trap*
 - Dilakukan pembersihan secara rutin berupa pengurasan minyak dan lemak setiap 1 hari sekali untuk menghindari terjadinya penyumbatan
3. Bak Pengendap
 - Perlu dilakukan pengurasan lumpur pada bak pengendap secara periodik untuk menguras lumpur yang tidak dapat terurai secara biologis.
4. Bak Ekualisasi
 - Perlu dilakukan perawatan rutin terhadap pompa sirkulasi yang dilakukan 3-4 bulan sekali.
 - Perawatan rutin pompa dapat dilihat pada buku operasional dan perawatan dari pabriknya
5. *Anaerobic Baffled Reactor*
 - Penyedotan tangki secara berkala dilakukan setiap 24 bulan sekali
 - Tidak membuang bahan-bahan kiiia berbahaya ke dalam tangki, seperti insektisida, karbol pembersih lantai ataupun pemutih pakaian
 - Lumpur hasil pengurasan tidak boleh dibuang ke sungai atau ke tempat terbuka .
6. *Constructed Wetland*
 - Lakukan perawatan *wetland* dengan menyirami tanaman 2 hari sekali, pada pagi atau sore hari. Lakukan pergantian tanaman jika terdapat tanaman yang layu atau mati.
 - Lakukan pengambilan sampel air pada inlet dan outlet *wetland* setiap 4 minggu sekali untuk mengetahui kualitas influen dan efluen *wetland*.

- Pencucian media gravel setiap 1 tahun sekali, saat cuaca panas/cerah. Lakukan pencucian saat pukul 11.00-15.00 (hindari jam puncak aliran limbah yang masuk). Pencucian dilakukan dengan cara:
 - tutup valve influen *wetland* untuk menghentikan aliran ke *wetland*
 - biarkan *wetland* hingga kering (1-2 hari)
 - buka kembali valve influen *wetland* agar air limbah mengalir kembali
- Lakukan pembersihan pada pipa inlet dan outlet 3 hari sekali
- Apabila terjadi banjir atau air meluap diatas media *wetland*, maka tutup keran pada pipa influen dan lakukan pengecekan. Apabila terjadi penyumbatan, segera lakukan pembersihan.
- Lakukan pembersihan *wetland* dari tanaman lain selain tanaman *Scirpus grossus* setiap 1 minggu sekali.
- Lakukan pemotongan tanaman *Scirpus grossus* yang telah dewasa setiap 1 bulan sekali. Hasil panen dapat digunakan sebagai kompos dan pakan hewan.

5.9 Penyusunan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

5.9.1 *Bill of Quantity* (BOQ)

Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dalam perencanaan ini meliputi pembersihan lahan, penggalian tanah biasa untuk konstruksi, pengurugan pasir dengan dengan pemadatan. Terdapat pula pekerjaan beton K-225, pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos), pekerjaan bekisting lantai dan dinding. Pekerjaan lain adalah pemasangan pipa air kotor 2.25" (75 mm).

Pada perencanaan ini, unit *grease trap* dibangun di atas tanah, sedangkan unit bak pengendap, bak ekualisasi, ABR tidak sepenuhnya dibangun di atas tanah, terdapat bagian yang ditanam di bawah tanah. Dan *constructed wetland* seluruhnya ditanam di bawah tanah. *Grease trap* direncanakan menggunakan plat besi

dengan tebal 0,5 cm, seangkan unit lainnya direncanakan menggunakan beton. Berikut dihitung BOQ dan RAB untuk setiap unit IPAL.

1. BOQ *Grease Trap*

- a. Pembersihan Lahan = panjang total x lebar total
 = 1,215 m x 0,31 m
 = 0,38 m²
- b. Kebutuhan plat besi
 Menggunakan plat besi *stainless steel* dengan spesifikasi berikut:
 Dipilih *stainless steel* grade 304.
 Harga per lembar plat besi polos (tebal 5 mm), lebar 1,22 m, panjang 2,44 m (area = 2,97 m²) dan berat 117,39 kg yaitu Rp 5.517.373.
 Kebutuhan besi total = 2(1,215 m x 0,45 m) + 3(0,3 m x 0,45 m) + 2(1,215 m x 0,3 m)
 = 2,23 m²
 1 lembar plat besi = 2,97 m²
 Kebutuhan besi = 2,23 m² = 0,75 lembar
 1 lembar plat besi = 117,39 kg
 0,75 lembar = 88 kg
- c. Pemasangan Pipa Air Kotor berdiameter 75 mm
 Pemasangan pipa air kotor diameter 75 mm dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang pipa yang diperlukan untuk masing masing unit pengolahan, untuk unit *grease trap* yaitu 0,59 m.
 = 0,59 m

2. BOQ Bak Pengendap

- a. Pembersihan Lahan = panjang total x lebar total
 = 2,85 m x 1 m
 = 2,85 m²
- b. Penggalan Tanah Biasa untuk Konstruksi
 Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Rumus = (panjang total) x (lebar total) x (kedalaman bangunan yang digali + tebal pasir + *freeboard* + tebal lantai kerja + tebal tutup)
 - Tebal pasir = 0,1 m
 - Tebal lantai kerja = 0,05 m

- *Freeboard* = 0,3 m
- Tebal tutup = 0,15 m

Berikut adalah dimensi unit IPAL:

Bak Pengendap = 2,4 m x 1 m x 2,28 m = 5,47 m³

- c. Pengurangan Pasir dengan Pemadatan
 - = (panjang total) x (lebar total) x (tebal pasir)
 - = 2,4 m x 1 m x 0,1 m
 - = 0,24 m³
- d. Pekerjaan Beton K-225
 - Beton Lantai Bangunan
 - = panjang x lebar x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak). Dimana tebal lantai kerja (0,05 m) + tebal lantai bak (0,15 m) adalah 0,2 m.
 - = 2,4 m x 1 m x 0,2 m
 - = 0,48 m³
 - Beton Dinding Bangunan
 - = (panjang total + lebar total) x tebal dinding x (kedalaman + *freeboard*)
 - Zona Pengendapan
 - = (2,4 m + 1 m) x 0,15 m x 2 m
 - = 1,02 m³
 - Zona Lumpur
 - = (0,7 m + 0,5 m) x 0,67 m / 2 x 0,15
 - = 0,06 m³
- e. Pembesian dengan Besi Beton (Polos)

Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk dinding dan lantai bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton 1,5 m³. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 150 kg/m³ beton sehingga didapatkan berat besi adalah:

Berat besi = volume beton x berat besi

 - = 1,5 m³ x 150 kg/m³
 - = 225 kg
- f. Bekisting Lantai = panjang total x lebar total
 - = 2,4 m x 1 m
 - = 2,4 m²

- g. Bekisting Dinding = (panjang total + lebar total) x tinggi
- Zona Pengendapan = $(2,4 \text{ m} + 1 \text{ m}) \times 2 \text{ m}$
= $6,8 \text{ m}^2$
 - Zona lumpur = $(0,7 \text{ m} + 0,5 \text{ m}) \times 0,67 \text{ m} / 2$
= $0,4 \text{ m}^2$
- h. Pemasangan Pipa Air Kotor berdiameter 75 mm
Pemasangan pipa air kotor diameter 75 mm dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang pipa yang diperlukan untuk masing masing unit pengolahan, untuk unit bak pengendap yaitu 0,22 m.

3. BOQ Bak Ekualisasi

a. Pembersihan Lahan = panjang total x lebar total
= $1,3 \text{ m} \times 1 \text{ m}$
= $1,3 \text{ m}^2$

b. Penggalan Tanah Biasa untuk Konstruksi

Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Rumus = (panjang total) x (lebar total) x (kedalaman bangunan yang digali + tebal pasir + *freeboard* + tebal lantai kerja + tebal tutup)

- Tebal pasir = 0,1 m
- Tebal lantai kerja = 0,05 m
- *Freeboard* = 0,3 m
- Tebal tutup = 0,15 m

Berikut adalah dimensi unit IPAL:

Bak Ekualisasi = $1,3 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,19 \text{ m} = 1,547 \text{ m}^3$

c. Pengurugan Pasir dengan Pemadatan

= (panjang total) x (lebar total) x (tebal pasir)
= $1,3 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$
= $0,13 \text{ m}^3$

d. Pekerjaan Beton K-225

- Beton Lantai Bangunan
= panjang x lebar x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak). Dimana tebal lantai kerja (0,05 m) + tebal lantai bak (0,15 m) adalah 0,2 m.
= $1,3 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$
= $0,26 \text{ m}^3$
- Beton Dinding Bangunan

$$\begin{aligned}
&= (\text{panjang total} + \text{lebar total}) \times \text{tebal dinding} \times \\
&\quad (\text{kedalaman} + \text{freeboard}) \\
&= (1,3 \text{ m} + 1 \text{ m}) \times 0,15 \text{ m} \times 1,3 \text{ m} \\
&= 0,45 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

- Beton Tutup Bangunan
 - = panjang x lebar x tebal tutup
 - Dimana tebal tutup bak adalah 0,15 m.
 - = 1,3 m x 1 m x 0,15 m
 - = 0,2 m³

- e. Pemesian dengan Besi Beton (Polos)
 Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk dinding dan lantai bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton 0,71 m³. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 150 kg/m³ beton sehingga didapatkan berat besi adalah:

$$\begin{aligned}
\text{Berat besi} &= \text{volume beton} \times \text{berat besi} \\
&= 0,71 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 \\
&= 106,5 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- f. Bekisting Lantai = panjang total x lebar total
 = 1,3 m x 1 m
 = 1,3 m²
- g. Bekisting Dinding = (panjang total + lebar total) x tinggi
 = (1,3 m + 1 m) x 1,3 m
 = 3 m²
- h. Pemasangan Pipa Air Kotor berdiameter 75 mm
 Pemasangan pipa air kotor diameter 75 mm dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang pipa yang diperlukan untuk masing masing unit pengolahan, untuk unit bak ekualisasi yaitu 0,22 m.
- i. Pengadaan Pompa = 2 buah.

4. BOQ *Anaerobic Baffled Reactor*

- a. Pembersihan Lahan = panjang total x lebar total
 = 6,5 m x 1 m
 = 6,5 m²
- b. Pengalihan Tanah Biasa untuk Konstruksi

Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Rumus = (panjang total) x (lebar total) x (kedalaman bangunan yang digali + tebal pasir + *freeboard* + tebal lantai kerja + tebal tutup)

- Tebal pasir = 0,1 m
- Tebal lantai kerja = 0,05 m
- *Freeboard* = 0,3 m
- Tebal tutup = 0,15 m

Berikut adalah dimensi unit IPAL:

$$\text{ABR} = 6,5 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,84 \text{ m} = 11,96 \text{ m}^3$$

c. Pengurangan Pasir dengan Pemadatan

$$= (\text{panjang total}) \times (\text{lebar total}) \times (\text{tebal pasir})$$

$$= 6,5 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,1 \text{ m}$$

$$= 0,65 \text{ m}^3$$

d. Pekerjaan Beton K-225

- Beton Lantai Bangunan

$$= \text{panjang} \times \text{lebar} \times (\text{tebal lantai kerja} + \text{tebal lantai bak}). \text{ Dimana tebal lantai kerja } (0,05 \text{ m}) + \text{tebal lantai bak } (0,15 \text{ m}) \text{ adalah } 0,2 \text{ m}.$$

$$= 6,5 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$$

$$= 1,3 \text{ m}^3$$

- Beton Dinding Bangunan

$$= (\text{panjang total} + \text{lebar total}) \times \text{tebal dinding} \times (\text{kedalaman} + \textit{freeboard})$$

$$= (6,5 \text{ m} + 1 \text{ m}) \times 0,15 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$= 2,25 \text{ m}^3$$

- Beton Tutup Bangunan

$$= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tebal tutup}$$

$$\text{Dimana tebal tutup bak adalah } 0,15 \text{ m}.$$

$$= 6,5 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}$$

$$= 0,98 \text{ m}^3$$

e. Pembesian dengan Besi Beton (Polos)

Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk dinding dan lantai bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton $3,55 \text{ m}^3$.

Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 150 kg/m^3 beton sehingga didapatkan berat besi adalah:

$$\begin{aligned} \text{Berat besi} &= \text{volume beton} \times \text{berat besi} \\ &= 3,55 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3 \\ &= 532,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

- f. Bekisting Lantai = panjang total x lebar total
 = 6,5 m x 1 m
 = 6,5 m²
- g. Bekisting Dinding = (panjang total + lebar total) x tinggi
 = (6,5 m + 1 m) x 2 m
 = 15 m²
- h. Pemasangan Pipa Air Kotor berdiameter 75 mm
 Pemasangan pipa air kotor diameter 75 mm dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang pipa yang diperlukan untuk masing masing unit pengolahan, untuk unit ABR yaitu 0,22 m.

5. *Constructed Wetland*

- a. Pembersihan Lahan = panjang total x lebar total
 = 6,3 m x 1 m
 = 6,3 m²
- b. Penggalan Tanah Biasa untuk Konstruksi

Pada pekerjaan ini, tanah digali dengan bentuk tampak samping adalah segiempat. Rumus = (panjang total) x (lebar total) x (kedalaman bangunan yang digali + tebal pasir + *freeboard* + tebal lantai kerja + tebal tutup)

- Tebal pasir = 0,1 m
- Tebal lantai kerja = 0,05 m
- *Freeboard* = 0,3 m
- Tebal tutup = 0,15 m

Berikut adalah dimensi unit IPAL:

$$\text{Constructed Wetland} = 6,3 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1,55 \text{ m} = 9,76 \text{ m}^3$$

- c. Pengurugan Pasir dengan Pemadatan
 = (panjang total) x (lebar total) x (tebal pasir)
 = 6,3 m x 1 m x 0,1 m
 = 0,63 m³
- d. Pekerjaan Beton K-225
- Beton Lantai Bangunan

= panjang x lebar x (tebal lantai kerja + tebal lantai bak). Dimana tebal lantai kerja (0,05 m) + tebal lantai bak (0,15 m) adalah 0,2 m.

$$= 6,3 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$$

$$= 1,26 \text{ m}^3$$

- Beton Dinding Bangunan

= (panjang total + lebar total) x tebal dinding x (kedalaman + *freeboard*)

$$= (6,3 \text{ m} + 1 \text{ m}) \times 0,15 \text{ m} \times 1,4 \text{ m}$$

$$= 1,53 \text{ m}^3$$

- e. Pembesian dengan Besi Beton (Polos)

Volume pekerjaan ini mengacu pada perhitungan volume pekerjaan beton untuk dinding dan lantai bangunan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya didapatkan volume beton 2,79 m³.

Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 150 kg/m³ beton sehingga didapatkan berat besi adalah:

$$\text{Berat besi} = \text{volume beton} \times \text{berat besi}$$

$$= 2,79 \text{ m}^3 \times 150 \text{ kg/m}^3$$

$$= 418,5 \text{ kg}$$

- f. Bekisting Lantai = panjang total x lebar total

$$= 6,3 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$= 6,3 \text{ m}^2$$

- g. Bekisting Dinding = (panjang total + lebar total) x tinggi

$$= (6,3 \text{ m} + 1 \text{ m}) \times 1,4 \text{ m}$$

$$= 10,22 \text{ m}^2$$

- h. Pemasangan Pipa Air Kotor berdiameter 75 mm

Pemasangan pipa air kotor diameter 75 mm dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu panjang pipa yang diperlukan untuk masing masing unit pengolahan, untuk unit *constructed wetland* yaitu 1,86 m.

- i. Kerikil dan Tanaman *Scirpus grossus* pada *Constructed Wetland*

Volume kerikil yang dibutuhkan untuk media *Constructed Wetland* adalah:

$$\text{Volume kerikil} = L \times w \times h$$

$$= 5 \text{ m} \times 1,4 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$= 7 \text{ m}^3$$

Sedangkan kebutuhan tanaman *Scirpus grossus* sebanyak 28 tanaman.

5.9.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah hasil perhitungan antara volume pekerjaan (BOQ) dengan harga satuan yang telah dikalikan dengan indeks yang sesuai dengan HSPK Kota Surabaya Tahun 2016. Pada analisis RAB ini akan dihitung biaya tiap unitnya dengan perincian BOQ sebagai berikut:

- Pembersihan lahan
- Penggalian tanah biasa untuk konstruksi
- Pengurugan pasir dengan pemadatan
- Pekerjaan beton K-225
- Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)
- Pekerjaan bekisting lantai
- Pekerjaan bekisting dinding
- Pemasangan pipa air kotor diameter 3"
- Pengadaan kerikil dan tanaman *Scirpus grossus*
- Pengadaan pompa

Nilai satuan perhitungan RAB per jenis kegiatan dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Nilai Satuan Perhitungan RAB per Jenis Pekerjaan

No	Analisis	Satuan	Indeks	Upah/Harga Material (Rp)	Harga Satuan (Rp)
1	Pembersihan lapangan dan perataan tanah				
	Mandor	O.H	0,05	158.000	7.900
	Pembantu tukang	O.H	0,1	110.000	11.000
	Total per 1 m²			Nilai HSPK	18.900
2	Pekerjaan perakitan besi				
	Bahan				
	Solar	liter	0,01	7500	75

No	Analisis	Satuan	Indeks	Upah/Harga Material (Rp)	Harga Satuan (Rp)
	Minyak Pelumas	liter	0,001	28300	28
	Sewa Peralatan				
	Sewa Alat Bantu (1 Set @ 3 Alat)	jam	0,17	1100	187
	Upah				
	Mandor	O.H	0,00005	120000	6
	Kepala Tukang	O.H	0,00001	110000	1
	Tukang Besi	O.H	0,001	105000	105
	Pembantu Tukang	O.H	0,001	99000	99
	Total per 1 kg			Nilai HSPK	501
3	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi				
	Mandor	O.H	0,03	158.000	3.950
	Pembantu tukang	O.H	0,75	110.000	82.500
	Total per 1 m³			Nilai HSPK	86.450
4	Pengurugan pasir dengan pemadatan				
	Bahan				
	Pasir urug	m ³	1,2	150.200	180.240
	Upah				
	Mandor	O.H	0,01	158.000	1.580
	Pembantu tukang	O.H	0,3	110.000	33.000
Total per 1 m³			Nilai HSPK	214.820	
5	Pekerjaan beton K-225				
	Bahan				
	Semen PC 40 Kg	zak	9,275	60.700	562.992

No	Analisis	Satuan	Indeks	Upah/Harga Material (Rp)	Harga Satuan (Rp)
	Pasir cor	m ³	0,436	243.000	105.948
	Batu pecah mesin 1/2 cm	m ³	0,551	487.900	268.833
	Air kerja	liter	215	28	6.020
	Upah				
	Mandor	O.H	0,083	158.000	13.114
	Kepala tukang batu	O.H	0,028	148.000	4.144
	Tukang batu	O.H	0,275	121.000	33.275
	Pembantu tukang	O.H	1,650	110.000	181.500
	Total per 1 m³			Nilai HSPK	1.175.826
6	Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)				
	Bahan				
	Besi beton polos	kg	1,05	12.500	13.125
	Kawat beton	kg	0,015	25.500	383
	Upah				
	Mandor	O.H	0,0004	158.000	63
	Kepala tukang besi	O.H	0,0007	148.000	104
	Tukang besi	O.H	0,007	121.000	847
	Pembantu tukang	O.H	0,007	110.000	770
	Total per 1 kg			Nilai HSPK	15.291
7	Pekerjaan bekisting lantai				
	Bahan				
	Paku usuk	kg	0,4	19.800	7.920

No	Analisis	Satuan	Indeks	Upah/Harga Material (Rp)	Harga Satuan (Rp)
	Plywood uk. 122 x 244 x 9 mm	lembar	0,35	121.400	42.490
	Kayu meranti bekisting	m ³	0,04	3.350.400	134.016
	Kayu meranti balok 4/6, 5/7	m ³	0,02	4.711.500	70.673
	Minyak bekisting	liter	0,2	29.600	5.920
	Upah				
	Mandor	O.H	0,033	158.000	5.214
	Kepala tukang kayu	O.H	0,033	148.000	4.884
	Tukang kayu	O.H	0,33	121.000	39.930
	Pembantu tukang	O.H	0,66	110.000	72.600
	Total per 1 m²			Nilai HSPK	383.647
	Pekerjaan bekisting dinding				
	Bahan				
	Paku usuk	kg	0,4	19.800	7.920
	Plywood uk. 122 x 244 x 9 mm	lembar	0,35	121.400	42.490
	Kayu meranti bekisting	m ³	0,03	3.350.400	100.512
	Kayu meranti balok 4/6, 5/7	m ³	0,02	4.711.500	94.230
	Minyak bekisting	liter	0,2	29.600	5.920
	Upah				
	Mandor	O.H	0,033	158.000	5.214
	Kepala tukang kayu	O.H	0,033	148.000	4.884

No	Analisis	Satuan	Indeks	Upah/Harga Material (Rp)	Harga Satuan (Rp)
	Tukang kayu	O.H	0,33	121.000	39.930
	Pembantu tukang	O.H	0,66	110.000	72.600
	Total per 1 m²			Nilai HSPK	373.700
	Pemasangan pipa air kotor diameter 3"				
	Bahan				
	Pipa plastik PVC Tipe C Uk. 3 inchi Pj. 4mtr	batang	0,3	72.200	21.660
	Pipa plastik PVC Tipe C Uk. 3 inchi Pj. 4mtr	batang	0,105	72.200	7.581
9	Upah				
	Mandor	O.H	0,0041	158.000	648
	Kepala tukang	O.H	0,0135	148.000	1.998
	Tukang	O.H	0,135	121.000	16.335
	Pembantu tukang	O.H	0,081	110.000	8.910
	Total per 1 m			Nilai HSPK	57.132

Kemudian dilakukan perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) untuk pembangunan unit IPAL. Hasil rekapitulasi RAB dapat dilihat dalam Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Hasil Rekapitulasi RAB

No.	Uraian pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
1	Grease Trap				
	Pembersihan lapangan dan perataan tanah	m ²	0,38	18.900	7.182

No.	Uraian pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
	Plat besi <i>stainless steel grade 304</i>	lembar	0,75	5.517.373	4.138.030
	Pekerjaan perakitan besi	kg	88	501	44.088
	Pemasangan pipa air kotor diameter 3"	m	0,59	57.132	33.708
Total					4.223.008
2	Bak Pengendap				
	Pembersihan lapangan dan perataan tanah	m ²	2,85	18.900	53.865
	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	5,47	86.450	472.882
	Pengurangan pasir dengan pemadatan	m ³	0,24	214.820	51.557
	Pekerjaan beton K-225	m ³	1,56	1.175.826	1.834.289
	Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)	kg	225	15.291	3.440.475
	Pekerjaan bekisting lantai	m ²	2,4	383.647	920.753
	Pekerjaan bekisting dinding	m ²	7,2	373.700	2.690.640
	Pemasangan pipa air kotor diameter 3"	m	0,22	57.132	12.569

No.	Uraian pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
Total					9.477.029
3	Bak Ekualisasi				
	Pembersihan lapangan dan perataan tanah	m ²	1,3	18.900	24.570
	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	1,547	86.450	133.738
	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m ³	0,13	214.820	27.927
	Pekerjaan beton K-225	m ³	0,91	1.175.826	1.070.002
	Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)	kg	106,5	15.291	1.628.492
	Pekerjaan bekisting lantai	m ²	1,3	383.647	498.741
	Pekerjaan bekisting dinding	m ²	3	373.700	1.121.100
	Pemasangan pipa air kotor diameter 3"	m	0,22	57.132	12.569
	Pengadaan pompa	buah	2	8.359.000	16.718.000
Total					21.235.138
4	Anaerobic Baffled Reactor				
	Pembersihan lapangan dan perataan tanah	m ²	6,5	18.900	122.850

No.	Uraian pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	11,96	86.450	1.033.942
	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m ³	0,65	214.820	139.633
	Pekerjaan beton K-225	m ³	4,53	1.175.826	5.326.492
	Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)	kg	532,5	15.291	8.142.458
	Pekerjaan bekisting lantai	m ²	6,5	383.647	2.493.706
	Pekerjaan bekisting dinding	m ²	15	373.700	5.605.500
	Pemasangan pipa air kotor diameter 3"	m	0,22	57.132	12.569
Total					22.877.149
5	<i>Constructed Wetland</i>				
	Pembersihan lapangan dan perataan tanah	m ²	6,3	18.900	119.070
	Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	9,76	86.450	843.752
	Pengurugan pasir dengan pemadatan	m ³	0,63	214.820	135.337
	Pekerjaan beton K-225	m ³	2,79	1.175.826	3.280.555

No.	Uraian pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Harga Total (Rp)
	Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)	kg	418,5	15.291	6.399.284
	Pekerjaan bekisting lantai	m ²	6,3	383.647	2.416.976
	Pekerjaan bekisting dinding	m ²	10,22	373.700	3.819.214
	Pemasangan pipa air kotor diameter 3"	m	1,86	57.132	106.266
	Kerikil	m ³	7	24.000	168.000
	Tanaman <i>Scirpus grossus</i>	batang	28	5.000	140.000
Total					17.428.452
Total RAB Seluruh Unit					75.240.776

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5.12, didapatkan total rencana anggaran biaya untuk pembangunan unit-unit IPAL sebesar Rp 75.240.776 \cong **Rp 75.300.000**.

Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap biaya operasi IPAL, hal tersebut perlu dilakukan karena hasil dari perhitungan ini akan menentukan apakah alternatif yang akan diaplikasikan bernilai ekonomis dari segi operasional.

Biaya operasional adalah biaya yang dikeluarkan oleh pengelola IPAL untuk mendukung operasi selama proses pengolahan berlangsung. Biaya operasional berasal dari biaya penggunaan listrik dan dari gaji yang dibayarkan untuk operator. Tarif listrik per kWh per September 2017, dapat dilihat dalam Lampiran 3. Perhitungan konsumsi listrik disajikan pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Perhitungan Konsumsi Listrik Per Hari

Bangunan	Peralatan	Jumlah	Daya (kW)	Periode beroperasi per hari (jam)	Jumlah kWh/hari
Bak ekualisasi	Pompa air limbah	2	1,3	12	31,2
Total					31,2

Total biaya pemakaian listrik selama sebulan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Harga listrik/kWh} &= \text{Rp. 1.467,28} \\ \text{Total biaya listrik per hari} &= 31,2 \text{ kWh} \times \text{Rp. 1.467,28} \\ &= \text{Rp. 45.779} \\ \text{Total biaya listrik per bulan} &= 30 \text{ hari} \times \text{Rp. 45.779} \\ &= \text{Rp. 1.373.370} \end{aligned}$$

Perhitungan biaya lain yaitu gaji operator selama sebulan. Operator yang dipekerjakan berjumlah 2 orang dengan gaji sebesar Rp. 3.000.000. Sehingga biaya yang dikeluarkan untuk gaji operator adalah

$$= 2 \times \text{Rp. 3.000.000,00} = \text{Rp. 6.000.000,00}$$

Biaya total untuk pengoperasian IPAL alternatif selama satu bulan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Biaya listrik} &= \text{Rp. 1.373.370,00} \\ \text{Biaya lain} &= \text{Rp. 6.000.000,00} \\ \text{Total biaya} &= \text{Rp. 7.373.370,00} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, didapatkan total rencana anggaran biaya untuk pengoperasian IPAL sebesar Rp 7.373.370 \cong **Rp 7.400.000.**

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Karakteristik air limbah diambil dari 3 sumber kegiatan, yaitu perendaman dan pencucian ikan, perebusan ikan, dan pencucian alat. Hasil uji laboratorium sampel air yaitu pH 7,4; TSS 1300,46 mg/L; Sulfida (H_2S) 1,13; $NH_3 - N$ 69,25; Klor bebas 0,00; BOD_5 3618,81 mg/L; COD 6472,33 mg/L; minyak dan lemak 501,43 mg/L.
2. *Anaerobic baffled reactor* menghasilkan efluen dengan konsentrasi COD 349 mg/L; BOD 190 mg/L; dan TSS 34,9 mg/L. *Constructed Wetland* menghasilkan efluen dengan konsentrasi COD 101,6 mg/L; BOD 82,1 mg/L; dan TSS 12 mg/L. ABR memiliki efisiensi removal sebesar 85% BOD, 83% COD, dan 68,4% TSS. Sedangkan pada unit *Constructed Wetland* memiliki efisiensi removal sebesar 66% BOD, 85% COD, dan 82% TSS.
3. Rencana anggaran biaya untuk pembangunan IPAL sebesar Rp 75.300.000., sedangkan untuk pengoperasian IPAL sebesar Rp 7.400.000.
4. SOP pengurasan lumpur dilakukan pada periode waktu tertentu (sekitar 1 tahun sekali), untuk *constructed wetland* yaitu lakukan perawatan *wetland* dengan menyirami tanaman 2 hari sekali, pada pagi atau sore hari.

6.2 Saran

1. Pada perencanaan selanjutnya agar dipilih alternatif yang lebih ekonomis untuk menekan biaya operasional pada IPAL industri pangan skala rumah tangga ini.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abramian, L. dan Houssam E. 2000. "Adsorption Kinetics and Thermodynamics of Azo-Dye Orange II onto Highly Porous Titania Aerogel". **Journal Dyes and Pigment**.
- Akratos, Christos S. dan Vassilios A. Tsihrintzis. 2006. "Effect of temperature, HRT, Vegetation and Porous Media on Removal Efficiency of Pilot-Scale Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands". **Ecological Engineering**, 29:173-191.
- Ariani, D.M. dan Eddy S.S. 2011. **Perencanaan Subsurface Flow Constructed Wetland dalam Pengolahan Efluen Tangki anaerobik pada Daerah Air Tanah Dangkal (Studi Kasus: Perumahan Istana Bestari Kota Pasuruan)**. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya.
- BORDA. 2008. **Praxis-oriented Training Manual Decentralized Wastewater Treatment System**. Center for Urban Water Resources.
- Crites, R. dan George T. 1998. **Small and Decentralized Waste Management Systems**. Singapore: Mc.Graw-Hill, Inc.
- da Silva, F. J. A., Lima, M. G. S., Mendonca, L. A. R., Gomes, M. J. T. L. (2013). "Septic Tank Combined with Anaerobic Filter and Conventional UASB – Results from Full Scale Plants". **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, 30 (1),hal. 133-140.
- Dallas, S., Scheffe, B. dan Ho, G. 2004. "Reedbeds for Greywater Treatment – Case Study in Santa Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America". **Ecological Engineering** 23 (1), hal. 55-61.
- Dhokikah, Y. 2006. **Pengolahan Air Bekas Domestik dengan Sistem Constructed Wetland Aliran Subsurface untuk Menurunkan COD, TS dan Deterjein**. Tesis. Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya.
- Diaz, Otoniel Carranza, Luciana Schultze-Nobre, Monika Moedera, Jaime Nivalac, Peter Kusch, dan Heinz Koeser. 2014. "Removal of Selected Organic

- Micropollutants In Planted and Unplanted Pilot-Scale Horizontal Flow Constructed Wetlands Under Conditions of High Organic Load”. **Ecological Engineering**, 71:234–245.
- Direktorat Jenderal Industri Kecil Menengah. 2007. **Pengelolaan Limbah Industri Pangan**. Jakarta.
- Ellis, J. B., R.B.E. Shutes and D.M. Revitt. 2003. “Guidance manual for constructed wetlands”, United Kingdom, Environment Agency.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1999. “Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment”. United States.
- Goncalves, C. C. dan Freire, F. G. (2001). **Modelling of Anaerobic Digestion of Organic Fraction of MSW at Industrial Scale**. Thesis for Master. Instituto Superior Tecnico Portugal.
- Gupta, A. K. 2011. ***Actinoscirpis grossus***. IUCN Red List of Threatened Species Version 2013. 2. <URL: <http://iucnredlist.org>>.
- Hammer, M.J. 1986. **Water and Wastewater Technology**. New Jersey: Prentice-Hall Int. Inc.
- Hayati, M. 1998. **Mempelajari Proses Produksi Udang Beku dan Pengolahan Limbah di PT. Kalimantan Fishery**. Laporan Praktek Lapangan. Jurusan TIN Fateta IPB, Bogor.
- Heyne, K. 1987. **Tumbuhan Berguna Indonesia**. Jakarta: Departemen Kehutanan.
- Hijosa-Valsero, M. 2010. “Optimization of Performance Assesment and Design Characteristics in Constructed Wetland for The *Removal* of Organic Matter”. **Chemospher** 81: 651-657.
- Husnabilah, A. 2016. Perencanaan **Constructed Wetland untuk Pengolahan Greywater Menggunakan Tumbuhan *Canna indica* (Studi Kasus: Kelurahan Keputih Surabaya)**. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya.
- James, J.J. dan Rebecca E.D. 2007. “A Basis for Relative Growth Rate Differences Between Native and Invasive Forb

- Seedlings". **Rangeland Ecology and Management** 60, 4: 395-400.
- Jenie, B.S.L. dan Winiati P.R. 2011. **Penanganan Limbah Industri Pangan**. Jakarta: Kanisius.
- Joko, T., Erwin, E. dan Lanang, H. 2017. "Efektifitas *Constructed Wetlands* Tipe *Sub Surface Flow System* dengan Menggunakan Tanaman *Cyperus rotundus* untuk Menurunkan Kadar Fosfat dan COD pada Limbah Cair Laundry". **Jurnal Kesehatan Masyarakat** 5, 1.
- Kayombo, S., T.S.A Mbwette, J.H.Y Katima, N. Ladegaard dan S.E. Jorgensen. 2006. **Waste Stabilization Ponds and Constructed Wetlands Design Manual**. Copenhagen: UNEP-IETC.
- Kementrian Kesehatan RI. 2011. **Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biofilter Anaerob Aerob pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan**. Jakarta.
- Khambali. 2011. **Teknologi Bioenergi**. Bogor: PT. Agromedia Pustaka.
- Konnerup, Dennis, Thammarat Koottatep and Hans Brix. 2008. "Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with canna and heliconia". **Ecological Engineering**, 35:248–257.
- Kindisigo, M. dan Juha K. 2006. "Degradation of Lignins by Wet Oxidation: Model Water Solutions". **Proceedings of the Estonian Academy of Sciences Chemistry**. Volume 55: 132-144.
- Mara, D.D. 2006. "Constructed Wetlands Are Not A Viable Alternative or Addition to Waste Stabilization Ponds". IWA Specialist Conference on Waste Stabilization Ponds, 7, Bangkok, Proceedings, International Water Association: Bangkok.
- Metcalf dan Eddy. 1991. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. New York: McGraw Hill Comp.
- Metcalf dan Eddy. 2003. **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery**, 5th ed. New York: McGraw Hill.
- Mitchell, C., R. Wiese dan R.Young. 1998. **Constructed Wetlands Manual Vol 2, Chapter 17 (Design of Wastewater**

- Wetlands**). Australia: Department of Land and Water Conservation New South Wales.
- Morel, A. dan Diener, S. 2006. **Greywater Management in Low and Middle-Income Countries, Review of Different Treatment Systems for Households or Neighbourhoods**. Dübendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Moenandir, J. 1993. **Pengantar Ilmu dan Pengendalian Gulma (Ilmu Gulma-Buku 1)**. Jakarta: Citra Niaga Rajawali Press.
- Muga, H. E. dan Mihelcic, J. R. 2008. "Sustainability of Wastewater Treatment Technologies-Original Research Article". **Journal of Environmental Management**, 88, 33: 437-447.
- Novotny, V. dan Olem, H. 1994. **Water Quality, Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution**. New York: Van Nostrans Reinhold.
- Polpraset, C., Khatiwada, N.R. dan Bhurtel, J. 1998. "Design Model For COD Removal In Constructed Wetland Based On Biofilm Activity". **Journal of Environmental Engineering**. 124 (9) pp. 838-843.
- Qasim, S. R. 1985. **Wastewater Treatment Plants Planning, Design, and Operations**. USA: International Thompson Publishing.
- Raman, V. dan Chakladar, N. (1972). Upflow Filters for Septic Tank Effluent. **Journal of WPCF**.
- Raude J.B. M.Mutua, L.Chemelil, K.Kraft dan Sleytr. 2009. "Household Greywater Treatment for Peri-urban Areas of Nakuru Municipality, Kenya". **Journal of Sustainable Sanitation Practice** 1, 10-15.
- Risnawati, I. dan Damanhuri, T.P. 2009. **Penyisihan Logam Pada Lindi Menggunakan Constructed Wetland**. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Rosidi, M. 2017. **Perancangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Pabrik Kertas Halus PT. X Sidoarjo**. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya.
- Said, N.I. 2000. Teknologi Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilm Tercelup. **Jurnal Teknologi Lingkungan** 1, 2.

- Sasse, L. 1998. **Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries**. Bremen: Bremen Overseas Research and Development Association.
- Setiyawan, A.S. 2007. **Optimasi Efisiensi Pengolahan Efluen Reaktor Anaerobik Bersekat dengan Menggunakan Rekayasa Aliran pada Wetland (Studi Kasus: Limbah Cair RPH dan Industri Tahu)**. Tesis. Teknik Sipil FTSL-ITB, Bandung.
- Setiyono dan Satmoko Y. 2008. "Dampak Pencemaran Lingkungan Akibat Limbah Industri Pengolahan Ikan di Muncar". **Indonesian Green Technology Journal** 4, 1: 25-28.
- Sharma, M. K., Khursheed, A., Kazmi, A. A. (2014). Modified Septic Tank-Anaerobic Filter Unit as a Two Stage Onsite Domestic Wastewater Treatment System. **Journal of Environmental Technology**, 35 (17), hal. 2183-2193.
- Sim, C.H. 2003. **The Use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. Selangor: Wetlands International – Malaysia Office.
- Suharto. 2010. **Limbah Kimia Dalam Pencemaran Air dan Udara**. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Supradata. 2005. **Pengolahan Limbah Domestik menggunakan Tanaman Hias *Cyperus alternifolius L.* dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan (SSF-Wetlands)**. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Surakusumah, W. 2012. **Adaptasi dan Mitigasi**. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Suriawiria, U., 1993, **Mikrobiologi Air**. Bandung: Penerbit Alumni.
- Suswati, A.C.S.P dan Gunawan W. 2013. "Pengolahan Limbah Domestik dengan Teknologi Taman Tanaman Air (Constructed Wetlands)". **Indonesian Green Technology Journal** 2, 2: 70-77.
- Tangahu, B.V. dan Warmadewanthi, I.D.A.A. 2001. "Pengelolaan Limbah Rumah Tangga dengan Memanfaatkan Tanaman Cattail (*Typha angustifolia*) dalam Sistem Constructed Wetland". **Jurnal Purifikasi** 3, 127-132.
- Tjitrosoepomo, G. 2010. **Taksonomi Tumbuhan Spermatophyta**. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

- Tusseau dan M. H. Vuilleman. 2001. "Do Food Processing Industries Contribute to The Eutrophication of Aquatic System?". **Ecotoxicology and Environmental Safety** 50, 143-152.
- Vymazal, J. 2010. "Constructed Wetlands for Wastewater Treatment". **Journal of Water** 2, 530-549.
- Wallace, S.D. dan Robert L.K. 2006. **Small Scale Constructed Wetland Treatment Systems: Feasibility, Design Criteria, and O&M Requirements**. United Kingdom: The Water Environment Research Fondation.
- Wijayanti, I., Fronthea S. dan Eko S. 2008. "Pemanfaatan Limbah Kulit Udang Menjadi Edible Coating untuk Mengurangi Pencemaran Lingkungan". **Jurnal Teknologi Lingkungan** 4, 4: 101-106
- Yasmine, R.R. 2017. **Perancangan Sistem Pengolahan Air Limbah pada Gedung Perkantoran (Studi Kasus: MIPA Tower ITS Surabaya)**. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya.
- Yasril, A.G. 2009. "Kemampuan Mansiang (*Scirpus grossus*) dalam Menurunkan Kadar BOD dan COD Limbah Rumah Makan". **Jurnal Kesehatan Lingkungan** 2, 67-71.
- Yusrina, A. 2017. **Dekonsentrasi Nutrien pada Limpasan Pertanian dengan Hybrid Constructed Wetlands**. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1



GOVERNUR JAWA TIMUR

PERATURAN GOVERNUR JAWA TIMUR
NOMOR 72 TAHUN 2013

TENTANG

BAKU MUTU AIR LIMBAH BAGI INDUSTRI DAN/ATAU
KELOMPOK USAHA LAINNYA

GOVERNUR JAWA TIMUR,

Menimbang : bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 22 ayat (3) Peraturan Daerah Provinsi Jawa Timur Nomor 2 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air di Provinsi Jawa Timur yang diundangkan dalam Lembaran Daerah Provinsi Jawa Timur Tahun 2008 Nomor 1 Seri E, perlu membentuk Peraturan Gubernur Jawa Timur tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya;

Menyingat : 1. Undang-Undang Nomor 2 Tahun 1950 tentang Pembentukan Provinsi Djawa Timur (Himpunan Peraturan-Peraturan Negara Tahun 1950) sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 1950 tentang Perubahan dalam Undang-Undang Nomor 2 Tahun 1950 (Himpunan Peraturan-Peraturan Negara Tahun 1950);

2. Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1984 tentang Perindustrian (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1984 Nomor 22, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3274);

3. Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1990 Nomor 49, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3419);

4. Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 32, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4377);

5. Undang

19. Industri Pengalengan/Pengolahan Ikan

BAKU MUTU AIR LIMBAH UNTUK INDUSTRI PENGOLAHAN HASIL PERIKANAN			
Parameter	Pengalengan Ikan	lebih dari Satu Jenis Kegiatan Pengolahan	industri perikanan dengan IPAL Terpusat
	Kadar Maksimum (mg/L)	Kadar Maksimum (mg/L)	Kadar Maksimum (mg/L)
pH	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
TSS	30	30	30
Sulfida (H ₂ S)	1	1	1
NH ₃ -N (Total)	5	5	5
Khlor bebas	1	1	1
BOD ₅	75	100	100
COD	150	150	150
Minyak & Lemak	6,5	15	10
Volume Air Limbah (M ³ /ton bahan baku ikan)	5		

20. Industri Tepung Ikan

BAKU MUTU AIR LIMBAH UNTUK INDUSTRI TEPUNG IKAN	
Volume Limbah Cair Maximum per satuan produk 0,5 M ³ /ton produk	
Parameter	Kadar Maximum (mg/L)
BOD ₅	100
COD	150
TSS	50
NH ₃ -N (amonia total)	5
Sulfida (sebagai H ₂ S)	0,8
Minyak dan lemak	15
pH	6-9

21. Industri Cold

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 2

Prosedur Analisis Laboratorium

1. Analisis BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

a. Alat dan Bahan:

- Larutan buffer fosfat
- Larutan Magnesium Sulfat
- Larutan Kalium Klorida
- Larutan Feri Klorida
- Bubuk inhibitor nitrifikasi
- Benih inoculum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 gram diencerkan dengan 100 mL air
- Larutan Mangan Sulfat
- Larutan pereaksi oksigen
- Indikator amilum 0,5%
- Asam sulfat pekat
- Larutan standart natrium tiosulfat 0,0125 N
- Aerator untuk mengaerasi air pengencer
- Drum atau ember untuk air pengencer
- 1 buah labu ukur berukuran 500 mL
- Botol winkler 300 mL dan botol winkler 150 mL sebanyak 2 buah
- Inkubator suhu 20°C
- Pipet 10 mL dan 5 mL
- Gelas ukur 100 mL 1 buah
- Buret 25 mL atau 50 mL
- Erlenmeyer 200 mL 1 buah

b. Prosedur Analisis:

Pembuatan Larutan Pengencer

Air pengencer tergantung banyak sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedur adalah sebagai berikut:

- Tambahkan 1 mL larutan buffer fosfat per liter
- Tambahkan 1 mL larutan Magnesium Sulfat per liter

- Tambahkan 1 mL larutan Kalium Klorida per liter
- Tambahkan 1 mL larutan Feri Klorida per liter
- Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor
- Aerasi minimal 2 jam
- Tambahkan 1 mL larutan benih per liter air

Prosedur BOD

Menentukan Pengenceran

Untuk menganalisis BOD harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka $KMnO_4$ sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Angka } KMnO_4}{4 \text{ atau } 5}$$

Prosedur BOD dengan winkler

- Siapkan 1 buah labu ukur 500 mL dan taungkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu
- Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 1 buah botol winkler 300 mL dan 150 mL
- Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah
- Tuangkan air pengencer ke botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah
- Masukkan kedua botol winkler 300 mL ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari
- Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan Mangan Sulfat
 - Tambahkan 1 mL larutan pereaksi oksigen
 - Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali
 - Biarkan gumpalan mengendap 5-10 menit
 - Tambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan

- Tuangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL
- Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda
- Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan Natrium tiosulfat hingga warna biru hilang
- Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 mL dengan analisis oksigen terlarut.
- Hitung BOD dengan rumus berikut:

$$BOD_5^{20} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Keterangan:

X_0 : DO sampel pada $t = 0$

X_5 : DO sampel pada $t = 5$

B_0 : DO blanko pada $t = 0$

B_5 : DO blanko pada $t = 0$

P : derajat pengenceran

2. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

a. Alat dan Bahan:

- Larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N
- Kristal perak sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan asam sulfat (H_2SO_4)
- Kristal merkuri sulfat (Hg_2SO_4)
- Larutan standar Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
- Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)
- Erlenmeyer 250 mL 2 buah
- Buret 25 mL atau 50 mL 1 buah
- Alat refluks dan pemanasnya
- Pipet 5 mL, 10 mL
- Pipet tetes 1 buah
- *Beaker glass* 50 mL, 1 buah

- Gelas ukur 25 mL, 1 buah

b. Prosedur Analisis:

- Masukkan 0,4 gram kristal Hg_2SO_4 ke dalam masing-masing erlenmeyer.
- Tuangkan 20 mL air sampel dan 20 mL air akuades (sebagai blangko) ke dalam masing-masing erlenmeyer.
- Tambahkan 10 mL larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ N.
- Tambahkan 25 mL larutan campuran Ag_2SO_4 .
- Alirkan pendingin pada kondesor dan pasang erlenmeyer COD.
- Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
- Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air akuades melalui kondensor sampai volume 150 mL.
- Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
- Tambahkan 3-4 tetes indikator Feroin.
- Titrasasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standar FAS 0,05 N hingga warna menjadi merah/coklat.
- Hitung COD sampel dengan rumus:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol sampel}} \times p$$

Keterangan:

A: mL FAS titrasi blanko

B: mL FAS titrasi sampel

N: normalitas larutan FAS

P: pengenceran

3. Analisis TSS (*Total Suspended Solids*)

a. Alat dan Bahan:

- Larutan sampel yang akan dianalisis
- Furnace dengan suhu 550°C
- Oven dengan suhu 105°C
- Cawan porselin 50 ml

- Timbangan analitis
- Desikator
- Cawan petri
- Kertas saring
- *Vacuum filter*

b. Prosedur Analisis:

- Cawan porselin dibakar dengan suhu 550°C selama 1 jam, setelah itu dimasukkan ke dalam oven 105°C selama 15 jam.
- Masukkan kertas saring ke oven 105°C selama 1 jam
- Cawan dan kertas saring diatas didinginkan dalam desikator selama 15 menit
- Timbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e mg)
- Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada *vacuum filter*
- Tuangkan 25 ml sampel diatas *filter* yang telah dipasang pada *vacuum filter*, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekatannya, catat volume sampel (g ml)
- Saring sampel sampai kering atau airnya habis
- Letakkan kertas saring pada cawan petri dan masukkan ke dalam oven 105°C selama 1 jam
- Dinginkan didalam desikator selama 15 menit
- Timbang dengan timbangan analitis (f mg)
- Hitung jumlah TSS dengan rumus berikut:

$$\text{TSS (mg/L)} = ((f - e) / g) \times 1000 \times 1000$$

4. Analisis pH

a. Alat dan Bahan:

- Aquades
- *Beaker glass*
- *pH-meter*
- Sampel

b. Prosedur Analisis:

- Aquades dimasukkan ke dalam *beaker glass*. Lalu alat pengukur dalam pH-meter dicelupkan dalam beaker glass
- Dicatat pH yang muncul
- Sampel air dituang pada *beaker glass* secukupnya, lalu alat pH dicelupkan di dalamnya

5. Analisis Minyak dan Lemak (*Oil and Grease*)

a. Alat dan Bahan:

- Asam khlorida atau asam sulfat, (1 : 1); Campur volume yang sama antara asam dan air
- Pelarut organik
- n-heksan dengan titik didih 69 °C
- Methyl tert buthyl ether (MTBE) titik didih 55 °C sampai dengan 56 °C
- Kristal natrium sulfat, Na₂SO₄ anhidrat
- Campuran pelarut, 80% n-heksan: 20% MTBE v/v
- Pelarut lain: petroleum benzene atau n-heksan atau petroleum ether atau dichloro *methane* (DMC)
- Neraca analitik
- Corong pisah, 2000 mL
- Labu destilasi, 125 mL
- Corong gelas
- Kertas saring, diameter 11 cm
- Alat sentrifugal, yang mampu mencapai putaran sampai 2400 rpm
- Pompa vakum
- Adapter destilasi dengan drip tip
- Penangas air yang dilengkapi pengatur suhu dan dapat diatur suhunya;
- Wadah buangan pelarut
- Desikator
- Botol gelas mulut lebar.

b. Prosedur Analisis:

- Masukkan contoh uji sebanyak 500 mL sampai dengan 1000 mL yang mewakili ke dalam botol gelas mulut lebar yang telah bersih, wadah jangan diisi penuh.
- Awetkan contoh uji dengan mengasamkan contoh uji sampai pH 2 atau lebih kecil dengan 1:1 HCl atau 1:1 H₂SO₄, awetkan pada 4 °C dengan waktu simpan 28 hari.
- Setelah ekstraksi, emulsi yang tak dapat dipisahkan diatasi melalui sentrifugasi.
- Saat pelarut ekstraksi dari contoh uji ini dikeringkan dengan natrium sulfat, bila kapasitas pengeringan dari natrium sulfat terlampaui, maka hal tersebut dapat melarutkan natrium sulfat dan masuk ke dalam labu. Setelah pengeringan, kristal natrium sulfat akan terlihat dalam labu. Natrium sulfat yang ikut masuk dalam labu akan mengganggu dalam penentuan dengan metode gravimetri ini.
- Pindahkan contoh uji ke corong pisah. Tentukan volume contoh uji seluruhnya (tandai botol contoh uji pada meniskus air atau timbang berat contoh uji). Bilas botol contoh uji dengan 30 mL pelarut organik dan tambahkan pelarut pencuci ke dalam corong pisah.
- Kocok dengan kuat selama 2 menit. Biarkan lapisan memisah, keluarkan lapisan air.
- Keluarkan lapisan pelarut melalui corong yang telah dipasang kertas saring dan 10 g Na₂SO₄ anhidrat, yang keduanya telah dicuci dengan pelarut, ke dalam labu bersih yang telah ditimbang.
- Jika tidak dapat diperoleh lapisan pelarut yang jernih (tembus pandang), dan terdapat emulsi lebih dari 5 mL, lakukan sentrifugasi selama 5 menit pada putaran 2400 rpm. Pindahkan bahan yang disentrifugasi ke corong pisah dan

keringkan lapisan pelarut melalui corong dengan kertas saring dan 10 g Na₂SO₄, yang keduanya telah dicuci sebelumnya, ke dalam labu bersih yang telah ditimbang.

- Gabungkan lapisan air dan emulsi sisa atau padatan dalam corong pisah. Ekstraksi 2 kali lagi dengan pelarut 30 mL tiap kalinya, sebelumnya cuci dahulu wadah contoh uji dengan tiap bagian pelarut.
- Ulangi langkah 12 jika terdapat emulsi dalam tahap ekstraksi berikutnya.
- Gabungkan ekstrak dalam labu destilasi yang telah ditimbang, termasuk cucian terakhir dari saringan dan Na₂SO₄ anhidrat dengan tambahan 10 mL sampai dengan 20 mL pelarut.
- Destilasi pelarut dalam penangas air pada suhu 85°C. Untuk memaksimalkan perolehan kembali pelarut lakukan destilasi (lihat Gambar A.1).
- Saat terlihat kondensasi pelarut berhenti, pindahkan labu dari penangas air. Dinginkan dalam desikator selama 30 menit pastikan labu kering dan timbang sampai diperoleh berat tetap.
- Perhitungan jumlah minyak-lemak dalam contoh uji:

$$\text{Kadar minyak-lemak (mg /L)} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{mL contoh uji}}$$

Keterangan:

A : berat labu + ekstrak, mg

B : berat labu kosong, mg



PT PLN (Persero)

Jalan Trunojoyo Blok M I/135 Kebayoran Baru – Jakarta 12160

Telepon : (021) 7261875, 7261122, 7262234

Facsimile : (021) 7221330

Website : www.pln.co.id

(021) 7251234, 7250550

**PENETAPAN
PENYESUAIAN TARIF TENAGA LISTRIK (TARIFF ADJUSTMENT)**

BULAN JULI - SEPTEMBER 2017


NO.	GOL. TARIF	BATAS DAYA	REGULER		PRA BAYAR (Rp/kWh)
			BIAYA BEBAN (Rp/kVA/bulan)	BIAYA PEMAKAIAN (Rp/kWh) DAN BIAYA kVArh (Rp/kVArh)	
1.	R-1/TR	900 VA-RTM	*)	1.352,00	1.352,00
2.	R-1/TR	1.300 VA	*)	1.467,28	1.467,28
3.	R-1/TR	2.200 VA	*)	1.467,28	1.467,28
4.	R-2/TR	3.500 VA s.d. 5.500 VA	*)	1.467,28	1.467,28
5.	R-3/TR	6.600 VA ke atas	*)	1.467,28	1.467,28
6.	B-2/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
7.	B-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
8.	I-3/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
9.	I-4/TT	30.000 kVA ke atas	***)	Blok WBP dan Blok LWBP = 996,74 kVArh = 996,74 ****)	-
10.	P-1/TR	6.600 VA s.d. 200 kVA	*)	1.467,28	1.467,28
11.	P-2/TM	di atas 200 kVA	**)	Blok WBP = K x 1.035,78 Blok LWBP = 1.035,78 kVArh = 1.114,74 ****)	-
12.	P-3/TR		*)	1.467,28	1.467,28
13.	L/TR, TM, TT		-	1.644,52	-

Catatan :

- *) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM1 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian.
- ***) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM2 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
- ****) Diterapkan Rekening Minimum (RM):
RM3 = 40 (Jam Nyala) x Daya tersambung (kVA) x Biaya Pemakaian WBP dan LWBP.
Jam nyala : kWh per bulan dibagi dengan kVA tersambung.
- ****) Biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVArh) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (delapan puluh lima per seratus).
- K : Faktor perbandingan antara harga WBP dan LWBP sesuai dengan karakteristik beban sistem kelistrikan setempat (1,4 ≤ K ≤ 2), ditetapkan oleh Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara.

WBP : Waktu Beban Puncak.

LWBP : Luar Waktu Beban Puncak.

Position	Count	Description																																
	2	<p>SEG.A15.20.R2.2.1.603</p>  <p>Product photo could vary from the actual product</p> <p>Product No.: 98682338</p> <p>Grundfos SEG pumps are submersible pumps with horizontal discharge port, specifically designed for pressurized pumping of wastewater with discharge from toilets.</p> <p>The SEG pumps are equipped with a grinder system, grinding destructible solids into small pieces so that they can be led away through pipes of a relatively small diameter.</p> <p>The surface of the pump is smooth to prevent dirt and impurities from sticking to the pump.</p> <p>The pump is primarily made of cast iron. The clamp securing the motor to the pump housing is made of stainless steel to prevent corrosion and allow for ease of service of the pump.</p> <p>The power cable of the pump also incorporates wires for the thermal sensors in the motor winding. The cable connection is a plug solution. The totally sealed plug connection prevents moisture from entering the pump through the cable in case of cable breakage or adverse and/or careless handling of the pump cable.</p> <p>The pump must be connected to a control box or a controller.</p> <p>The pump has been tested by CSA.</p> <p>Controls:</p> <table> <tr> <td>Moisture sensor:</td> <td>with moisture sensors</td> </tr> <tr> <td>AUTOADAPT:</td> <td>NO</td> </tr> </table> <p>Liquid:</p> <table> <tr> <td>Pumped liquid:</td> <td>Water</td> </tr> <tr> <td>Liquid temperature range:</td> <td>32 .. 72 °F</td> </tr> <tr> <td>Liquid temperature during operation:</td> <td>52 °F</td> </tr> <tr> <td>Density:</td> <td>62.4 lb/ft³</td> </tr> <tr> <td>Kinematic viscosity:</td> <td>1 cSt</td> </tr> </table> <p>Technical:</p> <table> <tr> <td>Actual calculated flow:</td> <td>2.19 m³/h</td> </tr> <tr> <td>Resulting head of the pump:</td> <td>38.31 ft</td> </tr> <tr> <td>Type of impeller:</td> <td>Grinder System</td> </tr> <tr> <td>Primary shaft seal:</td> <td>SIC/SIC</td> </tr> <tr> <td>Secondary shaft seal:</td> <td>LIPSEAL</td> </tr> <tr> <td>Approvals on nameplate:</td> <td>PA-I</td> </tr> <tr> <td>Curve tolerance:</td> <td>ANSI/HI11.6:2012 3B2</td> </tr> </table> <p>Materials:</p> <table> <tr> <td>Pump housing:</td> <td>Cast iron</td> </tr> <tr> <td></td> <td>EN1561 EN-GJL-200</td> </tr> </table>	Moisture sensor:	with moisture sensors	AUTOADAPT:	NO	Pumped liquid:	Water	Liquid temperature range:	32 .. 72 °F	Liquid temperature during operation:	52 °F	Density:	62.4 lb/ft ³	Kinematic viscosity:	1 cSt	Actual calculated flow:	2.19 m ³ /h	Resulting head of the pump:	38.31 ft	Type of impeller:	Grinder System	Primary shaft seal:	SIC/SIC	Secondary shaft seal:	LIPSEAL	Approvals on nameplate:	PA-I	Curve tolerance:	ANSI/HI11.6:2012 3B2	Pump housing:	Cast iron		EN1561 EN-GJL-200
Moisture sensor:	with moisture sensors																																	
AUTOADAPT:	NO																																	
Pumped liquid:	Water																																	
Liquid temperature range:	32 .. 72 °F																																	
Liquid temperature during operation:	52 °F																																	
Density:	62.4 lb/ft ³																																	
Kinematic viscosity:	1 cSt																																	
Actual calculated flow:	2.19 m ³ /h																																	
Resulting head of the pump:	38.31 ft																																	
Type of impeller:	Grinder System																																	
Primary shaft seal:	SIC/SIC																																	
Secondary shaft seal:	LIPSEAL																																	
Approvals on nameplate:	PA-I																																	
Curve tolerance:	ANSI/HI11.6:2012 3B2																																	
Pump housing:	Cast iron																																	
	EN1561 EN-GJL-200																																	



Company name:

Created by:

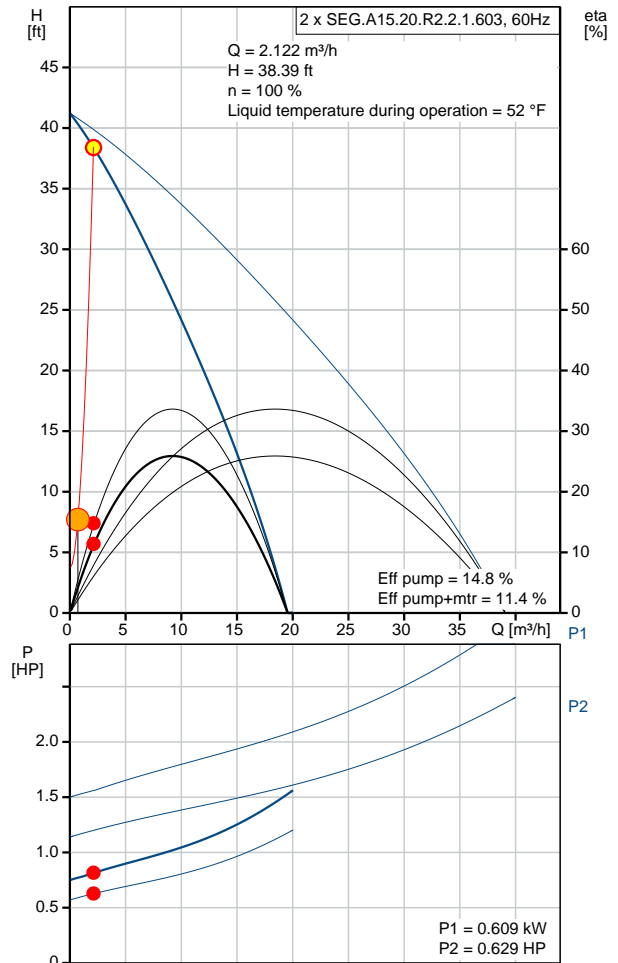
Phone:

Date:

1/4/2018

Position	Count	Description
		ASTM A48 30B Cast iron EN1561 EN-GJL-200 ASTM A48 30B Installation: Maximum ambient temperature: 72 °F Maximum operating pressure: 87.02 psi Flange standard: ANSI Pipework connection: 1 1/2" /2" Size of outlet port: 1 1/2 inch Pressure stage: PN 10 Maximum installation depth: 32.8 ft Auto-coupling: 98245788 Electrical data: Power input - P1: 1.3 kW Rated power - P2: 1.21 HP Main frequency: 60 Hz Rated voltage: 1 x 208-230 V Voltage tolerance: +/-10 % Max starts per. hour: 30 Rated current: 8-7 A Starting current: 48 A Rated current at no load: 7.2 A Cos phi - power factor: 0,87 Cos phi - p.f. at 3/4 load: 0,8 Cos phi - p.f. at 1/2 load: 0,77 Rated speed: 3490 rpm Moment of inertia: 0.047 lb ft ² Motor efficiency at full load: 0.69 % Motor efficiency at 3/4 load: 0.68 % Motor efficiency at 1/2 load: 0.59 % Capacitor size - run: 30 µF Capacitor size - start: 150 µF Number of poles: 2 Start. method: direct-on-line Enclosure class (IEC 34-5): IP68 Insulation class (IEC 85): F Explosion proof: no Ex-description: WITHOUT (STANDARD) Length of cable: 33 ft Cable type: SEOOW 600V Type of cable plug: NO PLUG Others: Net weight: 106 lb

Description	Value
General information:	
Product name:	SEG.A15.20.R2.2.1.603
Product No.:	98682338
EAN:	5711499540117
Technical:	
Actual calculated flow:	2.19 m ³ /h
Max flow:	20 m ³ /h
Resulting head of the pump:	38.31 ft
Head max:	41.34 ft
Type of impeller:	Grinder System
Primary shaft seal:	SIC/SIC
Secondary shaft seal:	LIPSEAL
Approvals on nameplate:	PA-I
Curve tolerance:	ANSI/HI11.6:2012 3B2
Materials:	
Pump housing:	Cast iron EN1561 EN-GJL-200 ASTM A48 30B
Impeller:	Cast iron EN1561 EN-GJL-200 ASTM A48 30B
Installation:	
Maximum ambient temperature:	72 °F
Maximum operating pressure:	87.02 psi
Flange standard:	ANSI
Pipework connection:	1 1/2" /2"
Size of outlet port:	1 1/2 inch
Pressure stage:	PN 10
Maximum installation depth:	32.8 ft
Inst dry/wet:	SUBMERGED
Auto-coupling:	98245788
Liquid:	
Pumped liquid:	Water
Liquid temperature range:	32 .. 72 °F
Liquid temperature during operation:	52 °F
Density:	62.4 lb/ft ³
Kinematic viscosity:	1 cSt
Electrical data:	
Power input - P1:	1.3 kW
Rated power - P2:	1.21 HP
Main frequency:	60 Hz
Rated voltage:	1 x 208-230 V
Voltage tolerance:	+6/-10 %
Max starts per. hour:	30
Rated current:	8-7 A
Starting current:	48 A
Rated current at no load:	7.2 A
Cos phi - power factor:	0,87
Cos phi - p.f. at 3/4 load:	0,8
Cos phi - p.f. at 1/2 load:	0,77
Rated speed:	3490 rpm
Moment of inertia:	0.047 lb ft ²
Motor efficiency at full load:	0.69 %
Motor efficiency at 3/4 load:	0.68 %





Company name:

Created by:

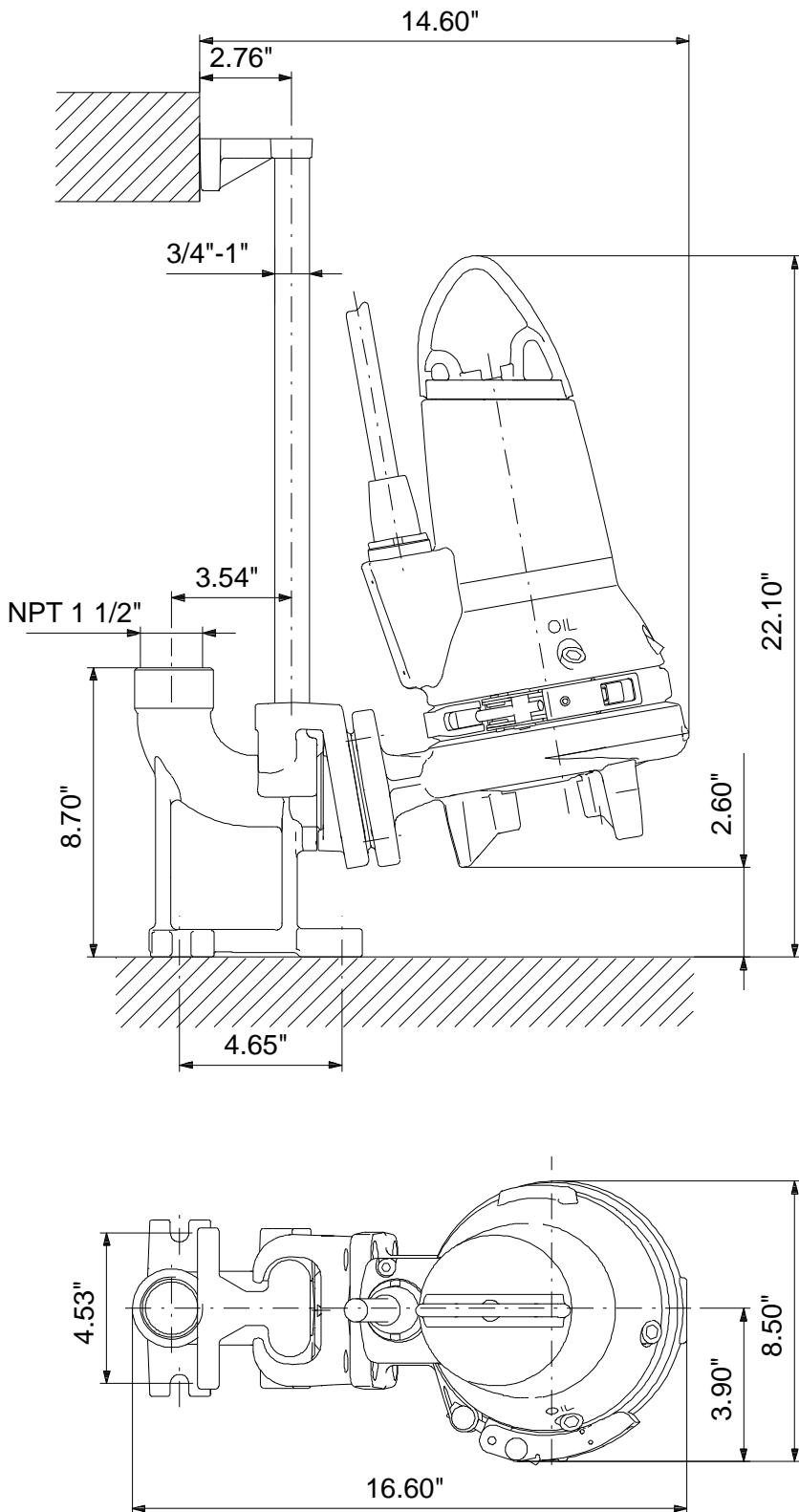
Phone:

Date:

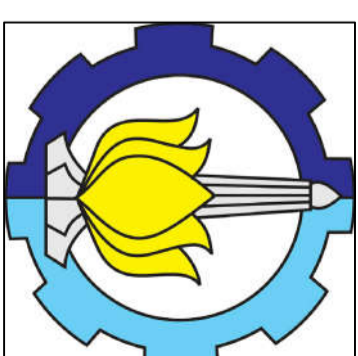
1/4/2018

Description	Value
Motor efficiency at 1/2 load:	0.59 %
Capacitor size - run:	30 μ F
Capacitor size - start:	150 μ F
Number of poles:	2
Start. method:	direct-on-line
Enclosure class (IEC 34-5):	IP68
Insulation class (IEC 85):	F
Explosion proof:	no
Ex-description:	WITHOUT (STANDARD)
Motor protection:	THERMAL SWITCH
Thermal protec:	external
Length of cable:	33 ft
Cable type:	SEOOW 600V
Type of cable plug:	NO PLUG
Controls:	
Control box:	not included
Additional I/O:	External
Moisture sensor:	with moisture sensors
AUTOADAPT:	NO
Others:	
Net weight:	106 lb
Sales region:	Namreg

98682338 SEG.A15.20.R2.2.1.603 60 Hz



Note! All units are in [mm] unless otherwise stated.
Disclaimer: This simplified dimensional drawing does not show all details.



Departemen Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
 Kebumihuan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2018

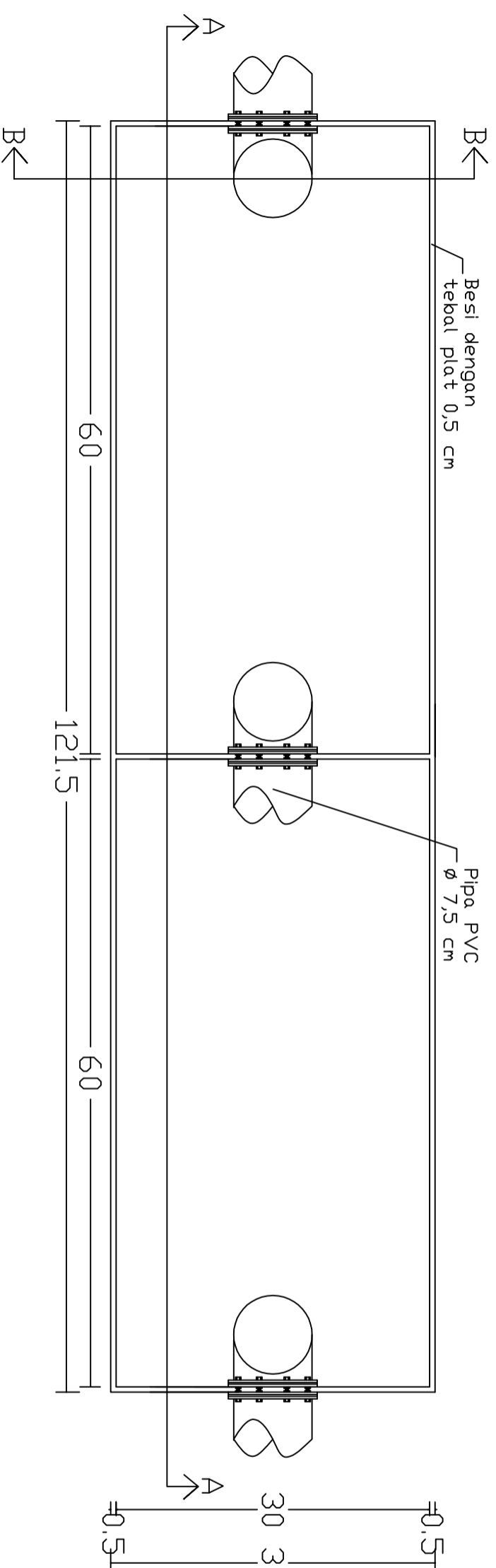
JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan IPAL untuk
 Pengolahan Limbah Cair Industri
 Pangan Skala Rumah Tangga

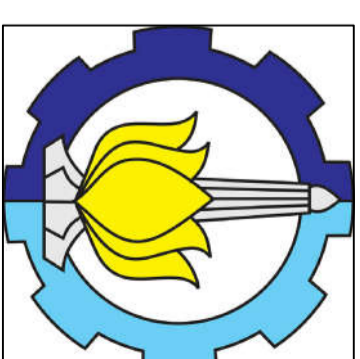
JUDUL GAMBAR

DENAH GREASE TRAP

LEGENDA



NAMA MAHASISWA	
DINDA SYIFA SAKINAH 3314100031	
DOSEN PEMBIMBING	
IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D NIP. 19711114 200312 2 001	
SKALA GAMBAR	
1 : 5	
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
2	14



Departemen Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
 Kebumiharian
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2018



JUDUL TUGAS AKHIR

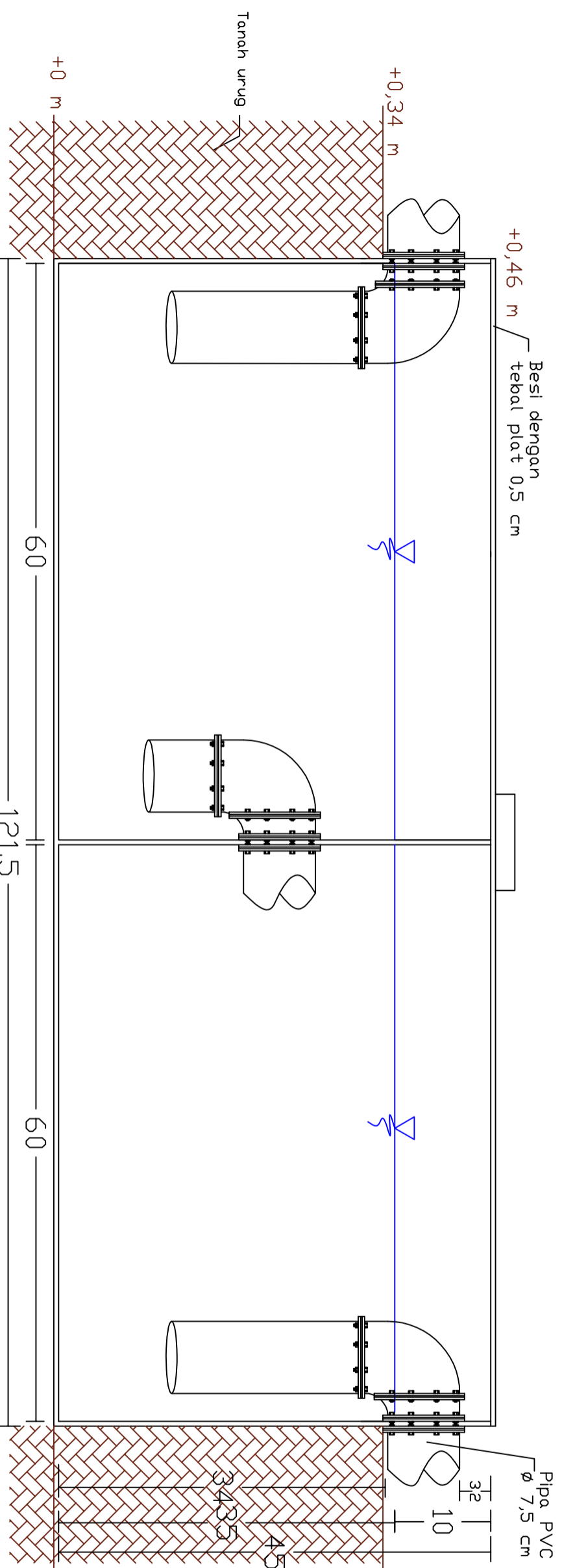
Perencanaan IPAL untuk
 Pengolahan Limbah Cair Industri
 Pangan Siala Rumah Tangga

JUDUL GAMBAR

POTONGAN A-A
 GREASE TRAP

LEGENDA

-  Muka Air
-  Tanah



NAMA MAHASISWA

DINDA SYIFA SAKINAH
 3314100031

DOSSEN PEMBIMBING

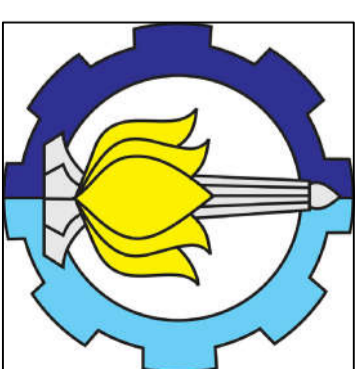
IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D
 NIP. 19711114 200312 2 001

SKALA GAMBAR

1 : 5

NOMOR LEMBAR **JUMLAH LEMBAR**

3 14



Departemen Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
 Kebumihutan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2018

JUDUL TUGAS AKHIR

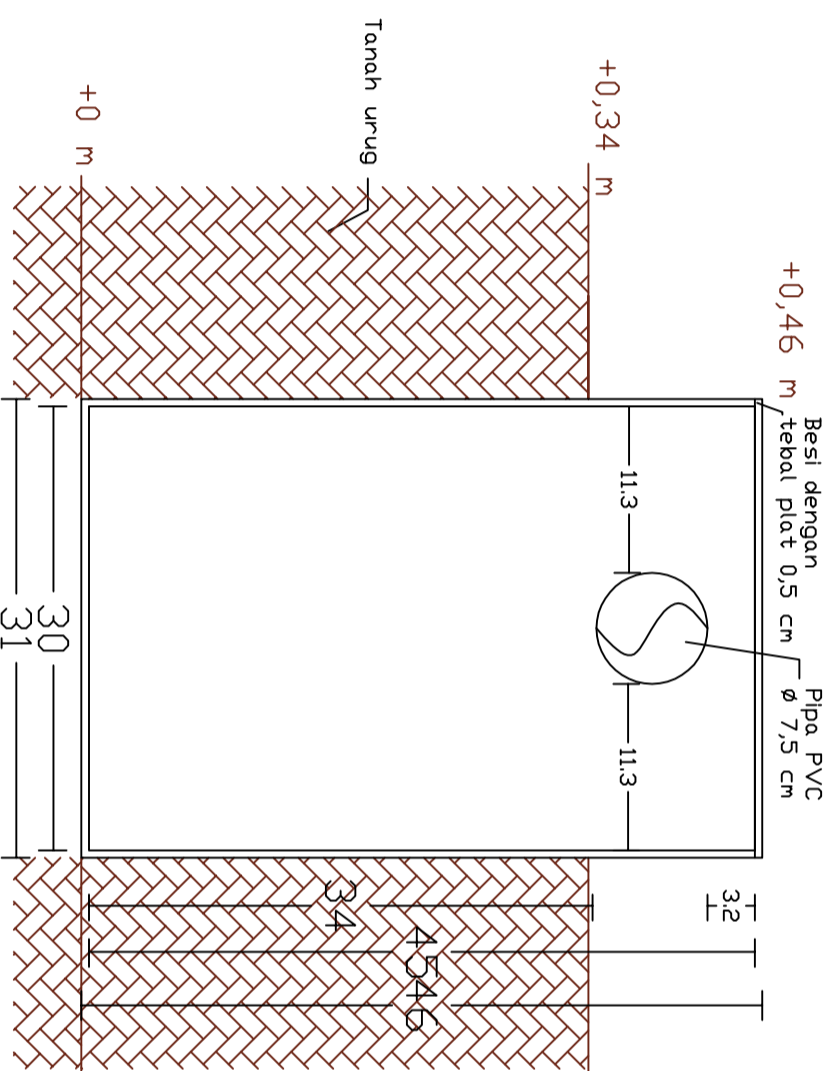
Perencanaan IPAL untuk
 Pengolahan Limbah Cair Industri
 Pangan Skala Rumah Tangga

JUDUL GAMBAR

POTONGAN B-B
 GREASE TRAP

LEGENDA

 Tanah



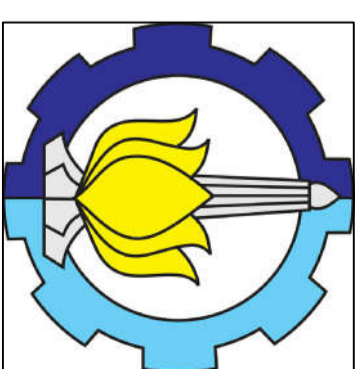
SKALA GAMBAR	
1 : 5	
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
4	14

Dosen Pembimbing

IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D
 NIP. 19711114 200312 2 001

Nama Mahasiswa

DINDA SYIFA SAKINAH
 3314100031



Departemen Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
 Kebumihutan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2018

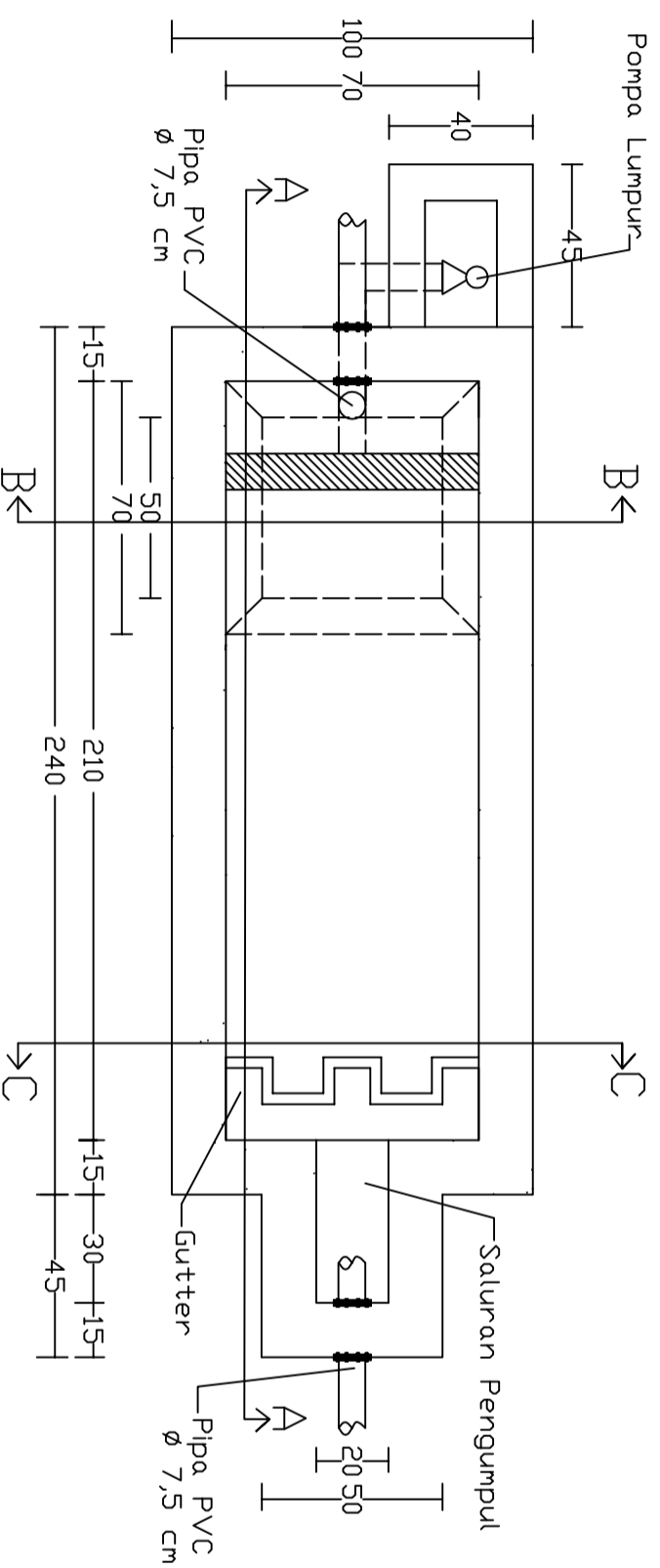
JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan IPAL untuk
 Pengolahan Limbah Cair Industri
 Pangan Skala Rumah Tangga

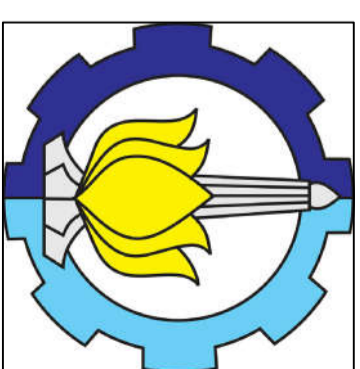
JUDUL GAMBAR

TAMPAK ATAS BAK
 PENGENDAP

LEGENDA



NAMA MAHASISWA	
DINDA SYIFA SAKINAH 3314100031	
DOSEN PEMBIMBING	
IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D NIP. 19711114 200312 2 001	
SKALA GAMBAR	
1 : 20	
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
5	14



Departemen Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
 Kebumihutan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2018




JUDUL TUGAS AKHIR

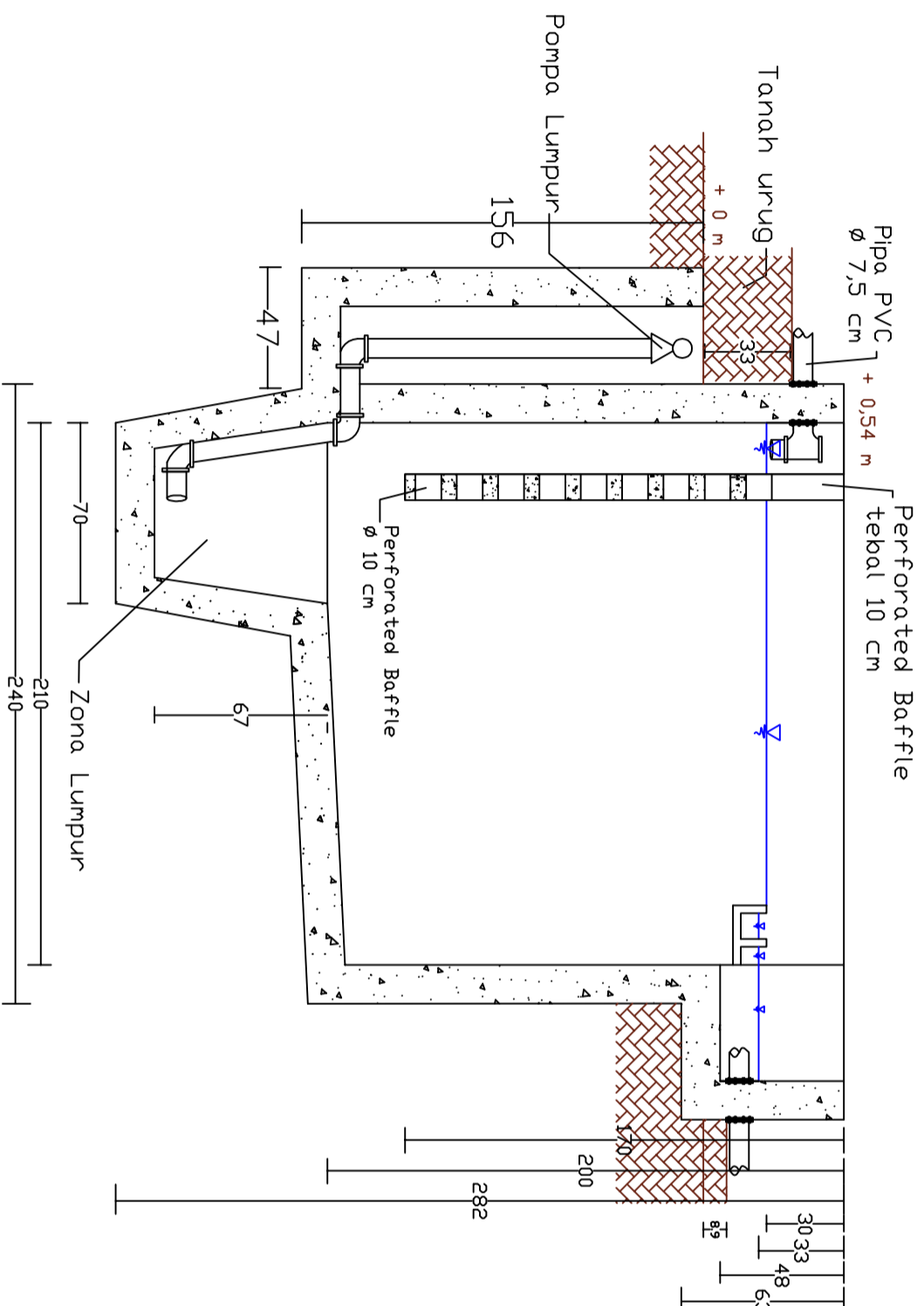
Perencanaan IPAL untuk
 Pengolahan Limbah Cair Industri
 Pangan Skala Rumah Tangga

JUDUL GAMBAR

POTONGAN A-A
 BAK PENGENDAP

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Air
-  Tanah



NAMA MAHASISWA

DINDA SYIFA SAKINAH
 3314100031

DOSSEN PEMBIMBING

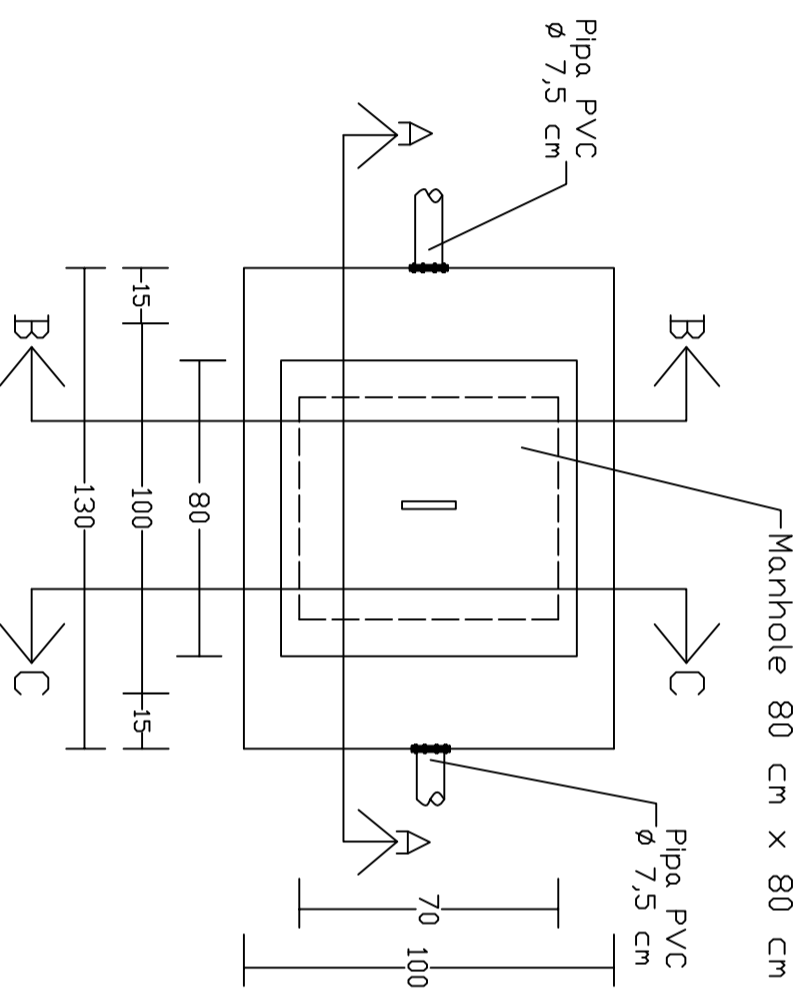
IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D
 NIP. 19711114 200312 2 001

SKALA GAMBAR

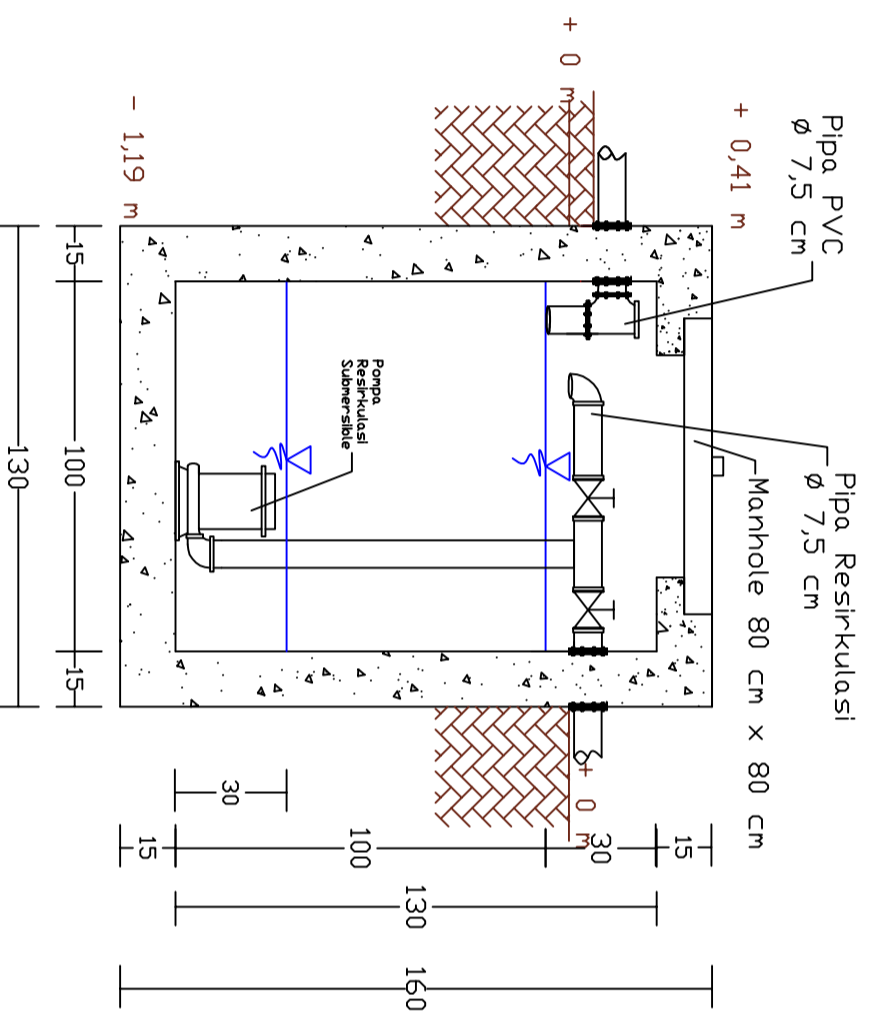
1 : 25

NOMOR LEMBAR **JUMLAH LEMBAR**

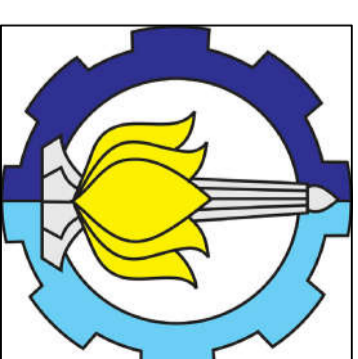
6 14



TAMPAK ATAS BAK EKUALISASI



POTONGAN A-A BAK EKUALISASI



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
Kebumihatan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018




JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan IPAL untuk
Pengolahan Limbah Cair Industri
Pangan Skala Rumah Tangga

JUDUL GAMBAR

TAMPAK ATAS DAN
POTONGAN A-A
BAK EKUALISASI

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Air
-  Tanah

NAMA MAHASISWA

DINDA SYIFA SAKINAH
3314100031

DOSSEN PEMBIMBING

IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19711114 200312 2 001

SKALA GAMBAR

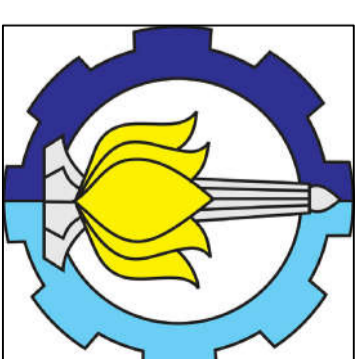
1 : 20

NOMOR LEMBAR

8

JUMLAH LEMBAR

14



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
Kebumiharian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018




JUDUL TUGAS AKHIR

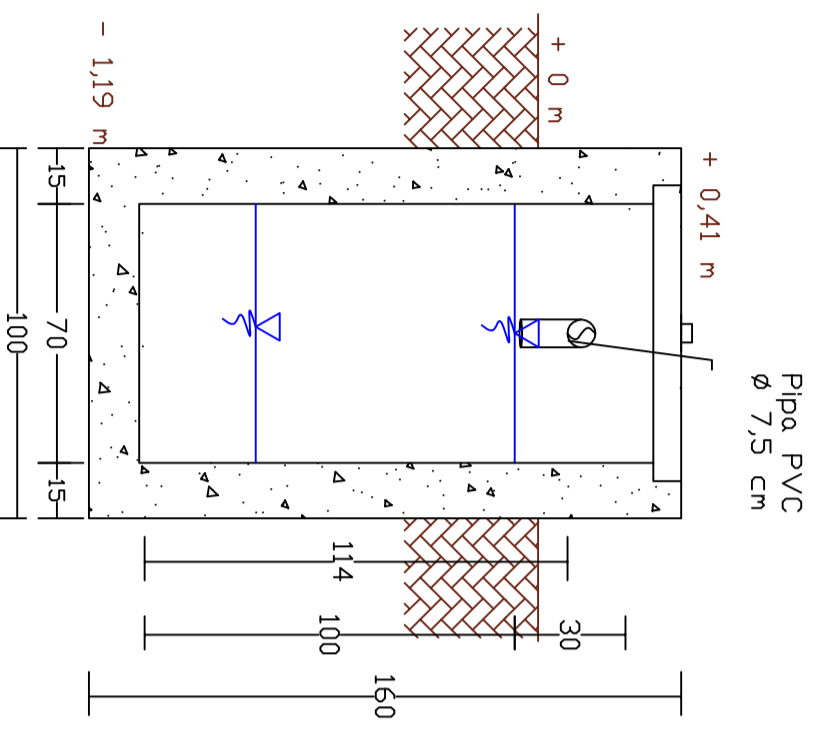
Perencanaan IPAL untuk
Pengolahan Limbah Cair Industri
Pangan Skala Rumah Tangga

JUDUL GAMBAR

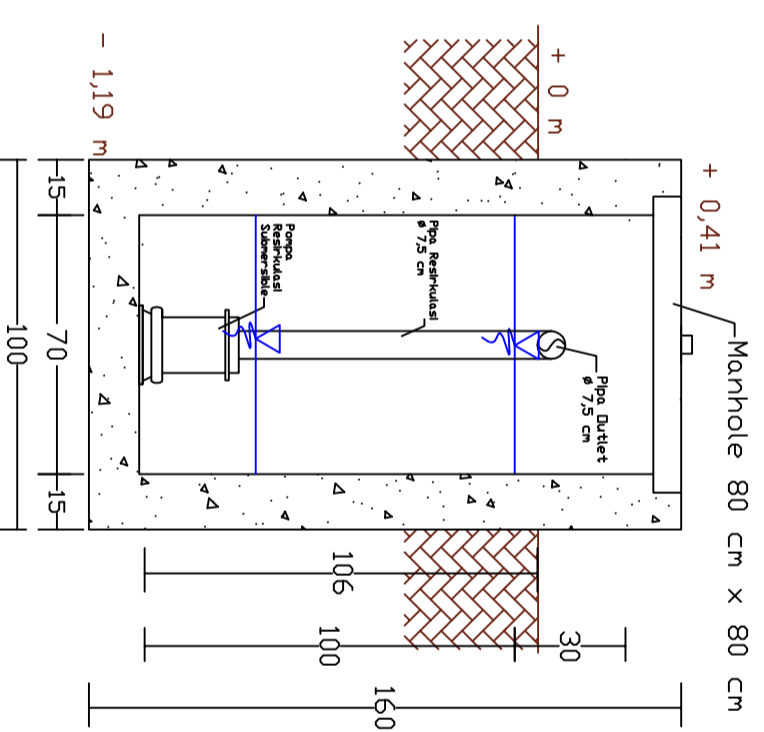
POTONGAN B-B DAN C-C
BAK EKUALISASI

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Air
-  Tanah



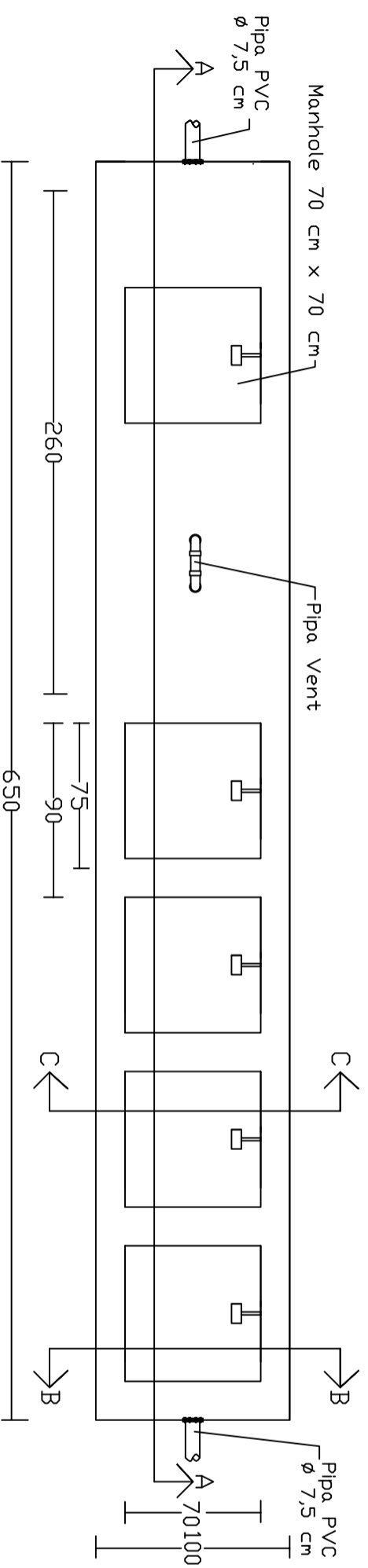
POTONGAN B-B
BAK EKUALISASI



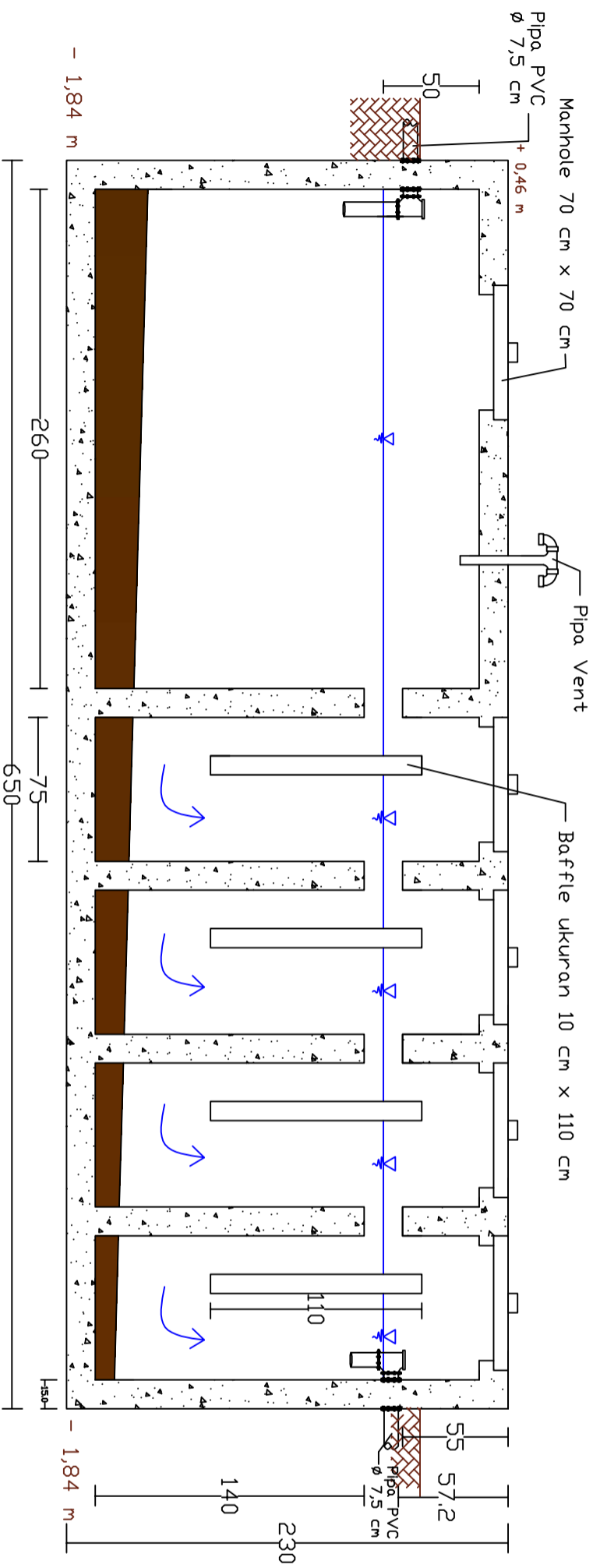
POTONGAN C-C
BAK EKUALISASI

SKALA GAMBAR	
1 : 20	
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
9	14

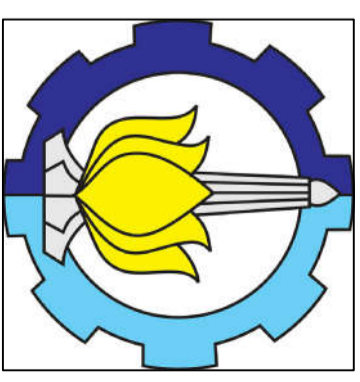
NAMA MAHASISWA	DINDA SYIFA SAKINAH 3314100031
DOSEN PEMBIMBING	IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D NIP. 19711114 200312 2 001



TAMPAK ATAS ANAEROBIC BAFFLED REACTOR



POTONGAN A-A ANAEROBIC BAFFLED REACTOR



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
Kebumiharian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

JUDUL TUGAS AKHIR
Perencanaan IPAL untuk
Pengolahan Limbah Cair Industri
Pangan Skala Rumah Tangga

JUDUL GAMBAR
TAMPAK ATAS DAN
POTONGAN A-A
ANAEROBIC BAFFLED
REACTOR

LEGENDA

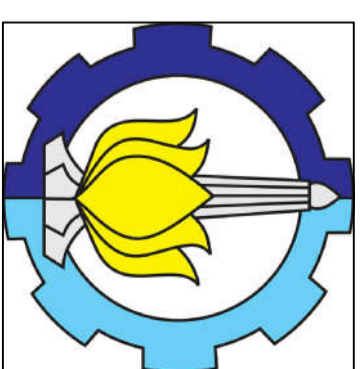
 Beton
 Muka Air
 Tanah

NAMA MAHASISWA
DINDA SYIFA SAKINAH
3314100031

DOSSEN PEMBIMBING
IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19711114 200312 2 001

SKALA GAMBAR
1 : 30

NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
10	14



Departemen Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
 Kebumiharian
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2018

JUDUL TUGAS AKHIR
 Perencanaan IPAL untuk
 Pengolahan Limbah Cair Industri
 Pangan Skala Rumah Tangga

JUDUL GAMBAR
 POTONGAN B-B DAN C-C
 ANAEROBIC BAFFLED
 REACTOR

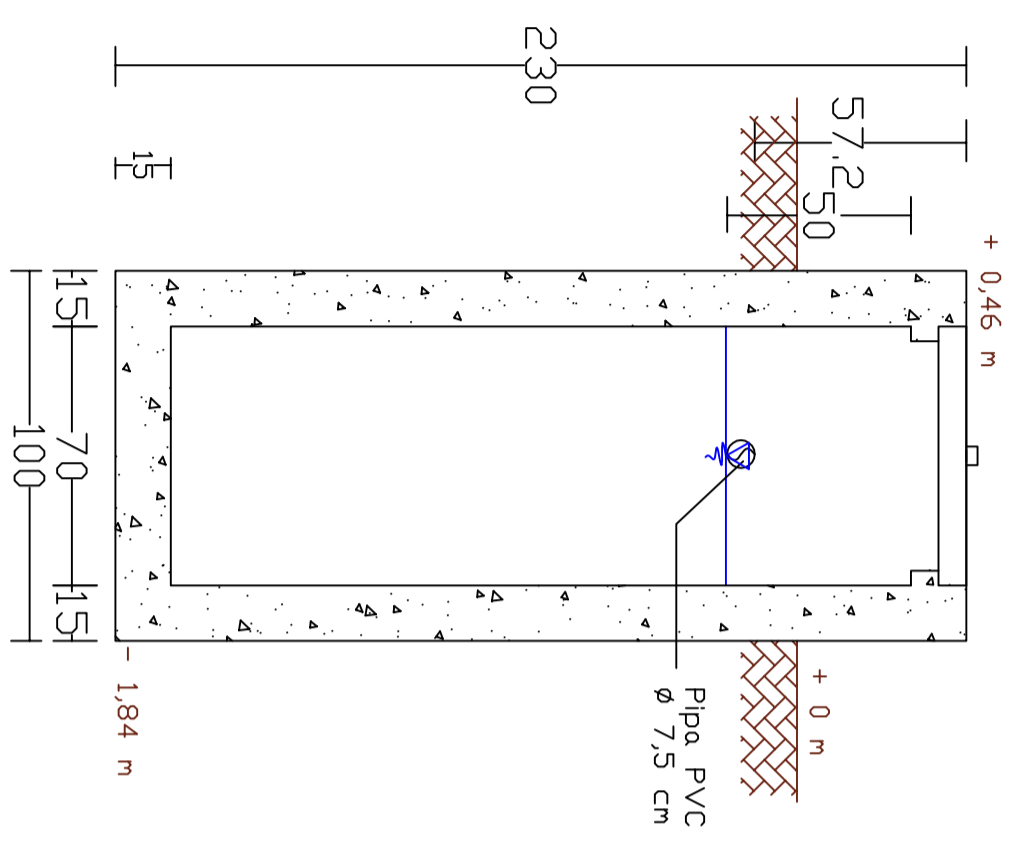
- LEGENDA**
- Beton
 - Muka Air
 - Tanah

NAMA MAHASISWA
 DINDA SYIFA SAKINAH
 3314100031

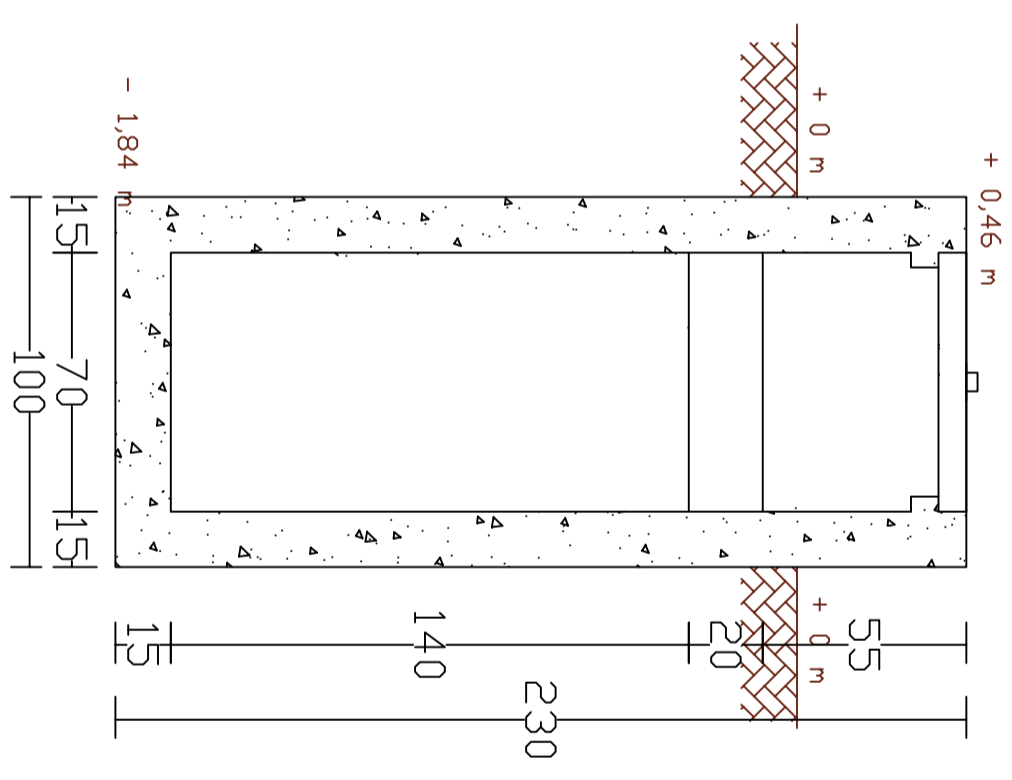
DOSEN PEMBIMBING
 IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D
 NIP. 19711114 200312 2 001

SKALA GAMBAR
 1 : 20

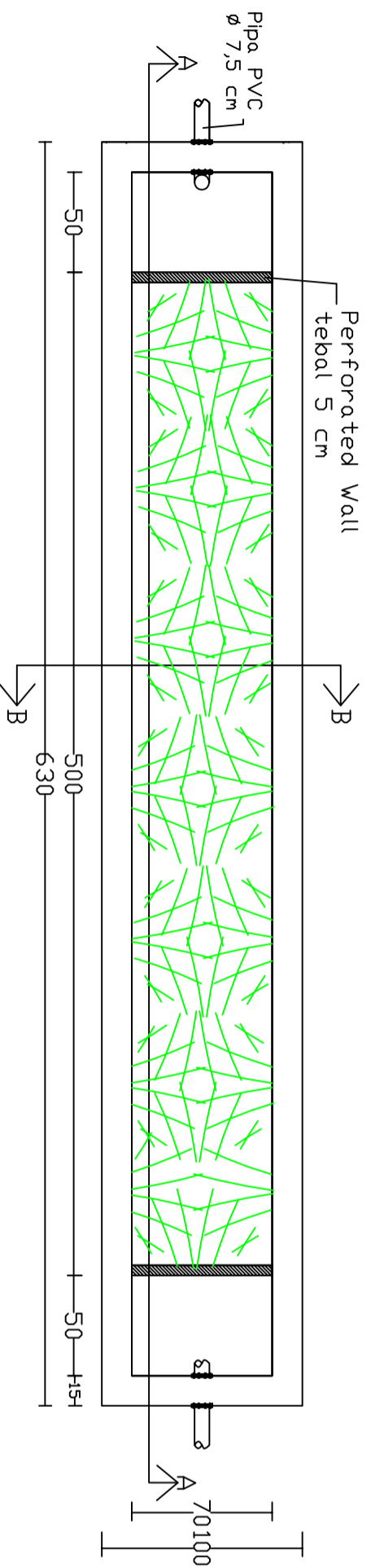
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
11	14



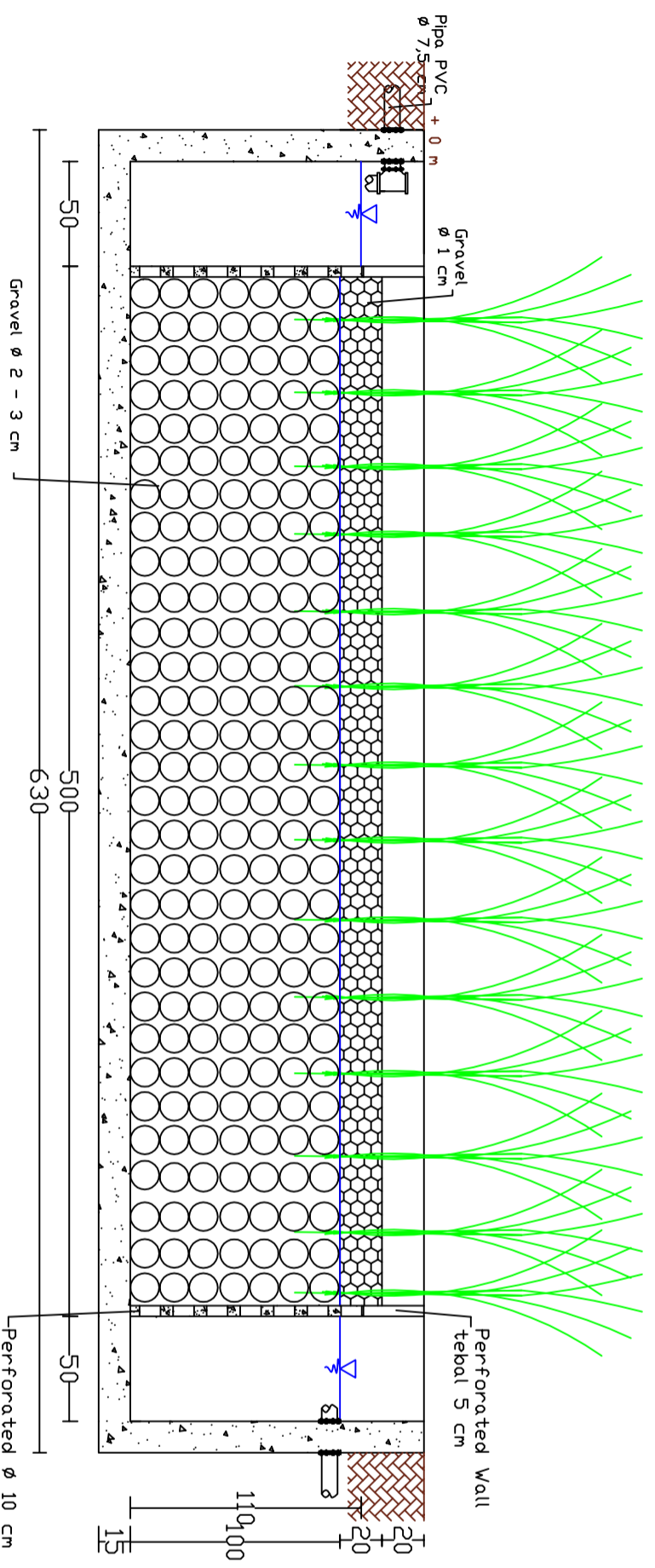
POTONGAN B-B
 ANAEROBIC BAFFLED REACTOR



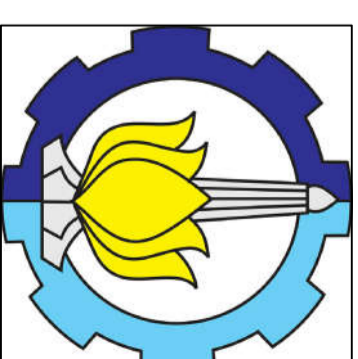
POTONGAN C-C
 ANAEROBIC BAFFLED REACTOR



TAMPAK ATAS CONSTRUCTED WETLAND



POTONGAN A-A CONSTRUCTED WETLAND



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Lingkungan,
Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018






JUDUL TUGAS AKHIR

Perencanaan IPAL untuk
Pengolahan Limbah Cair Industri
Pangan Skala Rumah Tangga

JUDUL GAMBAR

TAMPAK ATAS DAN
POTONGAN A-A
CONSTRUCTED WETLAND

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Air
-  Tanah
-  Gravel
-  Tumbuhan
Scirpus grossus

NAMA MAHASISWA

DINDA SYIFA SAKINAH
3314100031

DOSSEN PEMBIMBING

IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19711114 200312 2 001

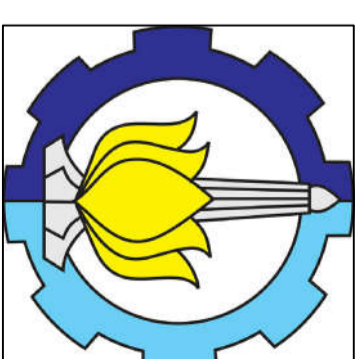
SKALA GAMBAR

1 : 30

NOMOR LEMBAR JUMLAH LEMBAR

12

14



Departemen Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
 Kebumiharian
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2018



JUDUL TUGAS AKHIR

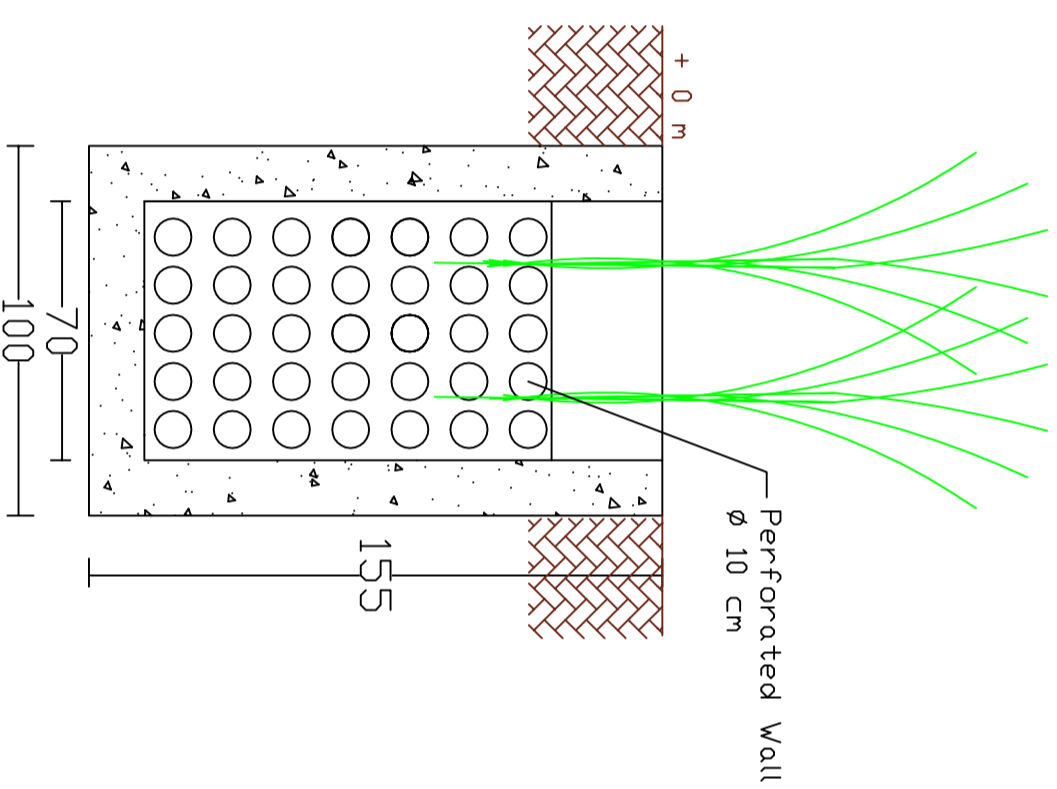
Perencanaan IPAL untuk
 Pengolahan Limbah Cair Industri
 Pangan Skala Rumah Tangga

JUDUL GAMBAR

POTONGAN B-B
 CONSTRUCTED WETLAND

LEGENDA

-  Beton
-  Tanah

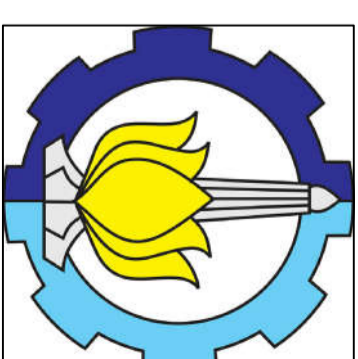


Dosen Pembimbing
 IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D
 NIP. 19711114 200312 2 001

Nama Mahasiswa
 DINDA SYIFA SAKINAH
 3314100031

Skala Gambar
 1 : 20

Nomor Lembar	Jumlah Lembar
13	14



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan
Kebumihatan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018




JUDUL TUGAS AKHIR

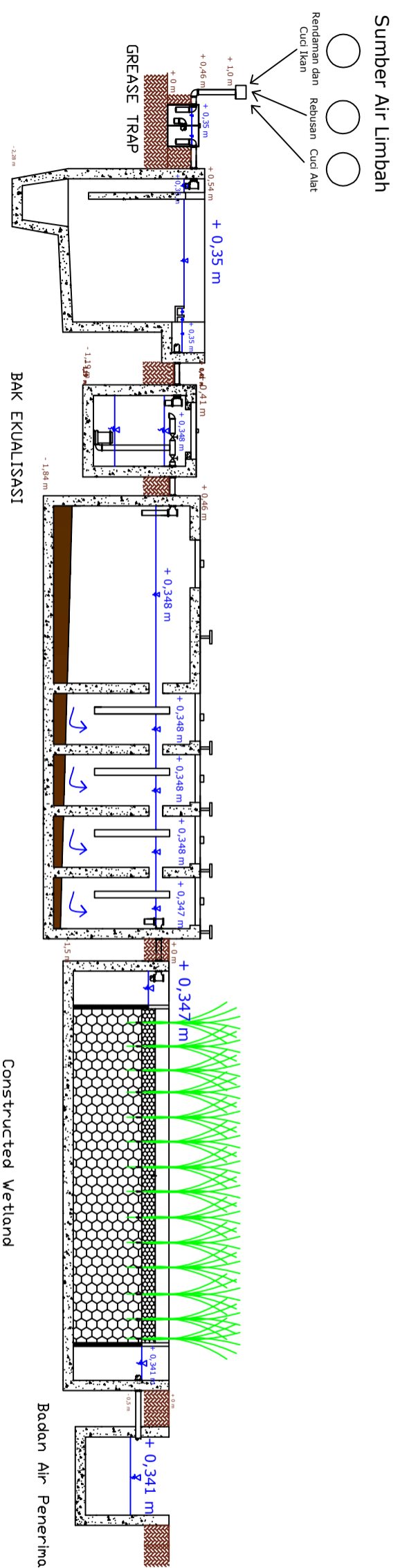
Perencanaan IPAL untuk
Pengolahan Limbah Cair Industri
Pangan Skala Rumah Tangga

JUDUL GAMBAR

PROFIL HIDROLIS IPAL

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Air
-  Tanah



BAK PENGENDAP

BAK EKUALISASI

ANAEROBIC BAFFLED REACTOR

Constructed Wetland

Badan Air Penerima

NAMA MAHASISWA
DINDA SYIFA SAKINAH
3314100031

DOSSEN PEMBIMBING

IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19711114 200312 2 001

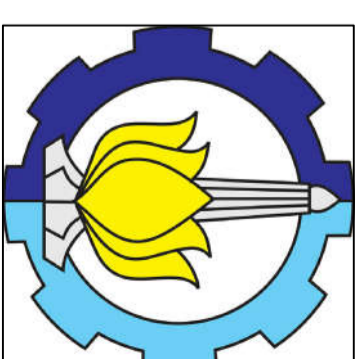
SKALA GAMBAR

1 : 65

NOMOR LEMBAR **JUMLAH LEMBAR**

14

14



Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sivil, Lingkungan, dan
Kebumihatan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018




JUDUL TUGAS AKHIR

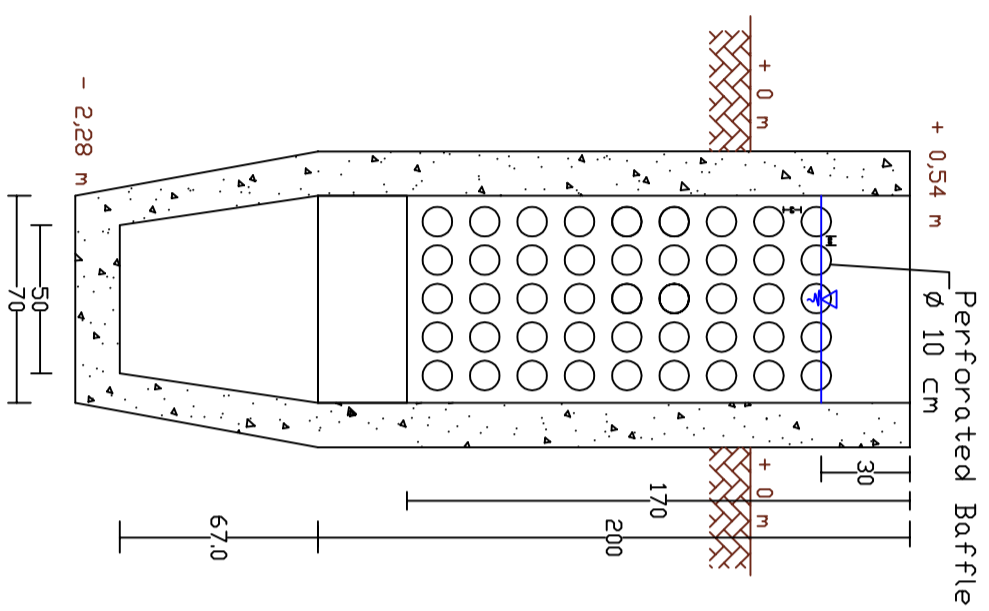
Perencanaan IPAL untuk
Pengolahan Limbah Cair Industri
Pangan Skala Rumah Tangga

JUDUL GAMBAR

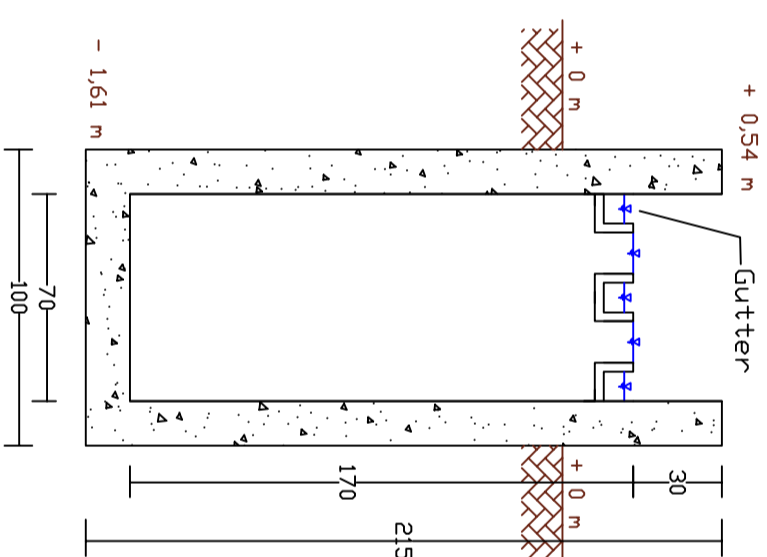
POTONGAN B-B DAN C-C
BAK PENGENDAP

LEGENDA

-  Beton
-  Muka Air
-  Tanah



POTONGAN B-B
BAK PENGENDAP



POTONGAN C-C
BAK PENGENDAP

SKALA GAMBAR	
1 : 25	
NOMOR LEMBAR	JUMLAH LEMBAR
7	14

IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19711114 200312 2 001

DOSSEN PEMBIMBING

NAMA MAHASISWA
DINDA SYIFA SAKINAH
3314100031

BORANG CEK FORMAT LAPORAN TA

No	Kelengkapan TA	Cek Mahasiswa	Cek Pembimbing
1	Halaman judul	✓	✓
2	Abstrak dalam bahasa Indonesia	✓	✓
3	Abstrak dalam bahasa Inggris	✓	✓
4	Kata pengantar	✓	✓
	Format sesuai dengan pedoman penulisan TA 2016	✓	✓
5	Daftar isi	✓	✓
6	Daftar gambar	✓	✓
7	Daftar tabel	✓	✓
8	Daftar lampiran	✓	✓
9	Bab I	✓	✓
10	Bab II	✓	✓
11	Bab III	✓	✓
12	Bab IV	✓	✓
13	Bab V	✓	✓
14	Daftar pustaka	✓	✓
15	Biodata	✓	✓
16	Lampiran (jika ada)	✓	✓

Mahasiswa



DINDA SYIFA SAKINAH

Menyetujui

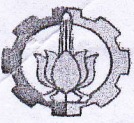


Ipung Fitri Purwanti, ST.,MT, Ph.D.

Mengetahui



Dr. Harmin Sulistiyoning Titah, ST, MT



FTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
 Periode: Genap 2016/2017

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
 Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
 Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : KAMIS 16-Nov-17 Nilai TOEFL 447
 Waktu : 13.00-14.00
 Lokasi : RUANG SIDANG TEKNIK LINGKUNGAN
 Judul : PERENCANAAN IPAL PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI PANGAN SKALA RUMAH TANGGA
 Nama : DINDA SYIFA SAKINAH
 NRP. : 03211144000031
 Topik : PERENCANAAN

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Tugas Akhir
①	Lengkapi gbr dg ukuran: yg lebih detail, notasi, ikut kaedah yg betul menurut gbr teknik, el. muka tanah, el. pipa
②	Prinsip pengaliran air: baik.
③	Kriteria desain → % removal.
④	Hitung headloss & profil hidrolis.
⑤	pemilihan → cek di seluruh bag. buku.
⑥	Ada pengendalian sbtm ABE evaluasi

23/12/17

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

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:
 1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
 2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dosen Pembimbing
 IPUNG FITRI PURWANTI, S.T., M.T., PH.D



FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : DINDA SYIFA SARINAH
 NRP : 03211990000031
 Judul Tugas Akhir : Perencanaan IPAL Pengolahan Limbah Cair Industri Pangan
 Stala Rumah Tangga

No	Saran Perbaikan (sesuai Form KTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Lengkapi gambar dengan ukuran yang lebih detail, notasi: notasi kedah yang betul menurut gambar teknik, elevasi muka tanah, elevasi pipa.	1. Gambar telah diperbaiki dan dilengkapi dengan ukuran yang lebih detail, telah diberi notasi, elevasi muka tanah dan elevasi pipa. Dapat dilihat pada lampiran gambar.
2.	Prinsip pengaliran masing-masing bak	2. Telah ditunjukkan prinsip pengaliran masing-masing bak melalui gambar
3.	Kriteria desain → % removal	3. Telah dicet kriteria desain dan % removal unit IPAL, dapat dilihat pada pemihan kriteria desain dan di perhitungan DED unit.
4.	Hitung headloss & profil hidrolis	4. Telah dihitung headloss dan profil hidrolis
5.	Penulisan → cek di seluruh bag. buku	5. Telah dicet penulisan-penulisannya.
6.	Ada pengendapan sebelum equalisasi	6. Sudah ditambahkan unit pengendapan sebelum equalisasi

Dosen Pembimbing,

Lang. Fitri Purwati, ST, MT, PhD

Mahasiswa Ybs.,

DINDA SYIFA SARINAH



UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Ganjil 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

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

Hari, tanggal : Rabu, 10 Januari 2018
Pukul : 08.00 - 10.00
Lokasi : TL 104
Judul : Perencanaan IPAL Pengolahan Limbah Cair Industri Pangan Skala Rumah Tangga
Nilai TOEFL 447

Nama : Dinda Syifa Sakinah
NRP. : 03211440000031
Topik : Perencanaan

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
1/	Abstrak → alinea akhir → ukuran unit? IPAL
2/	Desir fulfil di evaluasi y apa?
3/	Hitung / gsr muka air di evaluasi saat min & peak. → letak pompa lebih di bawah, agar saat air min, mesh bisa dipompa -
4/	COD & BOD outlet grease trap? → penguraian lemak di air nya?
5/	Konsistensi perene. & SOP. → SOP % sama unit. → Ulu pompa PU.
6/	Cek media dlm wetland.
7/	kesimpulan & saran pembuat
8/	Alternatif → anaerobic semua.

in 19/1

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

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

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

Dosen Pembimbing
Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., Ph.D

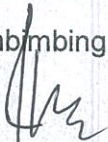
()

FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama : Dinda Syifa Sabinah
 NRP : 3319100031
 Judul Tugas Akhir : Perencanaan IPAL Pengolahan Limbah Cair Industri Pangan Skala Rumah Tangga.

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Abstrak → alenia akhir → ukuran unit-unit IPAL	Sudah diperbaiki abstrak dan ditambahkan ukuran unit IPAL di alenia terakhir
2.	Perirkulari di evaluasi untuk apa	Sudah dihitung tinggi muka air pada bak evaluasi saat peak dan min.
3.	Hitung/gambar muka air di evaluasi saat min dan peak ↳ letak pompa lebih dibawah, agar saat min, masih bisa di pompa	Sudah diperbaiki durasi pengurasan minyak pada grease trap sudah ditambahkan
4.	COD dan BOD outlet grease trap ↳ pengurasan minyak durasinya?	sudah disesuaikan hitungan perencanaan dengan SOP untuk semua unit, sudah cek PU. Sudah diperbaiki
5.	Konsistensi perencanaan & SOP ↳ SOP untuk semua unit, cek punya PU	
6.	Cek media dalam wetland	
7.	Kesimpulan dan saran perbaikan	
8.	Alternatif → anaerobik semua	

Dosen Pembimbing,



Iping Fitri Purwanti, ST, MT, Ph.D

Mahasiswa Ybs.,



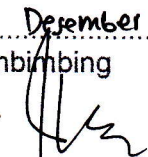
Dinda SYIFA SABINAH

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : DINDA SYIFA SAFINAH
NRP : 03211940000031
Judul Tugas Akhir : PERENCANAAN IPAL PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI PANGAN
SKALA RUMAH TANGGA.

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	8/Sept '17	asistensi lokasi dan layout perencanaan IPAL	Y
2.	13/Sept '17	asistensi hasil analisis laboratorium	Y
3.	25/Sept '17	asistensi hasil analisis laboratorium	Y
4.	7/Nov '17	asistensi laporan	Y
5.	10/Nov '17	asistensi revisi laporan	Y
6.	15/Nov '17	asistensi gambar DED	Y
7.	16/Nov '17	asistensi final persiapan progress	Y
8.	12/Des '17	asistensi revisi progress (latar belakang, alternatif, unit pengolahan awal)	Y
9.	15/Des '17	asistensi gambar DED grease trap - ABR dan perhitungan wetland	Y

Surabaya, Desember 2017
Dosen Pembimbing


Iping Fitri Rudanti, ST, MT, Ph.D

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Gresik, 23 Agustus 1997. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Muhammadiyah GKB Gresik (2003-2009), SMP Negeri 1 Gresik (2009-2012), dan SMA Negeri 1 Gresik (2012-2014). Setelah lulus SMA tahun 2014, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Lingkungan FTSLK-ITS dan terdaftar dengan NRP 3314100031. Penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Kimia Lingkungan 1. Penulis juga aktif di organisasi kampus, yaitu sebagai staff Departemen Ristek dan Teknologi (RISTEK) HMTL ITS pada tahun 2015/2016 dan menjadi kabid Inovasi Karya Departemen Ristek dan Teknologi (RISTEK) HMTL ITS pada tahun 2016/2017. Penulis juga pernah aktif di beberapa kegiatan kampus dengan menjadi panitia dan pernah mengikuti beberapa pelatihan. Penulis dapat dihubungi melalui surel di dindasyifasakinah@gmail.com