



TUGAS AKHIR –RE 141581

**DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH
CAIR PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN
KEMBALI HASIL PENGOLAHANNYA**

I KOMANG ADI PUTRA

NRP 3310 100 081

Dosen Pembimbing

Prof.Dr.Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

Ir. Mas Agus Mardyanto, M.E., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



FINAL PROJECT –RE 141581

**THE DESIGN OF WASTEWATER TREATMENT
PLANT FOR PIGGERY WASTEWATER AND
EFFLUENT UTILISATION**

I KOMANG ADI PUTRA

NRP 3310 100 081

Supervisor

Prof.Dr.Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

Ir. Mas Agus Mardyanto, M.E., Ph.D.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil Engineering and Planning

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL PENGOLAHANNYA

TUGAS AKHIR

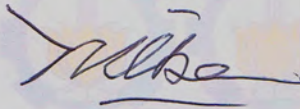
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

I KOMANG ADI PUTRA
NRP 3310 100 081

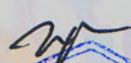
Disetujui oleh:

Pembimbing Tugas Akhir:



Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc
NIP. 19550128 198503 2 001

Co-Pembimbing Tugas Akhir



Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D
NIP. 19620816 199003 1 004



Surabaya, Januari 2015

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL PENGOLAHANNYA

Nama Mahasiswa : Ir. Komang Adi Putra
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc
Co-Pembimbing : Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

ABSTRAK

Pencemaran air bersih dan bau yang tidak sedap merupakan dampak negatif dari usaha peternakan babi secara tradisional. Penduduk yang tinggal di sekitar peternakan babi menuntut adanya penutupan usaha peternakan babi karena pencemaran tersebut. Akibat penutupan sepihak oleh warga sekitar, peternak tidak memiliki mata pencaharian lagi sehingga tidak mampu memenuhi kebutuhan keluarga. Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dilakukan untuk membantu peternak babi dalam mengelola limbah.

Perencanaan menggunakan data pengukuran lapangan dan pemeriksaan kualitas limbah cair. *Anaerobic baffled reactor* (ABR) dan *constructed wetland* (CW) merupakan unit yang relatif murah untuk diterapkan. Biaya konstruksi dihitung dengan menggunakan daftar harga satuan barang dan upah kerja Pemerintah Kota Denpasar 2015.

Dimensi ABR dan CW yang diperoleh berturut-turut 3,4 m x 1 m x 1,5 m dan 92 m x 1,8 m x 0,3 m. Biaya konstruksi untuk ABR dan CW berturut-turut Rp 80.800.000,- dan Rp 195.800.000,-. Efluen dari kedua bangunan digunakan kembali untuk kegiatan pembersihan kandang dan pemandian ternak. Rasio B/C yang diperoleh untuk ABR dan CW berturut-turut yaitu 4,89 dan 2,27.

Kata kunci: *anaerobic baffled reactor, constructed wetland, pemanfaatan efluen, pengolahan air limbah, peternakan babi.*

THE DESIGN OF WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR PIGGERY WASTEWATER AND EFFLUENT UTILISATION

Student's Name : I Komang Adi Putra
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc
Co-Supervisor : Ir. Mas Agus Mardyanto, M.E., Ph.D

ABSTRACT

Water pollution from pig wastes and malodours emanating from traditional pig farms is negative impact of pig farming. Because of bad odour and water pollution, inhabitants living near the pig farms insisted the pig farmers to shut the pig farming. Since the pig farming is their only job, the stoppage will leave them with no jobs and salaries. The design of wastewater treatment plant for piggery wastewater is conducted to help pig farmers manage the wastewater.

The design is using data of field measurement and wastewater analysis. An anaerobic baffled reactor (ABR) and a constructed wetland (horizontal sub-surface flow) (CW) are low-cost treatment plants such that they are becoming appropriate to be applied for traditional pig farmers to manage pig waste. The calculation of construction cost of the two units is conducted by using the unit price of goods and wages (*harga satuan barang dan upah kerja*) published by the government of Denpasar in 2015.

The dimension obtained for ABR and CW is 3.4 m x 1 m x 1.5 m and 92 m x 1.8 m x 0.3 m, respectively. The construction cost for ABR and CW is IDR 80,800,000.00 and IDR 195,800,000.00, respectively. The effluent generated from the two units is utilised for barn and pig washing. The B/C ratio for ABR and CW is 4.89 and 2.27, respectively.

Key words : anaerobic baffled reactor, constructed wetland, effluent utilisation, traditional pig farming, wastewater treatment.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan berkat-Nya, proposal tugas ini dapat diselesaikan dengan baik. Proposal Tugas Akhir ini dapat diselesaikan berkat bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc dan Bapak Ir. Mas Agus Mardyanto, M.E., Ph.D sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan ilmu, saran, masukan, nasihat, dan bimbingan.
2. Bapak Ir. Mohammad Razif, M.M, Ir. Didik Bambang S., M.T, Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Kes, dan Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc sebagai dosen penguji Tugas Akhir yang selalu memberikan ilmu, masukan kritis, ide cemerlang, dan bimbingan.
3. Bapak I Nyoman Brandi sebagai pemilik peternakan yang telah memberikan pengetahuan di lapangan.
4. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. S.E., M.Sc., Ph.D sebagai dosen wali yang selalu memberikan semangat dan nasihat.
5. Bapak Nyoman Budi Artaya sebagai Kepala Lingkungan Panjer yang telah membantu penulis dalam urusan administrasi selama berkuliah di ITS.
6. Teman-teman Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, angkatan 2010 atas kebersamaan kalian.
7. Teman-teman yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, antara lain: Anggie, Heri, Chaydir, Rezi, Uje, Abdul, Dede, Arga, Jimmy, Oka, dan Dina.
8. Teman-teman Universitas Dankook, Kampus Jukjeon, Korea Selatan program *Spring Semester* 2013 atas inspirasi kalian dari lautan seberang yang jauh disana.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada kedua orang tua (I Ketut Sutapa dan Ni Made Suarni), kakak (I Kadek Asnawa), serta keluarga besar di Denpasar yang selalu memberi dukungan finansial, moral, dan spiritual.

Penulisan proposal ini tentu memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun terhadap Tugas Akhir ini akan diterima penulis.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Perencanaan	2
1.4 Manfaat Perencanaan	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Limbah Peternakan Babi.....	5
2.2 Alternatif Pengolahan Limbah Peternakan Babi	6
2.2.1 <i>Constructed Wetland</i>	6
2.2.4 <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	8
2.3 Kriteria Desain <i>Constructed Wetland</i>	9
2.4 Kriteria Desain <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	10
2.5 Pengolahan Anaerobik untuk Air Limbah.....	11
2.6 Bak Ekualisasi	12
2.7 <i>Flow-Weighted Constituent Concentrations</i>	13
2.8 Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB).....	14
2.9 Contoh Pemanfaatan Efluen Air Limbah.....	14
2.10 Kesetimbangan Massa	15
2.11 Diagram Kendali (<i>Control Chart</i>).....	15
2.12 Analisis Keuntungan dan Biaya (<i>Benefit and Cost Analysis</i>)	17
2.13 Penelitian Terdahulu tentang <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> dan <i>Constructed Wetland</i>	18
BAB 3 METODE PERENCANAAN	23
3.1 Kerangka Perencanaan	23
3.2 Judul Perencanaan.....	24
3.3 Tinjauan Pustaka.....	25
3.4 Pengumpulan Data.....	25
3.4.1 Data Primer	25
3.4.2 Data Sekunder.....	28

3.5	Diagram Alir Pengolahan Limbah Cair Pternakan Babi	30
3.6	Pengolahan Data	31
3.7	Kesimpulan dan Saran	33
BAB 4 GAMBARAN UMUM PERENCANAAN.....		35
4.1	Gambaran Umum Pternakan Babi	35
4.2	Alur Kegiatan	35
4.3	Pengelolaan Limbah yang Telah Dilakukan.....	36
4.4	Luas Lahan Pternakan.....	37
BAB 5 PEMBAHASAN		39
5.1	Pengambilan dan Pemeriksaan Sampel	39
5.2	Analisis Hasil Sampling dan Laboratorium.....	45
5.2.1	<i>Control Chart</i> untuk Data Debit Air Limbah pada Pagi Hari.....	45
5.2.2	<i>Control Chart</i> untuk Data Debit Air Limbah pada Sore Hari.....	47
5.2.3	<i>Control Chart</i> untuk Data BOD ₅	49
5.2.4	<i>Control Chart</i> untuk Data COD	50
5.2.4	<i>Control Chart</i> untuk Data TSS	52
5.3	Perhitungan Dimensi Bangunan	56
5.3.1	Perhitungan Dimensi Bangunan Alternatif Pertama	56
5.4	Perhitungan <i>Bill of Quantity</i> (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)	91
5.5	<i>Operation and Maintenance</i> (O & M) Bangunan IPAL	108
5.6	Rencana Pemanfaatan Efluen, <i>Benefit and Cost Ratio Analysis</i> , dan <i>Pay Back Period</i>	117
5.7	Letak IPAL	128
5.8	<i>Shock Loading</i> pada Bangunan <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	128
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....		133
DAFTAR PUSTAKA		135

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Air Limbah Peternakan Babi di Beberapa Negara.....	6
Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu Pengolahan Limbah dengan ABR	18
Tabel 3. 1 Pengawetan pada Sampel	27
Tabel 3. 3 Kriteria Desain <i>Septic Tank</i>	29
Tabel 3. 4 Kriteria Desain <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	29
Tabel 3. 5 Kriteria Desain <i>Constructed Wetland</i>	30
Tabel 5. 1 Rekapitulasi Pengukuran Volume Limbah Cair	41
Tabel 5. 2 Rekapitulasi Komposisi Volume Pagi dan Sore.....	44
Tabel 5. 3 Hasil Pemeriksaan Limbah Cair	45
Tabel 5. 4 Perhitungan Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Data Debit Pagi Hari.....	46
Tabel 5. 5 Perhitungan Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Data Debit Sore Hari.....	47
Tabel 5. 6 Perhitungan Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Data BOD ₅	49
Tabel 5. 7 Perhitungan Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Data COD	50
Tabel 5. 8 Perhitungan Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Data TSS	52
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Data untuk Perencanaan	54
Tabel 5. 10 Perhitungan Bak Ekualisasi	56
Tabel 5. 11 Simulasi Volume Air Limbah pada Bak Ekualisasi... 59	
Tabel 5. 12 Perhitungan Konsentrasi BOD ₅ , COD, TSS Rata-Rata	61
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Dimensi Alternatif Pertama	82
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Dimensi Alternatif Kedua.....	89
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Desain Alternatif Pertama dan Kedua	90
Tabel 5. 16 Menggali 1 m ³ Tanah Sedalam 1 m	91
Tabel 5. 17 Menggali 1 m ³ Tanah Sedalam 2 m	91
Tabel 5. 18 Menggali 1 m ³ Tanah Sedalam 3 m	92
Tabel 5. 19 Mengurug Kembali 1 m ³ Tanah Sedalam 3 m	92
Tabel 5. 20 Mengurug 1 m ³ Pasir Urug	92
Tabel 5. 21 Memasang 1 m ² Dinding Batu Bata Ukuran	93
Tabel 5. 22 Membuat 1 m ² Plesteran 1 PC:3 PP, tebal 15 mm	93
Tabel 5. 23 Membuat 1 m ² Acian	94

Tabel 5. 24 Membuat 1 m ³ Lantai Kerja Beton (K 100)	94
Tabel 5. 25 Membuat 1 m ³ Plat Beton Bertulang.....	95
Tabel 5. 26 Membuat 1 m ³ Sloof Beton Bertulang.....	95
Tabel 5. 27 Membuat 1 m ³ Kolom Beton Bertulang.....	96
Tabel 5. 28 Membuat 1 m ³ Dinding Beton Bertulang.....	97
Tabel 5. 29 Membuat 1 m ³ Beton Mutu (K 250)	98
Tabel 5. 30 Memasang 1 m ³ Pondasi Batu Belah,	98
Tabel 5. 31 Memasang 1 m ³ Batu Kosong (Anstamping).....	99
Tabel 5. 32 BOQ dan RAB <i>Septic Tank</i> untuk Bangunan Alternatif Pertama dan Alternatif Kedua.....	100
Tabel 5. 33 BOQ dan RAB untuk <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	101
Tabel 5. 34 BOQ dan RAB untuk Bak Penampung Alternatif Pertama	102
Tabel 5. 36 BOQ dan RAB <i>Constructed Wetland</i> (Satu dari Empat Segmen).....	104
Tabel 5. 37 BOQ dan RAB Bak Penampung Bangunan Alternatif Kedua	105
Tabel 5. 38 Rekapitulasi Biaya Konstruksi Bangunan IPAL Alternatif Pertama	107
Tabel 5. 39 Rekapitulasi Biaya Konstruksi Bangunan IPAL Alternatif Kedua	107
Tabel 5. 40 O & M <i>Septic Tank</i> dan <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> Setiap Dua Minggu	107
Tabel 5. 41 O & M <i>Septic Tank</i> dan <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> Setiap Dua Bulan.....	108
Tabel 5. 42 O & M <i>Septic Tank</i> dan <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> Setiap Satu Tahun	109
Tabel 5. 43 O & M <i>Constructed Wetland</i> Setiap Dua Minggu....	110
Tabel 5. 44 O & M <i>Constructed Wetland</i> Setiap Dua Bulan	111
Tabel 5. 45 O & M <i>Constructed Wetland</i> Tiap Tahun.....	112
Tabel 5. 46 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun	113
Tabel 5. 47 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun	113
Tabel 5. 48 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun	113
Tabel 5. 50 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun	114
Tabel 5. 51 Rekapitulasi Biaya Operasi dan Pemeliharaan.....	115
Tabel 5. 52 Rekapitulasi Biaya Operasi dan Pemeliharaan.....	115
Tabel 5. 53 Perbandingan antara Bangunan IPAL Alternatif Pertama dengan Alternatif Kedua.....	126

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Horizontal filter</i> (Sasse, 2009)	7
Gambar 2. 2 <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (Sasse, 2009).....	9
Gambar 2. 3 Penentuan Volume Bak Ekualisasi.....	13
Gambar 2. 4 Skema <i>Mass Balance</i> (Saputri, 2014)	15
Gambar 3. 1 Kerangka Perencanaan.....	24
Gambar 3. 2 Alternatif Pengolahan Limbah Cair Peternakan Babi	31
Gambar 4. 1 Kandang Babi.....	35
Gambar 4. 2 Kolam Ikan Lele.....	36
Gambar 4. 3 Kompor Biogas	36
Gambar 4. 4 Lahan untuk Pembangunan IPAL.....	37
Gambar 5. 1 Lokasi Pengambilan Sampel di Sebelah Utara.....	40
Gambar 5. 2 Lokasi Pengambilan Sampel di Sebelah Selatan ..	40
Gambar 5. 3 <i>Control Chart</i> untuk Data Debit Air Limbah Pagi Hari	47
Gambar 5. 4 <i>Control Chart</i> untuk Data Debit Air Limbah Sore Hari	48
Gambar 5. 5 <i>Control Chart</i> untuk Data BOD ₅	50
Gambar 5. 6 <i>Control Chart</i> untuk Data COD	51
Gambar 5. 7 <i>Control Chart</i> untuk Data TSS	53
Gambar 5. 8 Debit Air Limbah Delapan Hari Berturut-Turut.....	54
Gambar 5. 9 Data BOD ₅ , COD, dan TSS	55
Gambar 5. 10 Penentuan Volume Bak Ekualisasi	58
Gambar 5. 11 Penyisihan COD pada Tangki Pengendapan (Sasse, 2009)	64
Gambar 5. 12 Hubungan antara Efisiensi Penyisihan COD dengan Efisiensi Penyisihan BOD. (Sasse, 2009)	64
Gambar 5. 13 Penurunan Volume Lumpur selama Masa Penyimpanan (Sasse, 2009)	65
Gambar 5. 14 Keseimbangan Massa di <i>Septic Tank Alternatif Pertama</i>	69
Gambar 5. 15 Hubungan antara Beban Organik dengan Faktor Penyisihan (Sasse, 2009).....	76
Gambar 5. 16 Hubungan antara Karakteristik Air Limbah dengan Faktor Penyisihan (Sasse, 2009).....	76
Gambar 5. 17 Hubungan antara Suhu dengan Faktor Penyisihan pada Reaktor Anaerobik (Sasse, 2009).....	77

Gambar 5. 18 Hubungan antara HRT dengan Faktor Penyisihan (Sasse, 2009)	77
Gambar 5. 19 Keseimbangan Massa di <i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	81
Gambar 5. 20 Pengaruh dari penyisihan BOD terhadap HRT	84
Gambar 5. 21 Hubungan antara Suhu dengan HRT pada <i>Constructed Wetland</i>	84
Gambar 5. 22 Keseimbangan Massa di <i>Constructed Wetland</i> ..	88
Gambar 5. 23 Neraca Penggunaan Air	119
Gambar 5. 24 Neraca Penggunaan Air	119
Gambar 5. 25 Pompa Merek Shimizu PS-150 BIT	120
Gambar 5. 26 Elevasi Tanah di Peternakan Babi di Sanur	127
Gambar 5. 27 Letak IPAL Alternatif Pertama	128
Gambar 5. 28 Letak IPAL Alternatif Kedua.....	129

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Usaha peternakan babi dapat ditemukan di beberapa provinsi di Indonesia. Mengacu pada data Kementerian Pertanian Republik Indonesia (2012), tiga provinsi dengan populasi ternak babi tertinggi di Indonesia pada tahun 2010, yaitu: Nusa Tenggara Timur (1.637.351 ekor), Bali (930.465 ekor), dan Sumatera Utara (734.222 ekor). Budiyo (2010) menambahkan bahwa lima jenis komoditi ekspor sub sektor peternakan terbesar pada periode Januari-Juli 2009, yaitu: kulit (41,75%), susu (36,23%), ternak babi (14,00%), mentega (3,04%), dan obat hewan (1,76%).

Kegiatan usaha ternak babi dapat menimbulkan permasalahan lingkungan hidup. Permasalahan yang paling sering terjadi adalah pembuangan limbah dari peternakan babi terutama kotoran dan urin yang menyebarkan bau (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2012). Akibat dari pencemaran lingkungan ini, kegiatan usaha ternak babi ditutup secara sepihak. Solusi ini dapat menyebabkan hilangnya mata pencaharian penduduk yang bergerak di sektor ternak babi. Menurut Solopos (2013), warga kecamatan Jatisono, Solo menuntut dilakukan penutupan peternakan babi di daerah sekitar. Selain itu, warga desa Gadungsari, kabupaten Tabanan, Bali mengeluhkan limbah peternakan babi yang dibuang ke sungai (Republika, 2013).

Berdasarkan analisis di lapangan yang dilakukan oleh I Komang Adi Putra pada tanggal 13 Agustus 2013 di Sanur, Bali, terdapat sebuah peternakan dengan total ternak babi mencapai $\pm$ 70 ekor. Pembersihan kandang babi dilakukan setiap pukul 06.00 dan 17.00 WITA. Kotoran babi dikumpulkan setiap hari, lalu dimasukkan ke dalam *digester* biogas. Limbah cair yang berasal dari pembersihan kandang dan pemandian babi seluruhnya dialirkan ke kolam ikan lele. Limbah ini masih mengandung sisa pakan ternak dan kotoran babi.

Dalam rangka mencegah pencemaran lingkungan dan menjamin keberadaan peternak, desain bangunan pengolahan limbah cair peternakan babi perlu dilakukan. *Anaerobic baffled*

reactor dan *constructed wetland* adalah unit yang dipilih untuk mengolah air limbah di dalam desain ini. *Anaerobic baffled reactor* relatif sederhana untuk dioperasikan, murah, dan tidak memerlukan listrik (Irwin, 2011 dalam Hassan *et al.*, 2013). Di sisi lain, menurut Kadlec *et al.* (2000) dan Haberl *et al.* (2003) dalam Langergraber (2007), unit *constructed wetland* tidak memerlukan operasi dan pemeliharaan yang kompleks dan menambah estetika lingkungan.

Dalam rangka membangun unit pengolah air limbah, peternak akan memerlukan biaya konstruksi dan pengoperasian dan pemeliharaan. Perhitungan *bill of quantity* (BOQ) dan rencana anggaran biaya (RAB) dilakukan untuk membandingkan unit mana yang relatif lebih ekonomis bagi peternak. Selain itu, perencanaan pemanfaatan efluen dari unit pengolah air limbah juga dilakukan agar peternak mendapat manfaat dari adanya unit tersebut. Analisis keuntungan dan biaya (*benefit and cost analysis*) digunakan dalam perencanaan ini guna menilai dampak positif dan negatif dari pembangunan bangunan pengolah air limbah dengan membandingkan antara biaya dan manfaat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari perencanaan ini, antara lain:

1. Bagaimana desain bangunan pengolahan limbah cair peternakan babi skala rumah tangga dengan unit *anaerobic baffled reactor* dengan alternatif *constructed wetland*?
2. Berapakah *bill of quantity* (BOQ) dan rencana anggaran biaya (RAB) yang dibutuhkan untuk membangun unit *anaerobic baffled reactor* dengan alternatif *constructed wetland*?
3. Bagaimanakah perencanaan pemanfaatan efluen air limbah dari unit *anaerobic baffled reactor* dengan alternatif *constructed wetland*?

1.3 Tujuan Perencanaan

Tujuan perencanaan dalam tugas akhir ini, yaitu:

1. Mendesain bangunan pengolahan limbah cair peternakan babi skala rumah tangga dengan unit *anaerobic baffled reactor* dengan alternatif *constructed wetland*.

2. Menghitung *bill of quantity* (BOQ) dan rencana anggaran biaya (RAB) yang dibutuhkan untuk membangun unit *anaerobic baffled reactor* dengan alternatif *constructed wetland*.
3. Merencanakan pemanfaatan effluen air limbah dari unit *anaerobic baffled reactor* dengan alternatif *constructed wetland*.

1.4 Manfaat Perencanaan

Manfaat perencanaan dalam tugas akhir ini, yaitu:

1. Memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengolahan limbah cair peternakan babi melalui pembangunan unit *anaerobic baffled reactor* dengan alternatif *constructed wetland*. Pembangunan unit pengolahan air limbah tersebut dapat menghasilkan effluen yang memenuhi baku mutu sesuai Lampiran XX Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Peternakan Sapi dan Babi.
2. Memberikan informasi ilmiah tentang desain bangunan pengolahan air limbah kepada peternak babi untuk mengolah limbah cair peternakan babi sehingga tidak mencemari lingkungan.
3. Memberikan informasi ilmiah kepada instansi atau Badan Lingkungan Hidup (BLH) mengenai salah satu alternatif pengolahan limbah cair peternakan babi. Bangunan pengolahan limbah cair tersebut dapat dijadikan percontohan bagi peternakan babi yang lain.

1.5 Ruang Lingkup

Tipe pengolahan yang dilakukan adalah pengolahan biologis dengan menggunakan unit *anaerobic baffled reactor* dengan alternatif *constructed wetland*. Influen air limbah yaitu limbah cair dari pencucian kandang babi yang masih mengandung sisa pakan ternak. Ruang lingkup yang digunakan dalam perencanaan mencakup:

1. Debit air limbah didapatkan dari sampling di peternakan babi di Sanur, Denpasar, Bali.
2. Karakteristik air limbah didapatkan dari limbah cair peternakan babi tangga di Sanur, Denpasar, Bali.

- 
3. Baku mutu berdasarkan Lampiran XX Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Peternakan Sapi dan Babi.
 4. Perhitungan dimensi bangunan *anaerobic baffled reactor* dan *constructed wetland* dengan menggunakan metoda pada (Sasse, 2009) dan (Tchobanoglous *et al.*, 2003).
 5. Parameter yang digunakan yaitu BOD, COD, dan TSS.
 6. Menggambar desain *anaerobic baffled reactor* dan *constructed wetland* dengan menggunakan program AutoCAD 2007.
 7. Melakukan perhitungan BOQ berdasarkan gambar desain dan RAB unit *anaerobic baffled reactor* dan *constructed wetland* berdasarkan SNI 2835-2008 (pekerjaan tanah), SNI 2836-2008 (pekerjaan pondasi), SNI 2837-2008 (pekerjaan plesteran), SNI 6897-2008 (pekerjaan dinding), SNI 7394-2008 (pekerjaan beton), dan standar harga satuan barang dan jasa Pemerintah Kota Denpasar Tahun 2015
 8. Melakukan analisis keuntungan dan biaya (*benefit and cost analysis*) dalam upaya memanfaatkan kembali efluen dari hasil pengolahan limbah cair peternakan babi.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Limbah Peternakan Babi

Sombatsompop *et al.* (2004) menjelaskan bahwa air limbah peternakan babi mengandung bahan organik yang tinggi. Air limbah tersebut terdiri dari urin, feces, sisa makanan, dan air dari pembersihan kandang. Air limbah peternakan babi sangat sulit untuk diolah akibat kandungan organik tidak stabil yang tinggi. Menurut *Ministry of Agriculture and Cooperatives* Bangkok (2004), dalam Sombatsompop *et al.* (2011), rata-rata volume air limbah peternakan babi di Thailand adalah 10-20 L/ekor/hari. *The Ministry of Natural Resources and Environment Thailand* menerapkan regulasi untuk mengontrol air limbah dari peternakan termasuk standar effluen untuk peternakan babi di mana limbah peternakan tersebut harus tidak lebih dari 100 mg/L BOD, 400 mg/L COD, dan 200 mg/L SS.

Berdasarkan *FSA Environmental* (2000), limbah peternakan babi mengandung air, karbohidrat kompleks dan nutrisi. Kompleks karbohidrat tersebut akan dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti karbon dioksida dan air selama proses pengolahan. Di samping itu, terdapat pula nutrisi, unsur, dan garam dalam jumlah kecil. Bakteri patogen juga terkandung dalam limbah peternakan babi. Tabel 2.1 menunjukkan karakteristik air limbah peternakan babi di beberapa negara.

Berdasarkan Im dan Gil (2011), limbah peternakan babi dalam jumlah kecil mengalir ke pengolahan limbah cair perkotaan, namun limbah tersebut memiliki kontaminasi dengan konsentrasi tinggi. Berdasarkan data dari *South Korea Rural Development Administration* (2007), volume dari limbah peternakan babi pada tahun 2006 dilaporkan sebesar 43.915.000 ton/tahun. Limbah peternakan babi mengandung bahan organik dengan konsentrasi tinggi dan nutrisi seperti nitrogen (N) dan fosfor (P), dan ketika limbah tersebut mengalir ke badan air, hal tersebut akan mengakibatkan eutrofikasi.

Menurut Bortone (2009), limbah peternakan babi merupakan salah satu sumber penyumbang nitrogen (N) di Eropa, maka penurunan nitrogen merupakan langkah strategis

untuk alasan ekonomi dan lingkungan. Keberadaan nitrogen dapat menyebabkan kontaminasi nitrat pada air bawah tanah dan eutrofikasi pada badan air. Surplus nitrogen dapat dijumpai pada beberapa area di Eropa, seperti: Belanda, Jerman, Denmark, dan Italia.

Tabel 2. 1 Karakteristik Air Limbah Peternakan Babi di Beberapa Negara

Negara	Thailand ^[1]	Italia ^[2]	Korea Selatan ^[3]	Australia Selatan ^[4]
Parameter				
BOD (mg/L)	1.500-3.000	-	7.280-9.690	5.000
COD (mg/L)	4.000-7.000	24.800	11.520-16.840	-
SS (mg/L)	4.000-8.000	-	-	-
pH	7,5-8,5	-	7,5-8,7	-

Sumber : [1] (Sambatsompop *et al.*, 2011), [2] (Bortone, 2009), [3] (Im and Gil, 2010), [4] (FSA *Environmental*, 2000)

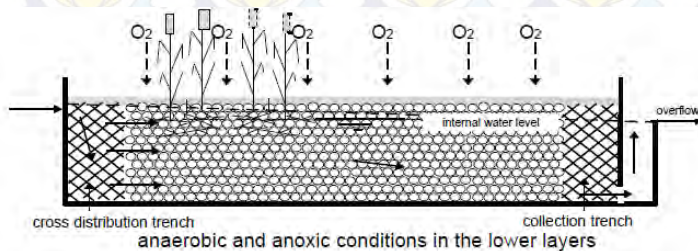
Menurut Jung *et al.* (2000), air limbah peternakan babi memiliki nilai COD, ammonia nitrogen, dan alkalinitas yang tinggi. Limbah tersebut juga mengandung kadar SS yang tinggi. Penelitian mengenai pengolahan secara anaerobik sudah banyak dilakukan. Penelitian tersebut bertujuan tidak hanya untuk mengurangi dampak negatif polutan, tetapi juga meningkatkan aspek ekonomi dengan memproduksi gas metan.

2.2 Alternatif Pengolahan Limbah Peternakan Babi

2.2.1 *Constructed Wetland*

Menurut FSA *Environmental* (2000), *constructed wetland* telah banyak digunakan untuk menghilangkan nutrisi. *Constructed wetland* digunakan untuk meningkatkan kualitas effluen dan tidak cocok untuk mengolah limbah cair yang memiliki konsentrasi tinggi. Jika *wetland* dipakai untuk mengolah limbah peternakan babi, maka unit ini harus ditempatkan setelah kolam anaerobik atau pengolahan biologis lainnya. *Wetland* pada umumnya dapat mengurangi kadar nitrogen sebesar 85%,

phosphor sebesar 70%, TSS sebesar 80% dan BOD sebesar 85%.



Gambar 2. 1 *Horizontal filter* (Sasse, 2009)

Menurut Sasse (2009), *constructed wetland* merupakan sistem yang sederhana dan hampir tidak membutuhkan pemeliharaan kompleks. *Constructed wetland* secara permanen dialiri dengan air limbah dan sebagian bekerja pada kondisi aerobik (terdapat oksigen bebas), *anoxic* (tidak terdapat oksigen, akan tetapi terdapat nitrat NO_3^-) dan anaerobik (tidak terdapat oksigen bebas dan tidak terdapat nitrat). Gambar 2.3 menunjukkan pengolahan limbah dengan menggunakan *constructed wetland*.

Menurut Vymazal (2010), air limbah masuk melalui inlet dan mengalir di sepanjang media yang diisi dengan tanaman. Senyawa organik secara efektif direduksi oleh mikroba pada kondisi anoksik dan anaerobik di mana konsentrasi oksigen terlarut di dalam filter sangat terbatas. Berdasarkan Stottmeister *et al.* (2003) dan Weber *et al.* (2008) dalam Zhao *et al.* (2009), tanaman pada *constructed wetland* memiliki efek positif dalam proses pengolahan dan memengaruhi keberadaan mikroba. Langergraber (2007) memaparkan bahwa pengolahan *wetland* efektif untuk mengolah bahan organik dan pathogen. Selain itu, unit ini relatif sederhana, murah dan mudah.

Berdasarkan Sasse (2009), salah satu masalah yang terjadi pada unit ini adalah penyumbatan pada media filter. Lumpur yang dihasilkan dari dekomposisi bahan organik oleh bakteri merupakan penyebab penyumbatan ini (Sasse, 2009).

2.2.4 **Anaerobic Baffled Reactor**

Menurut Sasse (2009), *anaerobic baffled reactor* merupakan unit yang sederhana untuk dibangun dan dioperasikan serta cocok untuk mengolah limbah cair yang memiliki beban organik yang tinggi. Lumpur pada unit ini akan terendapkan di dasar reaktor. Unit ini terdiri dari paling sedikit empat buah kompartemen dalam susunan seri. Kolam pengendapan dapat diletakkan setelah *anaerobic baffled reactor* guna mengendapkan lumpur yang masih mampu keluar dari pipa outlet. Unit ini memiliki kelemahan yaitu memerlukan waktu yang lebih lama dalam masa *start-up* dibandingkan dengan *anaerobic filter*.

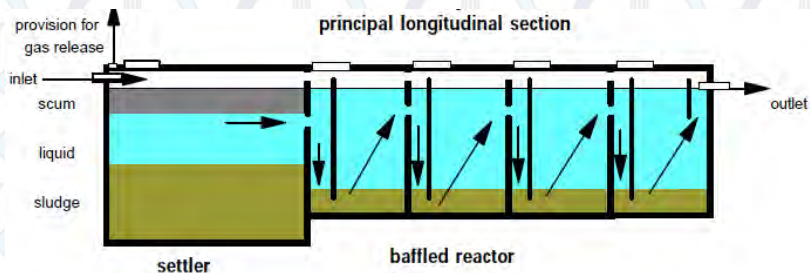
Air limbah yang baru masuk ke unit segera dicampur dengan *activated sludge* yang sudah terdapat di dalam reaktor guna mempercepat proses degradasi bahan yang mudah terurai. Air limbah mengalir dari bawah menuju ke atas di mana partikel lumpur dapat mengendap sehingga memungkinkan terjadi kontak yang intensif antara lumpur yang sudah berada di dasar reaktor dengan air limbah yang baru memasuki reaktor (Sasse, 2009).

Berdasarkan Sasse (2009), proses di reaktor dimulai dari bak pengendap yang berfungsi untuk mengendapkan *settleable solid*. Setelah itu, air limbah mulai masuk ke kompartemen. Arus air limbah diantara kompartemen diarahkan dengan dinding *baffle* yang berbentuk *down-shaft* atau *down-pipe* yang diletakkan pada dinding pembatas. Penggunaan *down-shaft* memiliki keunggulan yaitu mampu mendistribusikan debit air limbah secara merata.

Percampuran air limbah dengan lumpur yang telah terbentuk di unit ini dapat mempercepat proses penyisihan. Perlu diperhatikan pula bahwa pengurasan lumpur pada unit ini perlu dilakukan pada jangka waktu yang reguler. Namun, lumpur aktif juga harus tersisa pada tiap-tiap kompartemen untuk menjaga proses pengolahan tetap stabil (Sasse, 2009). Gambar 2.4 menunjukkan pengolahan air limbah dengan menggunakan *anaerobic baffled reactor*.

Penelitian tentang penggunaan ABR telah banyak dilakukan. Persentase penyisihan COD mencapai 97% untuk mengolah air limbah industri pemrosesan kacang kedelai yang memiliki konsentrasi COD yang tinggi (Zhu *et al.*, 2008). Selain itu, Krishna *et al.* (2009) melaporkan bahwa efisiensi penyisihan

COD mencapai 90% dengan COD influen air limbah sebesar 500 mg/L. Penelitian tentang pengolahan dengan ABR untuk sanitasi *on-site* pada masyarakat berekonomi lemah menunjukkan persentase penyisihan COD sebesar 58% hingga 72% (Foxon *et al.*, 2004).



Gambar 2. 2 Anaerobic Baffled Reactor (Sasse, 2009)

Menurut Barber dan Stuckey (1999) dalam Foxon *et al.* (2004), beberapa kelebihan dari unit ABR, antara lain: tahan terhadap *shock loading* hidrolis dan organik, waktu tinggal biomassa yang lebih lama, dan produksi lumpur yang rendah daripada pengolahan anaerobik yang lain. Menurut Foxon *et al.* (2001) dalam Foxon *et al.* (2004), *anaerobic baffled reactor* merupakan unit pengolahan air limbah yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan sanitasi pada masyarakat dengan ekonomi lemah. Beberapa keuntungan tersebut, antara lain:

1. Tidak memerlukan tenaga mekanik atau listrik selama operasi normal.
2. Tahan terhadap *shock load* dibandingkan dengan pengolahan air limbah secara anaerobik yang konvensional.
3. Tidak memerlukan pemeliharaan yang kompleks.
4. Desain fisik reaktor sangat sederhana.

2.3 Kriteria Desain *Constructed Wetland*

Berdasarkan Sasse (1998), *constructed wetland* cocok digunakan untuk mengolah air limbah domestik atau industri yang memiliki konsentrasi COD tidak lebih besar 500 mg/L. Beban

hidrolik tidak boleh melebihi $100 \text{ L/m}^2 \cdot \text{hari}$. Selain itu, unit ini tidak boleh menerima beban pencemar lebih dari $10 \text{ g BOD/m}^2 \cdot \text{hari}$.

Dalam rangka mendesain bangunan ini, terdapat empat hal yang harus diperhatikan, antara lain: *filter bed* yang luas dan dangkal, zona inlet yang lebar, pendistribusian air limbah yang merata di sepanjang inlet, dan bentuk media kerikil. Zona aerobik terletak pada 5 hingga 15 cm dari atas media filter. Media filter dapat diganti setiap 8 hingga 15 tahun. Kedalaman media filter yaitu 30 – 60 cm yang merupakan kedalaman di mana akar tanaman dapat tumbuh (Sasse, 2009).

2.4 Kriteria Desain Anaerobic Baffled Reactor

Menurut Sasse (1998), kecepatan *up-flow* dari unit *anaerobic baffled reactor* harus tidak lebih dari 2 m/jam . Nilai kecepatan tersebut merupakan parameter yang paling krusial untuk merancang dimensi. Pembatasan kecepatan ini akan menghasilkan sebuah tangki yang berukuran besar namun dangkal. Air limbah yang memasuki tangki harus didistribusikan ke seluruh area dasar tangki. Hal ini yang menyebabkan adanya ketentuan untuk masing-masing kompartemen di mana panjang tangki $< 50\%$ hingga 60% dari tinggi tangki. Jarak antara *down-shaft* atau *down-pipe* harus tidak melebihi 75 cm .

Pipa outlet akhir dan pipa outlet di setiap tank harus ditempatkan agak ke bawah dari permukaan air untuk menahan *scum* yang kemungkinan keluar dari tangki. Lumpur harus dikuras dalam jangka waktu yang teratur seperti layaknya pada sebuah *septik tank*. Beberapa lumpur harus tetap dijaga di dalam reaktor guna menjaga mikroorganisme untuk mengolah beban organik (Sasse, 2009).

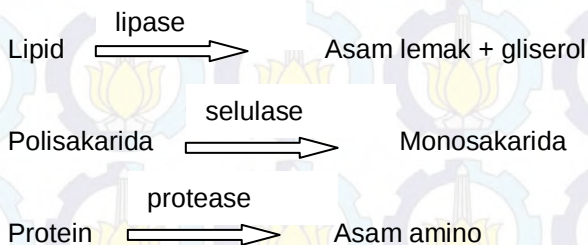
Berdasarkan Sasse (1998), beban organik harus memiliki nilai di bawah $3,0 \text{ kg COD/m}^2 \cdot \text{hari}$. *Hydraulic retention time* (HRT) harus tidak kurang dari 8 jam. Persentase penyisihan pada unit ini yaitu $60\% - 90\%$ COD dan $70\% - 95\%$ BOD. Selain itu, efisiensi penyisihan total nitrogen sebesar $69,2\%$, sedangkan total fosfor sebesar $47,6\%$ (Yerushalmi *et al.*, 2013).

2.5 Pengolahan Anaerobik untuk Air Limbah

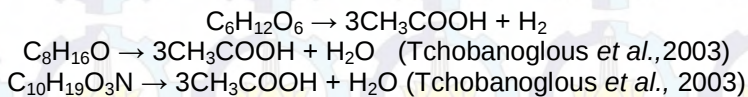
Berdasarkan Tchobanoglous *et al.* (2003), pengolahan anaerobik merupakan solusi yang tepat untuk mengolah limbah organik yang memiliki konsentrasi tinggi. Pengolahan anaerobik merupakan proses yang menguntungkan karena menghasilkan lebih sedikit lumpur dan energi dalam bentuk gas metana dapat diperoleh melalui konversi bahan organik oleh mikroorganisme.

Berdasarkan Vymazal dan Kropfelova (2008), bahan organik terdiri dari protein, karbohidrat dan lemak yang mudah didegradasi oleh mikroorganisme. Sementara, senyawa yang sulit untuk didegradasi oleh mikroorganisme, antara lain: lignin dan hemiselulosa. Senyawa yang mudah didegradasi oleh mikroorganisme tersebut didegradasi dalam tiga tahap, yaitu hidrolisis, fermentasi atau asidogenesis, dan metanogenesis.

Pada tahap hidrolisis, mikroorganisme mengkonversi polimer menjadi monomer, seperti: asam amino, asam lemak, dan monosakarida (Migonikal *et al.*, 2004 dalam Vymazal dan Kropfelova, 2008). Berdasarkan Jiang (2006), reaksi hidrolisis dapat dilihat sebagai berikut:

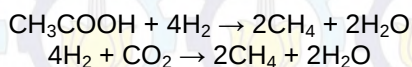


Setelah itu, mikroorganisme mengkonversi monomer pada tahap fermentasi atau asidogenesis. Salah satu contoh hasil akhir fermentasi adalah asam asetat. Menurut Vymazal dan Kropfelova (2008), reaksi kimia tersebut dapat dilihat sebagai berikut:



Tchobanoglous *et al.* (2003) menambahkan bahwa mikroorganisme yang berperan dalam tahap fermentasi, antara lain: *Clostridium* spp., *Peptococcus anaerobes*, *Bifidobacterium* spp., *Desulphovibrio* spp., *Corynebacterium* spp., *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Staphylococcus*, dan *Escherichia coli*.

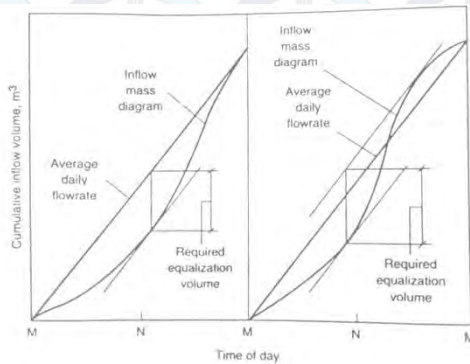
Berdasarkan Vymazal dan Kropfelova (2008), setelah melalui tahap fermentasi, bahan organik yang telah didegradasi masuk ke dalam tahap metanogenesis. Berikut adalah reaksi kimia pembentukan gas metana (CH₄) dari asam asetat.



Berdasarkan Tchobanoglous *et al.* (2003), mikroorganisme yang berperan dalam tahap metanogenesis, antara lain: *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus*, *Methanothrix*, dan *Methanosarcina*.

2.6 Bak Ekualisasi

Berdasarkan Tchobanoglous *et al.* (2003), bak ekualisasi merupakan satu metode untuk mengatasi permasalahan operasional yang disebabkan oleh variasi debit air limbah, mengurangi ukuran unit pengolahan, dan mengurangi biaya untuk pembuatan unit pengolahan air limbah. Volume yang dibutuhkan oleh bak ekualisasi ditentukan dengan menggunakan diagram volume kumulatif *inflow* di mana kumulatif dari volume *inflow* diplot dan dibandingkan dengan waktu dalam satu hari. Debit air limbah rata-rata per hari, yang diplot pada diagram yang sama, merupakan garis lurus yang digambar dari awal hingga akhir diagram. Terdapat dua tujuan untuk perhitungan bak ekualisasi, yaitu untuk memperoleh volume bak ekualisasi dan efek bak ekualisasi terhadap laju masa beban BOD. Gambar 2.3 menunjukkan contoh grafik penentuan volume bak ekualisasi.



Gambar 2. 3 Penentuan Volume Bak Ekualisasi

2.7 **Flow-Weighted Constituent Concentrations**

Berdasarkan Tchobanoglous *et al.* (2003), *flow-weighted constituent concentrations* diperoleh dengan mengalikan debit air limbah pada interval tertentu dengan konsentrasi air limbah; total dari perkalian tersebut dibagi dengan total debit air limbah. Berikut adalah rumus metoda ini:

$$C_w = \frac{\sum C \times Q}{\sum Q}$$

Keterangan rumus:

C_w = konsentrasi air limbah rata-rata

C = konsentrasi pada suatu interval tertentu

Q = debit air limbah pada suatu interval tertentu

Flow-weighted constituent concentrations sedapat mungkin digunakan karena nilai ini merupakan representasi akurat dari konsentrasi air limbah aktual yang harus diolah pada bangunan pengolahan air limbah (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

2.8 Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Perhitungan *bill of quantity* (BOQ) dilakukan berdasarkan gambar perencanaan. Rencana anggaran biaya (RAB) dilakukan berdasarkan harga satuan bahan dan upah kerja Kota Denpasar tahun 2015 dengan menggunakan Microsoft Excel. Di samping itu, perhitungan rencana anggaran biaya (RAB) dapat dilakukan dengan menggunakan data-data, antara lain:

1. SNI 2835:2008 (Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Tanah untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan)
2. SNI 2836:2008 (Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pondasi untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan)
3. SNI 2837:2008 (Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Plesteran untuk Konstruksi Bangunan dan Perumahan)
4. SNI 6897:2008 (Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Dinding untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan)
5. SNI 7394:2008 (Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan)

2.9 Contoh Pemanfaatan Efluen Air Limbah

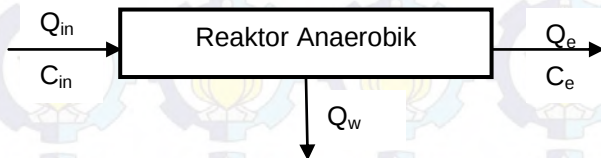
Bali *Tourism Development Corporation* (BTDC) memiliki lokasi pengolahan air limbah terpadu yang dioperasikan untuk mengolah air buangan dari seluruh hotel dan fasilitas lainnya di kawasan pariwisata Nusa Dua dan sekitarnya untuk selanjutnya dimanfaatkan kembali menjadi air irigasi penyiraman taman di kawasan pariwisata. Sistem pengolahan air limbah dengan *waste stabilization pond* dan sistem pengolahan air irigasi merupakan sistem pengolahan yang terdapat di kawasan ini (Anonim, 2011).

Menurut Anonim (2011), khususnya pada bagian laporan keuangan BTDC tahun 2011, penerimaan kas dari air limbah pada tahun 2010 adalah Rp 7.050.853.056,00. Sedangkan, penerimaan kas air limbah pada tahun 2011 adalah Rp

9.846.020.675,00. Oleh karena itu, terdapat kenaikan penerimaan kas dari air limbah sebesar 40%.

2.10 Kesetimbangan Massa

Berdasarkan Saputri (2014), prinsip analisis *mass balance* adalah kesetimbangan antara beban konsentrasi limbah yang masuk (*inflow*) dengan beban konsentrasi limbah yang keluar (*outflow*) setelah diolah. Skema proses *mass balance* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 4 Skema *Mass Balance* (Saputri, 2014)

Keterangan Gambar 2.4:

- Q = Debit influen (m^3/detik)
- X = Konsentrasi influen (mg/L)
- Q_w = Debit lumpur buangan (m^3/detik)
- Q_e = Debit effluen (m^3/detik)
- X_e = Konsentrasi effluen (mg/L)

2.11 Diagram Kendali (*Control Chart*)

Menurut Sukoco dan Soebandhi (Tanpa Tahun), statistik proses kontrol adalah ilmu yang mempelajari tentang teknik pengendalian kualitas berdasarkan prinsip-prinsip dan konsep statistik. Salah satu teknik statistik yang banyak digunakan dalam statistik proses kontrol adalah diagram kendali (*control chart*).

Sukoco dan Soebandhi (Tanpa tahun) menambahkan bahwa diagram kendali adalah suatu tampilan grafik yang membandingkan data yang dihasilkan oleh proses yang sedang berlangsung saat ini terhadap suatu batas-batas kendali yang stabil yang telah ditentukan dari data sebelumnya. Unsur-unsur diagram kendali adalah batas kendali atas (*upper control limit/UCL*), garis tengah (*center line/CL*), dan batas kendali bawah

(*lower control limit/LCL*). Perhitungan terhadap masing-masing batas tersebut dapat dilihat pada rumus berikut:

1. Garis tengah (*center line/CL*)

Menurut Sukoco dan Soebandhi (Tanpa tahun), garis tengah merupakan nilai rata-rata (*mean value*). Menurut Tchobanoglous *et al.* (2003), perhitungan terhadap nilai rata-rata (*mean value*) dapat dilakukan dengan rumus berikut:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Keterangan rumus:

$\bar{x}$ = nilai rata-rata (*mean value*)

x = data

n = jumlah data

2. Batas kendali atas (*upper control limit/UCL*) dan batas kendali bawah (*lower control limit/LCL*)

Menurut Sukoco dan Soebandhi (Tanpa tahun), batas kendali atas dan batas kendali bawah dihitung dengan rumus:

$$UCL = \bar{x} + 3s$$

$$LCL = \bar{x} - 3s$$

Keterangan rumus:

UCL = batas kendali atas (*upper control limit*)

LCL = batas kendali bawah (*lower control limit*)

$\bar{x}$ = nilai rata-rata (*mean value*)

s = standar deviasi

Perhitungan standar deviasi berdasarkan Tchobanoglous *et al.* (2003), adalah sebagai berikut:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Keterangan rumus:

s = standar deviasi

x = data
 $\bar{x}$ = nilai rata-rata (*mean value*)
 n = jumlah data

2.12 Analisis Keuntungan dan Biaya (Benefit and Cost Analysis)

Berdasarkan Reksohadiprodjo (2000) dalam Razif (2003), manfaat (*benefit*) merupakan nilai barang dan jasa bagi konsumen, sedangkan biaya (*cost*) merupakan manfaat yang tidak diambil, atau lepas dan hilang.

$$\frac{B}{C} = \frac{PW_{\text{manfaat}}}{PW_{\text{biaya}}} = \frac{FW_{\text{manfaat}}}{FW_{\text{biaya}}} = \frac{AW_{\text{manfaat}}}{AW_{\text{biaya}}}$$

Menurut Raharjo (2007), *benefit cost ratio* adalah perbandingan nilai ekuivalen semua manfaat terhadap nilai ekuivalen semua biaya. perhitungan nilai ekuivalen dapat dilakukan menggunakan salah satu dari analisis nilai sekarang, nilai pada waktu yang datang, atau nilai tahunan.

Keterangan:

B = *benefit* (manfaat)

C = *cost* (biaya)

PW = *present worth* (nilai sekarang) didasarkan pada konsep ekuivalensi, di mana semua arus kas masuk dan arus kas keluar diperhitungkan terhadap titik waktu sekarang pada suatu tingkat pengembalian minimum yang diinginkan (*minimum attractive rate of return* – MARR)

FW = *future worth* (nilai masa depan) didasarkan pada nilai ekuivalensi semua arus kas masuk dan arus kas keluar di akhir periode analisis pada suatu tingkat pengembalian minimum yang diinginkan (MARR)

AW = *annual worth* (nilai tahunan) didasarkan pada konsep ekuivalensi di masa semua arus kas masuk dan arus kas keluar diperhitungkan dalam sederetan nilai uang tahunan yang sama besar pada suatu tingkat pengembalian minimum yang diinginkan (*minimum attractive rate of return* – MARR)

Raharjo (2007) menambahkan bahwa dalam melakukan analisis *benefit cost ratio* terhadap lebih dari satu alternatif, harus dilakukan cara inkremental. Perhitungan inkremental arus kas yaitu arus kas alternatif kedua dikurangi dengan arus kas alternatif pertama. Kriteria pengambilan keputusan berdasarkan nilai B/C yang diperoleh. Jika dari dua alternatif yang dibandingkan diperoleh nilai $B/C \geq 1$, maka alternatif dengan biaya yang lebih besarlah yang dipilih. Namun, jika dari dua alternatif yang dibandingkan diperoleh nilai $B/C < 1$, maka alternatif dengan biaya yang lebih kecil yang dipilih.

Razif (2003) mamaparkan bahwa biaya pencegahan polusi adalah biaya yang dikeluarkan oleh perseorangan, perusahaan dan/atau pemerintah untuk mencegah sebagian atau keseluruhan polusi sebagai akibat kegiatan produksi atau konsumsi. Biaya polusi dapat dibagi menjadi biaya yang dikeluarkan pemerintah atau swasta untuk menghindari kerusakan akibat polusi dan kerusakan kesejahteraan masyarakat sebagai akibat polusi. Jika analisis manfaat dan biaya diterapkan pada program penanggulangan atau pencegahan polusi, maka manfaat program adalah pengurangan biaya polusi.

2.13 Penelitian Terdahulu tentang *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Constructed Wetland*

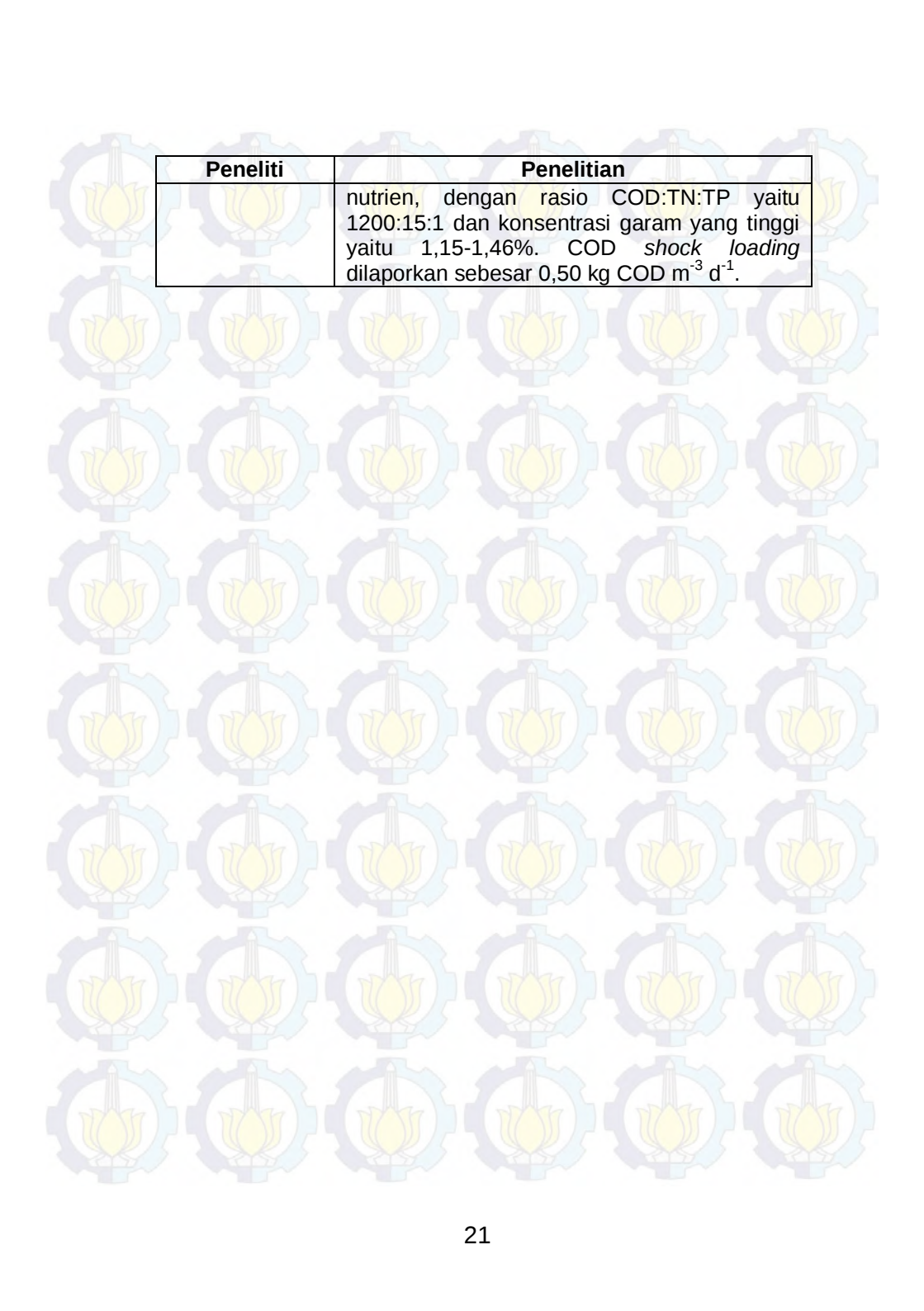
Beberapa penelitian terdahulu mengenai pengolahan air limbah dan perencanaan pengolahan air limbah dengan menggunakan unit *anaerobic baffled reactor* dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu Pengolahan Limbah dengan ABR

Peneliti	Penelitian
Hamid, 2014	Perencanaan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dengan unit <i>anaerobic filter</i> dan <i>anaerobic baffled reactor</i> dilakukan dengan metode pengumpulan data dari pusat pertokoan X di kota Surabaya, perhitungan debit air limbah, penetapan baku mutu dan kriteria desain, perhitungan rencana anggaran

Peneliti	Penelitian
	biaya, serta perbandingan kelebihan dan kekurangan dua unit. Desain rinci unit <i>anaerobic baffled reactor</i> meliputi bak ekualisasi (2,2 m x 1,1 m x 1,3 m), <i>septic tank</i> (8 m x 2 m x 1,5 m), ABR tiap kompartemen (0,75 m x 4 m x 1,5 m) sebanyak 7 buah.
Kantawanichkul dan Wannasri, 2013	Dua buah <i>vertical subsurface flow bed</i> (dimensi 1 m x 1,4 m x 0,6 m) dan dua buah <i>horizontal subsurface flow bed</i> (dimensi 0,6 m x 2,3 m x 0,6 m) ditanami dengan <i>Cyperus alternifolius L.</i> Suhu rata-rata yaitu 27° C. <i>Hydraulic loading rate</i> (HLR) bervariasi dari 5 hingga 20 cm/hari untuk memperoleh kondisi operasi optimum dan membandingkan efisiensi penyisihan. Air limbah diberikan secara intermiten (5 menit diberikan dan 55 menit tidak diberikan) pada <i>vertical subsurface flow bed</i> dan kontinu pada <i>horizontal subsurface flow bed</i> . Konsentrasi influen berdasarkan parameter COD yaitu 272,1 mg/L. Penyisihan COD pada unit <i>horizontal subsurface flow bed</i> lebih besar daripada <i>vertical subsurface flow bed</i> (laju penyisihan pada 5 – 20 cm/hari yaitu 9,6 – 33,9 g/m ² .hari.
Huang et al., 2010	Penelitian tentang pengaruh oksigen yang dihasilkan pada fotosintesis tanaman di wetland dengan efisiensi penyisihan polutan. Tanaman yang diteliti yaitu <i>Camellia</i> , <i>Canna</i> , <i>Ipomoea</i> , <i>Dracaena</i> , dan <i>Phragmites</i> . Pada saat intensitas cahaya ditambahkan, laju fotosintesis meningkat secara cepat. Namun, peningkatan cahaya ini juga menyebabkan tanaman berada dalam kondisi jenuh sehingga laju fotosintesis tidak berubah. Ketika suhu rendah, laju fotosintesis meningkat yang menandakan bahwa peningkatan suhu memiliki efek simultan,

Peneliti	Penelitian
	namun laju fotosintesis akan menurun ketika suhu terus dinaikkan. Konsentrasi oksigen di <i>wetland</i> berhubungan dengan konsentrasi efluen, utamanya COD dan TN. Konsentrasi fosfor tidak memiliki hubungan dengan konsentrasi oksigen. Namun, fosfor diserap oleh tanaman pada <i>wetland</i> .
Zhu et al., 2008	Penelitian tentang <i>anaerobic baffled reactor</i> (ABR) skala laboratorium dengan empat kompartemen yang menggunakan air limbah dari proses pengolahan kacang kedelai. Penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD adalah 92-97% dengan kondisi <i>organic loading rate</i> 1,2-6,0 kg COD/m ³ d. Propionat dan butirat ditemukan di kompartemen pertama. Asetat ditemukan pada kompartemen kedua dan berkurang pada kompartemen ketiga dan keempat. Sementara itu, 93% <i>volatile fatty acids</i> (VFAs) disisihkan di kompartemen ketiga dan keempat.
Ji et al., 2008	Tahap uji coba dan operasi (total 212 hari termasuk waktu uji coba 164 hari) pada <i>anaerobic baffled reactor</i> (ABR), yang digunakan untuk mengolah air limbah dari <i>heavy oi</i> , diteliti tanpa kontrol temperatur. Inokulum merupakan campuran sedimen yang diaklimatisasi yang diambil dari air limbah <i>heavy oil</i> yang diproduksi pada pengolahan air limbah dan lumpur yang telah memasuki proses digester yang berasal dari instalasi pengolahan air limbah. Unit ABR dapat mencapai efisiensi penyisihan yang besar pada parameter COD dan minyak. Penyisihan pada parameter COD dilaporkan sebesar 65%, sedangkan untuk parameter minyak sebesar 88%. Karakteristik air limbah <i>heavy oil</i> adalah air limbah yang memiliki sedikit



Peneliti	Penelitian
	nutrien, dengan rasio COD:TN:TP yaitu 1200:15:1 dan konsentrasi garam yang tinggi yaitu 1,15-1,46%. COD <i>shock loading</i> dilaporkan sebesar 0,50 kg COD m ⁻³ d ⁻¹ .

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODE PERENCANAAN

3.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan memuat tahapan-tahapan desain yang akan dilakukan agar tujuan perencanaan dapat tercapai pada penyusunan tugas akhir ini. Kerangka perencanaan dari tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Judul Perencanaan

Desain Bangunan Pengolahan Limbah Cair Peternakan Babi dan Pemanfaatan Kembali Hasil Pengolahannya

Tinjauan Pustaka

1. Karakteristik limbah peternakan babi di beberapa negara untuk parameter BOD, COD, TSS
2. Alternatif pengolahan limbah peternakan babi di beberapa negara
3. Proses anaerobik pada pengolahan air limbah dan *mass balance*
4. Pemanfaatan efluen
5. Analisis keuntungan dan biaya (*benefit and cost analysis*)
6. Hasil penelitian terdahulu mengenai *anaerobic baffled reactor* dan *constructed wetland*

Pengumpulan Data

Data Sekunder

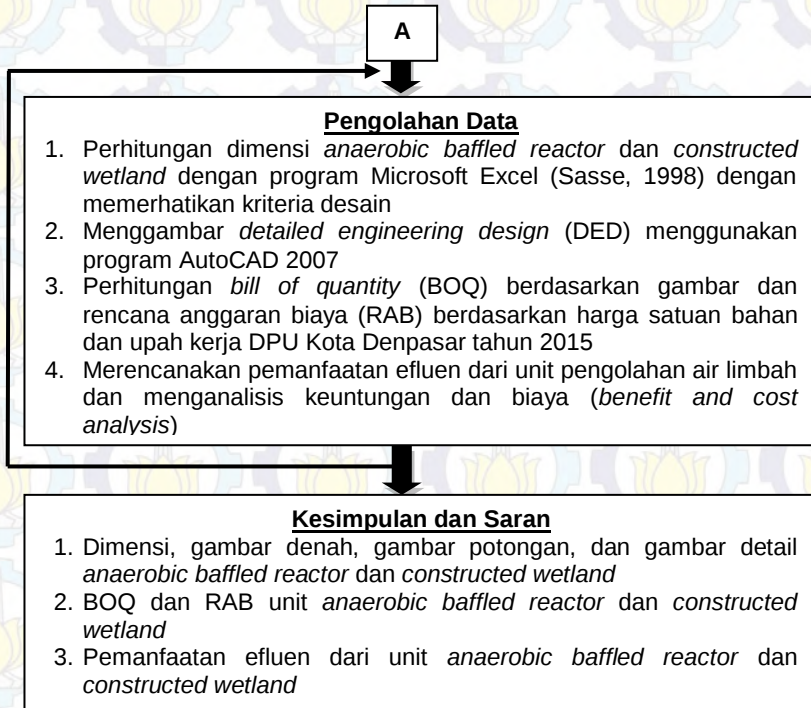
1. Karakteristik limbah peternakan babi di beberapa negara
2. Baku mutu limbah peternakan babi berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No.5 Tahun 2014 parameter COD, BOD, dan TSS
3. Kriteria desain *anaerobic baffled reactor* dan *constructed wetland*
4. Pemanfaatan efluen

Data Primer

1. Debit limbah cair peternakan babi dari pembersihan ternak dan kandang ternak
2. Karakteristik limbah peternakan babi untuk parameter COD, BOD, dan TSS

A

Lanjutan Gambar 3.1 Kerangka Perencanaan



Gambar 3. 1 Kerangka Perencanaan

3.2 Judul Perencanaan

Pada tugas akhir ini dilakukan desain pengolahan limbah cair peternakan babi. Limbah cair peternakan babi terdiri dari air bekas pemandian ternak dan cucian kandang babi yang masih mengandung sisa-sisa kotoran dan pakan ternak. Unit pengolahan yang digunakan pada tugas akhir ini ialah *anaerobic baffled reactor* dengan alternatif *constructed wetland*. Judul perencanaan ini yaitu “Desain Bangunan Pengolahan Limbah Cair Peternakan Babi dan Pemanfaatan Kembali Hasil Pengolahannya.”

3.3 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka dilakukan dengan mengumpulkan data-data yang dapat menunjang perencanaan pengolahan limbah peternakan babi. Sumber data dapat diperoleh melalui jurnal ilmiah, tugas akhir, berita di media massa, media internet, dan media elektronik. Data-data pendukung dari perencanaan ini, antara lain:

1. Karakteristik limbah peternakan babi di beberapa negara untuk parameter BOD, COD, dan TSS.
2. Alternatif pengolahan limbah peternakan babi di beberapa negara, antara lain: *constructed wetland*, dan *anaerobic baffled reactor*
3. Proses anaerobik pada pengolahan air limbah
4. Kesetimbangan massa
5. Analisis keuntungan dan biaya (*benefit and cost analysis*)
6. Hasil penelitian terdahulu mengenai *anaerobic baffled reactor* dan *constructed wetland*.

3.4 Pengumpulan Data

Tahapan pengumpulan data dilakukan untuk mengumpulkan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dapat diawali dengan mengadakan survei lapangan pada peternakan di daerah Sanur, Denpasar, Bali.

3.4.1 Data Primer

Pengumpulan data primer mencakup tiga tahapan, yaitu: tahap persiapan pengambilan sampel, tahap pelaksanaan, dan tahap analisis.

A. Tahap Persiapan Pengambilan Sampel

1. Persiapan Alat
 - Botol sampling
 - Gelas ukur 2.000 mL
 - *Cooling box*
 - Es batu untuk mengawetkan sampel

B. Tahap Pelaksanaan Perhitungan Debit Air Limbah

1. Pengambilan sampel meliputi rincian, yaitu:
 - ✓ Pengambilan sampel dilakukan setiap pukul 06.00 s/d 07.00 WITA (pagi) dan 16.00 s/d 17.00 WITA (sore).

- ✓ Pengukuran volume air limbah yang dipakai untuk memandikan ternak dan membersihkan kandang ternak dilakukan dengan mencatat perubahan muka air pada kolam ikan lele pada waktu sebelum dan sesudah pembersihan kandang.
- ✓ Volume air limbah peternakan babi dihitung dengan mengalikan luas permukaan kolam ikan lele dengan perubahan kedalaman air kolam sebelum dan sesudah kegiatan pembersihan kandang babi.
- ✓ Volume air limbah total didapatkan dengan menjumlahkan volume pada waktu pagi dan sore.
- ✓ Pengukuran volume dilakukan mulai hari pertama hingga hari ketujuh (tujuh hari) berturut-turut untuk melihat fluktuasi air bersih dan air limbah pada peternakan babi.
- ✓ Debit air limbah didapatkan dengan membagi volume air limbah dengan waktu pembersihan.

C. Tahap Pelaksanaan Pengambilan Sampel (Analisis BOD, COD dan TSS)

1. Personil pelaksanaan pengambilan sampel terdiri satu orang pelaksana dan satu orang pengawas.
2. Lokasi pelaksanaan pengambilan sampel terletak di peternakan babi Sanur, Denpasar, Bali.
3. Pengambilan sampel dilakukan pada saluran pembuangan limbah cair peternakan babi ke kolam ikan dan kolam ikan.
4. Langkah-langkah pengambilan sampel, antara lain:
 - ✓ Menyiapkan botol bekas air mineral bersih sebanyak 2 buah per hari.
 - ✓ Membilas botol air mineral dengan air limbah sebanyak tiga kali.
 - ✓ Mengisi botol air mineral dengan air limbah hingga penuh dan segera menutupnya.
5. Pengambilan sampel di saluran pembuangan limbah cair peternakan babi meliputi rincian sebagai berikut:
 - ✓ Pengambilan sampel dilakukan setiap pukul 06.00 s/d 07.00 WITA (pagi) dan 17.00 s/d 18.00 WITA (sore).
 - ✓ Sampel yang diambil yaitu sampel campuran (*composite sample*) yang dimaksudkan untuk mewakili secara

merata perubahan parameter badan air yang sedang diteliti secara mendetail dengan pekerjaan yang terbatas (Alaerts dan Santika, 1984).

- ✓ Pada pukul 06.00 s/d 07.00 WITA (pagi), dilakukan pengambilan sampel dengan interval waktu selama 2 menit. Volume tiap sampel bagian yaitu 100 mL. Tiap sampel bagian dicampur hingga homogen.
 - ✓ Pada pukul 17.00 s/d 18.00 WITA (sore), dilakukan pengambilan sampel dengan interval waktu selama 2 menit. Volume tiap sampel bagian yaitu 100 mL. Tiap sampel bagian dicampur hingga homogen.
 - ✓ Sampel yang mewakili waktu pagi dan sore dicampur hingga homogen. Dalam mencampur sampel, hal yang harus diperhatikan yaitu debit air bersih yang digunakan pada pagi dan sore hari. Jika debit air bersih yang digunakan pada pagi hari lebih besar daripada sore hari (misalnya 3:2), maka volume sampel yang mewakili pagi hari harus lebih besar daripada sore hari. Sampel ini mewakili hari pertama.
 - ✓ Pengambilan sampel dilakukan mulai hari pertama hingga hari kedelapan (8 hari) berturut-turut. Hal ini dilakukan untuk melihat fluktuasi beban pencemar pada limbah cair peternakan babi.
6. Parameter yang diuji adalah COD, BOD dan TSS.
 7. Pemeriksaan sampel dilakukan di UPT Balai Laboratorium Kesehatan, Dinas Kesehatan, Pemerintah Provinsi Bali.

D. Tahap Pengawetan Sampel

Pengawetan pada sampel dapat ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Pengawetan pada Sampel

No	Parameter	Wadah Penyimpanan	Pengawetan	Lama Penyimpanan Maksimum yang Dianjurkan	Lama Penyimpanan Maksimum Menurut EPA
1	BOD ^[1]	Plastik (polietilen atau sejenisnya), gelas kaca	Pendinginan (suhu 4 °C)	6 jam	48 hari

No	Parameter	Wadah Penyimpanan	Pengawetan	Lama Penyimpanan Maksimum yang Dianjurkan	Lama Penyimpanan Maksimum Menurut EPA
2	COD ^[2]	Plastik (polietilen atau sejenisnya), gelas kaca	Analisa secepatnya atau tambahkan H ₂ SO ₄ sampai pH<2, didinginkan (suhu 4 °C)	7 hari	28 hari
3	TSS ^[3]	Plastik (polietilen atau sejenisnya), gelas kaca	Pendinginan (suhu 4 oC)	7 hari	7 – 14 hari

Sumber: [1] dan [3] (Alaerts dan Santika, 1984), [2] (SNI 6989.59:2008, Lampiran B, Tabel Cara Pengawetan dan Penyimpanan Contoh Air Limbah)

3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder yang mendukung perencanaan ini, antara lain: karakteristik limbah peternakan babi di beberapa negara, baku mutu effluen usaha peternakan babi, dan kriteria desain ABR.

A. Karakteristik Limbah Peternakan Babi

Data mengenai karakteristik limbah peternakan babi di beberapa negara penghasil ternak babi dapat diperoleh dengan mengakses jurnal-jurnal ilmiah. Data ini diperlukan sebagai gambaran awal tentang karakteristik limbah peternakan babi. Data ini tidak digunakan untuk mendesain bangunan pengolahan air limbah.

B. Baku Mutu Usaha Peternakan Babi

Berdasarkan Lampiran XX Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014, baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan peternakan sapi dan babi, antara lain: 100 mg/L untuk BOD, 200 mg/L untuk COD, dan 100 mg/L untuk TSS.

C. Kriteria Desain Septic Tank

Tabel 3. 2 Kriteria Desain Septic Tank

Kriteria	Nilai	Sumber
HRT	12 – 24 jam	Sasse, 2009
Rasio <i>settleable</i> SS/COD	0,35 – 0,45	Sasse, 2009
Perkiraan penyisihan COD	25 – 50%	Sasse, 2009
Perkiraan penyisihan TSS	40 – 65%	Sperling dan Chernicharo, 2005
<i>Solid yield</i> (Y)	0,05 – 0,10 gVSS/g COD	Tchobanoglous et al., 2003
<i>Decay coefficient</i> (kd)	0,02 - 0,04 g/g hari	Tchobanoglous et al., 2003
<i>Fraction of biomass that remains as cell debris</i> (fd)	0,10 - 0,15 g VSS/g VSS	Tchobanoglous et al., 2003
<i>Specific weight air</i>	1000 kg/m ³	Tchobanoglous et al., 2003
<i>Specific gravity lumpur</i>	1,02	Tchobanoglous et al., 2003
Persen solid dalam lumpur	4%	Tchobanoglous et al., 2003

D. Kriteria Desain Anaerobic Baffled Reactor

Tabel 3. 3 Kriteria Desain Anaerobic Baffled Reactor

Kriteria	Nilai	Sumber
HRT di tangki pengendap	1,5 – 2 jam	Sasse, 2009
Rasio <i>settleable</i> SS/COD	0,35 – 0,45	Sasse, 2009
<i>Organic loading rate</i>	< 3 kg COD/m ³ /hari	Sasse, 2009
HRT di ABR	≥ 8 jam	Sasse, 2009
Kecepatan <i>up-flow</i>	≥ 2 m/jam	Sasse, 2009
Jumlah kompartemen	4 – 7 buah	Sasse, 2009
Panjang kompartemen	<50% - 60% dari kedalaman kompartemen	Sasse, 2009
Panjang <i>down shaft</i>	0,25 m	Sasse, 2009
Perkiraan penyisihan TSS	≤80%	Morel dan Diener, 2006
<i>Solid yield</i> (Y)	0,05 – 0,10 gVSS/g COD	Tchobanoglous et al., 2003
<i>Decay coefficient</i> (kd)	0,02 - 0,04 g/g hari	Tchobanoglous et al., 2003
<i>Fraction of biomass that</i>	0,10 - 0,15 g VSS/g VSS	Tchobanoglous et al.,

Kriteria	Nilai	Sumber
<i>remains as cell debris (fd)</i>		2003
<i>Specific weight air</i>	1000 kg/m ³	Tchobanoglous et al., 2003
<i>Specific gravity lumpur</i>	1,02	Tchobanoglous et al., 2003
Persen solid dalam lumpur	4%	Tchobanoglous et al., 2003

E. Kriteria Desain Constructed Wetland

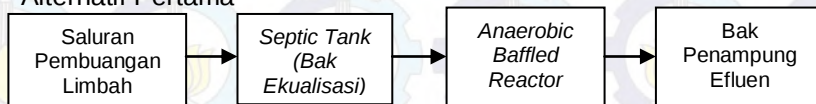
Tabel 3. 4 Kriteria Desain *Constructed Wetland*

Kriteria	Nilai	Sumber
<i>Organic loading rate</i>	$\leq 10 \text{ g BOD/m}^2 \cdot \text{hari}$	Sasse, 2009
<i>Hydraulic loading rate</i>	$0,01 - 0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari}$	Tanner, 2001 dan Vymazal, 2001 dalam Williams, 2010
Perkiraan penyisihan TSS	65 – 85%	Sasse, 2009 Morel dan Diener, 2006 dalam Hoffmann dan Winker, 2011
<i>Bottom slope</i>	0,5 – 1%	Hoffmann dan Winker, 2011
Kedalaman <i>filter bed</i>	0,3 – 0,6 m	Sasse, 2009
<i>Specific weight air</i>	1000 kg/m ³	Tchobanoglous et al., 2003
<i>Specific gravity lumpur</i>	1,02	Tchobanoglous et al., 2003
Persen solid dalam lumpur	4%	Tchobanoglous et al., 2003

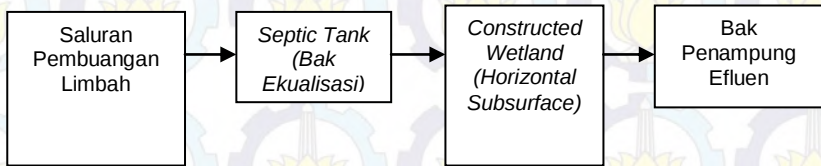
3.5 Diagram Alir Pengolahan Limbah Cair Peternakan Babi

Gambar 3.3 menunjukkan diagram alir pengolahan limbah cair peternakan babi yang akan direncanakan di Sanur, Denpasar, Bali.

Alternatif Pertama



Alternatif Kedua



Gambar 3. 2 Alternatif Pengolahan Limbah Cair Peternakan Babi

3.6 Pengolahan Data

A. Perhitungan Dimensi *Septic Tank* dan Bak Ekualisasi

Menurut Sasse (2009), volume, COD influen, dan BOD influen adalah data yang dimasukkan pada saat awal perhitungan. Volume *septic tank* harus mampu menampung volume air dan volume lumpur. Pada perencanaan ini, *septic tank* berfungsi sebagai bak ekualisasi. Volume air limbah pada bak ekualisasi dapat dilakukan berdasarkan metoda pada Tchobanoglous *et al.* (2003). Tata cara perhitungan bak ekualisasi dapat dilihat pada Lampiran I. Sedangkan, tata cara perhitungan untuk *septic tank* dapat dilihat pada Lampiran II.

Setelah mendapatkan volume bak ekualisasi, volume inilah yang dipakai untuk menghitung dimensi *septic tank*. Pengaturan debit pada efluen dilakukan dengan menggunakan *gate valve* sehingga debit air yang keluar merupakan debit air limbah rata-rata.

B. Perhitungan Dimensi *Anaerobic Baffled Reactor*

Berdasarkan Sasse (2009), perhitungan dimensi *anaerobic baffled reactor* dapat dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel. Volume, debit air limbah dan beban pencemar merupakan data utama yang akan dimasukkan ke dalam sel pada *sheet* Microsoft Excel. Untuk memulai perhitungan, data yang pertama kali dimasukkan yaitu kecepatan *up-flow* (kriteria desain <2 m/jam). Untuk mendapatkan kualitas efluen yang diinginkan, hal yang dapat dilakukan yaitu menambah beberapa kompartemen karena efisiensi pengolahan akan meningkat seiring dengan penambahan jumlah kompartemen. Tampilan lembar kerja Microsoft Excel dan penjelasan lebih lanjut tentang formula untuk

menghitung dimensi *anaerobic baffled reactor* dapat dilihat pada Lampiran III.

Penyisihan COD pada tangki pengendapan bergantung pada jumlah *settleable solids*, nilai COD, dan intensitas pencampuran dari air limbah yang memasuki tangki pengendapan. Kontak antara bahan organik yang baru memasuki tangki pengendapan dengan *activated sludge* pada tangki Imhoff adalah nol, akan tetapi pada tangki sedimentasi yang dalam, kontak tersebut akan berlangsung intensif. Oleh karena itu, fakta ini diambil ke dalam formula dengan membagi parameter "*settleable SS per COD*" dengan nilai faktor 0,50 – 0,60 yang didapatkan dari berbagai penelitian (Sasse, 2009).

C. Perhitungan Dimensi *Constructed Wetland*

Menurut Sasse (2009), volume, debit, dan beban pencemar merupakan data dasar yang digunakan untuk perhitungan dimensi *constructed wetland*. Beban hidrolis tidak boleh melebihi 100 L/m².hari. Selain itu, unit ini tidak boleh menerima beban pencemar lebih dari 10 g BOD/m².hari. Penjelasan lebih lanjut tentang perhitungan dimensi *constructed wetland* dan formula untuk menghitung dimensi *constructed wetland* dapat dilihat pada Lampiran IV.

- D. Menggambar detail engineering design (DED) dengan menggunakan program AutoCAD 2007.
- E. Perhitungan *bill of quantity* (BOQ) berdasarkan gambar dan rencana anggaran biaya (RAB) berdasarkan daftar harga barang dan upah kerja Kota Denpasar tahun 2015 dan Standar Nasional Indonesia, antara lain:
 - 1. SNI 2835:2008 (Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Tanah untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan)
 - 2. SNI 2836:2008 (Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Pondasi untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan)
 - 3. SNI 2837:2008 (Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Plesteran untuk Konstruksi Bangunan dan Perumahan)

4. SNI 6897:2008 (Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Dinding untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan)
 5. SNI 7394:2008 (Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan)
- F. Merencanakan pemanfaatan efluen dengan membandingkan literatur dari sejumlah jurnal ilmiah. Selain itu, dilakukan pula analisis keuntungan dan biaya (*benefit and cost analysis*) dari keberadaan bangunan pengolahan air limbah di peternakan babi.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Melalui tahapan-tahapan perencanaan, langkah selanjutnya yaitu membuat kesimpulan. Kesimpulan merupakan jawaban dari tujuan perencanaan. Kesimpulan pada perencanaan ini mencakup:

1. Desain ABR yang meliputi gambar denah, gambar potongan, dan gambar detail *anaerobic baffled reactor*.
2. BOQ dan RAB dari unit *anaerobic baffled reactor*.
3. Pemanfaatan efluen dari unit *anaerobic baffled reactor* serta melakukan analisis *benefit and cost ratio*.

Saran yang dapat diberikan untuk perencanaan ini yaitu merencanakan pengolahan air limbah tingkat lanjut guna mengurangi kadar nitrogen pada efluen limbah cair peternakan babi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

GAMBARAN UMUM PERENCANAAN

4.1 Gambaran Umum Peternakan Babi

Salah satu peternakan babi yang dilakukan secara tradisional terdapat di Sanur, Denpasar, Bali. Peternakan babi ini telah berdiri sejak tahun 1995. Peternakan tersebut memiliki 10 kandang. Lima kandang terletak di sebelah utara dan lima kandang lagi terletak di sebelah selatan. Satu kandang khusus berisi indukan babi. Sisanya digunakan untuk memelihara anakan babi dan babi dewasa. Kapasitas maksimum satu kandang yaitu tiga hingga empat babi berukuran dewasa atau lima hingga enam anakan babi. Peternakan babi ini berada di lokasi padat pemukiman. Gambar 4.1 menunjukkan salah satu kandang pada peternakan babi.



Gambar 4. 1 Kandang Babi

4.2 Alur Kegiatan

Kegiatan utama dalam usaha peternakan babi ini yaitu pengumpulan kotoran, pemberian pakan ternak, pemandian babi, dan pembersihan kandang. Kegiatan tersebut dilakukan setiap pagi dan sore hari.

Kegiatan pertama yaitu pengumpulan kotoran babi di setiap kandang. Pengumpulan kotoran babi dilakukan secara manual oleh peternak. Setelah dikumpulkan, kotoran tersebut dimasukkan ke dalam digester biogas. Gambar 4.2 menunjukkan kolam ikan lele yang berfungsi untuk menampung air limbah

Setelah kandang dibersihkan dari kotoran, kegiatan selanjutnya yaitu memberi pakan ternak. Pakan ternak berupa dedak, campuran batang pisang, dan limbah donat.



Gambar 4. 2 Kolam Ikan Lele

Kegiatan selanjutnya yaitu pemandian babi dan pembersihan kandang. Sisa kotoran, urin, dan pakan ternak yang tidak habis dimakan dibersihkan dengan air PDAM. Limbah cair peternakan babi tersebut dialirkan menuju kolam ikan lele..

4.3 Pengelolaan Limbah yang Telah Dilakukan

Kotoran babi yang telah dikumpulkan setiap pagi dan sore hari dimasukkan ke dalam reaktor biogas. Gambar 4.3 menunjukkan kompor biogas di peternakan babi.



Gambar 4. 3 Kompor Biogas

Biogas yang dihasilkan digunakan untuk memasak pakan ternak babi. Keberadaan kompor biogas telah mampu

memberikan manfaat kepada peternak karena peternak tidak perlu membeli kayu bakar lagi untuk memasak pakan ternak. Selain itu, pengelolaan limbah pada peternakan ini yaitu mengolah limbah cair peternakan babi dengan mengalirkannya ke kolam ikan lele. Kemiringan saluran untuk mengalirkan limbah cair dari pemandian babi dan pembersihan kandang yaitu 0,5%. Ikan lele tersebut dijual sebagai bahan pangan untuk manusia.

4.4 Luas Lahan Peternakan

Di dalam lahan utama peternakan babi di Sanur ini, terdapat 10 buah kandang babi, 1 buah kandang ayam, dan 1 buah kolam ikan lele. Luas lahan peternakan utama yaitu 274 m² (0,03 ha) dengan rincian panjang dan lebar masing-masing yaitu 20 m dan 13,7 m.

Instalasi pengolahan air limbah akan dibangun di lahan yang ditanami kebun pisang. Letak tanah ini berada di sebelah barat lahan peternakan utama. Luas lahan yang ditanami oleh kebun pisang ini yaitu 1.072,5 m² (0,1 ha) dengan rincian panjang dan lebar masing-masing yaitu 65 m dan 16,5 m. Gambar 4.4 menunjukkan lahan yang direncanakan untuk dibangun instalasi pengolahan air limbah.



Gambar 4. 4 Lahan untuk Pembangunan IPAL

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5 PEMBAHASAN

5.1 Pengambilan dan Pemeriksaan Sampel

Salah satu kegiatan dalam usaha peternakan babi secara tradisional yaitu pembersihan kandang. Pembersihan kandang merupakan hal yang penting dilakukan oleh para peternak agar ternak mereka tetap dalam keadaan bersih. Selain itu, potensi pencemaran yang ditimbulkan dari usaha peternakan babi ini dapat pula di minimisasi.

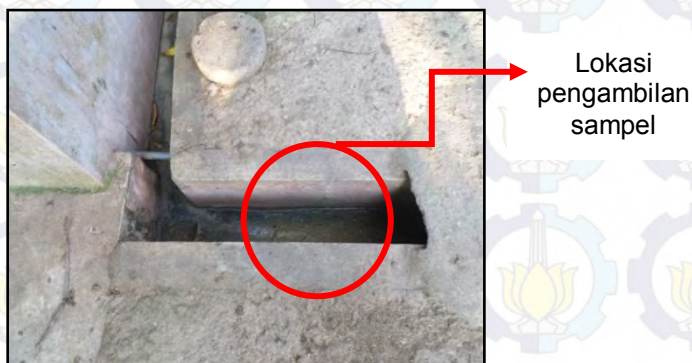
Berdasarkan pengamatan penulis di salah satu peternakan babi di Sanur pada tanggal 13 Oktober 2014, kegiatan pembersihan kandang dilakukan setiap pagi dan sore hari. Kotoran babi yang telah menumpuk pada pagi dan sore hari dikumpulkan. Setelah itu, kotoran tersebut dimasukkan ke dalam reaktor biogas.

Limbah cair peternakan babi masih mengandung fraksi kotoran dan urin babi, serta sisa pakan ternak yang tidak habis dimakan. Pemandian ternak beserta pembersihan kandang dilakukan dengan menggunakan air PDAM. Limbah cair ini dialirkan menuju kolam ikan lele. Polutan ini kemungkinan besar dikonsumsi oleh ikan lele. Akibat masih mengandung fraksi kotoran babi, limbah cair ini tidak higienis bagi ikan, apalagi jika ikan tersebut akan dikonsumsi oleh manusia.

Pengambilan sampel limbah cair dilakukan di dua titik, yaitu di saluran utara dan selatan. Sampel diambil selama delapan hari berturut-turut yaitu mulai dari tanggal 13 Oktober 2014 sampai tanggal 20 Oktober 2014. Sampel diambil setiap pagi dan sore hari. Sampel limbah cair pada pagi dan sore hari diambil secara komposit dengan rentang waktu setiap dua menit. Pada akhirnya, sampel limbah cair pada pagi dan sore hari dicampur dengan memerhatikan perbandingan tertentu sehingga dapat mewakili sampel limbah cair peternakan babi selama satu hari. Gambar 5.1 menunjukkan lokasi pengambilan sampel di sebelah utara, sedangkan Gambar 5.2 menunjukkan lokasi pengambilan sampel di sebelah selatan.

Rentang waktu pengambilan sampel selama dua menit selama proses pembersihan dipilih oleh penulis agar dapat mewakili limbah cair peternakan babi tersebut. Pada saat awal

pembersihan kandang, polutan cenderung berada dalam kondisi maksimal. Setelah itu, kadar polutan berangsur-angsur berkurang, dan pada akhir pembersihan kadar polutan cenderung sudah berada dalam kondisi minimum. Rentang waktu dua setiap dua menit sudah dapat mewakili tiga kondisi berbeda tersebut. Sampel yang diambil setiap dua menit dikumpulkan di dalam satu jerigen dengan volume 2 m³. Dalam satu kali pengambilan sampel, volume yang diambil yaitu 100 mL.



Gambar 5. 1 Lokasi Pengambilan Sampel di Sebelah Utara



Gambar 5. 2 Lokasi Pengambilan Sampel di Sebelah Selatan

Pengukuran volume air limbah dilakukan dengan memerhatikan perubahan ketinggian air pada kolam ikan. Data panjang dan lebar kolam didapatkan dari pengukuran langsung di

lapangan. Panjang kolam yaitu 13,8 m dan lebar kolam yaitu 2,6 m. Debit air limbah pada pagi dan sore hari didapatkan dengan membagi volume air limbah dengan waktu pembersihan kandang.

Hasil pengukuran volume bervariasi dari hari per hari. Tabel 5.1 menunjukkan data volume air limbah selama delapan hari berturut-turut.

Tabel 5. 1 Rekapitulasi Pengukuran Volume Limbah Cair
(Satuan dalam Ribuan)

Tanggal	Volume (L)		
	Pagi (1 jam)	Sore (1 jam)	Total
13 Oktober 2014	1.077	1.295	2.372
14 Oktober 2014	1.149	1.005	2.154
15 Oktober 2014	969	897	1.866
16 Oktober 2014	1.471	1.005	2.476
17 Oktober 2014	1.005	1.076	2.081
18 Oktober 2014	1.005	1.041	2.046
19 Oktober 2014	1.077	933	2.010
20 Oktober 2014	1.041	1.005	2.046

Setelah proses pemandian ternak dan pembersihan kandang selesai dilakukan, sampel yang telah dikumpulkan di jerigen segera dimasukkan ke dalam kotak pendingin yang berisi es. Hal ini merupakan salah satu teknik pengawetan sampel.

Dalam melakukan pencampuran sampel pagi hari dengan sore hari, volume di setiap waktu tersebut merupakan parameter yang penting. Berikut adalah perhitungan komposisi volume sampel pada pagi dan sore hari selama delapan hari berturut-turut. Rekapitulasi perhitungan komposisi volume sampel padapagi dan sore hari selama delapan hari berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 5.2.

1. Hari pertama (13 Oktober 2014)
 Volume pagi hari = 1.077 L
 Volume sore hari = 1.295 L
 Perbandingan volume = 1.077 L : 1.295 L
 = 1 : 1,2
 Total perbandingan = 1 + 1,2
 = 2,2

$$\begin{aligned}\text{Komposisi pagi} &= \frac{1}{2,2} \times 1.500 \text{ mL} = 680 \text{ mL} \\ \text{Komposisi sore} &= \frac{1,2}{2,2} \times 1.500 \text{ mL} = 820 \text{ mL} \\ \text{Total volume} &= 680 \text{ mL} + 820 \text{ mL} \\ &= 1.500 \text{ mL}\end{aligned}$$

2. Hari kedua (14 Oktober 2014)

$$\begin{aligned}\text{Volume pagi hari} &= 1.149 \text{ L} \\ \text{Volume sore hari} &= 1.005 \text{ L} \\ \text{Perbandingan volume} &= 1.149 : 1.005 \\ &= 1,1 : 1 \\ \text{Total perbandingan} &= 1,1 + 1 \\ &= 2,1 \\ \text{Komposisi pagi} &= \frac{1,1}{2,1} \times 1.500 \text{ mL} = 786 \text{ mL} \\ \text{Komposisi sore} &= \frac{1}{2,1} \times 1.500 \text{ mL} = 714 \text{ mL} \\ \text{Total volume} &= 786 \text{ mL} + 714 \text{ mL} \\ &= 1.500 \text{ mL}\end{aligned}$$

3. Hari ketiga (15 Oktober 2014)

$$\begin{aligned}\text{Volume pagi hari} &= 969 \text{ L} \\ \text{Volume sore hari} &= 897 \text{ L} \\ \text{Perbandingan volume} &= 969 \text{ L} : 897 \text{ L} \\ &= 1,1 : 1 \\ \text{Total perbandingan} &= 1,1 + 1 \\ &= 2,1 \\ \text{Komposisi pagi} &= \frac{1,1}{2,1} \times 1.500 \text{ mL} = 786 \text{ mL} \\ \text{Komposisi sore} &= \frac{1}{2,1} \times 1.500 \text{ mL} = 714 \text{ mL} \\ \text{Total volume} &= 786 \text{ mL} + 714 \text{ mL} \\ &= 1.500 \text{ mL}\end{aligned}$$

4. Hari keempat (16 Oktober 2014)

$$\begin{aligned}\text{Volume pagi hari} &= 1.471 \text{ L} \\ \text{Volume sore hari} &= 1.005 \text{ L} \\ \text{Perbandingan volume} &= 1.471 \text{ L} : 1.005 \text{ L} \\ &= 1,5 : 1 \\ \text{Total perbandingan} &= 1,5 + 1\end{aligned}$$

- $= 2,5$
 Komposisi pagi $= \frac{1,5}{2,5} \times 1.500 \text{ mL} = 900 \text{ mL}$
 Komposisi sore $= \frac{1}{2,5} \times 1.500 \text{ mL} = 600 \text{ mL}$
 Total volume $= 900 \text{ mL} + 600 \text{ mL}$
 $= 1.500 \text{ mL}$
5. Hari kelima (17 Oktober 2014)
- Volume pagi hari $= 1.005 \text{ L}$
 Volume sore hari $= 1.076 \text{ L}$
 Perbandingan volume $= 1.005 \text{ L} : 1.076 \text{ L}$
 $= 1 : 1,1$
 Total perbandingan $= 1 + 1,1$
 $= 2,1$
 Komposisi pagi $= \frac{1}{2,1} \times 1.500 \text{ mL} = 714 \text{ mL}$
 Komposisi sore $= \frac{1,1}{2,1} \times 1.500 \text{ mL} = 786 \text{ mL}$
 Total volume $= 714 \text{ mL} + 786 \text{ mL}$
 $= 1.500 \text{ mL}$
6. Hari keenam (18 Oktober 2014)
- Volume pagi hari $= 1.005 \text{ L}$
 Volume sore hari $= 1.041 \text{ L}$
 Perbandingan volume $= 1.005 \text{ L} : 1.041 \text{ L}$
 $= 1 : 1,04$
 Total perbandingan $= 1 + 1,04$
 $= 2,04$
 Komposisi pagi $= \frac{1}{2,04} \times 1.500 \text{ mL} = 735 \text{ mL}$
 Komposisi sore $= \frac{1,04}{2,04} \times 1.500 \text{ mL} = 765 \text{ mL}$
 Total volume $= 735 \text{ mL} + 765 \text{ mL}$
 $= 1.500 \text{ mL}$
7. Hari ketujuh (19 Oktober 2014)
- Volume pagi hari $= 1.077 \text{ L}$
 Volume sore hari $= 933 \text{ L}$
 Perbandingan volume $= 1.077 \text{ L} : 933 \text{ L}$
 $= 1,15 : 1$

$$\begin{aligned}
 \text{Total perbandingan} &= 1,15 + 1 \\
 &= 2,15 \\
 \text{Komposisi pagi} &= \frac{1,15}{2,15} \times 1.500 \text{ mL} = 802 \text{ mL} \\
 \text{Komposisi sore} &= \frac{1}{2,15} \times 1.500 \text{ mL} = 698 \text{ mL} \\
 \text{Total volume} &= 802 \text{ mL} + 698 \text{ mL} \\
 &= 1.500 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

8. Hari kedelapan (20 Oktober 2014)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume pagi hari} &= 1.041 \text{ L} \\
 \text{Volume sore hari} &= 1.005 \text{ L} \\
 \text{Perbandingan volume} &= 1.041 \text{ L} : 1.005 \text{ L} \\
 &= 1,04 : 1 \\
 \text{Total perbandingan} &= 1,04 + 1 \\
 &= 2,04 \\
 \text{Komposisi pagi} &= \frac{1,04}{2,04} \times 1.500 \text{ mL} = 765 \text{ mL} \\
 \text{Komposisi sore} &= \frac{1}{2,04} \times 1.500 \text{ mL} = 735 \text{ mL} \\
 \text{Total volume} &= 765 \text{ mL} + 735 \text{ mL} \\
 &= 1.500 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Tabel 5. 2 Rekapitulasi Komposisi Volume Pagi dan Sore

Tanggal	Volume (mL)		
	Pagi	Sore	Total
13 Oktober 2014	680	820	1500
14 Oktober 2014	786	714	1500
15 Oktober 2014	786	714	1500
16 Oktober 2014	900	600	1500
17 Oktober 2014	714	786	1500
18 Oktober 2014	735	765	1500
19 Oktober 2014	802	698	1500
20 Oktober 2014	765	735	1500

Berdasarkan hasil pengukuran debit limbah cair peternakan babi, nilai maksimum berada pada hari keempat (16 Oktober 2014). Pada hari tersebut, peternak melakukan

pembersihan menyeluruh tidak hanya di kandang melainkan di saluran pembuangan air limbah. Oleh karena itu, volume air limbah bertambah daripada hari-hari sebelumnya.

Sampel yang telah diawetkan di kotak pendingin, kemudian dianalisis di UPT Balai Laboratorium Kesehatan, Dinas Kesehatan, Pemerintah Provinsi Bali. Parameter yang diuji yaitu BOD, COD, dan TSS. Kebutuhan sampel yang disyaratkan oleh laboratorium ini yaitu 1.500 mL untuk tiga parameter yang telah disebutkan di atas. Tabel 5.2 menunjukkan hasil pemeriksaan dari laboratorium tersebut.

Tabel 5. 3 Hasil Pemeriksaan Limbah Cair

Tanggal	Hasil Pemeriksaan (mg/L)		
	TSS	BOD	COD
13 Oktober 2014	1.320	748,8	1.048,32
14 Oktober 2014	1.200	318,53	465,05
15 Oktober 2014	2.190	568,8	841,82
16 Oktober 2014	1.190	168,12	252,18
17 Oktober 2014	2.050	3.273,76	4.910,64
18 Oktober 2014	962	1.248	1.859,52
19 Oktober 2014	678	1.934	2.843,57
20 Oktober 2014	1.260	1.040	1.508

5.2 Analisis Hasil Sampling dan Laboratorium

Dalam rangka mengetahui apakah data sampling (debit air limbah pagi dan sore hari) dan data hasil laboratorium memiliki nilai *error* atau tidak, maka data tersebut diuji dengan menggunakan *control chart*.

5.2.1 Control Chart untuk Data Debit Air Limbah pada Pagi Hari

Tabel 5.4 menunjukkan data hasil sampling untuk debit air limbah pada pagi hari berserta perhitungan debit pagi rata-rata ($\bar{x}$) dan standar deviasi. Gambar 5.3 menunjukkan diagram kendali (*control chart*) dari debit air limbah pada pagi hari.

Tabel 5. 4 Perhitungan Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Data Debit Pagi Hari

Nomor Data	Q pagi (m3/jam)	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$
1	1,08	1,10	-0,02	0,00
2	1,15	1,10	0,05	0,00
3	0,97	1,10	-0,13	0,02
4	1,47	1,10	0,37	0,14
5	1,01	1,10	-0,09	0,01
6	1,01	1,10	-0,09	0,01
7	1,08	1,10	-0,02	0,00
8	1,04	1,10	-0,06	0,00
Total	8,79			0,18

1. Nilai rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{8,79}{8} = 1,10 \text{ m}^3/\text{jam}$$

2. Standar deviasi

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

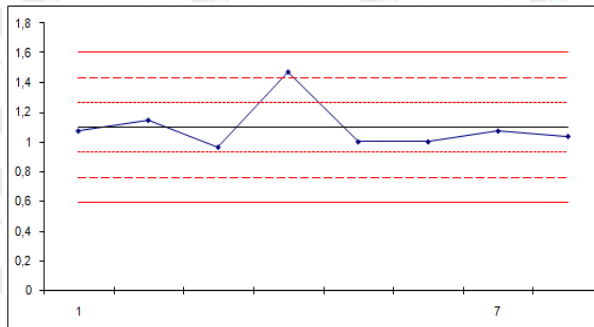
$$s = \sqrt{\frac{0,18}{8-1}} = 0,16 \text{ m}^3/\text{jam}$$

3. Batas kendali atas (*upper control limit/UCL*)

$$UCL = \bar{x} + 3s = 1,10 \text{ m}^3/\text{jam} + 3 \times 0,16 \text{ m}^3/\text{jam} = 1,58 \text{ m}^3/\text{jam}$$

4. Batas kendali bawah (*lower control limit/LCL*)

$$LCL = \bar{x} - 3s = 1,10 \text{ m}^3/\text{jam} - 3 \times 0,16 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,62 \text{ m}^3/\text{jam}$$



Gambar 5. 3 *Control Chart* untuk Data Debit Air Limbah Pagi Hari

Berdasarkan grafik di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa tidak terdapat nilai *error* pada data air limbah pagi hari.

5.2.2 *Control Chart* untuk Data Debit Air Limbah pada Sore Hari

Tabel 5.5 menunjukkan data hasil sampling untuk debit air limbah pada sore hari beserta perhitungan debit sore hari rata-rata ($\bar{x}$) dan standar deviasi. Gambar 5.4 menunjukkan diagram kendali (*control chart*) dari debit air limbah pada sore hari.

Tabel 5. 5 Perhitungan Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Data Debit Sore Hari

Nomor Data	Q sore (m3/jam)	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$
1	1,30	1,03	0,26	0,07
2	1,01	1,03	-0,03	0,00
3	0,90	1,03	-0,14	0,02
4	1,01	1,03	-0,03	0,00
5	1,08	1,03	0,04	0,00
6	1,04	1,03	0,01	0,00
7	0,93	1,03	-0,10	0,01
8	1,01	1,03	-0,03	0,00
Total	8,26			0,10

1. Nilai rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{8,26}{8} = 1,03 \text{ m}^3/\text{jam}$$

2. Standar deviasi

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

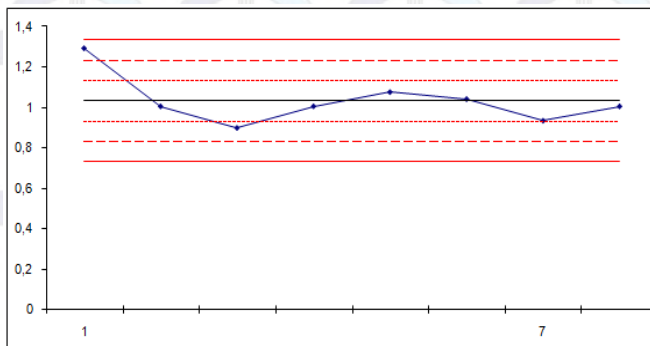
$$s = \sqrt{\frac{0,10}{8-1}} = 0,12 \text{ m}^3/\text{jam}$$

3. Batas kendali atas (*upper control limit/UCL*)

$$UCL = \bar{x} + 3s = 1,03 \text{ m}^3/\text{jam} + 3 \times 0,12 \text{ m}^3/\text{jam} = 1,39 \text{ m}^3/\text{jam}$$

4. Batas kendali bawah (*lower control limit/LCL*)

$$LCL = \bar{x} - 3s = 1,03 \text{ m}^3/\text{jam} - 3 \times 0,12 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,67 \text{ m}^3/\text{jam}$$



Gambar 5. 4 *Control Chart* untuk Data Debit Air Limbah Sore Hari

Berdasarkan grafik di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa tidak terdapat nilai *error* pada data air limbah sore hari.

5.2.3 Control Chart untuk Data BOD₅

Tabel 5.6 menunjukkan data hasil pemeriksaan laboratorium untuk parameter BOD₅ beserta perhitungan BOD₅ rata-rata ($\bar{x}$) dan standar deviasi. Gambar 5.5 menunjukkan diagram kendali (*control chart*) dari data BOD₅.

Tabel 5. 6 Perhitungan Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Data BOD₅

Nomor Data	BOD (mg/L)	$\bar{x}$	(x - $\bar{x}$)	(x - $\bar{x}$) ²
1	748,80	1.162,55	-414	171.190
2	318,53	1.162,55	-844	712.372
3	568,80	1.162,55	-594	352.541
4	168,12	1.162,55	-994	988.894
5	3.273,76	1.162,55	2.111	4.457.202
6	1.248,00	1.162,55	85	7.301
7	1.934,40	1.162,55	772	595.750
8	1.040,00	1.162,55	-123	15.019
Total	9.300,41			7.300.269,202

1. Nilai rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{9.300,41}{8} = 1.162,55 \text{ mg/L}$$

2. Standar deviasi

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{7.300.269,202}{8-1}} = 1.021,22 \text{ mg/L}$$

3. Batas kendali atas (*upper control limit/UCL*)

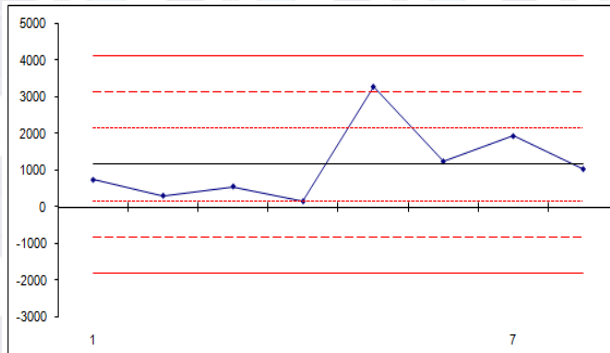
$$UCL = \bar{x} + 3s$$

$$= 1.162,55 \text{ mg/L} + 3 \times 1.021,22 \text{ mg/L} = 4.226 \text{ mg/L}$$

4. Batas kendali bawah (lower control limit/LCL)

$$LCL = \bar{x} - 3s$$

$$= 1.162,55 \text{ mg/L} - 3 \times 1.021,22 \text{ mg/L} = -1.901 \text{ mg/L}$$



Gambar 5. 5 *Control Chart* untuk Data BOD₅

Berdasarkan grafik di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa tidak terdapat nilai *error* pada data hasil pemeriksaan laboratorium untuk parameter BOD₅.

5.2.4 *Control Chart* untuk Data COD

Tabel 5.7 menunjukkan data hasil pemeriksaan laboratorium untuk parameter COD beserta perhitungan COD rata-rata ($\bar{x}$) dan standar deviasi. Gambar 5.6 menunjukkan diagram kendali (*control chart*) dari data COD.

Tabel 5. 7 Perhitungan Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Data COD

Nomor Data	COD (mg/L)	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$
1	1.048,32	1.716,14	-668	445.980
2	465,05	1.716,14	-1.251	1.565.220
3	841,82	1.716,14	-874	764.431
4	252,18	1.716,14	-1.464	2.143.172
5	4.910,64	1.716,14	3.195	10.204.846

Nomor Data	COD (mg/L)	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$
6	1.859,52	1.716,14	143	20.559
7	2.843,57	1.716,14	1.127	1.271.104
8	1.508,00	1.716,14	-208	43.321
Total	13.729,10			16.458.633

1. Nilai rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{13.729,10}{8} = 1.716,14 \text{ mg/L}$$

2. Standar deviasi

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{16.458.633}{8-1}} = 1.533,37 \text{ mg/L}$$

3. Batas kendali atas (*upper control limit/UCL*)

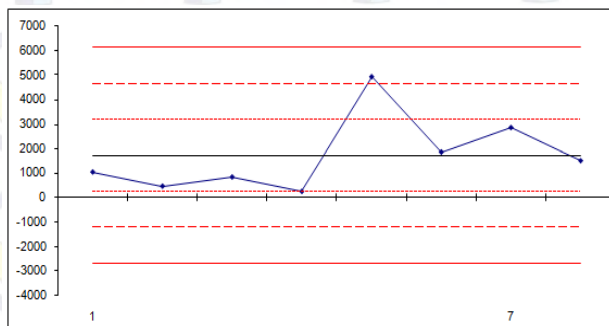
$$UCL = \bar{x} + 3s$$

$$= 1.716,14 \text{ mg/L} + 3 \times 1.533,37 \text{ mg/L} = 6.316 \text{ mg/L}$$

4. Batas kendali bawah (*lower control limit/LCL*)

$$LCL = \bar{x} - 3s$$

$$= 1.716,14 \text{ mg/L} - 3 \times 1.533,37 \text{ mg/L} = -2.884 \text{ mg/L}$$



Gambar 5. 6 Control Chart untuk Data COD

Berdasarkan grafik di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa tidak terdapat nilai *error* pada data hasil pemeriksaan laboratorium untuk parameter COD.

5.2.4 Control Chart untuk Data TSS

Tabel 5.8 menunjukkan data hasil pemeriksaan laboratorium untuk parameter TSS beserta perhitungan TSS rata-rata ($\bar{x}$) dan standar deviasi. Gambar 5.7 menunjukkan diagram kendali (*control chart*) dari data TSS.

Tabel 5. 8 Perhitungan Nilai Rata-Rata dan Standar Deviasi untuk Data TSS

Nomor Data	TSS (mg/L)	$\bar{x}$	$(x - \bar{x})$	$(x - \bar{x})^2$
1	1.320,00	1.356,25	-36,25	1.314,06
2	1.200,00	1.356,25	-156,25	24.414,06
3	2.190,00	1.356,25	833,75	695.139,06
4	1.190,00	1.356,25	-166,25	27.639,06
5	2.050,00	1.356,25	693,75	481.289,06
6	962,00	1.356,25	-394,25	155.433,06
7	678,00	1.356,25	-678,25	460.023,06
8	1.260,00	1.356,25	-96,25	9.264,06
Total	10.850,00			1.854.515,50

1. Nilai rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{10.850,00}{8} = 1.356,25 \text{ mg/L}$$

2. Standar deviasi

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

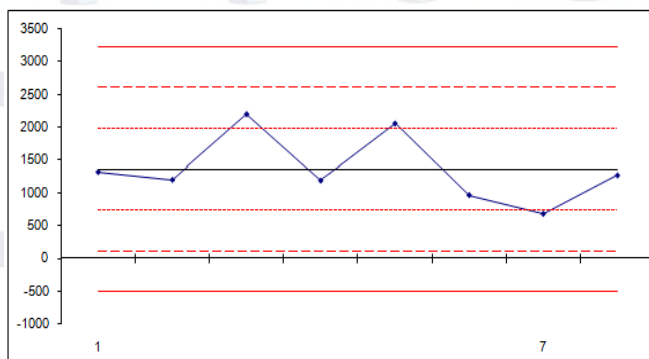
$$s = \sqrt{\frac{1.854.515,50}{8-1}} = 514,71 \text{ mg/L}$$

3. Batas kendali atas (*upper control limit/UCL*)

$$\begin{aligned} \text{UCL} &= \bar{x} + 3s \\ &= 1.356,25 \text{ mg/L} + 3 \times 514,71 \text{ mg/L} = 2.900 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

4. Batas kendali bawah (*lower control limit/LCL*)

$$\begin{aligned} \text{LCL} &= \bar{x} - 3s \\ &= 1.356,25 \text{ mg/L} - 3 \times 514,71 \text{ mg/L} = -188 \text{ mg/L} \end{aligned}$$



Gambar 5. 7 *Control Chart* untuk Data TSS

Berdasarkan grafik di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa tidak terdapat nilai *error* pada data hasil pemeriksaan laboratorium untuk parameter TSS.

Setelah melakukan analisis untuk mendeteksi nilai *error* pada sehipungan data yang digunakan pada perencanaan ini, maka didapatkan kesimpulan bahwa data hasil sampling dan hasil pemeriksaan laboratorium tidak memiliki nilai yang *error*. Tabel 5.9 menunjukkan rekapitulasi data yang digunakan pada perencanaan ini. Selain itu, Gambar 5.8 menunjukkan grafik hasil sampling untuk debit air limbah dan Gambar 5.9 menunjukkan grafik hasil pemeriksaan sampel untuk parameter BOD₅, COD, dan TSS selama delapan hari berturut-turut.

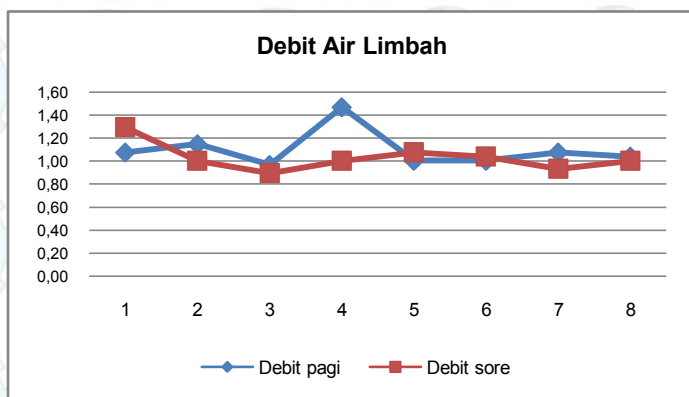
Dalam rangka memastikan bahwa limbah cair peternakan babi dapat diolah dengan proses biologis, maka perlu dicek rasio BOD/COD. Berdasarkan Tchobanoglous (2003), nilai tipikal untuk rasio BOD/COD untuk air limbah yang belum terolah berada pada

rentang 0,3 hingga 0,8. Jika rasio BOD/COD untuk air limbah yang belum terolah bernilai 0,5 atau lebih, maka air limbah tersebut dapat mudah diolah dengan proses biologis. Jika rasio tersebut berada dibawah atau sama dengan 0,3, maka air limbah kemungkinan mengandung zat toksik yang berbahaya bagi kehidupan mikroorganisme.

Tabel 5. 9 Rekapitulasi Data untuk Perencanaan

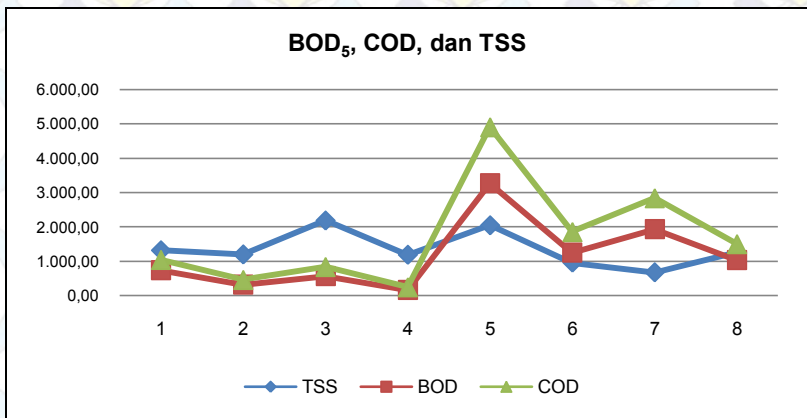
Hari ke-	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	Q pagi (m ³ /jam)	Q sore (m ³ /jam)	rasio BOD/COD
1	1.320,00	748,80	1.048,32	1,08	1,30	0,7
2	1.200,00	318,53	465,05	1,15	1,01	0,7
3	2.190,00	568,80	841,82	0,97	0,90	0,7
4	1.190,00	168,12	252,18	1,47	1,01	0,7
5	2.050,00	3.273,76	4.910,64	1,01	1,08	0,7
6	962,00	1.248,00	1.859,52	1,01	1,04	0,7
7	678,00	1.934,40	2.843,57	1,08	0,93	0,7
8	1.260,00	1.040,00	1.508,00	1,04	1,01	0,7

Rasio BOD/COD untuk air limbah pada hari pertama hingga kedelapan menunjukkan nilai 0,7. Air limbah peternakan babi ini dapat diolah dengan proses biologis karena rasio BOD/CODnya bernilai lebih dari 0,5.



Gambar 5. 8 Debit Air Limbah Delapan Hari Berturut-Turut

Berdasarkan grafik debit air limbah khususnya pada pagi hari, dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan debit air limbah pada hari keempat. Hal ini kemungkinan terjadi karena pada hari tersebut peternak tidak hanya membersihkan kandang babi saja, melainkan pada saluran pembuangan air limbah. Hal tersebut bisa jadi menyebabkan kebutuhan air PDAM meningkat sehingga debit air limbah juga meningkat.



Gambar 5. 9 Data BOD₅, COD, dan TSS Delapan Hari Berturut-Turut

Berdasarkan grafik hasil pemeriksaan laboratorium untuk parameter BOD₅, COD, dan TSS dari hari pertama hingga kedelapan, dapat dilihat bahwa data BOD₅ dan COD pada hari kelima menunjukkan data paling tinggi dari data pada hari lain. Tetapi, setelah dicek dengan menggunakan *control chart*, data ini tidak menunjukkan nilai *error*. Oleh karena itu, data ini tetap dimasukkan ke dalam perencanaan. Penyebab data BOD₅ dan COD paling tinggi ini kemungkinan karena pada hari tersebut makanan ternak sebagian besar tidak dihabiskan oleh ternak babi.

5.3 Perhitungan Dimensi Bangunan

Pada desain perencanaan bangunan pengolahan limbah cair peternakan babi ini, terdapat dua alternatif pengolahan. Pada

alternatif pertama, *secondary treatment* direncanakan dengan menggunakan *anaerobic baffled reactor*. Di sisi lain, pada alternatif kedua, *constructed wetland* dengan *horizontal sub-surface flow* digunakan sebagai *secondary treatment*.

Primary treatment pada kedua alternatif sama-sama menggunakan *septic tank*. Pada perencanaan ini, *septic tank* juga berfungsi sebagai bak ekualisasi. Pengaturan debit efluen pada bak ekualisasi direncanakan dengan menggunakan *gate valve*.

Khusus pada alternatif kedua, sebelum air limbah memasuki *septic tank*, sebuah *fine screen* dipasang di saluran pembuangan air limbah guna menangkap kotoran babi dan fraksi *settleable solid*. Pembersihan pada *fine screen* dilakukan secara manual setiap pagi dan sore hari agar tidak menyumbat saluran pembuangan limbah cair peternakan.

5.3.1 Perhitungan Dimensi Bangunan Alternatif Pertama

1. Perhitungan Dimensi Bak Ekualisasi dan *Septic Tank*
- A. Perhitungan Dimensi Bak Ekualisasi

Pada perencanaan ini, bak ekualisasi berfungsi untuk meratakan debit air limbah yang hanya mengalir pada saat pagi dan sore hari. Volume bak ekualisasi yang didapatkan dari perhitungan akan digunakan sebagai volume di *septic tank*.. Berikut adalah tabel perhitungan bak ekualisasi berdasarkan metoda perhitungan yang terdapat pada (Tchobanoglous et al., 2003).

Tabel 5. 10 Perhitungan Bak Ekualisasi

Interval Waktu	Debit pada interval waktu (m ³ /jam)	Volume di akhir interval (m ³)	Volume kumulatif di akhir interval (m ³)	Volume rata-rata (m ³)	Volume kumulatif rata-rata (m ³)
24-1	0	0	0	0,12	0,12
1-2	0	0	0	0,12	0,23
2-3	0	0	0	0,12	0,35
3-4	0	0	0	0,12	0,46

Interval Waktu	Debit pada interval waktu (m ³ /jam)	Volume di akhir interval (m ³)	Volume kumulatif di akhir interval (m ³)	Volume rata-rata (m ³)	Volume kumulatif rata-rata (m ³)
4-5	0	0	0	0,12	0,58
5-6	0	0	0	0,12	0,69
6-7	1,47	1,47	1,47	0,12	0,81
7-8	0	0	1,47	0,12	0,92
8-9	0	0	1,47	0,12	1,04
9-10	0	0	1,47	0,12	1,15
10-11	0	0	1,47	0,12	1,27
11-12	0	0	1,47	0,12	1,38
12-13	0	0	1,47	0,12	1,50
13-14	0	0	1,47	0,12	1,61
14-15	0	0	1,47	0,12	1,73
15-16	0	0	1,47	0,12	1,84
16-17	1,30	1,30	2,77	0,12	1,96
17-18	0	0	2,77	0,12	2,07
18-19	0	0	2,77	0,12	2,19
19-20	0	0	2,77	0,12	2,31
20-21	0	0	2,77	0,12	2,42
21-22	0	0	2,77	0,12	2,54
22-23	0	0	2,77	0,12	2,65
23-24	0	0	2,77	0,12	2,77
Rata-rata	0,12				

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa debit air limbah keluar setiap pagi dan sore hari (pukul 06.00 – 07.00 WITA dan pukul 16.00 – 17.00 WITA). Dalam menghitung bak ekualisasi pada perencanaan ini, debit yang dipakai yaitu debit pada pagi dan sore hari yang maksimum. Apabila debit maksimum dipakai, maka debit yang berada di bawah nilai maksimum masih bisa ditampung di bak ekualisasi. Berdasarkan data pengukuran debit air limbah di lapangan, didapatkan hasil bahwa debit maksimum pagi yaitu 1,47 m³/jam dan debit maksimum sore yaitu 1,30 m³/jam.

Debit rata-rata pada perencanaan ini

$$= \frac{(1,47+1,30) \text{ m}^3/\text{jam}}{24} = 0,12 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Volume air limbah di akhir interval (contoh pada interval 24-1)
 $= Q \times (1 \text{ jam}) = 0 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam} = 0$

Volume air limbah di akhir interval (contoh pada interval 6-7)
 $= Q \times (1 \text{ jam}) = 1,47 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam} = 1,47 \text{ m}^3$

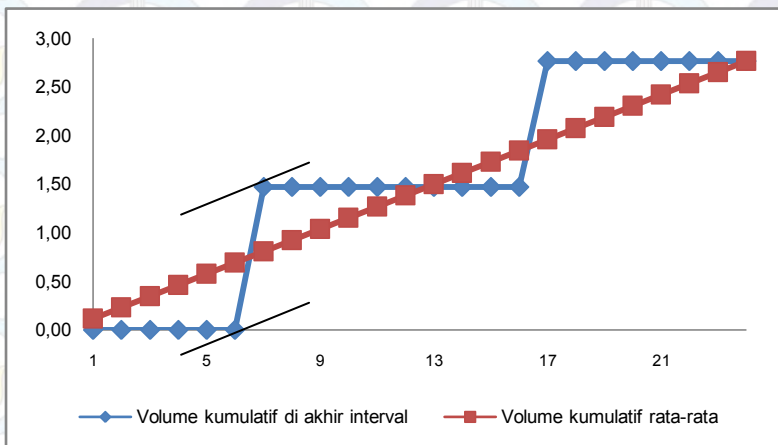
Volume kumulatif di akhir interval (contoh pada interval 7-8)
 $= \text{volume}_{6-7} + \text{volume}_{7-8} = 1,47 \text{ m}^3 + 0 = 1,47 \text{ m}^3$

Volume kumulatif di akhir interval (contoh pada interval 16-17)
 $= \text{volume}_{15-16} + \text{volume}_{16-17} = 1,47 \text{ m}^3 + 1,30 = 2,77 \text{ m}^3$

Volume air limbah rata-rata di akhir interval (pada interval 24-1)
 $= Q \times (1 \text{ jam}) = 0,12 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ jam} = 0,12 \text{ m}^3$

Volume kumulatif di akhir interval (contoh pada interval 16-17)
 $= \text{volume}_{15-16} + \text{volume}_{16-17} = 1,84 \text{ m}^3 + 0,12 = 1,96 \text{ m}^3$

Langkah selanjutnya yaitu menentukan volume bak ekualisasi dengan memplotkan data volume kumulatif di akhir interval (m^3) dengan volume kumulatif rata-rata (m^3).



Gambar 5. 10 Penentuan Volume Bak Ekualisasi

Volume bak ekualisasi

$$\begin{aligned} &= (\text{titik tertinggi pada kurva volume kumulatif di akhir interval}) - (\text{titik terendah pada kurva volume kumulatif di akhir interval}) \\ &= 1,47 \text{ m}^3 - 0 \\ &= 1,47 \text{ m}^3 \approx \mathbf{1,5 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

Dalam rangka memastikan bahwa volume bak ekualisasi tersebut benar-benar dapat menampung air limbah, maka dilakukan simulasi pada bak ekualisasi. Asumsi bak ekualisasi tidak berisi air (kosong) pada akhir periode di interval pukul 05.00 – 06.00 WITA. Setelah itu, bak ekualisasi akan terisi air limbah lag pada awal periode di interval waktu pukul 06.00 – 07.00 WITA. Tabel 5.11 menunjukkan simulasi volume air limbah pada bak ekualisasi.

Tabel 5. 11 Simulasi Volume Air Limbah pada Bak Ekualisasi

Interval Waktu	Volume air limbah yang masuk selama periode waktu (m ³)	Volume di bak penyimpanan pada akhir interval (m ³)
6-7	1,47	1,36
7-8	0	1,24
8-9	0	1,13
9-10	0	1,01
10-11	0	0,89
11-12	0	0,78
12-13	0	0,66
13-14	0	0,55
14-15	0	0,43
15-16	0	0,32
16-17	1,30	1,50
17-18	0	1,38
18-19	0	1,27
19-20	0	1,15
20-21	0	1,04
21-22	0	0,92
22-23	0	0,81
23-24	0	0,69

Interval Waktu	Volume air limbah yang masuk selama periode waktu (m ³)	Volume di bak penyimpanan pada akhir interval (m ³)
24-1	0	0,58
1-2	0	0,46
2-3	0	0,35
3-4	0	0,23
4-5	0	0,12
5-6	0	0,00
Rata-rata	0,12	

Volume di bak ekualisasi di akhir periode dapat dihitung berdasarkan rumus berikut (Tchobanoglous et al., 2003):

$$V_{sc} = V_{sp} + V_{ic} - V_{oc}$$

Keterangan rumus:

V_{sc} = volume di bak ekualisasi pada akhir waktu (m³)

V_{sp} = volume pada akhir waktu sebelumnya (m³)

V_{ic} = volume yang masuk selama periode waktu (m³)

V_{oc} = volume air limbah rata-rata (m³)

Volume di bak ekualisasi di akhir periode pk. 06.00 – 07.00 WITA
 $= 0 + 1,47 \text{ m}^3 - 0,12 \text{ m}^3 = 1,36 \text{ m}^3$

Volume di bak ekualisasi di akhir periode pk. 07.00 – 08.00 WITA
 $= 1,36 \text{ m}^3 + 0 \text{ m}^3 - 0,12 \text{ m}^3 = 1,24 \text{ m}^3$

Volume di bak ekualisasi di akhir periode pk. 16.00 – 17.00 WITA
 $= 0,32 \text{ m}^3 + 1,30 \text{ m}^3 - 0,12 \text{ m}^3 = \mathbf{1,5 \text{ m}^3}$

Volume di bak ekualisasi di akhir periode pk. 05.00 – 06.00 WITA
 $= 0,12 \text{ m}^3 + 0 \text{ m}^3 - 0,12 \text{ m}^3 = \mathbf{0 \text{ m}^3}$

Berdasarkan tabel simulasi volume air limbah pada bak ekualisasi, dapat ditarik kesimpulan bahwa volume air limbah paling tinggi di bak ekualisasi yaitu 1,5 m³. Berdasarkan perhitungan sebelumnya, volume bak ekualisasi diperoleh yaitu 1,5 m³. Ini artinya bahwa volume bak ekualisasi sebesar 1,5 m³ dapat menampung debit air limbah pada pagi dan sore hari

sekaligus menyalurkan debit air limbah rata-rata untuk bangunan pengolahan air limbah berikutnya. Debit air limbah rata-rata pada perencanaan ini yaitu **0,12 m³/jam** atau **2,77 m³/hari** atau **3,2 x 10⁻⁵ m/detik**.

Setelah menghitung debit air limbah rata-rata, perhitungan dilanjutkan dengan menghitung konsentrasi BOD₅, COD, dan TSS rata-rata. Berdasarkan Tchobanoglous (2003), metoda *flow-weighted constituent concentrations* sedapat mungkin digunakan karena hasil tersebut merupakan representasi yang akurat terhadap konsentrasi air limbah aktual yang harus diolah di bangunan pengolahan air limbah. Rumus untuk menghitung konsentrasi air limbah yang memerhatikan debit ini dapat dilihat pada bagian berikut:

$$C_w = \frac{\sum C \times Q}{\sum Q}$$

Keterangan rumus:

C_w = konsentrasi air limbah rata-rata

C = konsentrasi pada suatu interval tertentu

Q = debit air limbah pada suatu interval tertentu

Tabel 5. 12 Perhitungan Konsentrasi BOD₅, COD, TSS Rata-Rata

Hari ke-	TSS (mg/L)	BOD (mg/L)	COD (mg/L)	Q total (m ³ /hari)	TSS x Q (kg/hari)	BOD x Q (kg/hari)	COD x Q (kg/hari)
1	1.320,00	748,80	1.048,32	2,37	3,13	1,78	2,49
2	1.200,00	318,53	465,05	2,15	2,58	0,69	1,00
3	2.190,00	568,80	841,82	1,87	4,09	1,06	1,57
4	1.190,00	168,12	252,18	2,48	2,95	0,42	0,62
5	2.050,00	3.273,76	4.910,64	2,08	4,27	6,81	10,22
6	962,00	1.248,00	1.859,52	2,05	1,97	2,55	3,80
7	678,00	1.934,40	2.843,57	2,01	1,36	3,89	5,72
8	1.260,00	1.040,00	1.508,00	2,05	2,58	2,13	3,09
Total				17,05	22,92	19,32	28,51

Contoh perhitungan beban TSS pada hari pertama
 $= 1.320,00 \text{ mg/L} \times 2,37 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ kg}/1.000 \text{ g}$
 $= 3,13 \text{ kg/hari}$

$Q \text{ total} = 2,37 \text{ m}^3/\text{hari} + 2,15 \text{ m}^3/\text{hari} + 1,87 \text{ m}^3/\text{hari} + 2,48 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $+ 2,08 \text{ m}^3/\text{hari} + 2,05 \text{ m}^3/\text{hari} + 2,01 \text{ m}^3/\text{hari} + 2,05$
 $\text{m}^3/\text{hari} = 17,05 \text{ m}^3/\text{hari}$

$$\begin{aligned} [\text{BOD}_5 \text{ rata-rata}] &= \frac{\sum Q \times C}{\sum Q} \\ &= \frac{19,32 \text{ kg/hari}}{17,05 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \\ &= 1.133 \text{ g/m}^3 \\ &= 1.133 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD}_{\text{rata-rata}}] &= \frac{\sum Q \times C}{\sum Q} \\ &= \frac{28,51 \text{ kg/hari}}{17,05 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \\ &= 1.672 \text{ g/m}^3 \\ &= 1.672 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{TSS}_{\text{rata-rata}}] &= \frac{\sum Q \times C}{\sum Q} \\ &= \frac{22,92 \text{ kg/hari}}{17,05 \text{ m}^3/\text{hari}} \times 1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \\ &= 1.344 \text{ g/m}^3 \\ &= 1.344 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Tabel 5.13 menunjukkan rekapitulasi debit rata-rata beserta konsentrasi BOD_5 , COD, dan TSS rata-rata.

Parameter	Debit (m^3/jam)	BOD_5 (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	Rasio BOD/COD
Nilai	0,12	1.133	1.672	1.344	0,7

B. Perhitungan Dimensi *Septic Tank*

Septic tank berfungsi sebagai *primary treatment* dalam perencanaan ini. Selain itu, bangunan ini juga difungsikan sebagai bak ekualisasi sehingga dapat menghasilkan debit rata-rata. Pengaturan debit dilakukan dengan pintu air yang terletak di efluen bangunan ini. Metoda perhitungan dimensi *septic tank* mengikuti metoda perhitungan yang terdapat pada Sasse, 2009.

$$\begin{aligned} Q \text{ hari} &= 2,77 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{HRT} &= V/Q \quad (V_{\text{septic tank}} = V_{\text{bak ekualisasi}} = 1,5 \text{ m}^3) \\ &= 1,5 \text{ m}^3 / 2,77 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,542 \text{ hari} = \mathbf{13 \text{ jam}} \\ &\quad (\text{kriteria desain } 12\text{--}24 \text{ dari Sasse, 2009}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{masuk}} &= 1.672 \text{ mg/L} \\ \text{BOD}_5 \text{ masuk} &= 1.133 \text{ mg/L} \\ \text{BOD/COD} &= 1.133 \text{ mg/L} : 1.672 \text{ mg/L} \\ &= 0,7 \quad (\text{mudah diolah dengan proses biologis} \\ &\quad \text{berdasarkan Tchobanoglous et al., 2003}) \end{aligned}$$

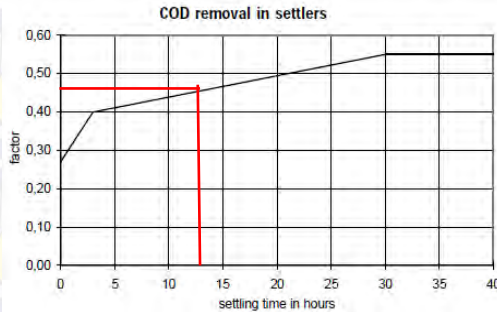
$$\begin{aligned} \text{Rasio settleable SS/COD} &= 0,45 \quad (\text{kriteria desain } 0,35\text{--}0,45 \text{ dari Sasse,} \\ &\quad 2009) \end{aligned}$$

Perkiraan laju penyisihan COD

$$= \frac{\text{rasio SS/COD}}{0,6} \times \text{faktor penyisihan}$$

Faktor penyisihan COD pada tangki pengendapan ditentukan berdasarkan grafik penyisihan COD pada tangki pengendapan (Sasse, 2009). Karena waktu tinggal di *septic tank* pada perencanaan ini yaitu 13 jam, maka didapatkan faktor penyisihan COD yaitu 0,46.

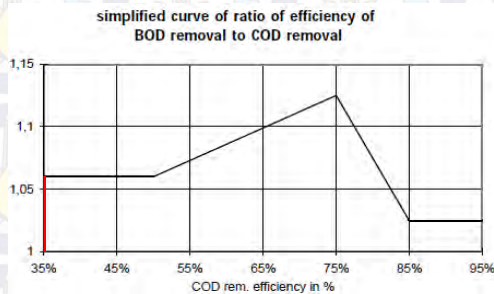
$$\text{Perkiraan laju penyisihan COD} = \frac{0,45}{0,6} \times 0,46 = 0,34 = 34\%$$



Gambar 5. 11 Penyisihan COD pada Tangki Pengendapan (Sasse, 2009)

$$\begin{aligned} \text{COD}_{\text{effluen}} &= (1 - 34\%) \times 1.672 \text{ mg/L} = 1.101 \text{ mg/L} \\ \text{Perkiraan laju penyisihan BOD} &= \text{faktor penyisihan BOD}_5/\text{COD} \times \text{penyisihan COD} \end{aligned}$$

Faktor penyisihan BOD ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara efisiensi penyisihan COD dengan efisiensi penyisihan BOD (Sasse, 2009). Karena penyisihan COD yang didapatkan sebesar 34%, maka faktor penyisihan yaitu 1,06.



Gambar 5. 12 Hubungan antara Efisiensi Penyisihan COD dengan Efisiensi Penyisihan BOD. (Sasse, 2009)

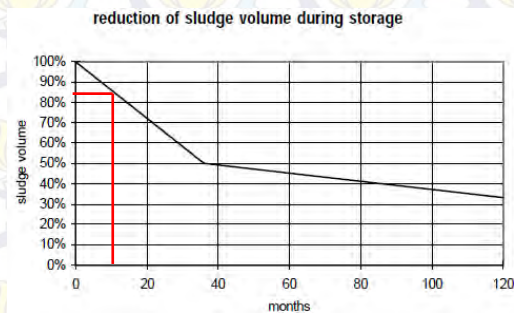
$$\begin{aligned} \text{Perkiraan laju penyisihan BOD} &= 1,06 \times 34\% = 36\% \\ \text{BOD}_{\text{effluen}} &= (1 - 36\%) \times 1.133 \text{ mg/L} = 723 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Periode pengurasan pada tangki septik
= 1 tahun (12 bulan)

Laju akumulasi lumpur
= 0,005 L lumpur/g BOD tersisihkan x *sludge volume* (%)

Sludge volume ditentukan berdasarkan grafik penurunan volume lumpur selama masa penyimpanan (Sasse, 2009). Karena masa penyimpanan lumpur selama 1 tahun, maka *sludge volume* yaitu 83,2%.

Laju akumulasi lumpur
= 0,005 L lumpur/g BOD tersisihkan x 83,2%
= 0,00416 L lumpur/g BOD tersisihkan



Gambar 5. 13 Penurunan Volume Lumpur selama Masa Penyimpanan (Sasse, 2009)

Volume lumpur =

$$\text{laju akumulasi lumpur} \left(\frac{\text{L}}{\text{g}} \right) \times \frac{(\text{BOD in} - \text{BOD out}) \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right)}{1000} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}} \times 12 \text{ bulan} \times Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right)$$

$$0,00416 \text{ L/g} \times \frac{(1.133 - 723) \text{ g/L}}{1000} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}} \times 12 \text{ bulan} \times 2,77 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) = 1,7 \text{ m}^3$$

Volume air

$$= Q \times \text{HRT}$$

$$= 2,77 \text{ m}^3/\text{hari} \times (13 \text{ jam} : 24 \text{ jam})$$

$$= 1,50 \text{ m}^3$$

Volume tangki septik

$$= \text{volume lumpur} + \text{volume air}$$

$$= 1,7 \text{ m}^3 + 1,5 \text{ m}^3 = 3,2 \text{ m}^3$$

Lebar tangki septik

$$= 1,8 \text{ m (ditentukan)}$$

Panjang kompartemen pertama tangki septik

$$= 1,6 \text{ m (ditentukan)}$$

Kedalaman lumpur

$$= \frac{\text{volume lumpur}}{\text{panjang} \times \text{lebar}}$$

$$= \frac{1,7 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m} \times 1,6 \text{ m}} = 1 \text{ m}$$

Kedalaman air

$$= \frac{\text{volume air}}{\text{panjang} \times \text{lebar}}$$

$$= \frac{1,5 \text{ m}^3}{1,8 \text{ m} \times 1,6 \text{ m}} = 0,5 \text{ m}$$

Kedalaman total = kedalaman lumpur + kedalaman air

$$= 1 \text{ m} + 0,5 \text{ m} = 1,5 \text{ m}$$

Panjang kompartemen kedua tangki septik

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

Volume aktual tangki septik

$$= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{kedalaman}$$

$$= (1,6 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times 1,8 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$$

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

Produksi lumpur per hari (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

$$= \text{biomassa} + \text{cell debris} + \text{inert TSS}$$

Data-data untuk perhitungan lumpur per hari (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

$$Y = 0,08 \text{ g VSS/g COD}$$

$$k_d = 0,03 \text{ g/g hari}$$

$$\text{SRT} = \text{HRT} \times 5 = 14 \text{ jam} \times 5 = 70 \text{ jam} \approx 3 \text{ hari}$$

$$f_d = 0,15 \text{ g VSS/g VSS}$$

a. Lumpur biomassa (VSS)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{Y}{1 + k_d \times \text{SRT}} \times Q \times (\text{COD in} - \text{COD out}) \\
 &= \frac{0,08 \text{ g VSS/g COD}}{1 + 0,03 \text{ g/g hari} \times 3 \text{ hari}} \times 2,77 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1.672 - 1.101) \text{ g COD/m}^3 \\
 &= 116,9 \text{ g VSS/hari}
 \end{aligned}$$

b. Lumpur dari *cell debris*

$$\begin{aligned}
 &= \frac{f_d \times k_d \times \text{SRT} \times Y}{1 + k_d \times \text{SRT}} \times Q \times (\text{COD in} - \text{COD out}) \\
 &= \frac{0,15 \text{ g VSS/g VSS} \times 0,03 \text{ g/g hari} \times 3 \text{ hari} \times 0,08 \text{ g VSS/g COD}}{1 + 0,03 \text{ g/g hari} \times 3 \text{ hari}} \times 2,77 \text{ m}^3/\text{hari} \times 571 \text{ g/m}^3 \\
 &= 1,4 \text{ g VSS/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lumpur VSS} &= \text{lumpur biomassa} + \text{cell debris} \\
 &= (116,9 + 1,4) \text{ g VSS/hari} \\
 &= 118,3 \text{ g VSS/hari} = 0,12 \text{ kg VSS/hari}
 \end{aligned}$$

Kesetimbangan Massa di *Septic Tank*

$$\begin{aligned}
 [\text{BOD}_5 \text{ influen}] &= 1.133 \text{ mg/L} = 1.133 \text{ g/m}^3 \\
 [\text{COD influen}] &= 1.672 \text{ mg/L} = 1.672 \text{ g/m}^3 \\
 [\text{TSS influen}] &= 1.344 \text{ mg/L} = 1.344 \text{ g/m}^3 \\
 Q_{\text{influen}} &= 2,77 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa BOD}_{\text{in}} &= 1.133 \text{ g/m}^3 \times 2,77 \text{ m}^3/\text{hari} : 1.000 \text{ kg/g} \\
 &= 3,13 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa COD}_{\text{in}} &= 1.672 \text{ g/m}^3 \times 2,77 \text{ m}^3/\text{hari} : 1.000 \text{ kg/g} \\
 &= 4,62 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TSS}_{\text{in}} &= 1.344 \text{ g/m}^3 \times 2,77 \text{ m}^3/\text{hari} : 1.000 \text{ kg/g} \\
 &= 3,72 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\text{Massa penyisihan BOD} = 3,13 \text{ kg/hari} \times 34\% = 1,14 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa penyisihan COD} = 4,62 \text{ kg/hari} \times 36\% = 1,58 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa penyisihan TSS} = 3,72 \text{ kg/hari} \times 65\% = 2,42 \text{ kg/hari}$$

(Penyisihan TSS sebesar 55 – 65% berdasarkan Sperling dan Chernicharo, 2005)

$$\begin{aligned}
 \text{Massa BOD}_{\text{out}} &= 3,13 \text{ kg/hari} - 1,14 \text{ kg/hari} = 1,99 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD}_{\text{out}} &= 4,62 \text{ kg/hari} - 1,58 \text{ kg/hari} = 3,04 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa TSS} &= 3,72 \text{ kg/hari} - 2,42 \text{ kg/hari} = 1,30 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Volume lumpur per hari (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Massa lumpur}}{\text{specific weight air} \times \text{specific gravity lumpur} \times \% \text{ solid}} \\
 &= \frac{2,42 \text{ kg TSS/hari}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 1,02 \times 4\%} \\
 &= 0,06 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{efluen}} &= Q_{\text{influen}} - Q_{\text{lumpur}} \\
 &= 2,77 \text{ m}^3/\text{hari} - 0,06 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 2,71 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{TSS}_{\text{efluen}}] &= (1,30 \text{ kg/hari} : 2,71 \text{ m}^3/\text{hari}) : 1000 \text{ kg/g} \\
 &= 481 \text{ g/m}^3 \\
 &= \mathbf{481 \text{ mg/L}}
 \end{aligned}$$

Kesetimbangan massa COD berdasarkan Tchobanoglous *et al.*, (2003) sebagai berikut:

$$\text{COD}_{\text{in}} = \text{COD}_{\text{efluen}} + \text{COD}_{\text{VSS}} + \text{COD}_{\text{metan}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{COD}_{\text{in}} &= \text{COD}_{\text{efluen}} + \text{COD}_{\text{VSS}} + \text{COD}_{\text{metan}} \\
 4,62 \text{ kg/hari} &= 3,04 \text{ kg/hari} + 0,12 \text{ kg/hari} + \text{COD}_{\text{metan}} \\
 \text{COD}_{\text{metan}} &= 4,62 \text{ kg/hari} - (3,04 \text{ kg/hari} + 0,12 \text{ kg/hari}) \\
 \text{COD}_{\text{metan}} &= 1,46 \text{ kg/hari} \\
 \text{COD}_{\text{metan}} &= 1.460 \text{ g/hari}
 \end{aligned}$$

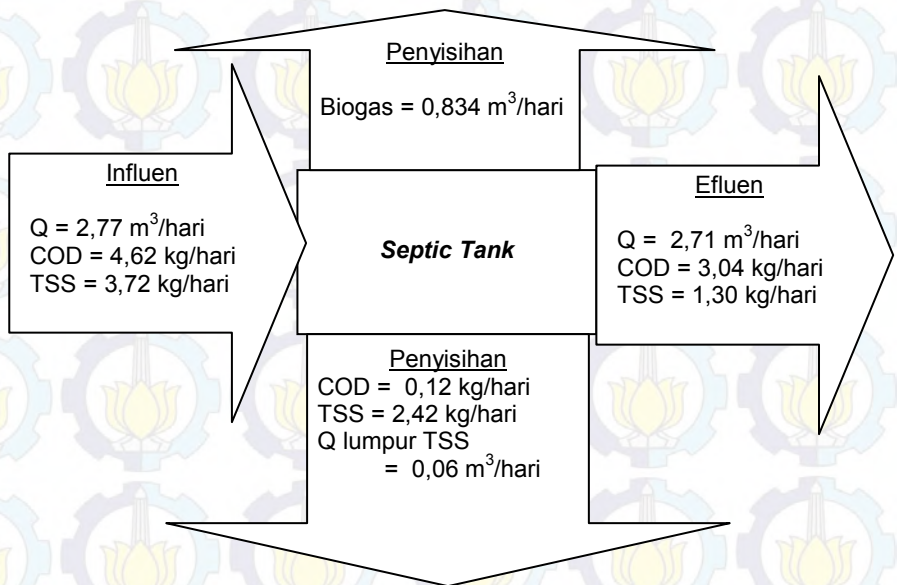
$$\begin{aligned}
 \text{Produksi gas metana (CH}_4\text{)} &= \frac{0,4 \text{ L}}{\text{g COD}} \times Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times \text{COD} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) \\
 &= \frac{0,4 \text{ L}}{\text{g COD}} \times 1.460 \left(\frac{\text{g COD}}{\text{hari}} \right) \\
 &= 584 \text{ L CH}_4/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biogas terdiri dari 70\% gas CH}_4\text{, maka produksi biogas yaitu} &= \\
 584 \text{ L CH}_4/\text{hari} : 70 \% &= 834 \text{ L CH}_4/\text{hari} \\
 &= 0,834 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$[\text{BOD}_5 \text{ effluen}] = (1,99 \text{ kg/hari} : 2,71 \text{ m}^3/\text{hari}) : 1000 \text{ kg/g} \\ = 735 \text{ g/m}^3 \\ = \mathbf{735 \text{ mg/L}}$$

$$[\text{COD}_{\text{effluen}}] = (3,04 \text{ kg/hari} : 2,71 \text{ m}^3/\text{hari}) : 1000 \text{ kg/g} \\ = 1.125 \text{ g/m}^3 \\ = \mathbf{1.125 \text{ mg/L}}$$

$$\text{Rasio BOD/COD} \\ = 735 \text{ mg/L} / 1.125 \text{ mg/L} = 0,65$$



Gambar 5. 14 Keseimbangan Massa di *Septic Tank Alternatif Pertama*

2. Perhitungan Dimensi Anaerobic Baffled Reactor

Anaerobic baffled reactor (ABR) berfungsi sebagai *secondary treatment* dalam perencanaan ini. Metoda perhitungan dimensi ABR mengikuti metoda perhitungan yang terdapat pada Sasse (2009).

$$Q \text{ hari} = 2,71 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Waktu air limbah mengalir} \\ = 24 \text{ jam}$$

$$Q \text{ rata-rata} = 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} / 24 \text{ jam} = 0,11 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{COD}_{\text{masuk}} = 1.125 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD}_5 \text{ masuk} = 735 \text{ mg/L}$$

$$\text{TSS}_{\text{masuk}} = 481 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD/COD} = 739 \text{ mg/L} : 1.125 \text{ mg/L} \\ = 0,66 \text{ (mudah diolah dengan proses biologis berdasarkan Tchobanoglous et al., 2003)}$$

$$\text{Rasio settleable SS/COD}$$

$$= 0,45 \text{ (kriteria desain 0,35–0,45 dari Sasse, 2009)}$$

$$\text{Perkiraan laju penyisihan COD}$$

$$= \frac{\text{rasio SS/COD}}{0,6} \times \text{faktor penyisihan}$$

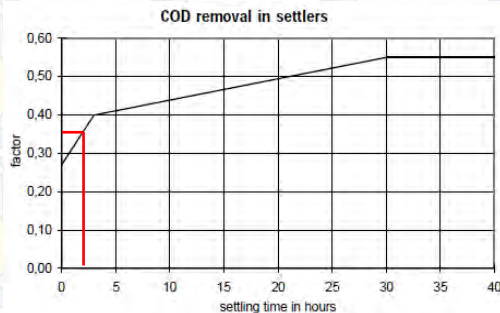
Faktor penyisihan COD pada tangki pengendapan ditentukan berdasarkan grafik penyisihan COD pada tangki pengendapan (Sasse, 2009). Karena waktu tinggal di tangki pengendap (*settler*) pada perencanaan ini yaitu 2 jam, maka didapatkan faktor penyisihan COD yaitu 0,35.

$$\text{Perkiraan laju penyisihan COD} = \frac{0,45}{0,6} \times 0,35 = 0,26 = 26\%$$

$$\text{COD}_{\text{effluen}} = (1 - 26\%) \times 1.125 \text{ mg/L} = 830 \text{ mg/L}$$

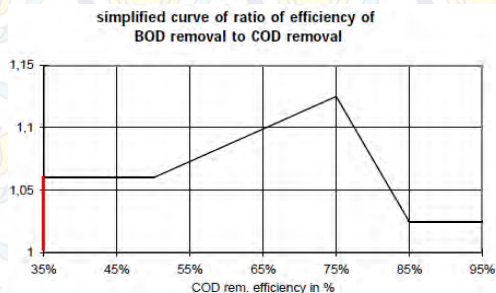
$$\text{Perkiraan laju penyisihan BOD}$$

$$= \text{faktor penyisihan BOD}_5/\text{COD} \times \text{penyisihan COD}$$



Gambar 5. 10 Penyisihan COD pada Tangki Pengendapan (Sasse, 2009)

Faktor penyisihan BOD ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara efisiensi penyisihan COD dengan efisiensi penyisihan BOD (Sasse, 2009). Karena penyisihan COD yang didapatkan sebesar 26%, maka faktor penyisihan yaitu 1,06.



Gambar 5.11 Hubungan antara Efisiensi Penyisihan COD dengan Efisiensi Penyisihan BOD. (Sasse, 2009)

Perkiraan laju penyisihan BOD

$$= 1,06 \times 26\% = 28\%$$

$$\text{BOD}_{\text{efluen}} = (1 - 28\%) \times 739 \text{ mg/L} = 533 \text{ mg/L}$$

Rasio BOD/COD

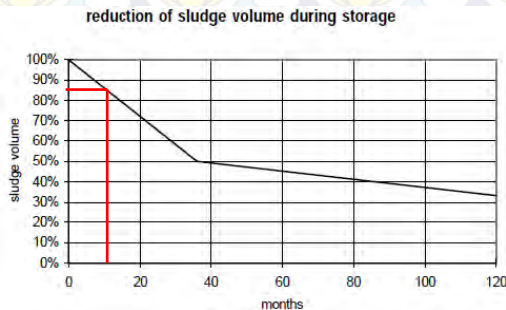
$$= 533 \text{ mg/L} / 830 \text{ mg/L}$$

$$= 0,64 \text{ (mudah diolah dengan proses biologis berdasarkan Tchobanoglous et al., 2003)}$$

Laju akumulasi lumpur di tangki pengendap (*settler*)
 $= 0,005 \text{ L lumpur/g BOD tersisihkan} \times \text{sludge volume (\%)}$

Sludge volume ditentukan berdasarkan grafik penurunan volume lumpur selama masa penyimpanan (Sasse, 2009). Karena masa penyimpanan lumpur selama 1 tahun, maka *sludge volume* yaitu 83,2%.

Laju akumulasi lumpur di tangki pengendap (*settler*)
 $= 0,005 \text{ L lumpur/g BOD tersisihkan} \times 83,2\%$
 $= 0,00416 \text{ L lumpur/g BOD tersisihkan}$



Gambar 5. 12 Penurunan Volume Lumpur selama Masa Penyimpanan (Sasse, 2009)

Volume lumpur di tangki pengendap (*settler*) =

$$\text{laju akumulasi lumpur} \left(\frac{\text{L}}{\text{g}} \right) \times \frac{(\text{BOD in} - \text{BOD out}) \left(\frac{\text{g}}{\text{L}} \right)}{1000} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}} \times 12 \text{ bulan} \times Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right)$$

$$0,00416 \text{ L/g} \times \frac{(739 - 533) \text{ g/L}}{1000} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}} \times 12 \text{ bulan} \times 2,71 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right)$$

$$= 0,83 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= Q \times \text{HRT} \\ &= 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} \times (2 \text{ jam} : 24 \text{ jam}) \\ &= 0,23 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki pengendap (settler)} &= \text{volume lumpur} + \text{volume air} \\ &= 0,83 \text{ m}^3 + 0,23 \text{ m}^3 = 1,06 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar tangki pengendap (settler)} &= 0,6 \text{ m (ditentukan)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman tangki pengendap (settler)} &= 1,5 \text{ m (ditentukan)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang tangki pengendap (settler)} &= \frac{\text{Volume}}{\text{lebar} \times \text{kedalaman}} \\ &= \frac{1,06 \text{ m}^3}{1 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}} = 0,71 \text{ m} \approx 0,8 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan up-flow} &= 0,5 \text{ m/jam (kriteria desain } < 2 \text{ m/jam} \\ &\text{berdasarkan Sasse, 2009)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah kompartemen up-flow} &= 4 \text{ buah (kriteria desain 4 hingga 7 buah} \\ &\text{berdasarkan Sasse, 2009)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman kompartemen up-flow} &= 0,8 \text{ m (ditentukan)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang kompartemen up-flow} &= 50\% \times 0,8 \text{ m (kriteria desain } \leq 50 \text{ hingga } 60\% \\ &\text{berdasarkan Sasse, 2009)} \\ &= 0,4 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Luas permukaan satu kompartemen up-flow}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{\text{Debit air limbah } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}}\right)}{\text{Kecepatan up-flow } \left(\frac{\text{m}}{\text{jam}}\right)} \\ &= \frac{0,11 \text{ m}^3/\text{jam}}{0,5 \text{ m/jam}} = 0,23 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Lebar satu kompartemen up-flow}$$

$$= \frac{\text{Luas permukaan satu kompartemen (m}^2\text{)}}{\text{Panjang satu kompartemen (m)}}$$

$$= \frac{0,23 \text{ m}^2}{0,4 \text{ m}} = 0,57 \text{ m} \approx 1 \text{ m (pertimbangan untuk kemudahan konstruksi)}$$

Lebar *down-flow shaft*
= 0,25 m (ditentukan)

Cek kecepatan *up-flow*

$$= \frac{\text{Debit air limbah } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}}\right)}{\text{Panjang kompartemen (m) x lebar kompartemen (m)}} \\ = \frac{0,11 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}}{0,4 \text{ m} \times 1 \text{ m}} \\ = 0,29 \text{ m/jam (OK! memenuhi kriteria desain untuk kecepatan up-flow <2m/jam berdasarkan Sasse, 2009)}$$

Cek kecepatan air di tangki pengendap

$$= \frac{\text{Debit air limbah } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}}\right)}{\text{Panjang (m) x lebar (m)}} \\ = \frac{0,11 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}}{0,8 \text{ m} \times 1 \text{ m}} = 0,14 \text{ m/jam}$$

Cek kecepatan air di *down-flow shaft*

$$= \frac{\text{Debit air limbah } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}}\right)}{\text{Panjang (m) x lebar (m)}} \\ = \frac{0,11 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}}{0,25 \text{ m} \times 1 \text{ m}} = 0,46 \text{ m/jam}$$

Cek kecepatan air di bawah beton *pre-cast*

$$= \frac{0,11 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}}{0,15 \text{ m} \times 1 \text{ m}} = 0,76 \text{ m/jam}$$

Walaupun tidak ada kriteria desain untuk kecepatan air limbah di tangki pengendap dan *down-flow shaft*, nilai kecepatan pada

kedua bangunan tersebut menunjukkan $< 2/\text{jam}$. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan pada keseluruhan sistem *anaerobic baffled reactor* masih memenuhi kriteria desain untuk kecepatan *up-flow* $< 2 \text{ m/jam}$ berdasarkan Sasse, 2009.

Volume aktual *anaerobic baffled reactor*

$$\begin{aligned} &= p \times l \times t \\ &= (0,25 \text{ m} + 0,4 \text{ m}) \times 4 \text{ buah kompartemen} \times 1 \text{ m} \\ &\quad \times 0,8 \text{ m} \\ &= 2,08 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Total HRT aktual pada *anaerobic baffled reactor*

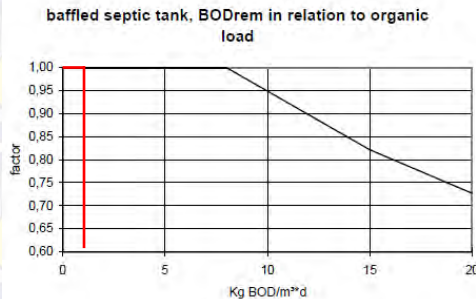
$$\begin{aligned} &= \frac{V}{Q} = \frac{2,08 \text{ m}^3}{0,11 \text{ m}^3/\text{jam}} = 18 \text{ jam} \\ &\text{(asumsi bahwa HRT berkurang 5\% karena adanya lumpur)} \\ &= 18 \text{ jam} \times (1 - 0,05) \\ &= 17 \text{ jam} \text{ (**OK! memenuhi kriteria desain untuk kecepatan HRT} \geq 8 \text{ jam berdasarkan Sasse, 2009)**} \end{aligned}$$

Cek *organic loading rate* (OLR)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Debit air limbah} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \right) \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \left(\frac{\text{konsentrasi COD}}{1000} \right) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{\text{Volume aktual baffled reactor (m}^3\text{)}} \\ &= \frac{0,11 \text{ m}^3/\text{jam} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \left(\frac{830}{1.000} \right) \text{ kg/m}^3}{2,08 \text{ m}^3} \\ &= 1,1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \text{ (**OK! memenuhi kriteria desain untuk organic loading rate} \leq 3,0 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari berdasarkan Sasse, 2009)**} \end{aligned}$$

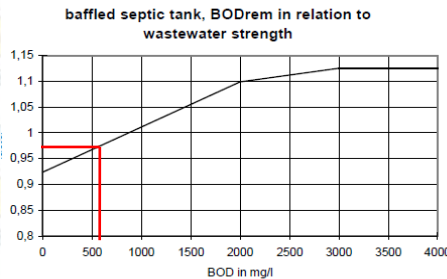
Dalam rangka menghitung perkiraan penyisihan COD, maka diperlukan faktor *overload*, faktor *strength*, faktor *temperature*, dan faktor HRT.

Faktor *overload* = berkaitan dengan Gambar 5.13 yang menunjukkan grafik hubungan antara beban organik dengan faktor penyisihan pada *anaerobic baffled reactor*. Didapatkan hasil 1,00.



Gambar 5. 15 Hubungan antara Beban Organik dengan Faktor Penyisihan (Sasse, 2009)

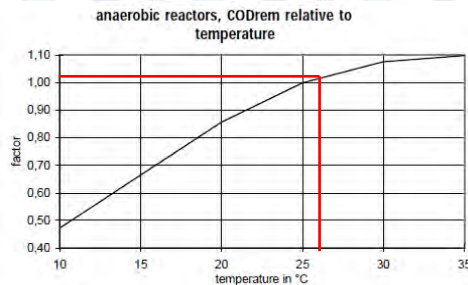
Faktor *strength* = berkaitan dengan Gambar 5.14 yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi influen dengan faktor penyisihan pada *anaerobic baffled reactor*. Didapatkan hasil 0,96.



Gambar 5. 16 Hubungan antara Karakteristik Air Limbah dengan Faktor Penyisihan (Sasse, 2009)

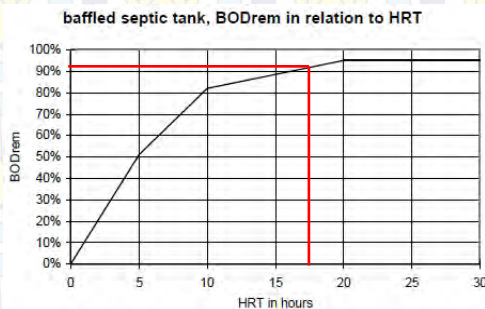
Faktor *temperature*

= berkaitan dengan Gambar 5.15 yang menunjukkan grafik hubungan antara suhu dengan faktor penyisihan. Didapatkan hasil 1,05.



Gambar 5. 17 Hubungan antara Suhu dengan Faktor Penyisihan pada Reaktor Anaerobik (Sasse, 2009)

Faktor HRT = berkaitan dengan Gambar 5.16 yang menunjukkan grafik hubungan antara HRT dengan faktor penyisihan. Didapatkan hasil 0,91.



Gambar 5. 18 Hubungan antara HRT dengan Faktor Penyisihan (Sasse, 2009)

Perkiraan penyisihan COD teoritis berdasarkan faktor

$$= (\text{faktor overload}) \times (\text{faktor strength}) \times (\text{faktor temperature}) \times (\text{faktor HRT})$$

$$= 1,00 \times 0,91 \times 1,05 \times 0,91$$

$$= 0,88 = 88\%$$

Perkiraan penyisihan COD

$$= 88\% \times (\text{jumlah baffled} \times 0,04 + 0,82)$$

$$= 88\% \times 98\% = 86\%$$

$$\text{COD}_{\text{effluen}} = (1 - 86\%) \times 830 \text{ mg/L} = 114 \text{ mg/L}$$

Perkiraan penyisihan COD total

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{COD influen} - \text{COD effluen}}{\text{COD influen}} \times 100\% \\ &= \frac{1.108 \text{ mg/L} - 115 \text{ mg/L}}{1.108 \text{ mg/L}} \times 100\% \\ &= 90\% \end{aligned}$$

Faktor penyisihan BOD/COD

$$= 1,025$$

Perkiraan penyisihan BOD₅ total

$$= 1,025 \times 90\% = 92\%$$

$$\text{BOD}_5 \text{ effluen} = (1 - 92\%) \times 533 \text{ mg/L} = 58 \text{ mg/L}$$

Produksi lumpur per hari (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

$$= \text{biomassa} + \text{cell debris}$$

Data-data untuk perhitungan lumpur per hari (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

$$Y = 0,08 \text{ g VSS/g COD}$$

$$k_d = 0,03 \text{ g/g hari}$$

$$\text{SRT} = \text{HRT} \times 5 = 14 \text{ jam} \times 5 = 70 \text{ jam} \approx 3 \text{ hari}$$

$$f_d = 0,15 \text{ g VSS/g VSS}$$

a. Lumpur biomassa (VSS)

$$\begin{aligned} &= \frac{Y}{1 + k_d \times \text{SRT}} \times Q \times (\text{COD in} - \text{COD out}) \\ &= \frac{0,08 \text{ g VSS/g COD}}{1 + 0,03 \text{ g/g hari} \times 3 \text{ hari}} \times 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} \times (1.125 - 114) \text{ g COD/m}^3 \\ &= 194,8 \text{ g VSS/hari} \end{aligned}$$

b. Lumpur dari *cell debris*

$$\begin{aligned} &= \frac{f_d \times k_d \times \text{SRT} \times Y}{1 + k_d \times \text{SRT}} \times Q \times (\text{COD in} - \text{COD out}) \\ &= \frac{0,15 \text{ g VSS/g VSS} \times 0,03 \text{ g/g hari} \times 3 \text{ hari} \times 0,08 \text{ g VSS/g COD}}{1 + 0,03 \text{ g/g hari} \times 3 \text{ hari}} \times 2,75 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1.011 \text{ g/m}^3 \\ &= 3,5 \text{ g VSS/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lumpur VSS} &= \text{lumpur biomassa} + \text{cell debris} \\
 &= (194,8 + 3,5) \text{ g VSS/hari} \\
 &= 198,3 \text{ g VSS/hari} \approx 0,20 \text{ kg VSS/hari}
 \end{aligned}$$

Kesetimbangan Massa di Anaerobic Baffled Reactor

$$\begin{aligned}
 [\text{BOD}_5 \text{ influen}] &= 739 \text{ mg/L} = 739 \text{ g/m}^3 \\
 [\text{COD}_{\text{influen}}] &= 1.125 \text{ mg/L} = 1.125 \text{ g/m}^3 \\
 [\text{TSS}_{\text{influen}}] &= 481 \text{ mg/L} = 481 \text{ g/m}^3 \\
 Q_{\text{influen}} &= 2,71 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa BOD}_{\text{in}} &= 739 \text{ g/m}^3 \times 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} : 1.000 \text{ kg/g} \\
 &= 1,99 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa COD}_{\text{in}} &= 1.125 \text{ g/m}^3 \times 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} : 1.000 \text{ kg/g} \\
 &= 3,04 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TSS}_{\text{in}} &= 481 \text{ g/m}^3 \times 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} : 1.000 \text{ kg/g} \\
 &= 1,30 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Massa penyisihan BOD = 1,99 kg/hari x 92% = 1,83 kg/hari
 Massa penyisihan COD = 3,04 kg/hari x 90% = 2,74 kg/hari
 Massa penyisihan TSS = 1,30 kg/hari x 80% = 1,04 kg/hari
 (Perkiraan penyisihan TSS sebesar $\leq 80\%$ berdasarkan Morel dan Diener, 2006)

$$\text{Massa BOD}_{\text{out}} = 1,99 \text{ kg/hari} - 1,83 \text{ kg/hari} = 0,16 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa COD}_{\text{out}} = 3,04 \text{ kg/hari} - 2,74 \text{ kg/hari} = 0,30 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa TSS} = 1,30 \text{ kg/hari} - 1,04 \text{ kg/hari} = 0,26 \text{ kg/hari}$$

Volume lumpur per hari (Tchobanoglous *et al.*, 2003)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Massa lumpur}}{\text{specific weight air} \times \text{specific gravity lumpur} \times \% \text{ solid}} \\
 &= \frac{1,04 \text{ kg TSS/hari}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 1,02 \times 4\%} \\
 &= 0,03 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{efluen}} &= Q_{\text{influen}} - Q_{\text{lumpur}} \\
 &= 2,77 \text{ m}^3/\text{hari} - 0,03 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,68 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 [\text{TSS}_{\text{efluen}}] &= (0,26 \text{ kg/hari} : 2,68 \text{ m}^3/\text{hari}) : 1000 \text{ kg/g} \\
 &= 97 \text{ g/m}^3 \\
 &= \mathbf{97 \text{ mg/L}} \text{ (memenuhi baku mutu TSS} \\
 &\quad \text{berdasarkan Permen LH No. 5 Tahun 2014 – baku} \\
 &\quad \text{mutu TSS = 100 mg/L)}
 \end{aligned}$$

Kesetimbangan massa COD berdasarkan Tchobanoglous *et al.*, (2003) sebagai berikut:

$$\text{COD}_{\text{in}} = \text{COD}_{\text{efluen}} + \text{COD}_{\text{VSS}} + \text{COD}_{\text{metan}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{COD}_{\text{in}} &= \text{COD}_{\text{efluen}} + \text{COD}_{\text{VSS}} + \text{COD}_{\text{metan}} \\
 3,04 \text{ kg/hari} &= 0,31 \text{ kg/hari} + 0,20 \text{ kg/hari} + \text{COD}_{\text{metan}} \\
 \text{COD}_{\text{metan}} &= 3,04 \text{ kg/hari} - (0,31 \text{ kg/hari} + 0,20 \text{ kg/hari}) \\
 \text{COD}_{\text{metan}} &= 2,53 \text{ kg/hari} \\
 \text{COD}_{\text{metan}} &= 2.530 \text{ g/hari}
 \end{aligned}$$

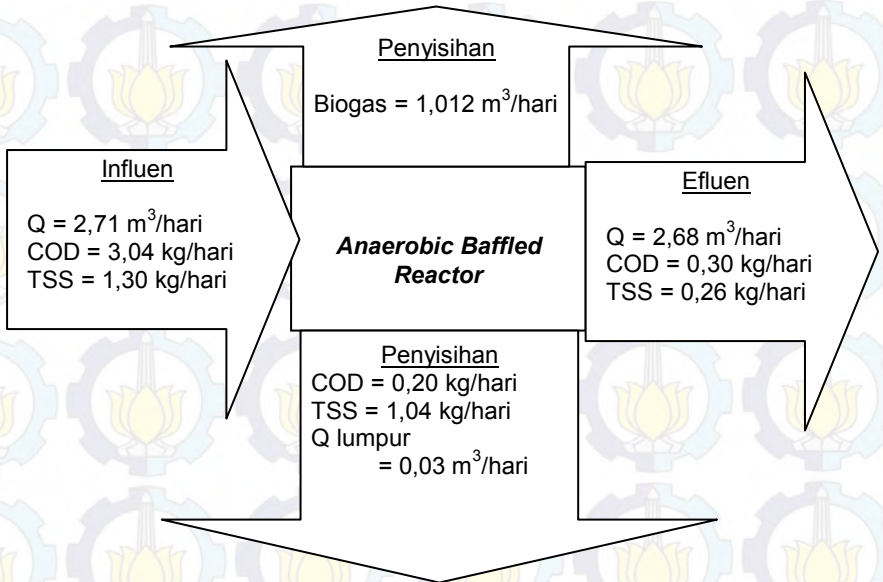
$$\begin{aligned}
 \text{Produksi gas metana (CH}_4\text{)} &= \frac{0,4 \text{ L}}{\text{g COD}} \times Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times \text{COD} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) \\
 &= \frac{0,4 \text{ L}}{\text{g COD}} \times 2.530 \left(\frac{\text{g COD}}{\text{hari}} \right) \\
 &= 1.012 \text{ L CH}_4/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Biogas terdiri dari 70% gas CH₄, maka produksi biogas yaitu =
 1.012 L CH₄/hari : 70 % = 1.012 L CH₄/hari
 = 1,012 m³ CH₄/hari

$$\begin{aligned}
 [\text{BOD}_5 \text{ efluén}] &= (0,16 \text{ kg/hari} : 2,68 \text{ m}^3/\text{hari}) : 1000 \text{ kg/g} \\
 &= 58 \text{ g/m}^3 \\
 &= \mathbf{58 \text{ mg/L}} \text{ (memenuhi baku mutu BOD}_5\text{)} \\
 &\quad \text{berdasarkan Permen LH No. 5 Tahun 2014 – baku} \\
 &\quad \text{mutu BOD}_5\text{ = 100 mg/L)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{COD}_{\text{efluén}}] &= (0,31 \text{ kg/hari} : 2,68 \text{ m}^3/\text{hari}) : 1000 \text{ kg/g} \\
 &= 115 \text{ g/m}^3 \\
 &= \mathbf{115 \text{ mg/L}} \text{ (memenuhi baku mutu COD} \\
 &\quad \text{berdasarkan Permen LH No. 5 Tahun 2014 – baku} \\
 &\quad \text{mutu COD = 200 mg/L)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Rasio BOD/COD} = 58 \text{ mg/L} / 115 \text{ mg/L} = 0,51$$



Gambar 5. 19 Kestimbangan Massa di *Anaerobic Baffled Reactor*

3. Perhitungan Dimensi Bak Penampung

$$\begin{aligned} Q_{\text{efluen}} &= 2,68 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{HRT} &= 12 \text{ jam} \\ \text{Volume} &= Q \times \text{HRT} \\ &= 2,68 \text{ m}^3/\text{hari} \times 12 \text{ jam} \times 1 \text{ hari}/24 \text{ jam} = 1,34 \text{ m}^3 \\ \text{Kedalaman} &= 2 \text{ m (ditentukan)} \\ \text{Kedalaman air} &= 2 \text{ m} - 1 \text{ m} = 1 \text{ m} \\ \text{Luas permukaan bak penampung} &= 1,34 \text{ m}^3 / 1 \text{ m} = 1,34 \text{ m}^2 \\ \text{Rasio } p : l &= 1 : 1 \\ \text{Lebar} &= \sqrt{1,34 \text{ m}^2} = 1,2 \text{ m} \\ \text{Panjang} &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Dimensi Alternatif Pertama

Bangunan Dimensi	Septic Tank (Bak Ekualisasi)	Anaerobic Baffled Reactor	Bak Penampung
jumlah	1 buah	1 buah	1 buah
panjang	1,8 m	3,4 m	1,2 m
lebar	1,8 m	1 m	1,2 m
kedalaman	1,5 m	1,5 m (<i>settler</i>)	2 m
freeboard	0,3 m	0,8 m (ABR) 0,3 m	-

5.3.2 Perhitungan Dimensi Alternatif Kedua

1. Perhitungan Dimensi Bak Ekualisasi dan *Septic Tank*

A. Dimensi Bak Ekualisasi

Volume bak ekualisasi yang diperoleh dari perhitungan pada alternatif pertama bernilai sama dengan perhitungan pada alternatif kedua. Volume bak ekualisasi yang diperoleh yaitu $1,5 \text{ m}^3$ dengan debit rata-rata sebesar $0,12 \text{ m}^3/\text{jam}$.

B. Dimensi *Septic Tank*

Septic tank pada alternatif pertama juga berfungsi sebagai *primary treatment* dan bak ekualisasi. *Gate valve* digunakan sebagai pengaturan debit pada efluen *septic tank* sehingga mampu menghasilkan debit rata-rata. Perhitungan dimensi *septic tank* pada alternatif kedua sama dengan alternatif pertama.

2. Perhitungan Dimensi *Constructed Wetland (Horizontal Sub-surface Flow)*

$$Q_{\text{influen}} = 2,71 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{COD}_{\text{influen}} = 1.125 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD}_{\text{influen}} = 735 \text{ mg/L}$$

$$\text{Rasio BOD/COD}_{\text{influen}}$$

$$= 735 \text{ mg/L} / 1.125 \text{ mg/L}$$

$$= 0,65 \text{ (mudah diolah dengan proses biologis berdasarkan Tchobanoglous et al., 2003)}$$

Perkiraan BOD_5 effluen

= 50 mg/L (ditentukan)

Perkiraan penyisihan BOD_5

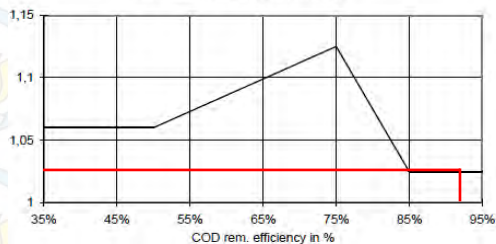
$$= \left(1 - \frac{BOD_{out}}{BOD_{in}}\right) \times 100\%$$

$$= \left(1 - \frac{50 \text{ mg/L}}{735 \text{ mg/L}}\right) \times 100\%$$

= 93%

Faktor penyisihan BOD/COD ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara efisiensi penyisihan COD dengan efisiensi penyisihan BOD (Sasse, 2009). Karena penyisihan BOD yang didapatkan sebesar 93%, maka faktor penyisihan yaitu 1,03.

simplified curve of ratio of efficiency of
BOD removal to COD removal



Gambar 5. 12 Hubungan antara Efisiensi Penyisihan COD dengan Efisiensi Penyisihan BOD. (Sasse, 2009)

Perkiraan laju penyisihan COD

$$= 93\% / 1,03 = 91\%$$

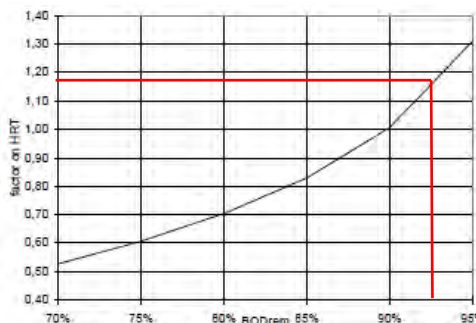
$$COD_{effluen} = (1 - 91\%) \times 1.125 \text{ mg/L} = 102 \text{ mg/L}$$

Suhu minimum tahunan

= 27 °C (ditentukan)

Faktor HRT

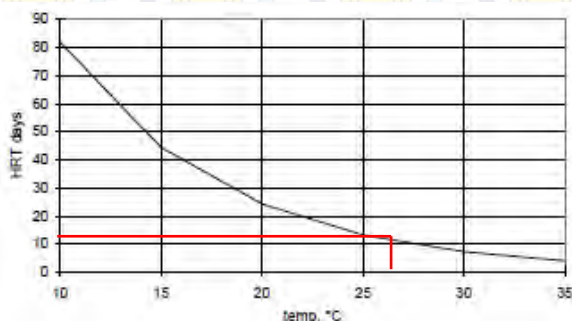
= berkaitan dengan Gambar 5.22 yang menunjukkan grafik pengaruh dari penyisihan BOD yang diinginkan terhadap HRT di *constructed wetland*.



Gambar 5. 20 Pengaruh dari penyisihan BOD terhadap HRT di *Constructed Wetland*.

Faktor HRT = karena perkiraan penyisihan BOD sebesar 93%, maka faktor HRT yang didapatkan yaitu 1,19.

Faktor suhu pada *constructed wetland* = berkaitan dengan Gambar 5.23 yang menunjukkan hubungan antara suhu di gravel filter dengan HRT. Karena suhu minimum tahunan sebesar 27°C, maka HRT yang didapatkan yaitu 10,6 hari.



Gambar 5. 21 Hubungan antara Suhu dengan HRT pada *Constructed Wetland*

HRT pada *constructed wetland* (*horizontal sub-surface flow*)
= faktor HRT x HRT

$$= 1,19 \times 10,6 \text{ hari} = 12,6 \text{ hari} \approx 13 \text{ hari}$$

Konduktivitas hidrolik media filter (kerikil)
 = 0,006 m/detik (*berdasarkan Lugali, 2012 didapatkan ukuran media filter yaitu 12 – 20 mm*)
 = 518 m/hari

Rencana slope pada *constructed wetland*
 = 1% (*kriteria desain untuk kemiringan pada media filter yaitu 0,5% - 1% berdasarkan Hoffmann dan Winker, 2011*)

$$\begin{aligned} A_{\text{cross}} &= \text{menggunakan konsep Hukum Darcy berdasarkan Sasse, 2009} \\ &= \frac{\text{Debit } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right)}{\text{Hydraulic conductivity } \left(\frac{\text{m}}{\text{hari}} \right) \times \text{slope } (\%)} \\ &= \frac{2,71 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{518 \text{ m/hari} \times 1\%} \\ &= 0,52 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Kedalaman media filter
 = 0,3 m (*kriteria desain 0,3 – 0,6 m berdasarkan Sasse, 2009*)

$$\begin{aligned} \text{Lebar } \textit{constructed wetland} &= \frac{\text{Cross section area (m}^2\text{)}}{\text{Kedalaman filter (m)}} \\ &= \frac{0,52 \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}} = 1,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Beban organik maksimum
 = 10 g BOD/m².hari (Sasse, 2009)

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan filter} &= \frac{\text{Debit } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times \text{BOD in } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{\text{Beban organik maksimum } \left(\frac{\text{g BOD}}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}} \right)} \\ &= \frac{2,71 \text{ m}^3/\text{hari} \times 735 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{10 \text{ g BOD/m}^2 \cdot \text{hari}} \end{aligned}$$

$$= 160 \text{ m}^2$$

Panjang *constructed wetland*

$$= \frac{\text{Luas permukaan (m}^2\text{)}}{\text{Lebar filter (m)}}$$

$$= 160 \text{ m}^2 / 1,8 \text{ m}$$

$$= 91 \text{ m} \approx 92 \text{ m} \text{ (pertimbangan kemudahan konstruksi di lapangan)}$$

Luas permukaan filter aktual

$$= 1,8 \text{ m} \times 92 \text{ m} = 166 \text{ m}^2$$

Cek *Hydraulic Loading Rate*

$$= \frac{\text{Debit (m}^3\text{/hari)}}{\text{Luas permukaan (m}^2\text{)}}$$

$$= \frac{2,71 \text{ m}^3\text{/hari}}{166 \text{ m}^2}$$

$$= 0,01 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{.hari (OK! sesuai dengan kriteria desain untuk HLR = 0,01 – 0,1 berdasarkan Tanner, 2001 dan Vymazal 2011 dalam Williams, 2010)}$$

Cek *Organic Loading Rate*

$$= \text{HLR} \times \text{BOD}_5 \text{ influen}$$

$$= 0,01 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{.hari} \times 735 \text{ mg/L}$$

$$= 0,01 \text{ m}^3\text{/m}^2\text{.hari} \times 735 \text{ g/m}^3$$

$$= 10 \text{ g BOD/m}^2\text{.hari (OK! sesuai dengan kriteria desain untuk OLR} \leq 10 \text{ g BOD/m}^2\text{.hari berdasarkan Sasse, 2009)}$$

Kesetimbangan Massa di *Constructed Wetland*

$$[\text{BOD}_5 \text{ influen}] = 735 \text{ mg/L} = 735 \text{ g/m}^3$$

$$[\text{COD influen}] = 1.125 \text{ mg/L} = 1.125 \text{ g/m}^3$$

$$[\text{TSS influen}] = 481 \text{ mg/L} = 481 \text{ g/m}^3$$

$$Q_{\text{influen}} = 2,71 \text{ m}^3\text{/hari}$$

$$\text{Massa BOD}_{\text{in}} = 735 \text{ g/m}^3 \times 2,71 \text{ m}^3\text{/hari} : 1.000 \text{ kg/g}$$

$$= 1,99 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa COD}_{\text{in}} = 1.125 \text{ g/m}^3 \times 2,71 \text{ m}^3\text{/hari} : 1.000 \text{ kg/g}$$

$$= 3,04 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa TSS}_{\text{in}} &= 481 \text{ g/m}^3 \times 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} : 1.000 \text{ kg/g} \\ &= 1,30 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

Massa penyisihan BOD = 1,99 kg/hari x 93% = 1,85 kg/hari
 Massa penyisihan COD = 3,04 kg/hari x 91% = 2,77 kg/hari
 Massa penyisihan TSS = 1,30 kg/hari x 85% = 1,11 kg/hari
(Perkiraan penyisihan TSS sebesar 65 – 85% berdasarkan Morel dan Diener, 2006 dalam Hoffmann dan Winker, 2011)

$$\begin{aligned}\text{Massa BOD}_{\text{out}} &= 1,99 \text{ kg/hari} - 1,85 \text{ kg/hari} = 0,14 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa COD}_{\text{out}} &= 3,04 \text{ kg/hari} - 2,77 \text{ kg/hari} = 0,27 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa TSS} &= 1,30 \text{ kg/hari} - 1,11 \text{ kg/hari} = 0,19 \text{ kg/hari}\end{aligned}$$

Specific gravity lumpur untuk filtration (Tchobanoglous et al., 2003) = 1,005

Persen solid dalam lumpur untuk secondary settling tank (Tchobanoglous et al., 2003) = 0,5 – 1,5% (tipikal 0,8%)

$$Q_{\text{lumpur}} = \frac{\text{Massa lumpur}}{\text{specific weight air} \times \text{specific gravity lumpur} \times \% \text{ solid}}$$

$$= \frac{1,11 \text{ kg/hari}}{1000 \text{ kg/m}^3 \times 1,005 \times 0,8\%} = 0,01 \text{ m}^3/\text{hari}$$

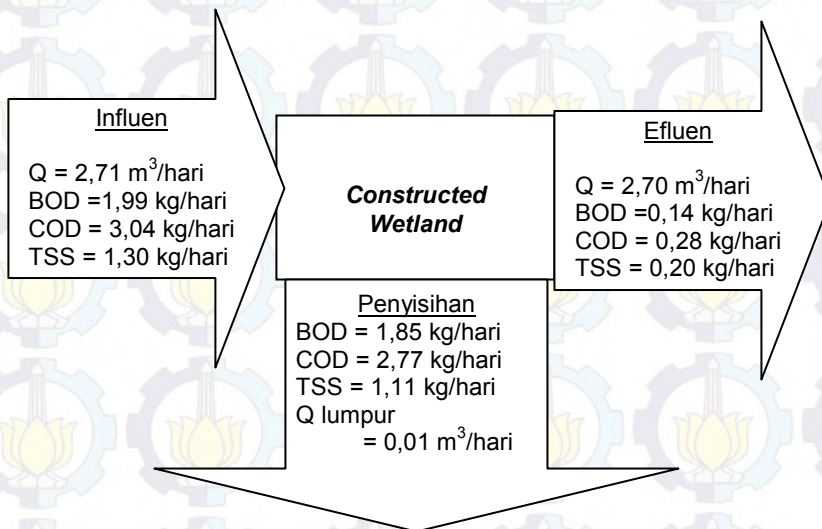
$$\begin{aligned}Q_{\text{efluen}} &= Q_{\text{influen}} - Q_{\text{lumpur}} \\ &= 2,74 \text{ m}^3/\text{hari} - 0,095 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 2,70 \text{ m}^3/\text{hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{BOD}_5 \text{ efluén}] &= (0,14 \text{ kg/hari} : 2,70 \text{ m}^3/\text{hari}) : 1000 \text{ kg/g} \\ &= 50 \text{ g/m}^3 \\ &= \mathbf{50 \text{ mg/L}} \text{ (memenuhi baku mutu BOD}_5 \text{ berdasarkan Permen LH No. 5 Tahun 2014 –} \\ &\quad \mathbf{\text{baku mutu BOD}_5 = 100 \text{ mg/L)}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}[\text{COD}_{\text{efluén}}] &= (0,28 \text{ kg/hari} : 2,70 \text{ m}^3/\text{hari}) : 1000 \text{ kg/g} \\ &= 102 \text{ g/m}^3 \\ &= \mathbf{102 \text{ mg/L}} \text{ (memenuhi baku mutu COD} \\ &\quad \mathbf{\text{berdasarkan Permen LH No. 5 Tahun 2014 –} \\ &\quad \mathbf{\text{baku mutu COD} = 200 \text{ mg/L)}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [TSS_{\text{effluen}}] &= (0,20 \text{ kg/hari} : 2,70 \text{ m}^3/\text{hari}) : 1000 \text{ kg/g} \\
 &= 72 \text{ g/m}^3 \\
 &= 72 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu TSS} \\
 &\text{berdasarkan Permen LH No. 5 Tahun 2014 –} \\
 &\text{baku mutu TSS = 100 mg/L)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio BOD/COD} \\
 &= 50 \text{ mg/L} / 102 \text{ mg/L} = 0,49
 \end{aligned}$$



Gambar 5. 22 Kesetimbangan Massa di *Constructed Wetland*

3. Perhitungan Kebutuhan Tanaman di *Constructed Wetland*

Pada perencanaan ini, tumbuhan bunga kana (*Canna indica*) digunakan untuk menyerap polutan pada limbah cair peternakan babi. Berdasarkan Bose *et al.*, (2008) dalam Ornella dan Mangkoedihardjo (2012), tumbuhan bunga kana mempunyai manfaat yang besar dalam menyerap polutan dalam air limbah dan harganya yang murah, sehingga dapat dijangkau oleh semua kalangan. Menurut Lugali (2012), kerapatan tanaman pada

horizontal sub-surface flow yaitu 3 tanaman per m^2 . Oleh karena itu, kebutuhan tanaman pada bangunan ini dapat dihitung sebagai berikut:

Kebutuhan tanaman bunga kanna (*Canna indica*)
 = Luas permukaan *constructed wetland* x kerapatan tanaman
 = $165,6 \text{ m}^2 \times 3 \text{ tanaman/m}^2$
 = 497 tanaman

4. Perhitungan Dimensi Bak Penampung

Q_{effluen} = $2,70 \text{ m}^3/\text{hari}$
 HRT = 12 jam
 Volume = $Q \times \text{HRT}$
 = $2,70 \text{ m}^3/\text{hari} \times 12 \text{ jam} \times 1 \text{ hari}/24 \text{ jam} = 1,35 \text{ m}^3$
 Kedalaman = 2 m (ditentukan)
 Kedalaman air = $2 \text{ m} - 1,75 \text{ m} = 0,25 \text{ m}$
 Luas permukaan bak penampung
 = $1,35 \text{ m}^3 / 0,25 \text{ m} = 5,4 \text{ m}^2$
 Rasio p : l = 1 : 1
 Lebar = $\sqrt{5,4 \text{ m}^2} = 2,3 \text{ m} \approx 2,4 \text{ m}$ (pertimbangan kemudahan konstruksi)
 Panjang = 2,4 m

Tabel 5.14 menunjukkan rekapitulasi dimensi masing-masing bangunan pada alternatif kedua.

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Dimensi Alternatif Kedua

Bangunan	Septic Tank (Bak Ekualisasi)	Constructed Wetland	Bak Penampung
Dimensi			
jumlah	1 buah	1 buah	1 buah
panjang	1,8 m	36 m	2,4 m
lebar	1,8 m	4,5 m	2,4 m
kedalaman	1,5 m	0,3 m	2 m
freeboard	0,3 m	-	-

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Desain Alternatif Pertama dan Kedua

Alternatif	Bangunan	Rekapitulasi Desain				
		jumlah	panjang	lebar	kedalaman	freeboard
Pertama	ST	1 buah	2,0 m	1,8 m	1,5 m	0,3 m
	ABR	1 buah	3,4 m	1 m	0,8 m (ABR)	0,3 m
					1,5 (settler)	
Kedua	BP	1 buah	1,2 m	1,2 m	2 m	-
	ST	1 buah	2,0 m	1,8 m	1,5 m	0,3 m
	CW	1 buah	36 m	4,5 m	0,3 m	-
	BP	1 buah	2,4 m	2,4 m	2 m	-

Keterangan Tabel 5.15:

ST = *septic tank*
 ABR = *anaerobic baffled reactor*
 BP = *bak penampung*
 CW = *constructed wetland*

5.4 Perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Pada perencanaan ini, perhitungan harga satuan pekerjaan rumah menggunakan acuan pada SNI 2835-2008 (pekerjaan tanah), SNI 2836-2008 (pekerjaan pondasi), SNI 2837-2008 (pekerjaan plesteran), SNI 6897-2008 (pekerjaan dinding), dan SNI 7394-2008 (pekerjaan beton). Di samping itu, perhitungan rencana anggaran biaya menggunakan acuan pada standar harga satuan barang dan jasa Pemerintah Kota Denpasar Tahun 2015.

Tabel-tabel di bawah ini menunjukkan perhitungan harga satuan pekerjaan.

A. Harga Satuan Pekerjaan Tanah untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan (SNI 2835:2008)

Tabel 5. 16 Menggali 1 m³ Tanah Sedalam 1 m

Uraian		Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Tenaga	-		
0,750	oh Pekerja	71.500	53.625
0,025	oh Mandor	93.500	2.338
Total			55.963

Tabel 5. 17 Menggali 1 m³ Tanah Sedalam 2 m

Uraian		Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Tenaga	-		
0,900	oh Pekerja	71.500	64.350
0,045	oh Mandor	93.500	4.208
Total			68.558

Tabel 5. 18 Menggali 1 m³ Tanah Sedalam 3 m

Uraian		Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Tenaga			
1,050	oh Pekerja	71.500	75.075
0,067	oh Mandor	93.500	6.265
Total			81.340

Tabel 5. 19 Mengurug Kembali 1 m³ Tanah Sedalam 3 m

Uraian		Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Tenaga			
0,350	oh Pekerja	71.500	25.025
0,022	oh Mandor	93.500	2.088
Total			27.113

Tabel 5. 20 Mengurug 1 m³ Pasir Urug

Uraian		Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Bahan			
1,200	m3 Pasir urug	143.000	171.600
Tenaga			
0,300	oh Pekerja	71.500	21.450
0,010	oh Mandor	93.500	935
Total			193.985

B. Harga Satuan Pekerjaan Dinding untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan (SNI 6897:2008)

Tabel 5. 21 Memasang 1 m² Dinding Batu Bata Ukuran
(5 x 11 x 22) cm tebal ½ bata, campuran spesi 1 PC:4PP

Uraian			Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
<u>Bahan</u>				
70,000	buah	Bata merah	4.400	308.000
11,500	kg	Semen portland	1.354	15.571
0,043	m3	Pasir pasang	148.500	6.386
<u>Tenaga</u>				
0,300	oh	Pekerja	71.500	21.450
0,100	oh	Tukang batu	71.500	7.150
0,010	oh	Kepala tukang	82.500	825
0,015	oh	Mandor	93.500	1.403
Total				360.784

C. Harga Satuan Pekerjaan Plesteran untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan

Tabel 5. 22 Membuat 1 m² Plesteran 1 PC:3 PP, tebal 15 mm

Uraian			Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
<u>Bahan</u>				
7,776	kg	Semen portland	1.354	10.529
0,023	m3	Pasir pasang	148.500	3.416
<u>Tenaga</u>				
0,300	oh	Pekerja	71.500	21.450
0,150	oh	Tukang batu	71.500	10.725
0,015	oh	Kepala tukang	82.500	1.238
0,015	oh	Mandor	93.500	1.403
Total				48.759

Tabel 5. 23 Membuat 1 m² Acian

	Uraian	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
<u>Bahan</u>			
3,250	kg Semen portland	1.354	4.401
<u>Tenaga</u>			
0,200	oh Pekerja	71.500	14.300
0,100	oh Tukang batu	71.500	7.150
0,010	oh Kepala tukang	82.500	825
0,010	oh Mandor	93.500	935
	Total		27.611

D. Harga Satuan Pekerjaan Beton untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan

Tabel 5. 24 Membuat 1 m³ Lantai Kerja Beton (K 100)

	Uraian	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
<u>Bahan</u>			
230,000	kg Semen portland	1.354	311.420,000
893,000	kg Pasir beton	106	94.721,786
1.027,000	kg Kerikil (maksimum 30 mm)	143	146.442,593
200,000	liter Air	2	388,000
<u>Tenaga</u>			
1,200	oh Pekerja	71.500	85.800
0,200	oh Tukang batu	71.500	14.300
0,020	oh Kepala tukang	82.500	1.650
0,060	oh Mandor	93.500	5.610
	Total		660.332

Tabel 5. 25 Membuat 1 m³ Plat Beton Bertulang
(150 kg besi + Bekisiting)

Uraian			Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
<u>Bahan</u>				
0,320	m3	Kayu kelas III	5.500.000	1.760.000,000
3,200	kg	Paku 5 cm - 12 cm	16.500	52.800,000
1,600	liter	Minyak bekisiting	33.000	52.800,000
157,500	kg	Besi beton polos	11.000	1.732.500,000
2,250	kg	Kawat beton	19.861	44.687,250
336,000	kg	Semen portland	1.354	454.944,000
0,540	m3	Pasir beton	148.500	80.190
0,810	m3	Kerikil	192.500	155.925
0,120	m3	Kayu kelas II balok	5.170.000	620.400
2,800	lembar	Plywood 9 mm	110.000	308.000
32,000	batang	Dolken kayu galam, d (8-10) cm, panjang 4 m	110.000	3.520.000
<u>Tenaga</u>				
5,300	oh	Pekerja	71.500	378.950
0,275	oh	Tukang batu	71.500	19.663
1,300	oh	Tukang kayu	71.500	92.950
1,050	oh	Tukang besi	71.500	75.075
0,265	oh	Kepala tukang	82.500	21.863
0,265	oh	Mandor	93.500	24.778
			Total	9.395.524

Tabel 5. 26 Membuat 1 m³ Sloof Beton Bertulang
(200 kg besi + Bekisiting)

Uraian			Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
<u>Bahan</u>				
0,270	m3	Kayu kelas III	5.500.000	1.485.000,000
2,000	kg	Paku 5 cm - 12 cm	16.500	33.000,000
0,600	liter	Minyak bekisiting	33.000	19.800,000
210,000	kg	Besi beton polos	11.000	2.310.000,000

	Uraian		Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
3,000	kg	Kawat beton	19.861	59.583,000
336,000	kg	Semen portland	1.354	454.944,000
0,540	m3	Pasir beton	148.500	80.190
0,810	m3	Kerikil	192.500	155.925
<u>Tenaga</u>				
5,650	oh	Pekerja	71.500	403.975
0,275	oh	Tukang batu	71.500	19.663
1,560	oh	Tukang kayu	71.500	111.540
1,400	oh	Tukang besi	71.500	100.100
0,323	oh	Kepala tukang	82.500	26.648
0,283	oh	Mandor	93.500	26.461
		Total		5.286.828

Tabel 5. 27 Membuat 1 m³ Kolom Beton Bertulang
(300 kg Besi + Bekisiting)

Uraian			Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga(Rp)
<u>Bahan</u>				
0,400	m3	Kayu kelas III	5.500.000	2.200.000,000
4,000	kg	Paku 5 cm - 12 cm	16.500	66.000,000
2,000	liter	Minyak bekisiting	33.000	66.000,000
315,000	kg	Besi beton polos	11.000	3.465.000,000
4,500	kg	Kawat beton	19.861	89.374,500
336,000	kg	Semen portland	1.354	454.944,000
0,540	m3	Pasir beton	148.500	80.190
0,810	m3	Kerikil	192.500	155.925
0,150	m3	Kayu kelas II balok	5.170.000	775.500
3,500	lembar	Plywood 9 mm	110.000	385.000
20,000	batang	Dolken kayu galam, d (8-10) cm, panjang 4 m	110.000	2.200.000
<u>Tenaga</u>				
7,050	oh	Pekerja	71.500	504.075
0,275	oh	Tukang batu	71.500	19.663
1,650	oh	Tukang kayu	71.500	117.975

	Uraian		Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga(Rp)
2,100	oh	Tukang besi	71.500	150.150
0,403	oh	Kepala tukang	82.500	33.248
0,353	oh	Mandor	93.500	33.006
			Total	10.796.049

Tabel 5. 28 Membuat 1 m³ Dinding Beton Bertulang
(150 kg + Bekisiting)

Uraian		Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)	
Bahan				
0,240	m3	Kayu kelas III	5.500.000	1.320.000,000
3,200	kg	Paku 5 cm - 12 cm	16.500	52.800,000
1,600	liter	Minyak bekisiting	33.000	52.800,000
157,500	kg	Besi beton polos	11.000	1.732.500,000
2,250	kg	Kawat beton	19.861	44.687,250
336,000	kg	Semen portland	1.354	454.944,000
0,540	m3	Pasir beton	148.500	80.190
0,810	m3	Kerikil	192.500	155.925
0,160	m3	Kayu kelas II balok	5.170.000	827.200
2,800	lembar	Plywood 9 mm	110.000	308.000
24,000	batang	Dolken kayu galam, d (8-10) cm, panjang 4 m	110.000	2.640.000
Tenaga				
5,300	oh	Pekerja	71.500	378.950
0,275	oh	Tukang batu	71.500	19.663
1,300	oh	Tukang kayu	71.500	92.950
1,050	oh	Tukang besi	71.500	75.075
0,262	oh	Kepala tukang	82.500	21.615
0,265	oh	Mandor	93.500	24.778
Total			8.282.076	

Tabel 5. 29 Membuat 1 m³ Beton Mutu (K 250)

Uraian			Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Bahan				
384,000	kg	Semen portland	1.354	519.936
692,000	kg	Pasir beton	106	73.401
1.039,000	kg	Kerikil	143	148.154
215,000	liter	Air	1,94	417
Tenaga				
5,300	oh	Pekerja	71.500	378.950
0,275	oh	Tukang batu	71.500	19.663
0,262	oh	Kepala tukang	82.500	21.615
0,265	oh	Mandor	93.500	24.778
Total				1.186.913

E. Harga Satuan Pekerjaan Pondasi untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan (SNI 2836:2008)

Tabel 5. 30 Memasang 1 m³ Pondasi Batu Belah, Campuran 1 PC:5 PP

Uraian			Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Bahan				
1,200	m3	Batu belah	168.300	201.960,000
136,000	kg	Semen portland	1.354	184.144,000
0,544	m3	Pasir pasang	148.500	80.784,000
Tenaga				
1,500	oh	Pekerja	71.500	107.250
0,750	oh	Tukang batu	71.500	53.625
0,075	oh	Kepala tukang	82.500	6.188
0,075	oh	Mandor	93.500	7.013
Total				640.963

Tabel 5. 31 Memasang 1 m³ Batu Kosong (Anstamping)

Uraian			Harga Satuan(Rp)	Jumlah Harga (Rp)
<u>Bahan</u>				
1,200	m3	Batu belah	168.300	201.960,000
0,432	kg	Pasir urug	143.000	61.776,000
<u>Tenaga</u>				
0,780	oh	Pekerja	71.500	55.770
0,390	oh	Tukang batu	71.500	27.885
0,039	oh	Kepala tukang	82.500	3.218
0,039	oh	Mandor	93.500	3.647
			Total	354.255

Tabel 5. 32 BOQ dan RAB *Septic Tank* untuk Bangunan Alternatif Pertama dan Alternatif Kedua

	Uraian Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)		Jumlah Harga (Rp)	
A	Pekerjaan Tanah						
1	Galian tanah	m3	22,6	Rp	81.340	Rp	1.839.899
2	Urugan kembali	m3	10,6	Rp	27.113	Rp	287.793
3	Urugan pasir	m3	1,2	Rp	193.985	Rp	232.976
B	Pekerjaan Pasangan dan Plesteran						
1	Pasangan 1/2 bata	m2	16,0	Rp	360.784	Rp	5.765.328
2	Plesteran	m2	29,3	Rp	48.759	Rp	1.427.279
3	Acian	m2	29,3	Rp	27.611	Rp	808.215
C	Pekerjaan Beton						
1	Beton sloof	m3	0,3	Rp	5.286.828	Rp	1.649.490
2	Plat dasar	m3	0,8	Rp	9.395.524	Rp	7.398.975
3	Plat tutup	m3	0,5	Rp	9.395.524	Rp	4.932.650
4	Beton kolom	m3	0,2	Rp	10.796.049	Rp	2.477.693
5	Beton pre-cast	m3	0,1	Rp	9.395.524	Rp	1.037.266
6	Lantai kerja	m3	0,3	Rp	660.332	Rp	173.337
D	Pekerjaan Pondasi						
1	Pekerjaan batu belah	m3	1,5	Rp	640.963	Rp	933.242
2	Batu kosong	m3	1,1	Rp	354.255	Rp	390.300

	Uraian Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
3	Urugan pasir	m3	0,7	Rp 193.985	Rp 131.134
E	Pekerjaan Pipa				
1	Total pipa PVC 4"	m	1,6	Rp 70.950	Rp 113.520
2	Tee 90 dia 4"	buah	1,0	Rp 3.261	Rp 3.261
	TOTAL			Rp	29.602.359
	(dibulatkan)			Rp	29.700.000

Tabel 5. 33 BOQ dan RAB untuk *Anaerobic Baffled Reactor*

	Uraian Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Pekerjaan Tanah				
1	Galian tanah	m3	31,5	Rp 81.340	Rp 2.562.194
2	Urugan kembali	m3	17,6	Rp 27.113	Rp 476.161
3	Urugan pasir	m3	1,9	Rp 193.985	Rp 363.140
B	Pekerjaan Pasangan dan Plesteran				
1	Pasangan 1/2 bata	m2	15,4	Rp 360.784	Rp 5.541.642
2	Plesteran	m2	42,2	Rp 48.759	Rp 2.057.638
3	Acian	m2	42,2	Rp 27.611	Rp 1.165.163
C	Pekerjaan Beton				
1	Beton sloof	m3	0,5	Rp 5.286.828	Rp 2.379.072

	Uraian Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
2	Plat dasar	m3	0,9	Rp 9.395.524	Rp 8.244.572
3	Plat tutup	m3	0,6	Rp 9.395.524	Rp 5.496.381
4	Beton kolom	m3	0,3	Rp 10.796.049	Rp 3.546.502
5	Beton pre-cast	m3	0,2	Rp 9.395.524	Rp 1.563.415
6	Lantai kerja	m3	0,3	Rp 660.332	Rp 193.147
E	Pekerjaan Pondasi Batu Belah				
1	Pkerjaan batu belah	m3	1,7	Rp 640.963	Rp 1.076.818
2	Batu kosong	m3	1,6	Rp 354.255	Rp 580.270
3	Urugan pasir	m3	1,0	Rp 193.985	Rp 189.135
F	Pekerjaan Pipa				
1	Total pipa PVC 4"	m	2,5	Rp 70.950	Rp 177.375
2	Tee 90 dia 4"	buah	1,0	Rp 3.261	Rp 3.261
	TOTAL				Rp 35.615.888
	(dibulatkan)				Rp 35.700.000

Tabel 5. 34 BOQ dan RAB untuk Bak Penampung Alternatif Pertama

	Uraian Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Pekerjaan Tanah				
1	Volume galian tanah	m3	12,6	Rp 81.340	Rp 1.024.878
2	Volume urugan kembali	m3	6,5	Rp 27.113	Rp 176.425

	Uraian Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
3	Volume urugan pasir	m3	0,4	Rp 193.985	Rp 75.654
B	Pekerjaan Pasangan dan Plesteran				
1	Total pasangan 1/2 bata	m2	11,0	Rp 360.784	Rp 3.983.055
2	Total plesteran	m2	24,8	Rp 48.759	Rp 1.211.179
3	Acian	m2	24,8	Rp 27.611	Rp 685.845
C	Pekerjaan Beton				
1	Beton sloof	m3	0,2	Rp 5.286.828	Rp 856.466
2	Plat dasar	m3	0,3	Rp 9.395.524	Rp 3.170.989
3	Beton kolom	m3	0,2	Rp 10.796.049	Rp 2.234.782
4	Lantai kerja	m3	0,1	Rp 660.332	Rp 74.287
E	Pekerjaan Pondasi Batu Belah				
1	Volume pekerjaan batu belah	m3	0,8	Rp 640.963	Rp 484.568
2	Volume batu kosong	m3	0,6	Rp 354.255	Rp 207.239
3	Volume urugan pasir	m3	0,4	Rp 193.985	Rp 68.089
F	Pekerjaan Pipa Pompa				
1	Pompa	buah	1,0	Rp 1.100.000	Rp 1.100.000
	TOTAL (dibulatkan)			Rp	Rp 15.353.457
					Rp 15.400.000

Tabel 5. 35 BOQ dan RAB *Constructed Wetland* (Satu dari Empat Segmen)

	Uraian Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)		Jumlah Harga (Rp)	
A	Pekerjaan Tanah						
1	Volume galian tanah	m3	40,6	Rp	55.963	Rp	2.272.743
2	Volume urugan kembali	m3	11,3	Rp	27.113	Rp	305.129
3	Volume urugan pasir	m3	15,6	Rp	193.985	Rp	3.032.180
B	Pekerjaan Beton						
1	Beton dinding	m3	1,1	Rp	8.282.076	Rp	9.354.605
2	Plat dasar	m3	7,3	Rp	1.186.496	Rp	8.711.350
3	Lantai kerja	m3	8,5	Rp	660.332	Rp	5.592.355
C	Media Filter						
1	Kerikil 1 -2	m3	12,4	Rp	198.000	Rp	2.459.160
D	Pekerjaan Pipa						
1	Pipa PVC 4"	m	8,2	Rp	70.950	Rp	581.790
2	Aksesoris Tee 90 dia 4"	buah	2,0	Rp	3.261	Rp	6.521
3	Aksesoris Bend 90 dia 4"	buah	2,0	Rp	3.261	Rp	6.521,3
E	Pekerjaan Tanaman						
1	Kana	pohon	124,2	Rp	10.000	Rp	1.242.000
	TOTAL					Rp	33.564.354
	(dibulatkan)					Rp	33.600.000

Tabel 5. 36 BOQ dan RAB Bak Penampung Bangunan Alternatif Kedua

	Uraian Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)		Jumlah Harga (Rp)	
A	Pekerjaan Tanah						
1	Volume galian tanah	m3	32,3	Rp	81.340	Rp	2.623.687
2	Volume urugan kembali	m3	13,8	Rp	27.113	Rp	372.942
3	Volume urugan pasir	m3	0,7	Rp	193.985	Rp	136.177
B	Pekerjaan Pasangan dan Plesteran						
1	Total pasangan 1/2 bata	m2	22,1	Rp	360.784	Rp	7.966.111
2	Total plesteran	m2	46,9	Rp	48.759	Rp	2.287.782
3	Acian	m2	46,9	Rp	27.611	Rp	1.295.485
C	Pekerjaan Beton						
1	Beton sloof	m3	0,3	Rp	5.286.828	Rp	1.617.769
2	Plat dasar	m3	1,1	Rp	9.395.524	Rp	10.274.005
3	Beton kolom	m3	0,2	Rp	10.796.049	Rp	2.234.782
4	Lantai kerja	m3	0,4	Rp	660.332	Rp	240.691
D	Pekerjaan Pondasi						

	Uraian Pekerjaan	Satuan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)		Jumlah Harga (Rp)	
1	Volume pekerjaan batu belah	m3	1,4	Rp	640.963	Rp	915.295
2	Volume batu kosong	m3	1,1	Rp	354.255	Rp	373.031
3	Volume urugan pasir	m3	0,7	Rp	193.985	Rp	128.612
E	Pekerjaan Pipa						
1	Pompa	buah	1,0	Rp	1.100.000	Rp	1.100.000
	TOTAL (dibulatkan)					Rp Rp	31.566.369 31.600.000

Setelah menghitung BOQ dan RAB, maka didapatkan biaya konstruksi untuk bangunan alternatif pertama dan kedua. Tabel di bawah ini menunjukkan rekapitulasi tersebut.

Tabel 5. 37 Rekapitulasi Biaya Konstruksi Bangunan IPAL Alternatif Pertama

Nama Bangunan	Biaya Konstruksi
<i>Septic Tank</i>	Rp 29.700.000
ABR	Rp 35.700.000
Bak Penampung	Rp 15.400.000
Total	Rp 80.800.000

Tabel 5. 38 Rekapitulasi Biaya Konstruksi Bangunan IPAL Alternatif Kedua

Nama Bangunan	Biaya Konstruksi
Septic Tank	Rp 29.700.000
CW	Rp 134.400.000
Bak Penampung	Rp 31.600.000
Total	Rp 195.700.000

5.5 Operation and Maintenance (O & M) Bangunan IPAL

- A. Operasi dan Pemeliharaan Bangunan *Septic Tank* (ST) dan *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) (National Environmental Services Center, 2004)

Tabel 5. 39 O & M *Septic Tank* dan *Anaerobic Baffled Reactor* Setiap Dua Minggu

Lokasi Pengamatan	Hal yang Dilakukan	Akibat Bila Kegiatan pada Kolom (2) Tidak Dilakukan
(1)	(2)	(3)
Dinding ST dan ABR	Pengamatan secara visual melalui	Bila terjadi kerusakan pada <i>baffle</i> , maka

Lokasi Pengamatan (1)	Hal yang Dilakukan (2)	Akibat Bila Kegiatan pada Kolom (2) Tidak Dilakukan (3)
	manhole masing-masing bangunan terhadap <i>baffle</i> atau sekat yang rusak.	akan berpotensi terjadinya aliran pendek di dalam ST dan ABR, sehingga efisiensi pengolahan menjadi berkurang.

Tabel 5. 40 O & M *Septic Tank* dan *Anaerobic Baffled Reactor* Setiap Dua Bulan

Lokasi Pengamatan (1)	Hal yang Dilakukan (2)	Akibat Bila Kegiatan pada Kolom (2) Tidak Dilakukan (3)
Dinding ST dan ABR	Pengamatan secara visual melalui manhole masing-masing bangunan terhadap <i>baffle</i> atau sekat yang rusak.	Bila terjadi kerusakan pada <i>baffle</i> , maka akan berpotensi terjadinya aliran pendek di dalam ST dan ABR, sehingga efisiensi pengolahan menjadi berkurang.
Pipa inlet dan outlet	Pengamatan secara visual melalui manhole masing-masing bangunan terhadap pipa inlet dan outlet yang keropos.	Bila pipa inlet keropos, maka menyebabkan melubernya air limbah ke tanah sekitar. Bila pipa outlet keropos, maka lapisan <i>scum</i> akan ikut terbawa bersama outlet.
Kompartemen	Pengamatan secara visual terhadap <i>scum</i> melalui manhole masing-masing kompartemen. Bersihkan <i>scum</i> .	Lapisan <i>scum</i> yang tebal dapat terbawa bersama efluen sehingga akan mengganggu pengolahan pada bangunan pengolahan

Lokasi Pengamatan	Hal yang Dilakukan	Akibat Bila Kegiatan pada Kolom (2) Tidak Dilakukan
(1)	(2)	(3)
		air limbah berikutnya.

Tabel 5. 41 O & M Septic Tank dan Anaerobic Baffled Reactor
Setiap Satu Tahun

Lokasi Pengamatan	Hal yang Dilakukan	Akibat Bila Kegiatan pada Kolom (2) Tidak Dilakukan
(1)	(2)	(3)
Dinding ST dan ABR	Pengamatan secara visual melalui manhole masing-masing bangunan terhadap <i>baffle</i> atau sekat yang rusak.	Bila terjadi kerusakan pada <i>baffle</i> , maka akan berpotensi terjadinya aliran pendek di dalam ST dan ABR, sehingga efisiensi pengolahan menjadi berkurang.
Pipa inlet dan outlet	Pengamatan secara visual melalui manhole masing-masing bangunan terhadap pipa inlet dan outlet yang keropos.	Bila pipa inlet keropos, maka menyebabkan melubernya air limbah ke tanah sekitar. Bila pipa outlet keropos, maka lapisan <i>scum</i> akan ikut terbawa bersama outlet.
Kompartemen	Pengamatan secara visual terhadap <i>scum</i> melalui manhole masing-masing kompartemen. Bersihkan <i>scum</i> .	Lapisan <i>scum</i> yang tebal dapat terbawa bersama efluen sehingga akan mengganggu pengolahan pada bangunan pengolahan air limbah berikutnya.
Kompartemen pertama pada ST dan bak pengendap (<i>settler</i>) pada ABR	Melakukan pengecekan terhadap ketinggian lumpur. Metoda yang dapat	Lumpur yang tidak terkuras akan terbawa bersama efluen sehingga

Lokasi Pengamatan (1)	Hal yang Dilakukan (2)	Akibat Bila Kegiatan pada Kolom (2) Tidak Dilakukan (3)
	diterapkan yaitu dengan mencelupkan kayu yang dimodifikasi (dilitik kain putih) dengan panjang $\pm 2,5$ m. Tahan selama 10 menit. Ukur ketinggian lumpur pada kayu tersebut. Jika telah mencapai 1 meter, maka lumpur harus segera dikuras.	menyebabkan gangguan pada bangunan pengolahan air limbah berikutnya.

- B. Operasi dan Pemeliharaan *Bangunan Constructed Wetland (CW)* (United Nations Human Settlements Programme, 2008)

Tabel 5. 42 O & M *Constructed Wetland* Setiap Dua Minggu

Lokasi Pengamatan (1)	Hal yang Dilakukan (2)	Akibat Bila Kegiatan pada Kolom (2) Tidak Dilakukan (3)
Dinding CW	Pengamatan secara visual terhadap dinding yang rusak. Apabila ditemukan dinding yang rusak, segera lakukan perbaikan.	Air limbah akan mengalir keluar dari CW dan menyebabkan kontaminasi pada tanah sekitar.
Inlet	Pengamatan secara visual apakah inlet mengalami penyumbatan akibat adanya akumulasi lumpur pada pipa inlet. Segera lakukan pembersihan dengan melakukan <i>flushing</i> pada pipa inlet yang	Aliran yang masuk ke CW tidak akan terdistribusi secara merata akibat tertutupnya jalur air pada pipa inlet.

Lokasi Pengamatan	Hal yang Dilakukan	Akibat Bila Kegiatan pada Kolom (2) Tidak Dilakukan
(1)	(2)	(3)
Vegetasi	tersumbat. Pengamatan secara visual terhadap gulma.	Gulma akan mengganggu pertumbuhan tanaman kana sehingga dapat mengurangi kemampuan tanaman kana untuk menyerap polutan.

Tabel 5. 43 O & M *Constructed Wetland* Setiap Dua Bulan

Lokasi Pengamatan	Hal yang Dilakukan	Akibat Bila Kegiatan pada Kolom (2) Tidak Dilakukan
(1)	(2)	(3)
Dinding CW	Pengamatan secara visual terhadap dinding yang rusak. Apabila ditemukan dinding yang rusak, segera lakukan perbaikan.	Air limbah akan mengalir keluar dari CW dan menyebabkan kontaminasi pada tanah sekitar.
Inlet	Pengamatan secara visual apakah inlet mengalami penyumbatan akibat adanya akumulasi lumpur pada pipa inlet. Segera lakukan pembersihan dengan melakukan <i>flushing</i> pada pipa inlet yang tersumbat.	Aliran yang masuk ke CW tidak akan terdistribusi secara merata akibat tertutupnya jalur air pada pipa inlet.
Vegetasi	Pengamatan secara visual terhadap gulma. Tanaman kana dapat diberikan herbisida atau pestisida bila perlu.	Gulma akan mengganggu pertumbuhan tanaman kana sehingga dapat mengurangi kemampuan tanaman kana untuk menyerap polutan.

Tabel 5. 44 O & M *Constructed Wetland* Tiap Tahun

Lokasi Pengamatan (1)	Hal yang Dilakukan (2)	Akibat Bila Kegiatan pada Kolom (2) Tidak Dilakukan (3)
Dinding CW	Pengamatan secara visual terhadap dinding yang rusak. Apabila ditemukan dinding yang rusak, segera lakukan perbaikan.	Air limbah akan mengalir keluar dari CW dan menyebabkan kontaminasi pada tanah sekitar.
Inlet	Pengamatan secara visual apakah inlet mengalami penyumbatan akibat adanya akumulasi lumpur pada pipa inlet. Segera lakukan pembersihan dengan melakukan <i>flushing</i> pada pipa inlet yang tersumbat. Cek kinerja pada <i>primary treatment</i> (<i>septic tank</i>) dengan memastikan bahwa telah dilakukannya pengurasan lumpur.	Aliran yang masuk ke CW tidak akan terdistribusi secara merata akibat tertutupnya jalur air pada pipa inlet. Lumpur yang terdapat di dalam <i>septic tank</i> dapat terbawa masuk ke dalam <i>constructed wetland</i> .
Vegetasi	Pengamatan secara visual terhadap gulma. Tanaman kana dapat diberikan herbisida atau pestisida bila perlu. Apabila ditemukan tanaman kana yang tidak hidup, segera lakukan penanaman kembali.	Gulma akan mengganggu pertumbuhan tanaman kana sehingga dapat mengurangi kemampuan tanaman kana untuk menyerap polutan. Jumlah tanaman kana yang tidak sesuai dengan luas permukaan media filter akan mengurangi efisiensi pengolahan.
<i>Primary treatment</i> (<i>septic tank</i>)	Cek ketinggian lumpur pada <i>septic tank</i> . Jika sudah berada dalam ketinggian lumpur yang	Lumpur yang tidak dikuras secara regular berpotensi ikut terbawa bersama efluen <i>septic tank</i> . Hal ini

Lokasi Pengamatan (1)	Hal yang Dilakukan (2)	Akibat Bila Kegiatan pada Kolom (2) Tidak Dilakukan (3)
	maksimum, segera lakukan pengurasan pada <i>septic tank</i> .	berpotensi menyumbat pipa inlet dan media filter.

Tabel di bawah ini menunjukkan biaya operasi dan pemeliharaan bangunan *septic tank*, *anaerobic baffled reactor*, dan *constructed wetland*.

Tabel 5. 45 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun untuk *Septic Tank*

Jenis Pekerjaan	Biaya
Pengurasan lumpur	Rp 150.000
Perbaikan baffled dan dinding yang keropos	Rp 576.533
Pembersihan scum	Rp 150.000
Total	Rp 876.533
(dibulatkan)	Rp 880.000

Tabel 5. 46 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun untuk *Anaerobic Baffled Reactor*

Jenis Pekerjaan	Biaya
Pengurasan lumpur	Rp 150.000
Perbaikan baffled dan dinding yang keropos	Rp 576.533
Pembersihan scum	Rp 150.000
Total	Rp 876.533
(dibulatkan)	Rp 880.000

Tabel 5. 47 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun untuk *Constructed Wetland*

Jenis Pekerjaan	Biaya
Penggantian tanaman	Rp 124.200
Flushing pipa inlet dan outlet	Rp 100.000
Flushing media kerikil	Rp 100.000

Perbaikan dinding filter	Rp	935.461
Pembersihan gulma	Rp	100.000
Total	Rp	1.359.661
(dibulatkan)	Rp	1.360.000

Biaya operasi dan pemeliharaan yang utama untuk bak penampung yaitu biaya listrik untuk pengoperasian pompa air sumur dangkal. Pompa air sumur dangkal yang digunakan pada perencanaan ini adalah setara merek Shimizu PS-150 BIT. Perhitungan biaya listrik untuk pompa air sumur dangkal adalah sebagai berikut:

Biaya listrik bulanan = pemakaian kWh x tarif dasar listrik

Pemakaian kWh = konsumsi listrik (kW) x lama pemakaian (jam)

Pemakaian kWh = $0,3 \text{ kW} \times 2 \text{ jam/hari} \times 30 \text{ hari/1 bulan}$
= 18 kWh/bulan

(Tarif dasar listrik golongan rumah tangga daya 2.200 VA di kota Denpasar yaitu Rp 679/kWh)

Biaya listrik bulanan = $18 \text{ kWh/bulan} \times \text{Rp } 679/\text{kWh}$
= Rp 12.222
≈ Rp 13.000

Biaya listrik tahunan = $\text{Rp } 13.000/\text{bulan} \times 12 \text{ bulan/1 tahun}$
= Rp 156.000

Tabel 5. 48 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun untuk Bak Penampung

Jenis Pekerjaan	Biaya	
Listrik	Rp	156.000
Perbaikan dinding bak penampung	Rp	398.306
Total	Rp	554.306
(dibulatkan)	Rp	560.000

Setelah menghitung perkiraan biaya operasi dan pemeliharaan masing-masing bangunan, tabel berikut

menunjukkan rekapitulasi biaya operasi dan pemeliharaan pada alternatif pertama dan kedua bangunan pengolahan air limbah.

Tabel 5. 49 Rekapitulasi Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun untuk Alternatif Pertama

Bangunan	Biaya	
Septic Tank	Rp	880.000
ABR	Rp	880.000
Bak Penampung	Rp	560.000
Total	Rp	2.320.000

Tabel 5. 50 Rekapitulasi Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun untuk Alternatif Kedua

Bangunan	Biaya	
Septic Tank	Rp	880.000
Constructed Wetland	Rp	1.360.000
Bak Penampung	Rp	560.000
Total	Rp	2.800.000

5.6 Rencana Pemanfaatan Efluen, *Benefit and Cost Ratio Analysis*, dan *Pay Back Period*

Efluen yang berasal dari bangunan pengolahan air limbah alternatif pertama (*septic tank + anaerobic baffled reactor*) dan alternatif kedua (*fine screen + septic tank + constructed wetland*) akan direncanakan dipakai kembali untuk membersihkan kandang dan memandikan ternak.

A. Neraca Penggunaan Air

Sebelum digunakan untuk membersihkan kandang dan memandikan ternak, efluen ditampung terlebih dahulu di bak penampung. Dimensi bak penampung pada alternatif bangunan pengolahan air limbah pertama yaitu 1,2 m x 1,2 m x 2 m. Di samping itu, dimensi bak penampung pada alternatif bangunan pengolahan air limbah kedua yaitu 2,4 m x 2,4 m x 2 m. Waktu detensi di masing-masing bak penampung direncanakan 12 jam. Asumsi yang diambil yaitu efluen akan digunakan oleh peternak babi untuk membersihkan kandang dan memandikan ternak setiap 12 jam. Kegiatan pembersihan tersebut rutin dilakukan setiap pagi dan sore hari.

Volume di dalam bak penampung pada alternatif pertama dan kedua disajikan dalam perhitungan di bawah ini.

$$V = Q \times t$$

Keterangan rumus:

V = volume (m^3)

Q = debit air limbah (m^3/hari)

t = waktu detensi (hari)

Volume bak penampung pada alternatif pertama:

$$V = 2,74 \text{ m}^3/\text{hari} \times 12 \text{ jam} \times 1 \text{ hari} / 24 \text{ jam} = 1,37 \text{ m}^3$$

Volume bak penampung pada alternatif kedua

$$V = 2,64 \text{ m}^3/\text{hari} \times 12 \text{ jam} \times 1 \text{ hari} / 24 \text{ jam} = 1,32 \text{ m}^3$$

Volume efluen pada alternatif pertama yang akan digunakan untuk pembersihan kandang dan pemandian babi untuk pagi dan sore hari adalah:

$$1. \text{ Volume total} = 1,34 \text{ m}^3 \times 2 = 2,68 \text{ m}^3$$

Volume efluen pada alternatif kedua yang akan digunakan untuk pemberian kandang dan pemandian babi untuk pagi dan sore hari adalah:

$$2. \text{ Volume total} = 1,35 \text{ m}^3 \times 2 = 2,70 \text{ m}^3$$

Penggunaan efluen pada pembersihan kandang dan pemandian ternak direncanakan akan dipakai enam hari berturut-turut dalam satu minggu. Di hari terakhir pada minggu tersebut, kegiatan pembersihan kandang dan pemandian ternak direncanakan dengan menggunakan air PDAM. Berikut adalah perhitungan kebutuhan air untuk kegiatan pembersihan kandang dan pemandian ternak dalam 1 bulan.

1. Perhitungan Kebutuhan Air untuk Kegiatan Pembersihan Jika Menggunakan Alternatif Pertama

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air PDAM dalam 1 bulan (1 bulan = 30 hari)} \\ = 2,48 \text{ m}^3 \times 4 = 9,92 \text{ m}^3 \approx 10 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air dari efluen dalam 1 bulan} \\ = 2,68 \text{ m}^3 \times 26 = 69,69 \text{ m}^3 \approx 70 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air PDAM dalam 1 tahun (1 tahun = 12 bulan)} \\ = 10 \text{ m}^3 \times 12 = 120 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air dari efluen dalam 1 tahun} \\ = 70 \text{ m}^3 \times 12 = 840 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Kebutuhan Air untuk Kegiatan Pembersihan dan Pemandian Ternak Jika Menggunakan Alternatif Kedua

Kebutuhan air PDAM dalam 1 bulan (*1 bulan = 30 hari*)
 $= 2,48 \text{ m}^3 \times 4 = 9,92 \text{ m}^3 \approx 10 \text{ m}^3$

Kebutuhan air dari efluen dalam 1 bulan
 $= 2,70 \text{ m}^3 \times 26 = 70 \text{ m}^3$

Kebutuhan air PDAM dalam 1 tahun (*1 tahun = 12 bulan*)
 $= 10 \text{ m}^3 \times 12 = 120 \text{ m}^3$

Kebutuhan air dari efluen dalam 1 tahun (*1 tahun = 12 bulan*)
 $= 70 \text{ m}^3 \times 12 = 840 \text{ m}^3$

Asumsi yang diambil untuk menghitung volume air limbah yaitu 90% dari volume air bersih. Bagian 10% dari air bersih tersebut diasumsikan terserap ke tanah dan tertinggal di kandang babi.

1. Volume air limbah yang dihasilkan pada alternatif pertama selama 1 tahun

$$= 90\% \times (120 \text{ m}^3 + 840 \text{ m}^3) = 864 \text{ m}^3$$

Volume air bersih yang terserap ke tanah dan tertinggal di kandang

$$= 10\% \times (120 \text{ m}^3 + 840 \text{ m}^3) = 96 \text{ m}^3$$

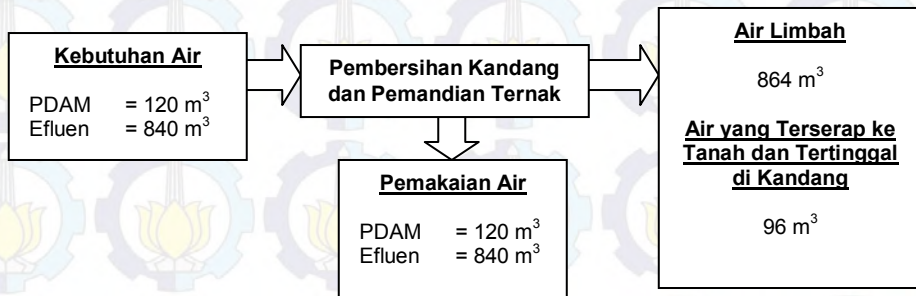
2. Volume air limbah yang dihasilkan pada alternatif kedua selama 1 tahun

$$= 90\% \times (120 \text{ m}^3 + 840 \text{ m}^3) = 864 \text{ m}^3$$

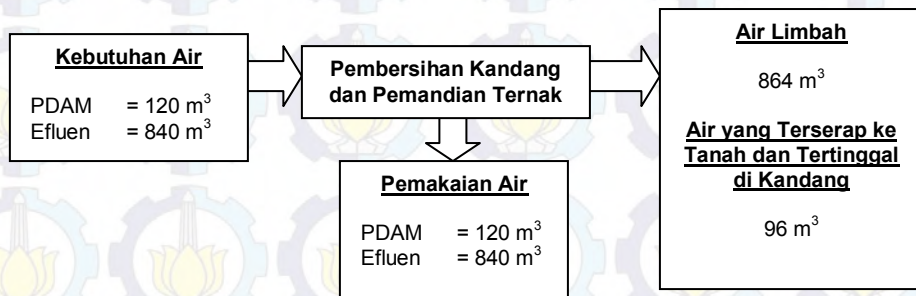
Volume air bersih yang terserap ke tanah dan tertinggal di kandang

$$= 10\% \times (120 \text{ m}^3 + 840 \text{ m}^3) = 96 \text{ m}^3$$

Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 menunjukkan neraca penggunaan air untuk kegiatan pembersihan kandang dan pemandian ternak dalam 1 tahun.



Gambar 5. 23 Neraca Penggunaan Air untuk Alternatif Pertama dalam 1 Tahun



Gambar 5. 24 Neraca Penggunaan Air untuk Alternatif Kedua dalam 1 Tahun

B. Perencanaan Pompa Air Bersih

Dalam rangka menyalurkan efluen dari bak penampung, sebuah pompa air sumur dangkal digunakan dalam perencanaan ini. Pompa air sumur dangkal cocok digunakan karena kedalaman bak penampung direncanakan sedalam 2 meter. Berbagai macam pompa air sumur dangkal tersedia di pasaran. Pada perencanaan ini, pompa air sumur dangkal setara merek Shimizu PS-150 BIT cocok diterapkan di peternakan babi tradisional ini. Tata cara pengoperasian dan pemeliharaan pompa tersebut dapat dilihat pada Lampiran V. Berikut adalah fitur utama

dari pompa air sumur dangkal setara merek Shimizu PS-150 BIT, antara lain:

Voltage/Hz	: 220/50
Daya output motor	: 150 W
Daya input motor	: 0,3 kW
Panjang pipa hisap	: 9 m
Daya dorong max.	: 40 m
Head	: 10 m (Kapasitas: 17 L/menit)
Head	: 29 m (Kapasitas: 7 L/menit)
Pipa hisap	: $\frac{3}{4}$ inch
Pipa dorong	: $\frac{3}{4}$ inch
Harga	: Rp 1.100.000



Gambar 5. 25 Pompa Merek Shimizu PS-150 BIT

Biaya listrik bulanan = pemakaian kWh x tarif dasar listrik

Pemakaian kWh = konsumsi listrik (kW) x lama pemakaian (jam)

Pemakaian kWh = 0,3 kW x 2 jam/hari x 30 hari/1 bulan
= 18 kWh/bulan

(Tarif dasar listrik golongan rumah tangga daya 2.200 VA di kota Denpasar yaitu Rp 679/kWh)

Biaya listrik bulanan = 18 kWh/bulan x Rp 679/kWh
= Rp 12.222
≈ Rp 13.000

Biaya listrik tahunan = Rp 13.000/bulan x 12 bulan/1 tahun
= Rp 156.000

C. Perhitungan Benefit and Cost Ratio

1. Perhitungan *Benefit and Cost Ratio* pada Alternatif Bangunan Pertama (*Septic Tank* + *Anaerobic Baffled Reactor* + Bak Penampung)

a. Biaya Investasi

- ✓ Biaya konstruksi 1 unit *septic tank* = Rp 29.700.000
- ✓ Biaya konstruksi 1 unit *anaerobic baffled reactor* = Rp 35.700.000
- ✓ Biaya konstruksi 1 unit bak penampung = Rp 15.400.000

Total biaya investasi (I) = Rp 80.800.000

b. Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun

- ✓ Biaya operasi dan pemeliharaan *septic tank* = Rp 880.000 per tahun
- ✓ Biaya operasi dan pemeliharaan *anaerobic baffled reactor* = Rp 880.000 per tahun
- ✓ Biaya operasi dan pemeliharaan bak penampung = Rp 560.000 per tahun

Total biaya operasi dan pemeliharaan = Rp 2.320.000 per tahun

c. Manfaat (B)

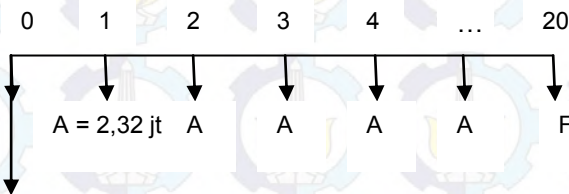
- ✓ Penghematan biaya untuk membayar PDAM = $840 \text{ m}^3/\text{tahun} \times \text{Rp } 1.940/\text{m}^3 = \text{Rp } 1.629.600$ per tahun
- ✓ Kompensasi peternak babi tidak terancam penutupan usaha oleh masyarakat dan Badan Lingkungan Hidup (diambil dari keuntungan bersih usaha) = Rp 50.000.000 per tahun

Total manfaat = Rp 51.629.600 per tahun

Proyeksi biaya masa depan (*future worth*)

Asumsi tingkat suku bunga = 8 %

Asumsi umur teknis IPAL = 20 tahun



$I = 80,8 \text{ juta}$

$$\begin{aligned} F &= P (1 + i)^n \\ &= 80,8 \text{ juta} \times (1 + 8\%)^{20} \\ &= 80,8 \text{ juta} \times 4,661 = \text{Rp } 376.608.800 \end{aligned}$$

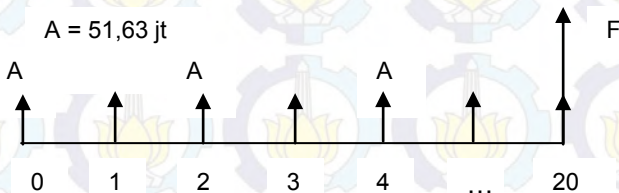
$$\begin{aligned} F &= A (1 + i)^n + A (1 + i)^{n-1} + A (1 + i)^{n-2} + \dots + A (1 + i)^{n-20} \\ &= 2,32 \text{ juta} (1 + 8\%)^{20} + 2,32 \text{ juta} (1 + 8\%)^{20-1} + \dots + 2,32 \text{ juta} (1 + 8\%)^{20-20} \\ &= 2,32 \text{ juta} \times 45,762 = \text{Rp } 106.167.840 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total biaya masa depan (C)} &= \text{Rp } 376.608.800 + \text{Rp } 106.167.840 \\ &= \text{Rp } 482.776.640 \end{aligned}$$

Proyeksi manfaat masa depan (future worth)

Asumsi tingkat suku bunga = 8 %

Asumsi umur teknis IPAL = 20 tahun



$$F = A (1 + i)^n + A (1 + i)^{n-1} + A (1 + i)^{n-2} + \dots + A (1 + i)^{n-20}$$

$$\begin{aligned}
 &= 51,63 \text{ juta } (1 + 8\%)^{20} + 51,63 \text{ juta } (1 + 8\%)^{20-1} + \dots + \\
 &51,63 \text{ juta } (1 + 8\%)^{20-20} \\
 &= \text{Rp } 51.629.600 \times 45,762 \quad \quad \quad = \text{Rp } 2.362.673.755
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Benefit and cost ratio} &= \text{Rp } 2.362.673.755 / \text{Rp } 482.776.640 \\
 &= 4,89
 \end{aligned}$$

Karena **benefit and cost ratio** > 1, maka pembangunan IPAL dengan alternatif pertama (*septic tank* + *anaerobic baffled reactor* + bak penampung) **layak untuk diterapkan**.

2. Perhitungan *Benefit and Cost Ratio* pada Alternatif Bangunan Kedua (*Septic Tank* + *Constructed Wetland* + Bak Penampung)

d. Biaya Investasi

- ✓ Biaya konstruksi 1 unit *septic tank* = Rp 29.700.000
- ✓ Biaya konstruksi 1 unit *constructed wetland* = Rp 134.400.000
- ✓ Biaya konstruksi 1 unit bak penampung = Rp 31.600.000

Total biaya investasi (I) = Rp 195.700.000

e. Biaya Operasi dan Pemeliharaan Per Tahun

- ✓ Biaya operasi dan pemeliharaan *septic tank* = Rp 880.000 per tahun
- ✓ Biaya operasi dan pemeliharaan *constructed wetland* = Rp 1.360.000 per tahun
- ✓ Biaya operasi dan pemeliharaan bak penampung = Rp 560.000 per tahun

Total biaya operasi dan pemeliharaan = Rp 2.800.000 per tahun

f. Manfaat (B)

- ✓ Penghematan biaya untuk membayar PDAM = $840 \text{ m}^3/\text{tahun} \times \text{Rp } 1.940/\text{m}^3 = \text{Rp } 1.629.600 \text{ per tahun}$

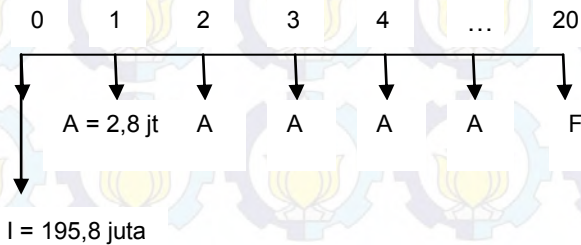
- ✓ Kompensasi peternak babi tidak terancam penutupan usaha oleh masyarakat dan Badan Lingkungan Hidup (diambil dari keuntungan bersih usaha) = Rp 50.000.000 per tahun

Total manfaat = Rp 51.629.600 per tahun

Proyeksi biaya masa depan (*future worth*)

Asumsi tingkat suku bunga = 8 %

Asumsi umur teknis IPAL = 20 tahun



$$F = P (1 + 8\%)^{20}$$

$$= 195,8 \text{ juta} \times 4,661 = \text{Rp } 912.623.800$$

$$F = A (1 + i)^n + A (1 + i)^{n-1} + A (1 + i)^{n-2} + \dots + A (1 + i)^{n-20}$$

$$= 2,8 \text{ juta} (1 + 8\%)^{20} + 2,8 \text{ juta} (1 + 8\%)^{20-1} + \dots + 2,8 \text{ juta} (1 + 8\%)^{20-20}$$

$$= 2,8 \text{ juta} \times 45,762 = \text{Rp } 128.133.600$$

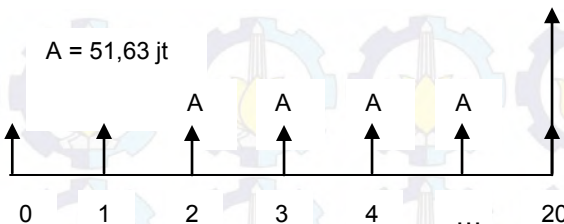
$$\text{Total biaya masa depan (C)} = \text{Rp } 912.623.800 + \text{Rp } 128.133.600$$

$$= \text{Rp } 1.040.757.400$$

Proyeksi manfaat masa depan (*future worth*)

Asumsi tingkat suku bunga = 8 %

Asumsi umur teknis IPAL = 20 tahun



A cash flow diagram illustrating the financial model. A horizontal timeline starts at year 0 and ends at year 20. At year 0, there is an upward arrow labeled 'F'. At years 1, 2, 3, 4, and an ellipsis '...', there are upward arrows labeled 'A'. At year 20, there is a large upward arrow labeled 'F'. Above the timeline, it is noted that 'A = 51,63 jt'.

$$\begin{aligned}
 F &= A(1+i)^n + A(1+i)^{n-1} + A(1+i)^{n-2} + \dots + A(1+i)^{n-20} \\
 &= 51,63 \text{ juta } (1+8\%)^{20} + 51,63 \text{ juta } (1+8\%)^{20-1} + \dots + 51,63 \text{ juta } (1+8\%)^{20-20} \\
 &= \text{Rp } 51.629.600 \times 45,762 \quad \quad \quad = \text{Rp } 2.362.673.755
 \end{aligned}$$

Benefit and cost ratio = Rp 2.362.673.755 / Rp 1.040.757.400
= **2,27**

Karena ***benefit and cost ratio* > 1**, maka pembangunan IPAL dengan alternatif kedua (*fine screen + septic tank + constructed wetland + bak penampung*) **layak untuk diterapkan**.

Selain melakukan analisis *benefit and cost ratio*, analisis *pay back period* juga perlu dilakukan untuk mengetahui periode waktu yang diperlukan untuk mengembalikan investasi dari pendapatan. Hasil menunjukkan bahwa pengembalian investasi pada alternatif pertama lebih cepat daripada alternatif kedua.

Pay back period alternatif pertama
= (Investasi awal) : (Pendapatan per tahun)
= Rp 80.800.000 : Rp 50.000.000 per tahun
= **1,6 tahun**

Pay back period alternatif kedua
= (Investasi awal) : (Pendapatan per tahun)
= Rp 195.700.000 : Rp 50.000.000 per tahun
= **3,9 tahun**

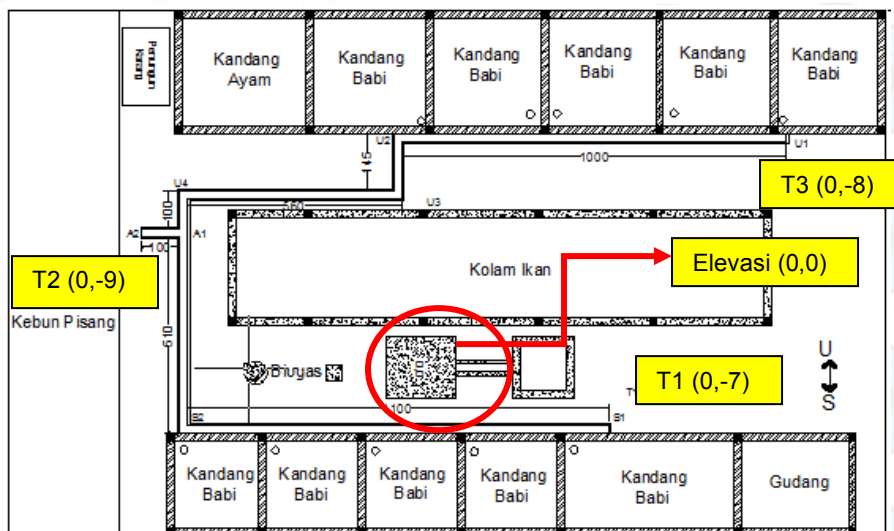
Setelah melakukan perhitungan dimensi, rencana anggaran biaya, dan *benefit and cost ratio*, dan *pay back period*, maka dapat dilakukan perbandingan terhadap kedua alternatif bangunan pengolahan air limbah di peternakan babi skala tradisional. Tabel menunjukkan perbandingan tersebut.

Tabel 5. 51 Perbandingan antara Bangunan IPAL Alternatif Pertama dengan Alternatif Kedua

	Alternatif Pertama	Alternatif Kedua
Luas IPAL	8,44 m ²	174,96 m ²
Biaya konstruksi	Rp 80.800.000	Rp 195.800.000
Biaya OM	Rp 2.320.000	Rp 2.800.000
B/C ratio	4,89	2,27
Pay Back Period	1,6 tahun	3,9 tahun

5.7 Letak IPAL

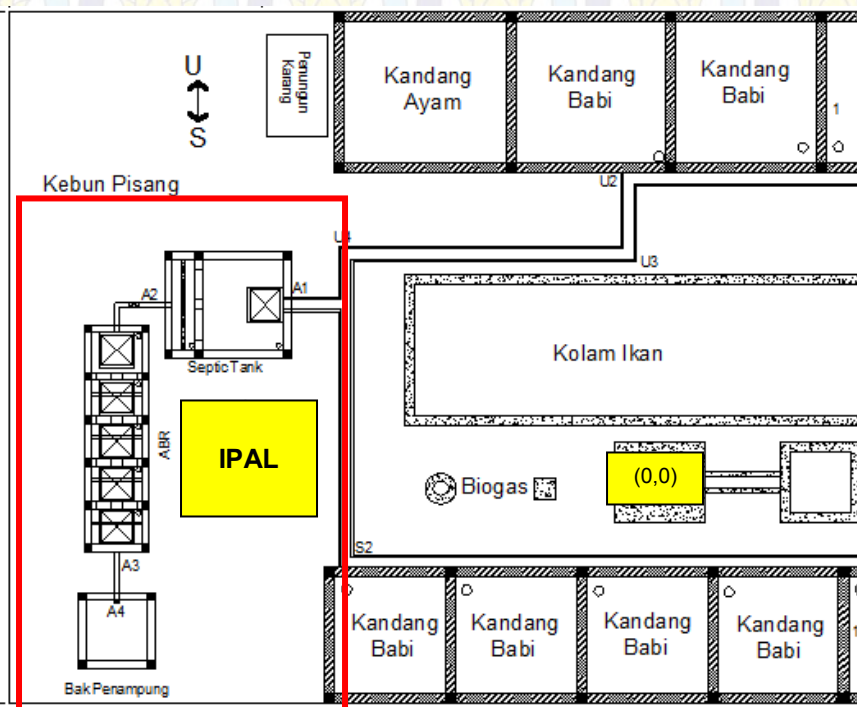
Dalam rangka menempatkan bangunan pengolahan air limbah, maka dilakukan pengambilan data elevasi muka tanah. Satu metoda sederhana yang digunakan adalah dengan memakai konsep pada *waterpas*. Elevasi 0,0 dipilih pada beton konstruksi biogas yang terdapat di lapangan. Gambar 5.28 menunjukkan elevasi tanah di peternakan babi di Sanur.



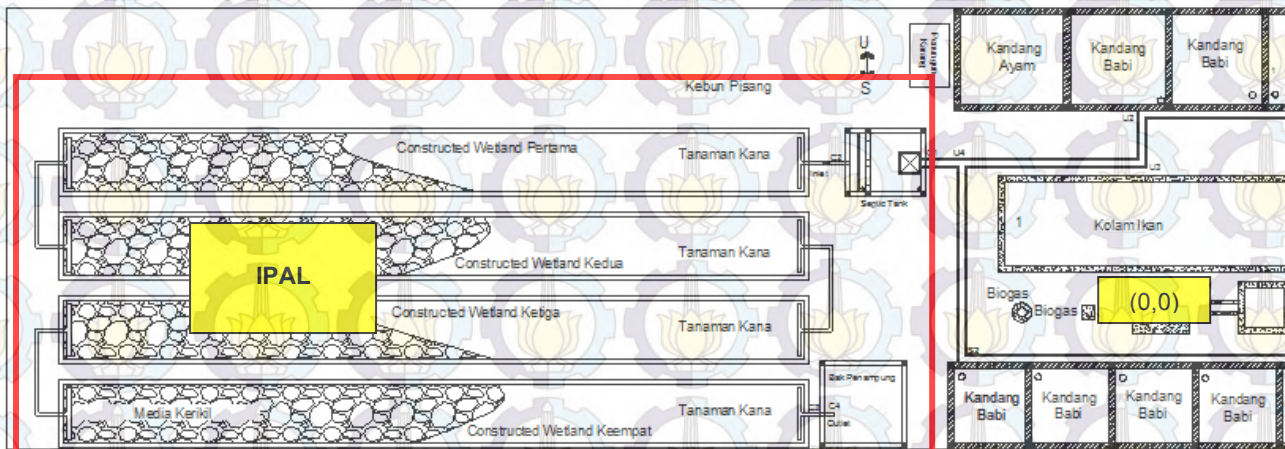
Gambar 5. 26 Elevasi Tanah di Peternakan Babi di Sanur

Titik T1 (titik dekat kandang babi sebelah selatan) terletak di sebelah timur dari elevasi (0,0). Titik T2 (titik di mana terdapat kebun pisang) terletak di sebelah barat dari elevasi (0,0). Titik T3 (titik dekat kandang babi sebelah utara) terletak di sebelah timur laut dari elevasi (0,0). Elevasi tanah di titik T1 yaitu (0,-7). Elevasi tanah di titik T2 yaitu (0,-9). Elevasi tanah di titik T3 yaitu (0,-8).

Gambar 5.29 dan 5.30 menunjukkan letak IPAL untuk kedua alternatif di peternakan babi di Sanur.



Gambar 5. 27 Letak IPAL Alternatif Pertama



Gambar 5. 28 Letak IPAL Alternatif Kedua

5.8 Shock Loading pada Bangunan Anaerobic Baffled Reactor

Salah satu keunggulan unit ABR yaitu mampu tahan terhadap *shock loading* (Foxon *et al.* 2001 dalam Foxon *et al.* 2004). Akan tetapi, kemampuan ABR untuk menerima *shock loading*, baik *organic shock loading* dan *hydraulic shock loading*, memiliki batas asalkan *shock loading* tersebut masih memenuhi kriteria desain. Oleh karena itu, kriteria desain ABR yang krusial, seperti kecepatan *up-flow*, *organic loading rate*, dan *hydraulic retention time*, harus terpenuhi.

1. Kondisi saat $Q_{\text{influen}} = 2 \times Q_{\text{perencanaan}}$
 $Q_{\text{perencanaan}} = 2,71 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $Q_{\text{influen}} = 2 \times 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} = 5,42 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $Q_{\text{per jam}} = 5,42 \text{ m}^3/\text{hari} : 24 \text{ jam} = 0,23 \text{ m}^3/\text{jam}$
 $\text{COD}_{\text{influen}} = 1.125 \text{ mg/L}$

Cek kecepatan *up-flow*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Debit air limbah } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}}\right)}{\text{Panjang kompartemen (m) x lebar kompartemen (m)}} \\ &= \frac{0,23 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}}{0,4 \text{ m} \times 1 \text{ m}} \\ &= 0,57 \text{ m/jam} \text{ (OK! memenuhi kriteria desain untuk kecepatan up-flow } < 2 \text{ m/jam berdasarkan Sasse, 2009)} \end{aligned}$$

Total HRT aktual pada *anaerobic baffled reactor*

$$\begin{aligned} &= \frac{V}{Q} = \frac{2,08 \text{ m}^3}{0,23 \text{ m}^3/\text{jam}} = 9 \text{ jam} \\ &\text{(asumsi bahwa HRT berkurang 5\% karena adanya lumpur)} \\ &= 9 \text{ jam} \times (1 - 0,05) \end{aligned}$$

= 8,6 jam (**OK! memenuhi kriteria desain untuk kecepatan HRT ≥ 8 jam berdasarkan Sasse, 2009**)

Cek organic loading rate (OLR)

$$= \frac{\text{Debit air limbah } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}}\right) \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \left(\frac{\text{konsentrasi COD}}{1000}\right) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}{\text{Volume aktual baffled reactor (m}^3\text{)}}$$

$$= \frac{0,23 \text{ m}^3/\text{jam} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \left(\frac{1.125}{1.000}\right) \text{ kg/m}^3}{2,08 \text{ m}^3}$$

= 2,9 kg/m³.hari (**OK! memenuhi kriteria desain untuk organic loading rate $\leq 3,0$ kg COD/m³.hari berdasarkan Sasse, 2009**)

Jadi, pada kondisi saat debit yang masuk ke ABR naik menjadi dua kali dari debit perencanaan, ABR masih mampu mengolah polutan.

2. Kondisi saat $Q_{\text{influen}} = 0,5 \times Q_{\text{perencanaan}}$

$$Q_{\text{perencanaan}} = 2,71 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_{\text{influen}} = 0,5 \times 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} = 1,35 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_{\text{per jam}} = 1,37 \text{ m}^3/\text{hari} : 24 \text{ jam} = 0,06 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{COD}_{\text{influen}} = 1.125 \text{ mg/L}$$

Cek kecepatan up-flow

$$= \frac{\text{Debit air limbah } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}}\right)}{\text{Panjang kompartemen (m) x lebar kompartemen (m)}}$$

$$= \frac{0,06 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}}{0,4 \text{ m} \times 1 \text{ m}}$$

= 0,14 m/jam (**OK! memenuhi kriteria desain untuk kecepatan up-flow $< 2 \text{ m/jam}$ berdasarkan Sasse, 2009**)

Total HRT aktual pada *anaerobic baffled reactor*

$$= \frac{V}{Q} = \frac{2,08 \text{ m}^3}{0,06 \text{ m}^3/\text{jam}} = 36 \text{ jam}$$

(asumsi bahwa HRT berkurang 5% karena adanya lumpur)

$$= 36 \text{ jam} \times (1 - 0,05)$$

$$= 34,2 \text{ jam} \text{ (OK! memenuhi kriteria desain untuk kecepatan HRT} \geq 8 \text{ jam berdasarkan Sasse, 2009)}$$

Cek *organic loading rate* (OLR)

=

$$\frac{\text{Debit air limbah} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \right) \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \left(\frac{\text{konsentrasi COD}}{1000} \right) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{\text{Volume aktual baffled reactor (m}^3\text{)}}$$

$$= \frac{0,06 \text{ m}^3/\text{jam} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \left(\frac{1.125}{1.000} \right) \text{ kg/m}^3}{2,08 \text{ m}^3}$$

$$= 0,73 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \text{ (OK! memenuhi kriteria desain untuk organic loading rate} \leq 3,0 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari berdasarkan Sasse, 2009)}$$

Jadi, pada kondisi saat debit yang masuk ke ABR turun menjadi setengah kali dari debit perencanaan, ABR masih mampu mengolah polutan.

3. Kondisi saat $\text{COD}_{\text{influen}} = 2 \times \text{COD}_{\text{perencanaan}}$

$$Q_{\text{perencanaan}} = 2,71 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$Q_{\text{per jam}} = 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} : 24 \text{ jam} = 0,11 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{COD}_{\text{perencanaan}} = 1.125 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD}_{\text{influen}} = 2 \times 1.125 \text{ mg/L} = 2.250 \text{ mg/L}$$

Cek *organic loading rate* (OLR)

=

$$\frac{\text{Debit air limbah} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \right) \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \left(\frac{\text{konsentrasi COD}}{1000} \right) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{\text{Volume aktual baffled reactor (m}^3\text{)}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,11 \text{ m}^3/\text{jam} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \left(\frac{2.250}{1.000} \right) \text{ kg/m}^3}{2,08 \text{ m}^3} \\
 &= 2,93 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \quad (\text{OK! memenuhi kriteria desain untuk organic loading rate} \leq 3,0 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari berdasarkan Sasse, 2009})
 \end{aligned}$$

Jadi, pada kondisi saat konsentrasi COD yang masuk ke ABR naik menjadi dua kali dari COD perencanaan, ABR masih mampu mengolah polutan.

4. Kondisi saat COD_{influen} = 0,5 x Q_{perencanaan}
- $$\begin{aligned}
 Q_{\text{perencanaan}} &= 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 Q_{\text{per jam}} &= 2,71 \text{ m}^3/\text{hari} : 24 \text{ jam} = 0,11 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{COD}_{\text{perencanaan}} &= 1.125 \text{ mg/L} \\
 \text{COD}_{\text{influen}} &= 0,5 \times 1.125 \text{ mg/L} = 563 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Cek *organic loading rate* (OLR)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Debit air limbah} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \right) \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \left(\frac{\text{konsentrasi COD}}{1000} \right) \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{\text{Volume aktual baffled reactor (m}^3\text{)}} \\
 &= \frac{0,11 \text{ m}^3/\text{jam} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \left(\frac{563}{1.000} \right) \text{ kg/m}^3}{2,08 \text{ m}^3} \\
 &= 0,73 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{hari} \quad (\text{OK! memenuhi kriteria desain untuk organic loading rate} \leq 3,0 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{hari berdasarkan Sasse, 2009})
 \end{aligned}$$

Jadi, pada kondisi saat konsentrasi COD yang masuk ke ABR turun menjadi setengah kali dari COD perencanaan, ABR masih mampu mengolah polutan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Berikut adalah kesimpulan pada tugas akhir ini, antara lain:

1. Telah diperoleh dimensi bangunan pengolahan air limbah cair peternakan babi dengan menggunakan alternatif pertama (*anaerobic baffled reactor*) dan alternatif kedua (*constructed wetland-horizontal sub-surface flow*). Dimensi untuk alternatif pertama masing-masing sebagai berikut: *septic tank* 2 m x 1,8 m x 1,5 m; *anaerobic baffled reactor* 3,4 m x 1 m x 0,8 m; dan bak penampung 1,2 m x 1,2 m x 2 m. Selain itu, dimensi untuk alternatif kedua masing-masing sebagai berikut: *septic tank* 2 m x 1,8 m x 1,5 m; *constructed wetland* 92 m x 1,8 m x 0,3 m; dan bak penampung 2,4 m x 2,4 m x 2 m.
2. Telah didapatkan biaya konstruksi untuk kedua alternatif bangunan pengolahan limbah cair peternakan babi. Biaya konstruksi untuk bangunan IPAL alternatif pertama (*septic tank + anaerobic baffled reactor + bak penampung*) yaitu Rp 80.800.000,00 dengan biaya operasi dan pemeliharaan Rp 2.320.000 per tahun. Di sisi lain, biaya konstruksi untuk bangunan IPAL alternatif kedua (*fine screen + septic tank + constructed wetland + bak penampung*) yaitu Rp 195.800.000 dengan biaya operasi dan pemeliharaan yaitu Rp 2.800.000 per tahun.
3. Efluen dari kedua alternatif bangunan pengolahan limbah cair peternakan babi direncanakan untuk dimanfaatkan kembali untuk pencucian kandang dan pemandian ternak. Apabila menggunakan alternatif pertama, maka diperkirakan dapat menghemat air PDAM sebanyak 864 m³ per tahun. Jika menggunakan alternatif kedua, maka diperkirakan dapat menghemat air sebanyak 828 m³ per tahun. Di samping itu, telah dilakukan pula *benefit and cost ratio analysis* pada kedua alternatif. Rasio B/C pada alternatif pertama yaitu 4,89, sedangkan rasio B/C pada alternatif kedua yaitu 2,27.

Berdasarkan hasil perencanaan pengolahan limbah cair peternakan babi, beberapa saran untuk perencanaan yang lain, antara lain:

1. Dilakukan kajian terhadap konsentrasi nutrien N dan P pada limbah cair peternakan babi.
2. Dilakukan kajian terhadap desain tipikal (sesuai dengan jumlah babi per ekor yang terdapat di peternakan) untuk desain peternakan babi yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2011). Laporan tahunan 2011, PT. Pengembangan Pariwisata Bali (Persero), Bali Tourism Development Corporation (BTDC). Nusa Dua: BTDC
- Bortone, G. (2009). Integrated anaerobic/aerobic biological treatment for intensive swine production. *Bioresource Technology*. 5424-5430
- Budiyono, H. (2010). Analisis neraca perdagangan peternakan dan swasembada daging sapi 2014. *Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah*. **1** (2), 63-76
- Foxon, KM., Pillay, S., Lalbahadur, T., Rodda, N., Holder, F., dan Buckley, CA. (2004). The anaerobic baffled reactor (ABR): An appropriate technology for on-site sanitation. *Water South African* **3** (5), 44-50
- FSA Environmental. (2000). *Alternative systems for piggery effluent treatment*. Queensland: FSA Environmental
- Hamid, A. (2014). Perbandingan desain IPAL dengan proses attached growth anaerobic filter dan suspended growth anaerobic baffled reactor untuk pusat pertokoan di kota Surabaya. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Hassan, SR., Zwain, HM., Dahlan, I. (2013). Development of anaerobic reactor for industrial wastewater treatment: An overview, present stage and future prospects. *Journal of Advanced Scientific Research* **4** (1), 7-12
- Huang, J., Wang, S., Yan, L., Zhong, Q. Plant photosynthesis and its influence on removal efficiencies in constructed wetlands. *Ecological Engineering* **36** (2010), 1037-1043
- Im, J. and Gil, K. (2011). Effect of anaerobic digestion on the high rate of nitrification, treating piggery wastewater. *Journal of Environmental Sciences*. **23** (11), 1787-1793
- Ji, G.D., Sun, T.H., Ni, J.R., Tong, J.J. (2008). Anaerobic baffled reactor (ABR) for treating heavy oil produced water with high concentrations of salt dan poor nutrient. *Bioresource Technology*. **100** (2009), 1108-1114

- Jung, J-Y., Lee, S-M., Shin, P-K., and Chung, Y-C. (2000). Effect of pH on phase separated anaerobic digestion. *Biotechnol. Bioprocess Engineering*. **5** (6), 456-459
- Kantawanichkul, S. and Wannasri, S. (2013). Wastewater treatment performances of horizontal and vertical subsurface flow constructed wetland systems in tropical climate. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* **35** (5), 599-603
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. (2012). Pedoman pelaksanaan penataan usaha budidaya babi ramah lingkungan. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia
- Krishna, G.V.T. Gopala., Kumar, P., Kumar, P. (2007). Treatment of low-strength soluble wastewater using an anaerobic baffled reactor (ABR). *Journal of Environmental Management*. **90** (2009), 166-176
- Langergraber, G. (2007). Modeling of processes in subsurface flow constructed wetlands: a review. *Vadose Zone Journal*. **7** (2), 830-842
- Lugali, L.G. (2012). Integrated constructed wetland for wastewater treatment, nutrient recovery and quarry re-naturalization. *Project Report*. The Quarry Life Award: Tanzania
- National Environmental Services Center. (2004). Maintaining your septic system: a guide for homeowners. Morgantown : West Virginia University
- Ornella, C.D.R. dan Mangkoedihardjo. (2012). Pengaruh penambahan pH terhadap removal logam berat timbal (Pb) oleh bunga kana (*Canna indica*) di kelurahan Tambak Wedi, kecamatan Kenjeran, Surabaya. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 11 Tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Peternakan Sapi dan Babi
- Raharjo, F. (2007). Ekonomi teknik; Analisis pengambilan keputusan. Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET

- Razif, M. (2003). Aplikasi teknologi produksi bersih di instalasi pengolahan air minum (studi kasus PDAM Surabaya). *Proceeding Seminar Nasional Pascasarjana III*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Republika. (2013). Warga Tabanan keluhkan limbah peternakan babi. [online]
<http://www.republika.co.id/berita/nasional/daerah/13/05/27/mngv3i-warga-tabanan-keluhkan-limbah-peternakan-babi> [Diakses pada tanggal 9 Oktober 2013]
- Sambatsompop, K., Songpim, A., Reabroi, S., and Inkong-ngam, P. (2011). A comparative study of sequencing batch reactor and moving-bed sequencing batch reactor for piggery wastewater treatment. *Maejo International Journal of Science and Technology*. **5** (02), 191-203
- Saputri, ESH. (2014). Evaluasi kinerja Instalasi pengolahan air limbah di Rusunawa Tanah Merah II Surabaya. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- Sasse, L. (2009). Decentralised wastewater treatment in developing countries. Delhi: Bremen Overseas Research and Development Association
- Solopos. (2013). Protes limbah peternakan babi, warga Jatisrono demo. [online]
<http://www.solopos.com/2013/09/25/pencemaran-lingkungan-protes-limbah-peternakan-babi-warga-jatisrono-demo-450801> [Diakses pada tanggal 9 Oktober 2013]
- Sperling, M. dan Chernicharo, C.A.L. (2005). Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions. London: IWA Publishing
- Tchobanoglous, G., Burton, FL., Stensel, HD. (2003). Wastewater engineering treatment and reuse. New York: McGraw-Hill
- United Nations Human Settlements Programme. (2008). Constructed wetland manual. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu
- Vymazal, J. (2010). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*. **2**, 530-549

Xiao-lei, L., Nan-qi, REN., Chun-li, WAN. (2007). Hydrodynamic characteristics of a four-compartment periodic anaerobic baffled reactor. *Journal of Environmental Sciences*. **19**, 1159-1165

Yerushalmi, L., Alimahmoodi, M., Afroze, N., Godbout, S., Mulligan, CN. (2013). Removal of carbon, nitrogen and phosphorus from the separated liquid phase of hog manure by the multi-zone BioCAST technology. *Journal of Hazardous Materials*. **254-255**, 364-371

Zhao, Y., Liu, B., Zhang, W., Hu, C., An, S. (2010). Effects of plant and influent C:N:P ratio on microbial diversity in pilot-scale constructed wetlands. *Ecological Engineering*. **36** (2010), 441-449

Zhu, G-F., Li, J-Z., Wu, P., Jin, H-Z., Wang, Z. (2008). The performance and phase separated characteristics of an anaerobic baffled reactor treating soybean protein processing wastewater. *Bioresource Technology*. **99** (2008), 8027-8033

LAMPIRAN I

Perhitungan Volume Bak Ekualisasi Berdasarkan Metoda pada Tchobanoglous, 2003

A. Menentukan volume bak ekualisasi

Langkah pertama yaitu menghitung kurva volume kumulatif pada debit air limbah. Kurva volume kumulatif didapatkan dengan mengkonversi debit rata-rata selama tiap-tiap periode waktu per jam (Tchobanoglous, 2003). Tabel 2.2 menunjukkan contoh tabel perhitungan volume kumulatif pada bak ekualisasi.

Tabel Perhitungan Volume Kumualtif pada Bak Ekualisasi

Periode Waktu	Debit rata-rata selama periode waktu (m^3/s)	Volume kumulatif pada akhir periode (m^3)
M s/d 1	0,275	990
1 s/d 2	0,22	1782

$$\text{Volume}_{\text{M-1}} = (0,275 \text{ m}^3/\text{s})(3600 \text{ detik/jam})(1 \text{ jam}) = 990 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume}_{1-2} = (0,220 \text{ m}^3/\text{s})(3600 \text{ detik/jam})(1 \text{ jam}) = 792 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume pada saat akhir periode M-1} = 990 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume pada saat akhir periode 1-2} = 990 + 792 = 1782 \text{ m}^3$$

Berdasarkan Tchobanoglous (2003), langkah kedua yaitu menyiapkan titik-titik yang menunjukkan hubungan antara periode waktu per jam dengan volume kumulatif per jam. Garis lurus yang tergambar di grafik merupakan debit rata-rata. Langkah ketiga yaitu menentukan volume penyimpanan yang diperlukan. Volume penyimpanan yang diperlukan ditentukan dengan menggambar sebuah garis dari garis lurus yang menunjukkan debit rata-rata menuju ke titik terendah pada kurva volume kumulatif atau dari grafik yang menunjukkan titik tertinggi ke titik terendah.

B. Menentukan volume air limbah pada akhir periode waktu

Menurut Tchobanoglous (2003), langkah pertama yaitu untuk menghitung volume air limbah di bak ekualisasi pada di akhir setiap periode waktu. Hal tersebut dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$V_{sc} = V_{sp} + V_{ic} - V_{oc}$$

Keterangan rumus:

V_{sc} = volume di bak ekualisasi pada akhir waktu (m^3)

V_{sp} = volume pada akhir waktu sebelumnya (m^3)

V_{ic} = volume yang masuk selama periode waktu (m^3)

V_{oc} = volume air limbah rata-rata (m^3)

LAMPIRAN II

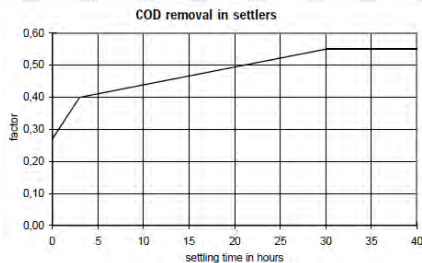
Perhitungan Dimensi *Septic Tank* Berdasarkan Metoda pada Sasse, 2009

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	General spread sheet for septic tank, input and treatment data									
2	daily waste water flow	time of most waste water flow	max flow at peak hours	COD inflow	BOD ₅ inflow	HRT inside tank	settleable SS / COD ratio	COD removal rate	COD outflow	BOD ₅ outflow
3	given	given	calcul.	given	given	chosen	given	calcul.	calcul.	calcul.
4	m ³ /day	h	m ³ /h	mg/l	mg/l	h	mg/l / mg/l	%	mg/l	mg/l
5	13,0	12	1,08	633	333	18	0,42	35%	411	209
6	COD/BOD ₅ →				1,90	12 - 24 h	0,35-0,45 domestic		BODrem→	1,06
7	dimensions of septic tank									
8	de-sludging interval	inner width of septic tank	minimum water depth at outlet point	inner length of first chamber		length of second chamber		volume incl. sludge	actual volume of septic tank	biogas 70%CH ₄ , 50% dissolved
9	chosen	chosen	chosen	requir	chosen	requir	chosed	requir	chec	calcul.
10	months	m	m	m	m	m	m	m ³	m ³	m ³ /d
11	12	2,50	2,00	3,13	3,10	1,56	1,55	23,46	23,25	0,72
12	sludge i/g BODrem.							0,0042		

$$C5=A5/B5$$

$$H5=G5/0,6*IF(F5<1;(F5*0,3);IF(F5<3;(F5-1)*0,1/2+0,3;IF(F5<30;(F5-3)*0,15/27+0,4;0,55)))$$

Formula H5 berkaitan dengan grafik penyisihan COD pada tangki pengendap. Nilai 0,6 merupakan faktor yang didapatkan dari pengalaman.



Penyisihan COD pada Tangki Pengendapan (Sasse, 2009)

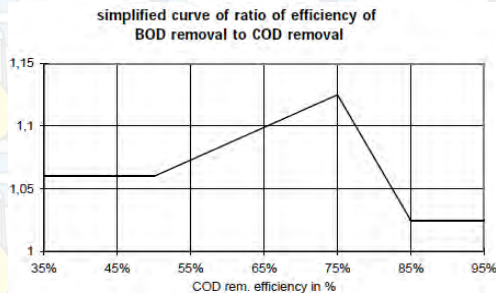
$$I5=(1-H5)*D5$$

$$J5 = (1 - H5 * J6) * E5$$

$$E6 = D5 / E5$$

$$J6 = \text{IF}(H5 < 0,5; 1,06; \text{IF}(H5 < 0,75; (H5 - 0,5) * 0,065 / 0,25 + 1,06; \text{IF}(H5 < 0,85; 1,125 - (H5 - 0,75) * 0,1 / 0,1; 1,025)))$$

Formula J6 berkaitan dengan grafik yang menyatakan hubungan antara penyisihan BOD dengan penyisihan COD.



Hubungan antara Penyisihan BOD dengan Penyisihan COD
(Sasse, 2009)

$$D11 = 2/3 * H11 / B11 / C11$$

$$F11 = D11 / 2$$

$$H11 = \text{IF}(H12 * (E5 - J5) / 1000 * A11 * 30 * A5 + C5 * F5 < 2 * A5 * F5 / 24; 2 * A5 * F5 / 24; H12 * (E5 - J5) / 1000 * A11 * 30 * A5 + C5 * F5) + 0,2 * B11 * E11$$

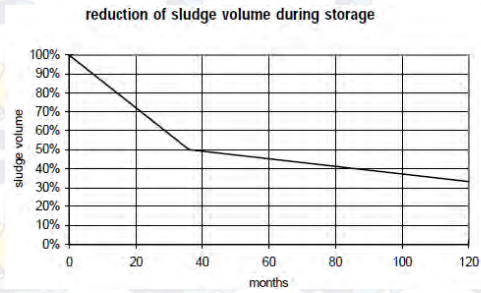
$$I11 = (E11 + G11) * C11 * B11$$

$$J11 = (D5 - I5) * A5 * 0,4 / 1000 / 0,7 * 0,5$$

Produksi gas metana = 0,4 L CH₄/g COD (Tchobanoglous, 2003).

$$H12 = 0,005 * \text{IF}(A11 < 36; 1 - A11 * 0,014; \text{IF}(A11 < 120; 0,5 - (A11 - 36) * 0,002; 1/3))$$

Formula H12 berkaitan dengan grafik penurunan volume lumpur selama masa penyimpanan.



Penurunan Volume Lumpur Selama Masa Penyimpanan
(Sasse, 2009)

**Penjelasan Formula *Spread Sheet* pada Microsoft Excel untuk
Perhitungan Dimensi *Septic Tank***

No	Calculation	Formula
1	Debit air limbah maksimum [C5] (m ³ /jam)	$\frac{\text{Debit air limbah per hari } (\frac{m^3}{\text{hari}})}{\text{Waktu air limbah mengalir (jam)}}$
2	Rasio COD/BOD ₅ [E6]	$\frac{\text{COD inflow } (\frac{mg}{L})}{\text{BOD}_5 \text{ inflow } (\frac{mg}{L})}$ Jika air limbah beracun bagi bakteri, maka BOD mendekati nol, sehingga COD tinggi -> COD/BOD tinggi. Jika air limbah memiliki COD/BOD₅ bernilai sekitar 2, maka air limbah tersebut mudah didegradasi
3	Penyisihan COD di tangki pengendap [H5] (%)	$\left(\frac{(\text{rasio settleable SS/COD})}{0,6} \times A \right) \times 100\%$ <i>A = faktor penyisihan COD di tangki pengendap</i> <i>Faktor penyisihan COD di tangki pengendap berhubungan dengan HRT di tangki pengendap</i> <i>Gambar 3.5 Grafik penyisihan COD pada tangki pengendap</i> <i>Contoh HRT = 1,5 jam</i> $y = mx + c$ $y = (0,4 - 0,3) : (3 - 1) \times (1,5 - 1) + 0,3$
4	Faktor penyisihan BOD ₅ / COD [J6]	<i>Gambar 3.11 Hubungan antara efisiensi penyisihan COD dengan efisiensi penyisihan BOD</i> $y = mx + c$ $y = [(1,125 - 1,06) : (75\% - 55\%)] \times (\text{COD removal rate in settler} - 0,5) + 1,06$ $y = -mx + c$ $y = c - mx$ $y = 1,125 - [(1,125 - 1,025) : (85\% - 75\%)] \times (\text{COD removal rate in settler} - 0,75)$

5	COD effluen [J5]	<i>COD inflow ke tangki pengendap x (1 – penyisihan COD di tangki pengendap)</i>
6	BOD ₅ effluen [J5]	<i>BOD₅ inflow ke tangki pengendap x (1 – penyisihan BOD₅ inflow di tangki pengendap)</i>
7	Rasio COD/BOD ₅ setelah tangki pengendap [D11]	$\frac{COD\ inflow\ into\ baffled\ reactor}{BOD\ inflow\ into\ baffled\ reactor}$
8	Produksi biogas [J11] (m ³ /hari)	<i>Produksi gas metana $\left(\frac{m^3}{hari}\right)$</i> $= \frac{0,4\ L\ CH_4}{g\ COD\ yang\ tersisih} \times Debit\ air\ limbah\ \left(\frac{m^3}{hari}\right) \times COD\ yang\ tersisih$ <i>Total biogas $\left(\frac{m^3}{hari}\right) = \frac{Produksi\ gas\ metana\ \left(\frac{m^3}{hari}\right)}{70\% \times 50\%}$</i> <i>Produksi gas metana = 0,4 L CH₄/g COD (Tchobanoglous, 2003).</i> <i>Biogas terdiri dari 70% gas metana dan 50% larut dalam air.</i>

9	Akumulasi lumpur di tangki pengendap [H12] L/g COD	<i>Gambar 3.12 Penurunan volume lumpur selama masa penyimpanan</i> $y = mx + c$ $y = (100\% - 50\%) : (0 - 36) \times (\text{jangka waktu pengurasan lumpur}) + 100\%$ <i>Sludge accumulation rate (L / g BOD) = 0,005 L lumpur/g BOD tersisih x sludge volume (%)</i> <i>Berdasarkan Sasse (1998), volume sludge merupakan parameter yang penting untuk mendesain tangki sedimentasi dan digester. Karena lumpur yang terakumulasi mengisi volume pada tangki, maka volume tangki harus ditambah dengan volume lumpur tersebut. Produksi lumpur biologis berkaitan erat dengan jumlah BOD yang disisihkan. Menurut Garg (1994) dalam Sasse (1998), lumpur sebanyak 30 L per tahun berkaitan dengan BOD yang tersisih di septic tank sebesar 15 – 20 g per hari. Oleh karena itu, didapatkan hasil yaitu 0,005 liter lumpur per gram BOD yang tersisih (0,082 L lumpur per hari / 15 g BOD per hari = 0,005 L lumpur / 15 g BOD yang tersisih).</i>
----------	---	---

10	Panjang kompartemen pertama dan volume tangki septik [D11 dan H11] m	Panjang kompartemen pertama (m) $= \frac{2}{3} \times \frac{\text{volume total (m}^3\text{)}}{\text{lebar (m)} \times \text{kedalaman (m)}}$ Volume total (m³) = sludge volume (m³) + settler volume (m³) Volume total (m³) $= A \left(\frac{L}{g} \right) \times \frac{(S_o - S_e) \left(\frac{g}{L} \right)}{1.000} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}} \times B \text{ (bulan)} \times Q_{\text{hari}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) + C \text{ (jam)} \times Q_{\text{jam}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \right)$ A = sludge accumulation rate (L/g) S_o = konsentrasi BOD awal (g/L) S_e = konsentrasi BOD yang memasuki baffled reaktor (g/L) B = jangka waktu pengurasan (bulan) C = HRT di tangki pengendap (jam) Q_{hari} = debit air limbah per hari (m³/hari) Q_{jam} = debit air limbah per jam (m³/jam)
11	Panjang kompartemen kedua [F11] m	Panjang kompartemen kedua (m) $= \frac{1}{2} \times \text{panjang kompartemen pertama (m)}$
12	Volume aktual tangki septik [I11]	Volume aktual = panjang (dipilih) x lebar (dipilih) x kedalaman (dipilih)

LAMPIRAN II

Perhitungan Dimensi *Anaerobic Baffled Reactor* Berdasarkan Metoda pada Sasse, 2009

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	General spread sheet for baffled septic tank with integrated settler										
2	daily waste water flow	time of most waste water flow	max peak flow per hour	COD inflow	BOD ₅ inflow	COD/BOD ratio	settleable SS / COD ratio	lowest digester temp.	de-sludging interval	HRT in settler (no settler HRT = 0)	COD removal rate in settler
3	avg.	given	max.	given	given	calcul.	given	given	chosen	chosen	calcul.
4	m ³ /day	h	m ³ /h	mg/l	mg/l	ratio	mg/l	°C	months	h	%
5	25	12	2,08	633	333	1,90	0,42	25	18	1,50	23%
6	COD/BOD ₅ >					0,35-0,45				1,5 h	

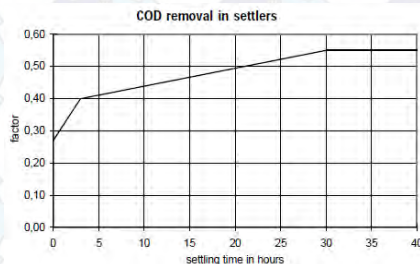
Formula untuk menyelesaikan perhitungan di masing-masing sel, antara lain:

$$C5 = A5/B5$$

$$F5 = D5/E5$$

$$K5 = G5/0,6 * IF(J5 < 1; J5 * 0,3; IF(J5 < 3; (J5 - 1) * 0,1/2 + 0,3; IF(J5 < 30; (J5 - 3) * 0,15/27 + 0,4; 0,55)))$$

Formula K5 berkaitan dengan Gambar 3.5 yang menunjukkan grafik penyisihan COD di dalam tangki pengendap.



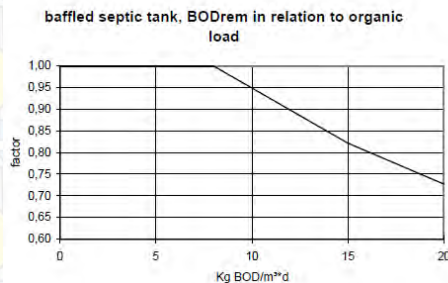
Penyisihan COD pada Tangki Pengendapan (Sasse, 2009)

7	treatment data										
	BOD ₅ removal rate in settler	inflow into baffled reactor		COD / BOD ₅ ratio after settler	factors to calculate COD removal rate of baffled reactor			COD rem. 25°, COD 1500	theor. rem. rate acc. to factors	COD rem. rate baffle only	COD out
8	calcul	COD	BOD ₅	calcul	calculated according to graphs			calcul.	calcul.	calcul.	
10	%	mg/l	mg/l	mg/mg	f-overload	f-strength	f-HRT		%	%	mg/l
11	24%	489	253	1,94	1,00	0,84	1,00	1,02%	0,84	72	70
12	1,06	<- COD / BOD rem factor					COD / BOD removal factor >				1,085

$$A11 = K5 * A12$$

$B11 = D5 * (1 - K5)$
 $C11 = E5 * (1 - A11)$
 $D11 = B11 / C11$
 $E11 = IF(J23 < 8; 1; IF(J23 < 15; 1 - (J23 - 8) * 0.18 / 7; 0.82 - (J23 - 15) * 0.9 / 5))$

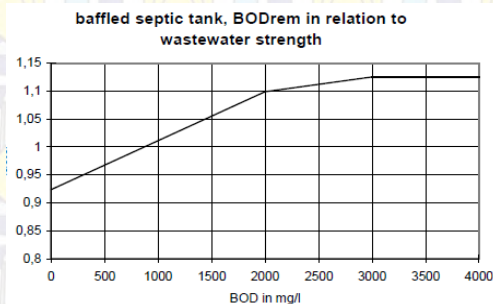
Formula E11 berkaitan dengan grafik yang menunjukkan hubungan antara penyisihan BOD dengan beban organik pada *anaerobic baffled reactor*.



Hubungan antara Penyisihan BOD dengan Beban Organik (Sasse, 2009)

$F1 = IF(B11 < 2000; B11 * 0.17 / 2000 + 0.87; IF(B11 < 3000; (B11 - 2000) * 0.02 / 1000 + 1.04; 1.06))$

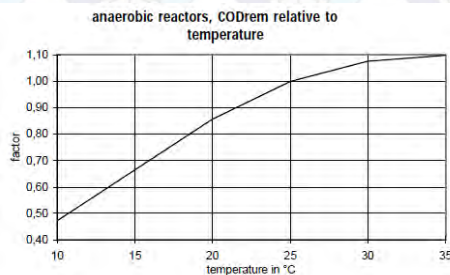
Formula F1 berkaitan dengan grafik yang menunjukkan hubungan antara penyisihan BOD dengan karakteristik air limbah pada *anaerobic baffled reactor*.



Hubungan antara Penyisihan BOD dengan Karakteristik Limbah (Sasse, 2009)

$$G11 = \text{IF}(H5 < 20; (H5 - 10) \times 0.39 / 20 + 0.47; \text{IF}(H5 < 25; (H5 - 20) \times 0.14 / 5 + 0.86; \text{IF}(H5 < 30; (H5 - 25) \times 0.08 / 5 + 1; 1.1)))$$

Formula G11 berkaitan dengan grafik yang menunjukkan hubungan antara penyisihan COD dengan temperatur pada reaktor anaerobik.

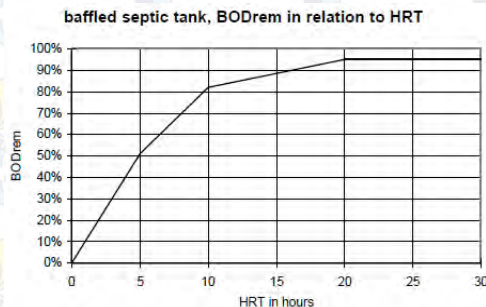


Hubungan antara Penyisihan COD dengan Temperatur pada Reaktor Anaerobik (Sasse, 2009)

$$H11 = \text{IF}(I23 < 5; I23 \times 0.51 / 5; \text{IF}(I23 < 10; (I23 - 5) \times 0.31 / 5 + 0.51; \text{IF}(I23 < 20; (I23 - 10) \times 0.13 / 10 + 0.82; 0.95)))$$

$$I11 = E11 \times F11 \times G11 \times H11$$

Formula H11 berkaitan dengan grafik yang menunjukkan penyisihan BOD dengan HRT pada *anaerobic baffled reactor*.



Hubungan antara Penyisihan BOD dengan HRT (Sasse, 2009)

$$J11 = \text{IF}(J17 < 7; E11 \times F11 \times G11 \times H11 \times (J17 \times 0.04 + 0.82); E11 \times F11 \times G11 \times H11 \times 0.98)$$

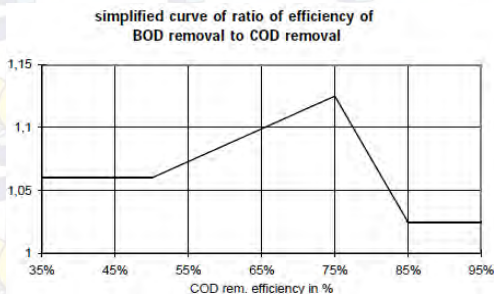
Formula J11 mempertimbangkan peningkatan efisiensi pengolahan dengan penambahan jumlah kompartemen dan pembatasan efisiensi pengolahan hingga 98%.

$$K11 = (1 - J11) \times B11$$

$$A12 = \text{IF}(K5 < 0.5; 1.06; \text{IF}(K5 < 0.75; (K5 - 0.5) \times 0.065 / 0.25 + 1.06; \text{IF}(K5 < 0.85; 1.125 - (K5 - 0.75) \times 0.1 / 0.1; 1.025)))$$

$$K12 = \text{IF}(A17 < 0.5; 1.06; \text{IF}(A17 < 0.75; (A17 - 0.5) \times 0.065 / 0.25 + 1.06; \text{IF}(A17 < 0.85; 1.125 - (A17 - 0.75) \times 0.1 / 0.1; 1.025)))$$

Formula A12 dan K12 berkaitan dengan grafik yang menyatakan hubungan antara efisiensi penyisihan COD dengan efisiensi penyisihan BOD.



Hubungan antara Efisiensi Penyisihan COD dengan Efisiensi Penyisihan BOD. (Sasse, 2009)

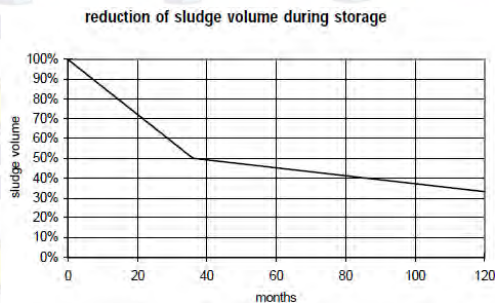
$$A17 = 1 - K11/D5$$

$$B17 = A17 \times K12$$

$$C17 = (1 - B17) \times E5$$

$$F17 = 0.005 \times IF(I5 < 36; 1 - I5 \times 0.014; IF(I5 < 120; 0.5 - (I5 - 36) \times 0.002; 1/3))$$

Formula F17 berkaitan dengan grafik yang menunjukkan penurunan volume lumpur selama masa penyimpanan.



Penurunan Volume Lumpur selama Masa Penyimpanan
(Sasse, 2009)

$$G17 = IF(A11 > 0; IF(F17 \times (E5 - C11) / 1000 \times 30 \times I5 \times A5 + J5 \times C5 < 2 \times J5 \times C5; 2 \times J5 \times C5; F17 \times (E5 - C11) / 1000 \times 30 \times I5 \times A5 + J5 \times C5); 0) / D17 / E17$$

$$A23 = K17 \times 0.5$$

$$C23 = C5 / I17$$

$$D23 = C23 / B23$$

$$F23 = C5 / B23 / E23$$

$$H23 = (G23 + B23) \times J17 \times K17 \times E23$$

$$I23 = H23 / (A5 / 24) / 105\%$$

$$J23 = B11 \times C5 \times 24 / H23 / 1000$$

$$K23 = (D5 - K11) \times A5 \times 0.35 / 1000 / 0.7 \times 0.5$$

Produksi gas metana = 0,4 L CH₄/g COD (Tchobanoglous, 2003).

Formula-formula yang digunakan untuk mengitung dimensi ABR dengan Microsoft Excel dapat dirangkum menjadi *spread sheet*.

13	dimensions of settler							baffled septic tank			
14	total COD rem.rate	total BOD ₅ rem.rate	BOD ₅ out	inner masonry measurements chosen acc. to required volume		sludge accum. rate	length of settler	length of settler	max upflow velocity	number of upflow chambers	depth at outlet
15	calcul.	calcul.	calcul.	width	depth	calcul.	calcul.	chosen	chosen	chosen	chosen
16	%	%	mg/l	m	m	l/g COD	m ³	m	m/h	No.	m
17	79%	63%	172	2,00	1,50m	0,0037	2,39	2,40	1,8	5	1,50
18									1,4-2,0 m/h		
19	dimensions of baffled septic tank							status and gp			
20	length of chambers should not exceed half depth		area of single upflow chamber	width of chambers		actual upflow velocity	width of downflow shaft	actual volume of baffled reactor	actual total HRT	org. load (BOD ₅)	biogas (ass: CH ₄ , 70%; 50% dissolved)
21	calcul.	chosen	calcul.	calcul.	chosen	calcul.	chosen	calcul.	calcul.	calcul.	calcul.
22	m	m	m ²	m	m	m/h	m	m ³	h	kg/m ³ *d	m ³ /d
23	0,75	0,75	1,16	1,54	2,00	1,39	0,25	15,00	14	0,84	3,52
24	HRT reduced by 5% for sludge										

HRT reduced by 5% for sludge

Penjelasan Formula *Spread Sheet* pada Microsoft Excel untuk Perhitungan Dimensi *Anaerobic Baffled Reactor*

No	Perhitungan	Formula
1	Debit air limbah maksimum [C5] (m ³ /jam)	$\frac{\text{Debit air limbah per hari } (\frac{m^3}{\text{hari}})}{\text{Waktu air limbah mengalir (jam)}}$
2	Rasio COD/BOD ₅ [F5]	$\frac{\text{COD inflow } (\frac{mg}{L})}{\text{BOD}_5 \text{ inflow } (\frac{mg}{L})}$ Jika air limbah beracun bagi bakteri, maka BOD mendekati nol, sehingga COD tinggi -> COD/BOD tinggi. Jika air limbah memiliki COD/BOD₅ bernilai sekitar 2, maka air limbah tersebut mudah didegradasi
3	Penyisihan COD di tangki pengendap [K5] (%)	$\left(\frac{(\text{rasio settleable SS/COD})}{0,6} \times A \right) \times 100\%$ <i>A</i> = faktor penyisihan COD di tangki pengendap Faktor penyisihan COD di tangki pengendap berhubungan dengan HRT di tangki pengendap Gambar 3.5 Grafik penyisihan COD pada tangki pengendap Contoh HRT = 1,5 jam $y = mx + c$ $y = (0,4 - 0,3) : (3 - 1) \times (1,5 - 1) + 0,3$
4	Faktor penyisihan BOD ₅ / COD [A12]	Gambar 3.11 Hubungan antara efisiensi penyisihan COD dengan efisiensi penyisihan BOD $y = mx + c$ $y = [(1,125 - 1,06) : (75\% - 55\%)] \times (\text{COD removal rate in settler} - 0,5) + 1,06$ $y = -mx + c$ $y = c - mx$ $y = 1,125 - [(1,125 - 1,025) : (85\% - 75\%)] \times (\text{COD removal rate in settler} - 0,75)$
5	Penyisihan BOD ₅ di tangki pengendap [A11]	$\text{BOD}_5 / \text{COD} = \text{faktor penyisihan BOD}_5 / \text{COD}$ $\text{BOD}_5 = \text{COD} \times \text{faktor penyisihan BOD}_5 / \text{COD}$
6	COD inflow ke baffled reactor [B11]	$\text{COD inflow ke tangki pengendap} \times (1 - \text{penyisihan COD di tangki pengendap})$

7	BOD ₅ inflow ke baffled reactor [C11]	<i>BOD₅ inflow ke tangki pengendap x (1 – penyisihan BOD₅ inflow di tangki pengendap)</i>
8	Rasio COD/BOD ₅ setelah tangki pengendap [D11]	$\frac{COD \text{ inflow into baffled reactor}}{BOD \text{ inflow into baffled reactor}}$
9	Panjang kompartemen A23] (m)	<i>Panjang kompartemen = Kedalaman kompartemen x 0,5</i> <u>Panjang kompartemen tidak boleh melebihi dari setengah kedalaman kompartemen</u>
10	Luas satu kompartemen [C23] (m ²)	$Q = v \times A$ $A (m^2) = \frac{Debit \text{ air limbah } (\frac{m^3}{jam})}{Kecepatan \text{ up – flow maksimum } (\frac{m}{jam})}$
11	Lebar satu kompartemen [D23] (m)	$\frac{Luas \text{ satu kompartemen } (m^2)}{Panjang \text{ kompartemen } (m)}$
12	Kecepatan up-flow aktual [F23] (m/jam)	$\frac{Debit \text{ air limbah } (\frac{m^3}{jam})}{Panjang \text{ kompartemen } (m) \times Lebar \text{ kompartemen } (m)}$
13	Volume aktual dari baffled reactor [H23] (m ³)	<i>(lebar down-flow shaft + panjang kompartemen) x lebar kompartemen x kedalaman kompartemen x jumlah kompartemen</i>
14	Hydraulic retention time (HRT) aktual [I23] (jam)	$HRT \text{ aktual} = \frac{HRT}{1,05}$ HRT berkurang 5% karena adanya lumpur pada kompartemen
15	Beban COD [J23] (kg COD/m ³ .hari)	$\frac{Debit \text{ air limbah } (\frac{m^3}{jam}) \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times \left(\frac{konsentrasi \text{ COD}}{1000} \right) (\frac{kg}{m^3})}{Volume \text{ aktual baffled reactor } (m^3)}$ Kriteria desain: beban organik COD ≤ 3,0 kg COD/m³.hari

16	Produksi biogas [K23] (m ³ /hari)	Produksi gas metana $\left(\frac{m^3}{hari}\right)$ $= \frac{0,4 \text{ L CH}_4}{g \text{ COD yang tersisih}} \times \text{Debit air limbah} \left(\frac{m^3}{hari}\right) \times \text{COD yang ter...}$ Total biogas $\left(\frac{m^3}{hari}\right) = \frac{\text{Produksi gas metana} \left(\frac{m^3}{hari}\right)}{70\% \times 50\%}$ Produksi gas metana = 0,4 L CH₄/g COD (Tchobanoglous, 2003). Biogas terdiri dari 70% gas metana dan 50% larut dalam air.
17	f-overload [E11]	Gambar 3.7 Hubungan antara penyisihan COD dengan beban organik Garis kedua $y = c - mx$ $y = 1 - (1 - 0,82) : (15 - 8) \times (\text{beban organik} - 8)$
18	f-strength [F11]	Gambar 3.8 Hubungan antara penyisihan COD dengan karakteristik air limbah Garis pertama $y = mx + c$ $y = (1,04 - 0,87) : (2000 - 0) \times (\text{COD}_{inflow})$
19	f-temperature [G11]	Gambar 3.9 Hubungan antara penyisihan COD dengan temperatur pada reaktor anaerobik Garis pertama $y = mx + c$ $y = (0,86 - 0,47) : (20 - 0) \times (\text{temperatur digester terendah}) + 0,47$
20	f-HRT [H11] %	Gambar 3.10 Hubungan antara penyisihan BOD dengan HRT Garis pertama $y = mx + c$ $y = (51\% - 0\%) : (5 - 0) \times \text{actual total HRT} + 0$
21	Penyisihan COD berdasarkan faktor [I11] %	$\{(f - \text{overload}) \times (f - \text{strength}) \times (f - \text{temp}) \times (f - \text{HRT})\} \times 100\%$
22	Penyisihan COD pada baffled reactor [J11] %	Jumlah kompartemen dalam desain ini yaitu 7 buah. Batas efisiensi pengolahan yaitu 98%. $E11 \times F11 \times G11 \times H11 \times 0,98$
23	COD out [K11] mg/L	$\text{COD out} = (1 - \text{penyisihan COD}) \times \text{COD inflow ke baffled reactor}$
24	Faktor penyisihan BOD ₅ / COD [K12]	Penentuan faktor penyisihan sama dengan sel A12

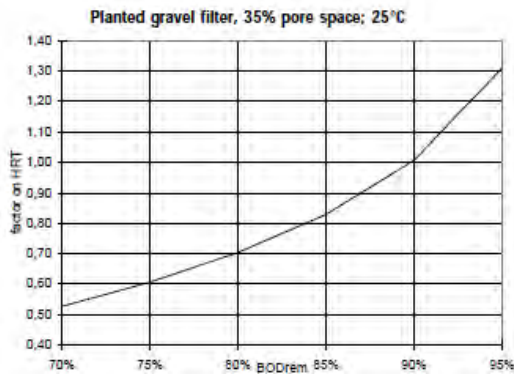
25	Total penyesihan COD (tangki pengendap dan kompartemen) [A17] %	$\text{Total COD removal (\%)} = \frac{\text{COD inflow} - \text{COD out}}{\text{COD inflow}}$ $\text{Total COD removal (\%)} = \frac{\text{COD inflow}}{\text{COD inflow}} - \frac{\text{COD out}}{\text{COD inflow}}$ $\text{Total COD removal (\%)} = 1 - \frac{\text{COD out}}{\text{COD inflow}}$
26	Penyesihan BOD ₅ [B17] %	<i>Penyesihan BOD₅ = penyesihan COD x faktor penyesihan BOD₅ / COD</i>
27	BOD ₅ out [C17] mg/L	<i>BOD₅ out = (1 – penyesihan BOD₅) x BOD₅ inflow ke tangki pengendap</i>
28	Akumulasi lumpur di tangki pengendap [F17] L/g COD	<i>Gambar 3.12 Penurunan volume lumpur selama masa penyimpanan</i> <i>y = mx + c</i> <i>y = (100% - 50%) : (0 – 36) x (jangka waktu pengurusan lumpur) + 100%</i> <i>Sludge accumulation rate (L / g BOD) = 0,005 L lumpur/g BOD tersisih x sludge volume (%)</i> <i>Berdasarkan Sasse (1998), volume sludge merupakan parameter yang penting untuk mendesain tangki sedimentasi dan digester. Karena lumpur yang terakumulasi mengisi volume pada tangki, maka volume tangki harus ditambah dengan volume lumpur tersebut. Produksi lumpur biologis berkaitan erat dengan jumlah BOD yang disisihkan. Menurut Garg (1994) dalam Sasse (1998), lumpur sebanyak 30 L per tahun berkaitan dengan BOD yang tersisih di septic tank sebesar 15 – 20 g per hari. Oleh karena itu, didapatkan hasil yaitu 0,005 liter lumpur per gram BOD yang tersisih (0,082 L lumpur per hari / 15 g BOD per hari = 0,005 L lumpur / 15 g BOD yang tersisih).</i>

29	Panjang tangki pengendap [G17] m	Panjang tangki pengendap (m) = $\frac{\text{volume total (m}^3\text{)}}{\text{lebar (m)} \times \text{kedalaman (m)}}$ Volume total (m³) = sludge volume (m³) + settler volume (m³) Volume total(m³) $= A \left(\frac{L}{g} \right) \times \frac{(S_o - S_e) \left(\frac{g}{L} \right)}{1.000} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}} \times B (\text{bulan}) \times Q_{\text{hari}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) + C (\text{jam}) \times Q_{\text{jam}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \right)$ A = sludge accumulation rate (L/g) S_o = konsentrasi BOD awal (g/L) S_e = konsentrasi BOD yang memasuki baffled reaktor (g/L) B = jangka waktu pengurasan (bulan) C = HRT di tangki pengendap (jam) Q_{hari} = debit air limbah per hari (m³/hari) Q_{jam} = debit air limbah per jam (m³/jam)
-----------	---	---

LAMPIRAN III

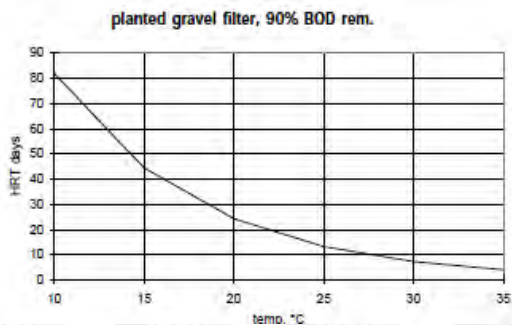
Perhitungan Dimensi *Constructed Wetland (Horizontal Subsurface Flow)* Berdasarkan Metoda pada Sasse, 2009

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	General spread sheet for planted gravel filter, input and treatment data											
2	average flow	COD in	BOD ₅ in	COD/BOD ratio	outfl. BOD ₅	BOD ₅ rem. rate	COD rem.	COD out	min. annual Temp.	HRT factor acc. to $k_{20}=0,3$	HRT	hydraulic conduct. Ks
3	given	given	given	calcul.	wanted	calcul.	calcul.	calcul.	given		calcul.	given
4	m ³ /d	mg/l	mg/l	mg/l / mg/l	mg/l	%	%	mg/l	C°	via graph	days	m/d
5	26	410	215	1,91	30	86%	84%	66	25	0,86	11,20	200
6	BOD rem factor via graph->							1,025	Ks in m/s=>			
7	dimensions										results	
8	HRT in 35% pore space	bottom slope	depth of filter at inlet	cross section area	width of filter basin	surface area required	length of filter basin	chosen width	length chosen	actual surface area chosen	hydr. load on chosen surface	org. load on chosen surface
9	calcul.	chosen	chosen	calcul.	calcul.	calcul.	calcul.	chosen	chosen	check !	calcul.	calcul.
10	days	%	m	m ²	m	m ²	m	m	m	m ²	m/d	g/m ² BOD
11	3,92	1,0%	0,60	37,27	62,1	559	9,0	62,5	9,0	563	0,046	9,9
12	^information only		0,3-0,6 m	max BOD ₅	150	g/m ²	always >	62,1	max. loads=>		0,100	10



Hubungan antara Penyisihan BOD dengan HRT (Sasse, 2009)

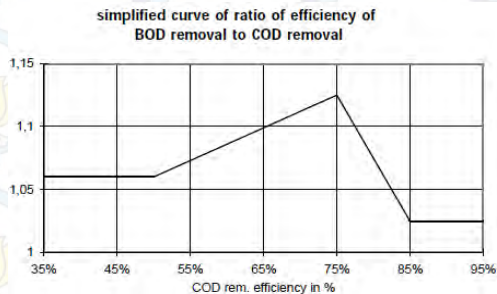
Formula K5 berkaitan dengan grafik yang menunjukkan hubungan antara suhu di *gravel filter* dengan HRT.



Hubungan antara Suhu di *Gravel Filter* dengan HRT (Sasse, 2009)

G6 =IF(F5<0,5;1,06;IF(F5<0,75;(F5-0,5)*0,065/0,25+1,06;IF(F5<0,85;1,125-(F5-0,75)*0,1/0,1;1,025)))

Formula G6 berkaitan dengan grafik yang menyatakan hubungan antara efisiensi penyisihan COD dengan efisiensi penyisihan BOD.



Hubungan antara Efisiensi Penyisihan COD dengan Efisiensi Penyisihan BOD. (Sasse, 2009)

$$L6 = L5 / 86400$$

$$A11 = K5 * 35\%$$

$$D11 = \text{IF}(A5/L5/B11 < A5 * C5/E12; A5 * C5/E12; A5/L5/B11)$$

$$E11 = D11 / C11$$

$$F11 = \text{IF}(A5 * C5/L12 > A5 * K5/C11; A5 * C5/L12; A5 * K5/C11)$$

$$G11 = F11 / E11$$

$$J11 = H11 * I11$$

$$K11 = A5 / J11$$

$$L11 = K11 * C5$$

$$H12 = E11$$

**Penjelasan Formula *Spread Sheet* pada Microsoft Excel untuk
Pehitungan Domensi *Constructed Wetland***

No	Perhitungan	Rumus
1	COD/BOD ₅ rasio [D5]	$\frac{COD}{BOD} \text{ rasio} = \frac{COD \left(\frac{mg}{L}\right)}{BOD \left(\frac{mg}{L}\right)}$
2	Persentase penyisihan BOD ₅ [F5] (%)	$\text{Persentase penyisihan BOD} = \left(1 - \frac{BOD_{out}}{BOD_{in}}\right) \times 100\%$
3	Faktor penyisihan BOD ₅ / COD [G6]	<i>Gambar 3.11 Hubungan antara Efisiensi Penyisihan COD dengan Efisiensi Penyisihan BOD. (Sasse, 1998)</i> $y = mx + c$ $y = [(1,125 - 1,06) : (75\% - 55\%)] \times (\text{BOD removal rate} - 0,5) + 1,06$ $y = -mx + c$ $y = c - mx$ $y = 1,125 - [(1,125 - 1,025) : (85\% - 75\%)] \times (\text{BOD removal rate} - 0,75)$
4	Persentase penyisihan COD [G5]	$\text{Persentase penyisihan COD} = \frac{BOD \left(\frac{mg}{L}\right)}{\text{faktor penyisihan} \frac{BOD}{COD}}$
5	COD out [H5]	$COD_{out} = COD_{in} (1 - \text{penyisihan COD})$
6	Faktor HRT [J5]	<i>Gambar 3.15 Pengaruh dari penyisihan BOD yang diinginkan pada HRT di gravel filter (Sasse, 1998)</i> <i>Pada rentang grafik 75% dan 80%</i> $y = mx + c$ $y = (0,7 - 0,605) : (80\% - 75\%) \times (\text{persen penyisihan BOD yang diinginkan} - 75\%) + 0,605$ $y = 0,095 : 5\% \times (\text{persen penyisihan BOD yang diinginkan} - 75\%) + 0,605$ $y = 9,5 : 5 \times (\text{persen penyisihan BOD yang diinginkan} - 75\%) + 0,605$
7	HRT [K5]	$HRT = \text{faktor HRT} \times HRT$ <i>Gambar 3.16 (HRT pada temperatur di gravel filter)</i>

**Penjelasan Formula *Spread Sheet* pada Microsoft Excel untuk
Pehitungan Domensi *Constructed Wetland***

No	Perhitungan	Rumus
		Pada rentang grafik 10°C dan 15°C $y = -mx + c$ $y = c - mx$ $y = 82 - (82 - 45) : (15 - 10) \times (\text{temperatur} - 10)$ $y = 82 - 37.5 \times (\text{temperatur} - 10)$
8	Hydraulic conductivity [L6] (m/s)	$\text{Hydraulic conductivity} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = \frac{\text{Hydraulic conductivity} \left(\frac{\text{m}}{\text{hari}} \right)}{86400}$
9	HRT di 35% pore space [A11] (hari)	$\text{HRT di 35\% pore space} = \text{HRT} \times 35\%$
10	Cross section area [D11] (m ²)	Hukum Darcy $\text{Cross section area} = \frac{\text{Debit} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right)}{\text{Hydraulic conductivity} \left(\frac{\text{m}}{\text{hari}} \right) \times \text{slope} (\%)}$
11	Lebar filter [E11]	$\text{Lebar filter (m)} = \frac{\text{Cross section area (m}^2\text{)}}{\text{Kedalaman filter (m)}}$
12	Luas permukaan [F11] (m ²)	$\text{Luas permukaan (m}^2\text{)} = \frac{\text{Debit} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times \text{BOD in} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{\text{Beban organik} \left(\frac{\text{g BOD}}{\text{m}^2 \cdot \text{hari}} \right)}$ atau $\text{Luas permukaan} = \frac{\text{Debit} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right) \times \text{HRT (hari)}}{\text{Kedalaman filter (m)}}$
13	Panjang filter [G11]	$\text{Panjang filter (m)} = \frac{\text{Luas permukaan (m}^2\text{)}}{\text{Lebar filter (m)}}$
14	Luas permukaan dipilih [J11]	$\text{Luas permukaan dipilih (m}^2\text{)} = \text{lebar dipilih (m)} \times \text{panjang dipilih (m)}$
15	Hydraulic load cek [K11]	$\text{Hydraulic load (m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari)} = \frac{\text{Debit} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \right)}{\text{Luas permukaan (m}^2\text{)}}$ Kriteria desain = maksimum 0,1 m³/m²·hari
16	Beban organik	

Penjelasan Formula *Spread Sheet* pada Microsoft Excel untuk
Pehitungan Domensi *Constructed Wetland*

No	Perhitungan	Rumus
	cek [L11]	$Beban\ organik\ (g/m^2.hari) = Hydraulic\ load\ cek\ (m^3/m^2.hari) \times BOD_5\ in\ (mg/L)$

General spread sheet for septic tank, input and treatment data									
daily waste water flow	time of most waste water flow	max flow at peak hours	COD inflow	BOD5 inflow	HRT inside tank	settleable SS/COD ratio	COD removal rate	COD outflow	BOD5 outflow
given	given	calcul.	given	given	chosen	given	calcul.	calcul.	calcul.
m ³ /day	h	m ³ /h	mg/L	mg/L	h	mg/L / mg/L	%	mg/L	mg/L
2,77	24	0,12	1672	1133	13	0,45	34%	1101	723
COD/BOD5				1,5	BOD removal factor				1,06
dimensions of septic tank									
desludging interval	inner width of septic tank	water depth	inner length of first chamber		length of second chamber		volume incl. sludge	actual volume of septic tank	biogas 70% CH ₄ ; 50% dissolved
chosen	chosen	chosen	requir	chosen	requir	chosen	requir	check	calcul.
months	m	m	m	m	m	m	m ³	m ³	m ³ /d
12	1,8	1,5	1,60	1,60	0,40	0,40	3,2	5,5	0,40
sludge L/g BOD removed							0,00416		

General spread sheet for baffled septic tank with integrated settler																		
daily waste water flow	time of most waste water flow	max peak flow per hour	COD inflow	BOD ₅ inflow	COD/BOD ₅ ratio	settleable SS/COD ratio	lowest digester temp.	desludging interval	HRT in settler (no settler = 0)	COD removal rate in settler								
given	given	max.	given	given	calcul.	given	given	chosen	chosen	calcul.								
m ³ /day	h	m ³ /h	mg/L	mg/L	ratio	mg/L	°C	months	h	%								
2,75	24	0,11	1.108	727	1,52	0,45	28	12	2	26%								
			COD/BOD ₅ =		1,5	0,35-0,45												
treatment data																		
BOD ₅ removal rate in settler	inflow into baffled reactor		COD/BOD ₅ ratio after settler	factors to calculate COD removal rate of baffled reactor			COD rem, 25 °C, COD 1500	theor. Rem rate acc. To factors	COD rem. Rate baffly only	COD out								
	calcul.	COD	BOD ₅	calcul.	calculated according to graphs			calcul.	calcul.	calcul.								
	%	mg/L	mg/L	mg/L/mg/L	f-overload	f-strength	f-temp	f-HRT	%	%	mg/L							
	28%	817	525	1,56	1,00	0,91	1,05	0,91	88%	86%	115							
1,06 <- COD/BOD rem factor			0,64		BOD/COD removal factor ->					1,025								
dimensions of settler																		
total COD rem. rate	total BOD ₅ rem. rate	BOD ₅ out	inner masonry measurements chosen acc. to required volume		sludge accum. Rate	length of settler	length of settler	max upflow velocity	number of upflow chambers	depth at outlet								
			calcul.	calcul.	calcul.	calcul.	calcul.	chosen	chosen		chosen	chosen						
			%	%	mg/L	m	m	L/g COD	m		m	m/h	no.	m				
			90%	92%	59	1	1.5	0,00416	0,71		0,8	0,5	4	0,8				
								< 2 m/h										
dimensions of baffled septic tank								status and gp										
length of chambers should not exceed half depth	area of single upflow	width of chambers	actual upflow velocity	width of downflow shaft	actual volume of baffled	actual total HRT	org. load (COD)	biogas (ass: CH ₄ 70%, 50% dissolved)										
									calcul.	chosen	calcul.	calcul.	chosen	calcul.	calcul.	calcul.		
									m	m	m ²	m	m	m/h	m ³	h	kg/m ³ ·d	m ³ /d
									0,4	0,4	0,23	0,57	1,00	0,29	0,25	2,08	17	1,1
								HRT reduced by 5% for sludge										

LAMPIRAN V

Spread Sheet Perhitungan Dimensi Septic Tank dan Constructed Wetland (Horizontal Gravel Filter)

General spread sheet for septic tank, input and treatment data										
daily waste water flow	time of most waste water flow	max flow at peak hours	COD inflow	BOD5 inflow	HRT inside tank	settleable SS/COD ratio	COD removal rate	COD outflow	BOD5 outflow	
given	given	calcul.	given	given	chosen	given	calcul.	calcul.	calcul.	
m3/day	h	m3/h	mg/L	mg/L	h	mg/L / mg/L	%	mg/L	mg/L	
2,75	24	0,114	1672	913	13	0,45	34%	1101	582	
COD/BOD5				1,8		0,4				1,06
dimensions of septic tank										
desludging interval	inner width of septic tank	minimum water depth at outlet point	inner length of first chamber		length of second chamber		volume incl. sludge	actual volume of septic tank	biogas 70% CH4; 50% dissolved	
chosen	chosen	chosen	requir	chosen	requir	chosen	requir	check	calcul.	
months	m	m	m	m	m	m	m3	m3	m3/d	
36	1,8	1,5	1,60	1,60	0,20	0,20	3,94	4,9	0,39	
sludge L/g BOD removed							0,0025			

General spreadsheet for planted gravel filter, input and treatment data												
average flow	COD in	BOD in	COD/BOD ratio	BOD out	BOD removal rate	COD removal	COD out	minimum annual temperature	HRT factor acc. to k20 = 0,3	HRT (*J5)	Hydraulic conduct. Ks	
given	given	given	calcul.	wanted	calcul.	calcul.	calcul.	given	calcul. Via graph	calcul.	given	
m3/day	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	%	%	mg/L	C		days	m/d	
2,74	1113	585	1,9	50	91%	89%	120	27	1,09	11,5	518	
				BOD/COD factor		1,03		Ks in m/s ->				0,008
dimensions												
HRT in 35% pore space	bottom slope	depth of filter at inlet	cross section area	width of filter basin	surface area required	length of filter basin	chosen width	length chosen	actual surface area chosen	hydr. Load on chosen surface	org. load on chosen surface	
calcul.	chosen	chosen	calcul.	calcul.	calcul.	calcul.	chosen	chosen	check!	calcul.	calcul.	
days	%	m	m2	m	m2	m	m	m	m2	m/d	g BOD/m2 hari	
4,0	1,0%	0,3	0,53	1,8	160	90,9	1,8	92	166	0,02	9,7	
		0,3 - 0,6 m		max BOD 150 g/m2				range		0,01 - 0,1	10	

LAMPIRAN VI

Manual Book untuk Pompa Merek Shimizu PS-150 BIT

CATEGORY

- Water Heater
- Sumur Dangkal
- Sumur Dalam
- Semi Jet
- Booster
- Submersible
- Multi Stage
- Stainless Steel Semi Jet Pump

DOWNLOAD
Manual Produk



LAYANAN KONSUMEN



Toll Free
0800-1-889-889

SMS
0815-112 99999

Email
customer_care_bit@yahoo.com



PS-150 BIT



Fitur Utama :

- Voltage/Hz : 220/50
- Daya Output Motor : 150 W
- Daya Input Motor : 0.3 kW
- Panjang pipa hisap : 9 m
- Daya dorong max. : 40 m
- Head (m) : 10, Kapasitas : 17 l/min
- Head (m) : 29, Kapasitas : 7 l/min
- Pipa hisap 3/4 inch
- Pipa tekan : -
- Pipa dorong : 3/4 inch

Recommend Share 0

Tweet 0

Overview

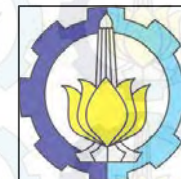
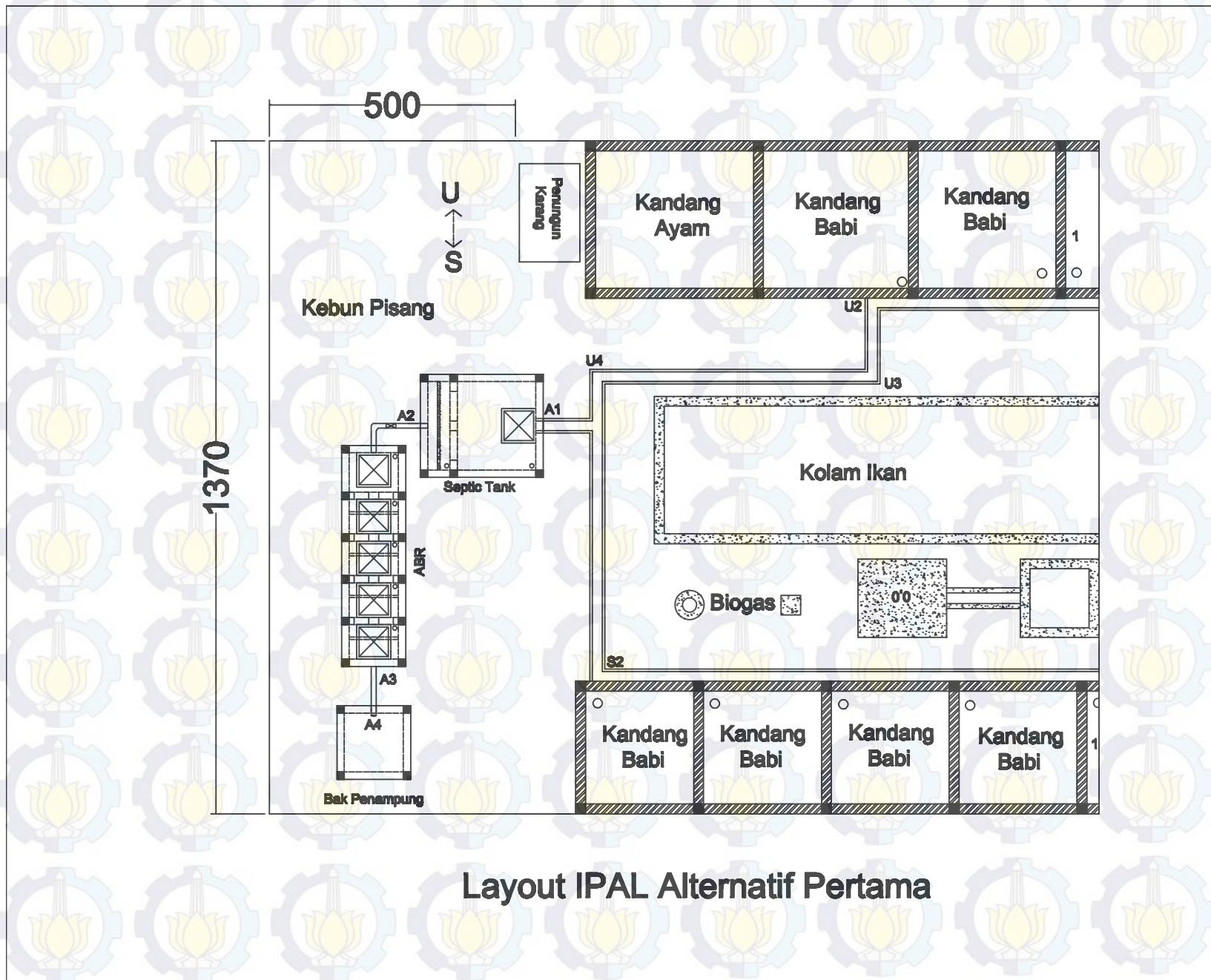
Specification

Catalog

- Voltage/Hz : 220/50
- Daya Output Motor : 150 W
- Daya Input Motor : 0.3 kW
- Panjang pipa hisap : 9 m
- Daya dorong max. : 40 m
- Head (m) : 10, Kapasitas : 17 l/min
- Head (m) : 29, Kapasitas : 7 l/min
- Pipa hisap 3/4 inch
- Pipa tekan : -
- Pipa dorong : 3/4 inch

Sumber: <http://www.shimizu.co.id/products/PS-150-BIT>

(diakses tanggal 1 Januari 2015)



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroom, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

Layout IPAL Alternatif Pertama

KETERANGAN GAMBAR

1 Kandang Babi

KETERANGAN

Satuan dalam centimeter

SKALA

1 : 125

No.



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroam, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

Layout IPAL Alternatif Kedua

KETERANGAN GAMBAR

1 Kolam Ikan

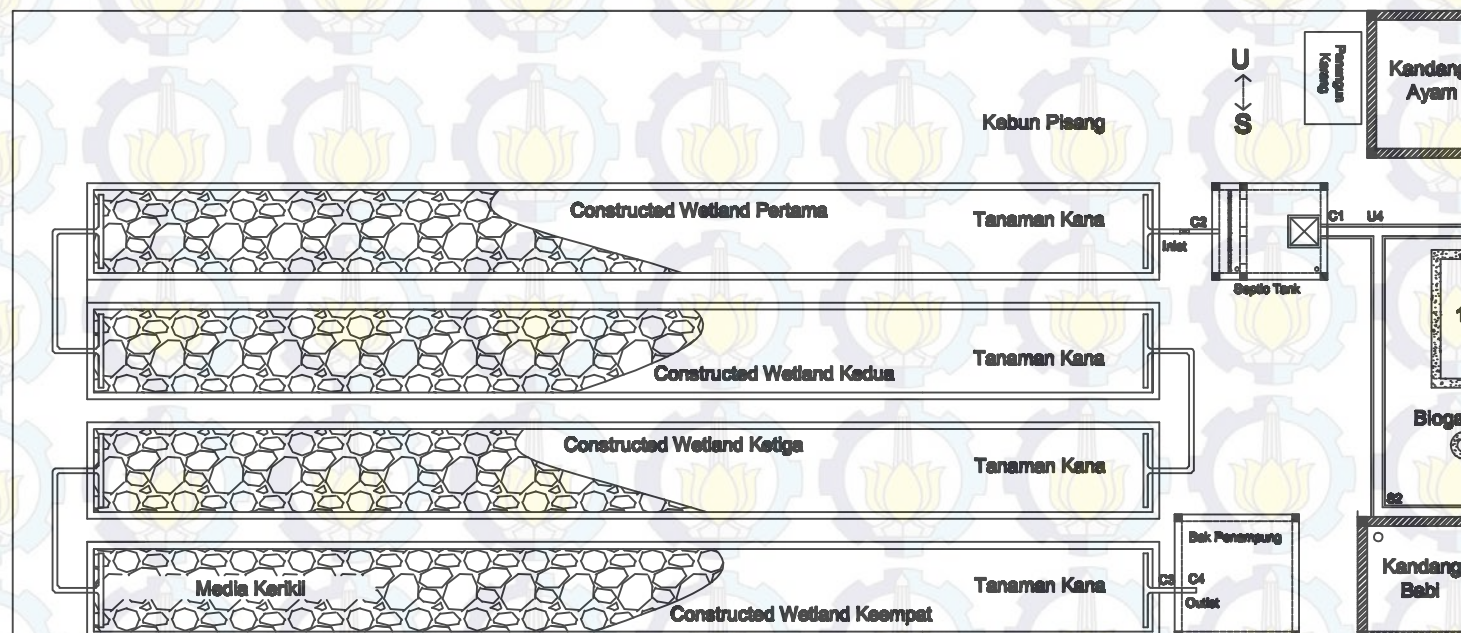
KETERANGAN

Setuan dalam centimeter

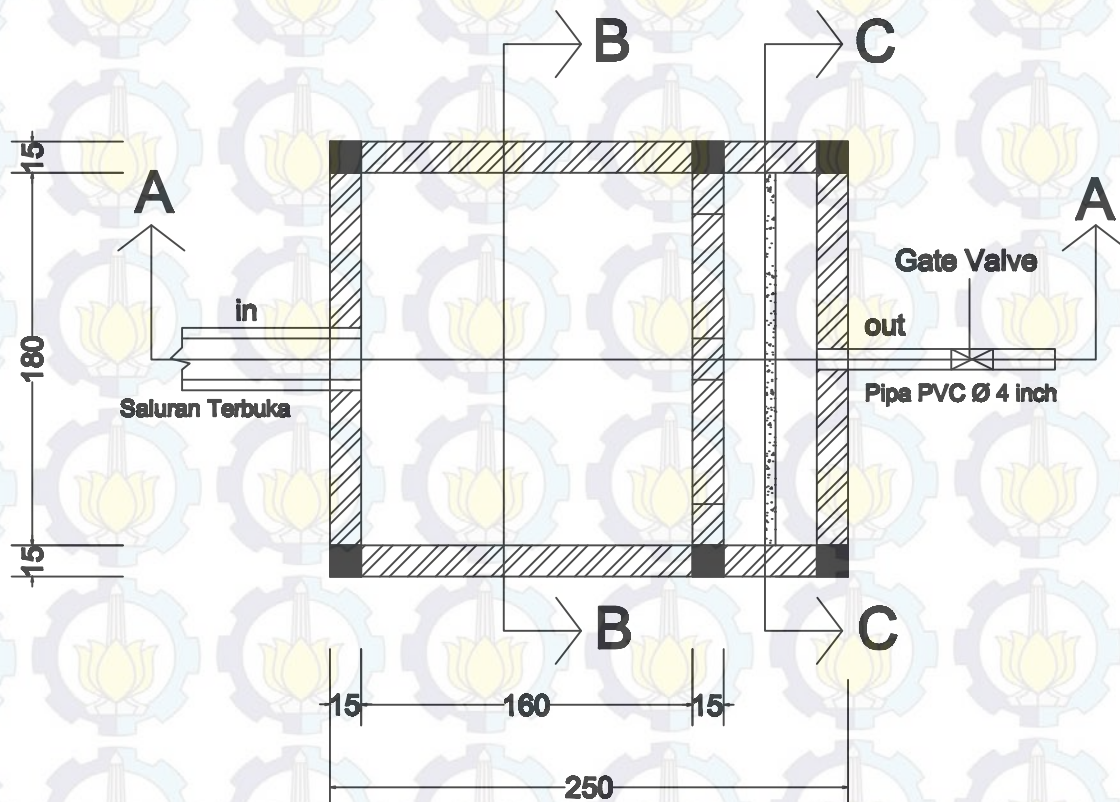
SKALA

1 : 180

No.



Layout IPAL Alternatif Kedua



DENAH



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroom, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

Alternatif Pertama dan Alternatif Kedua
Septic Tank
Denah

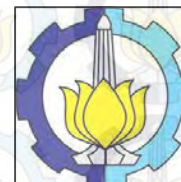
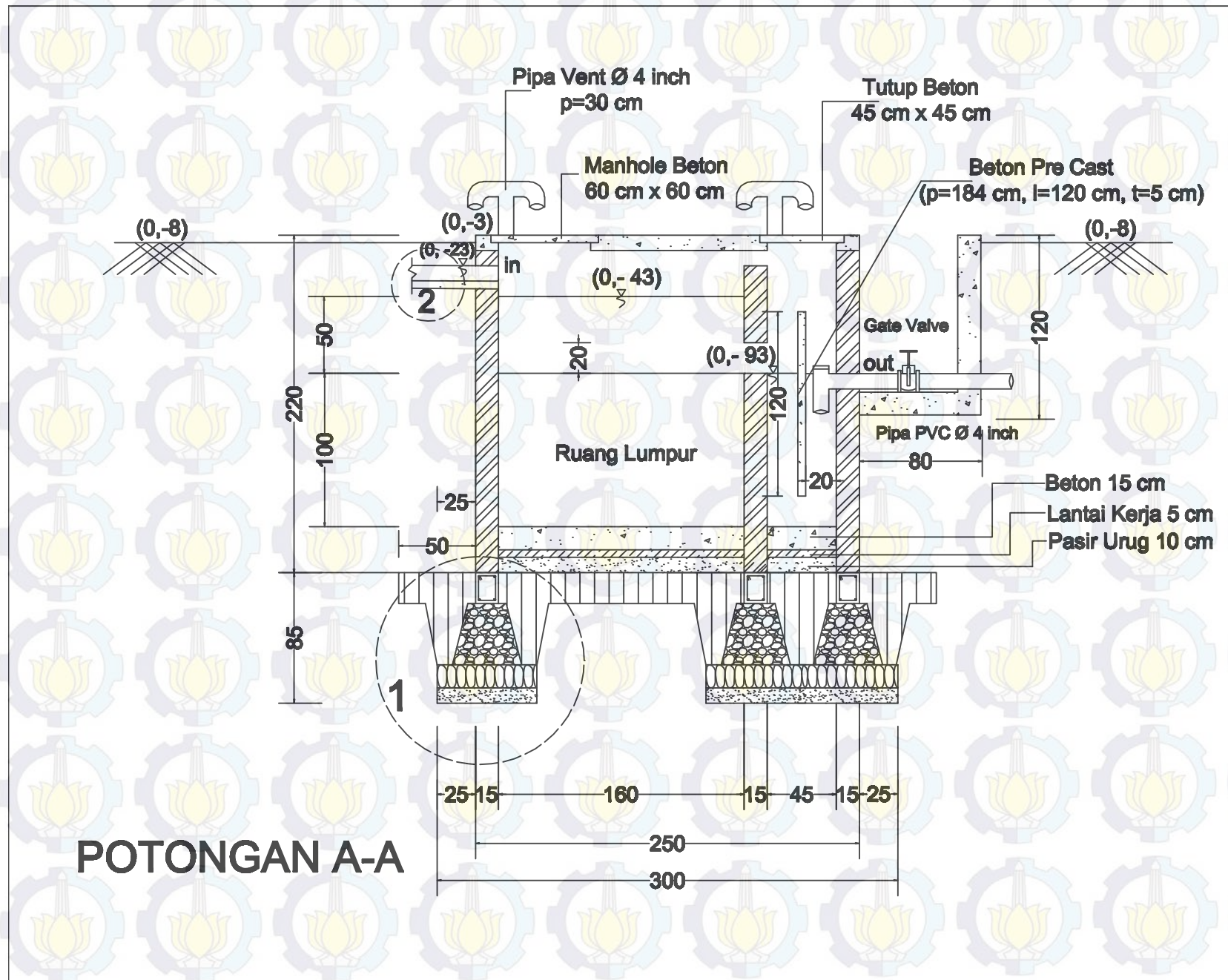
KETERANGAN

Setuan dalam centimeter

SKALA

1 : 40

No.



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroam, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

Alternatif Pertama dan Alternatif Kedua

Septic Tank

Potongan A-A

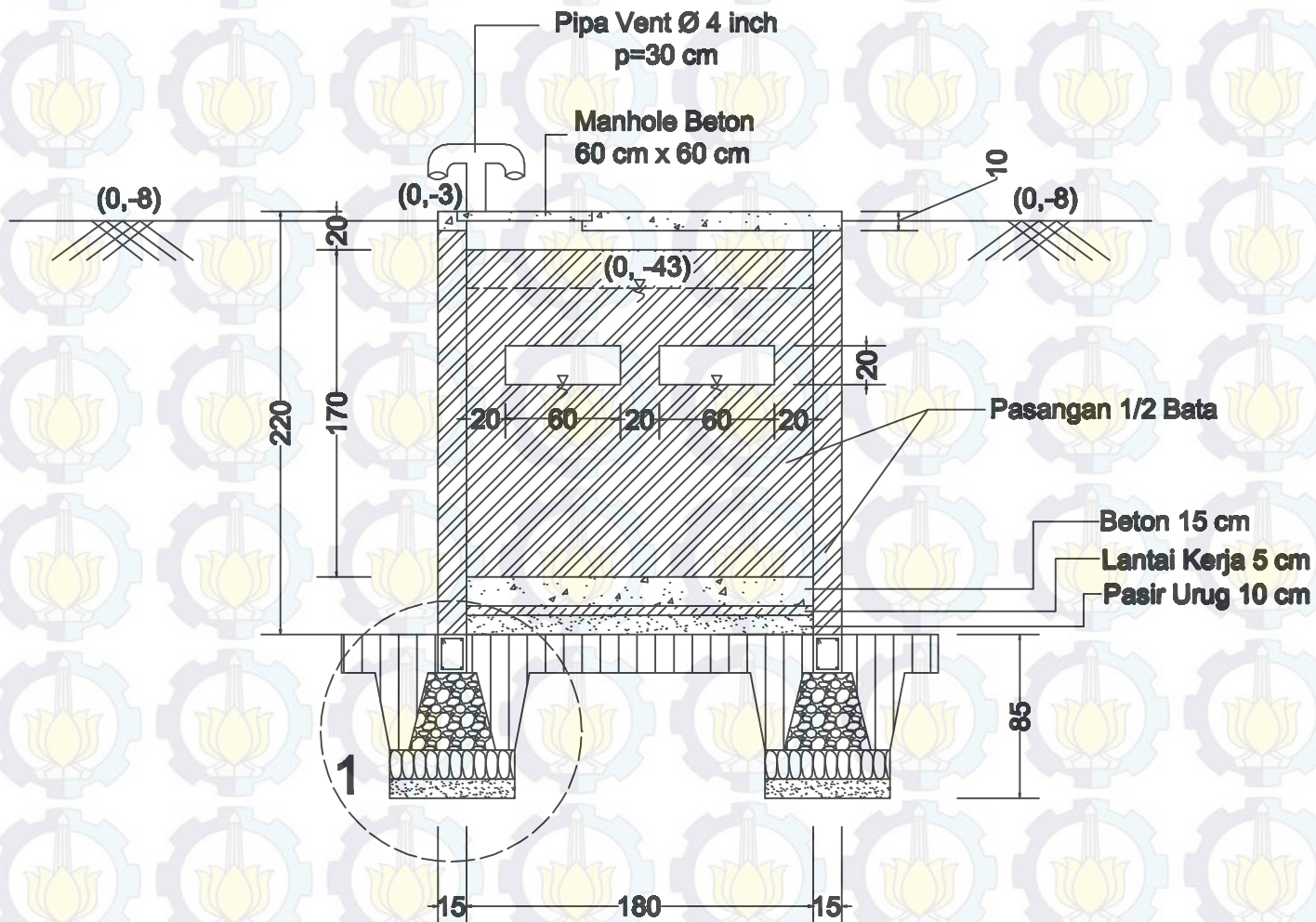
KETERANGAN

Satuan dalam centimeter

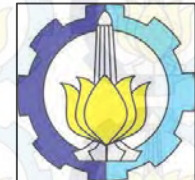
SKALA

1 : 40

No.



POTONGAN B-B



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroom, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

Alternatif Pertama dan Alternatif Kedua
Septic Tank
Potongan B-B

KETERANGAN

Setuan dalam centimeter

SKALA

1 : 40

No.



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroom, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

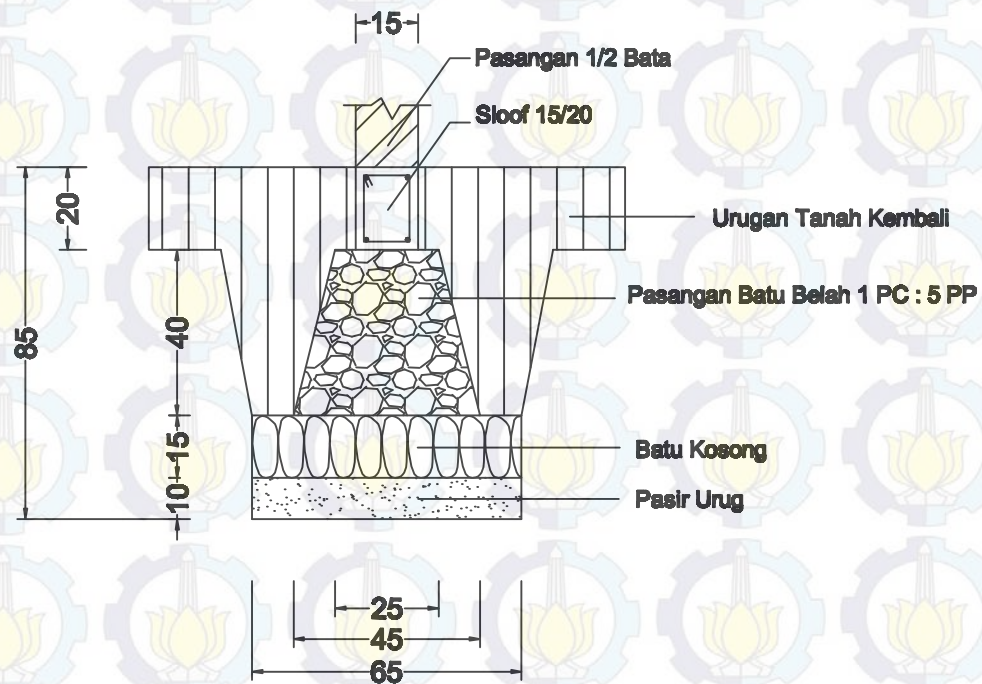
Detail 1 - 2

JUDUL GAMBAR

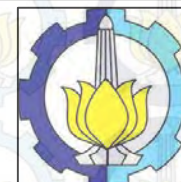
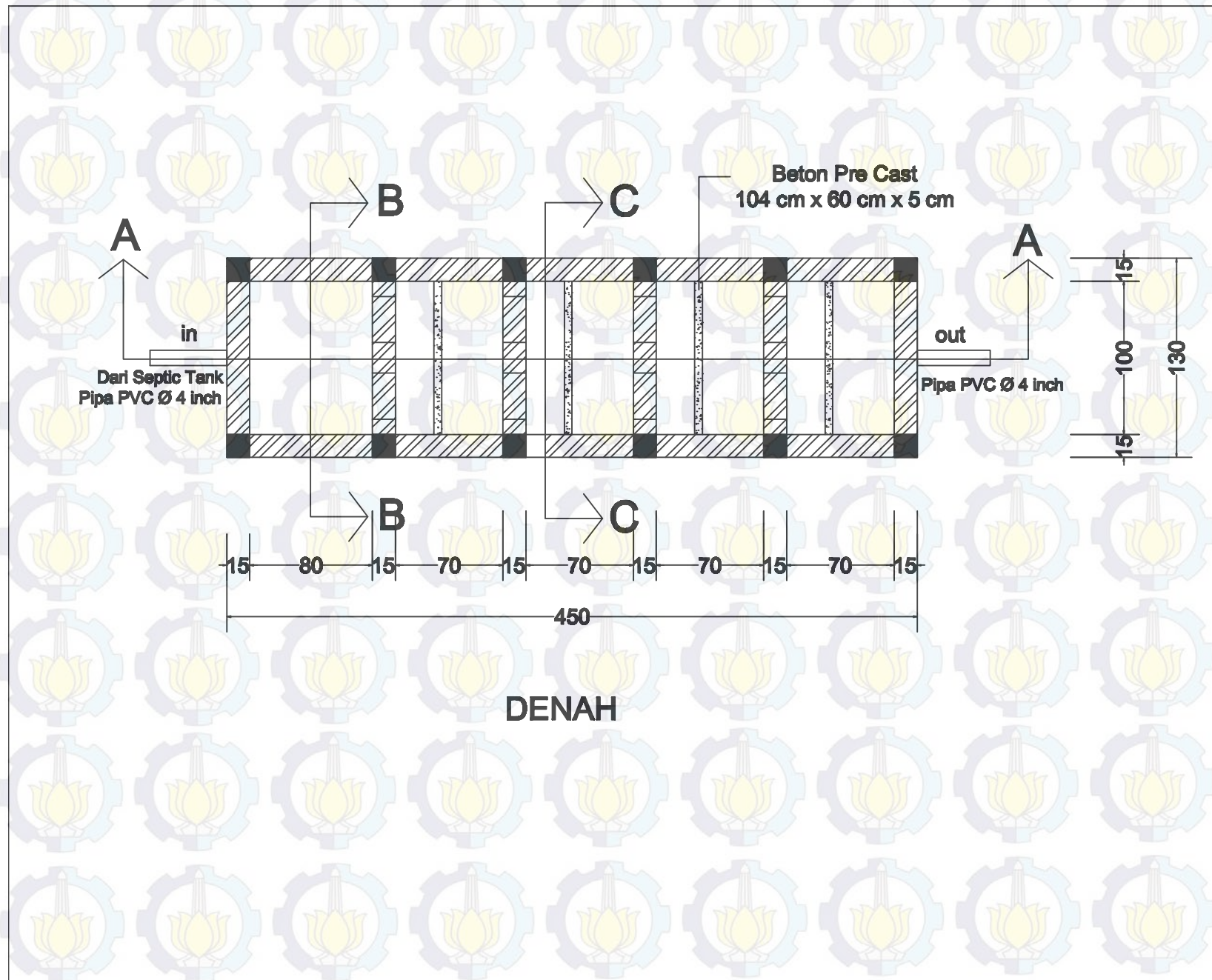
SKALA

1 : 20

No.



DETAIL - 1
PONDASI BATU BELAH



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroam, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

Anaerobic Baffled Reactor
Denah

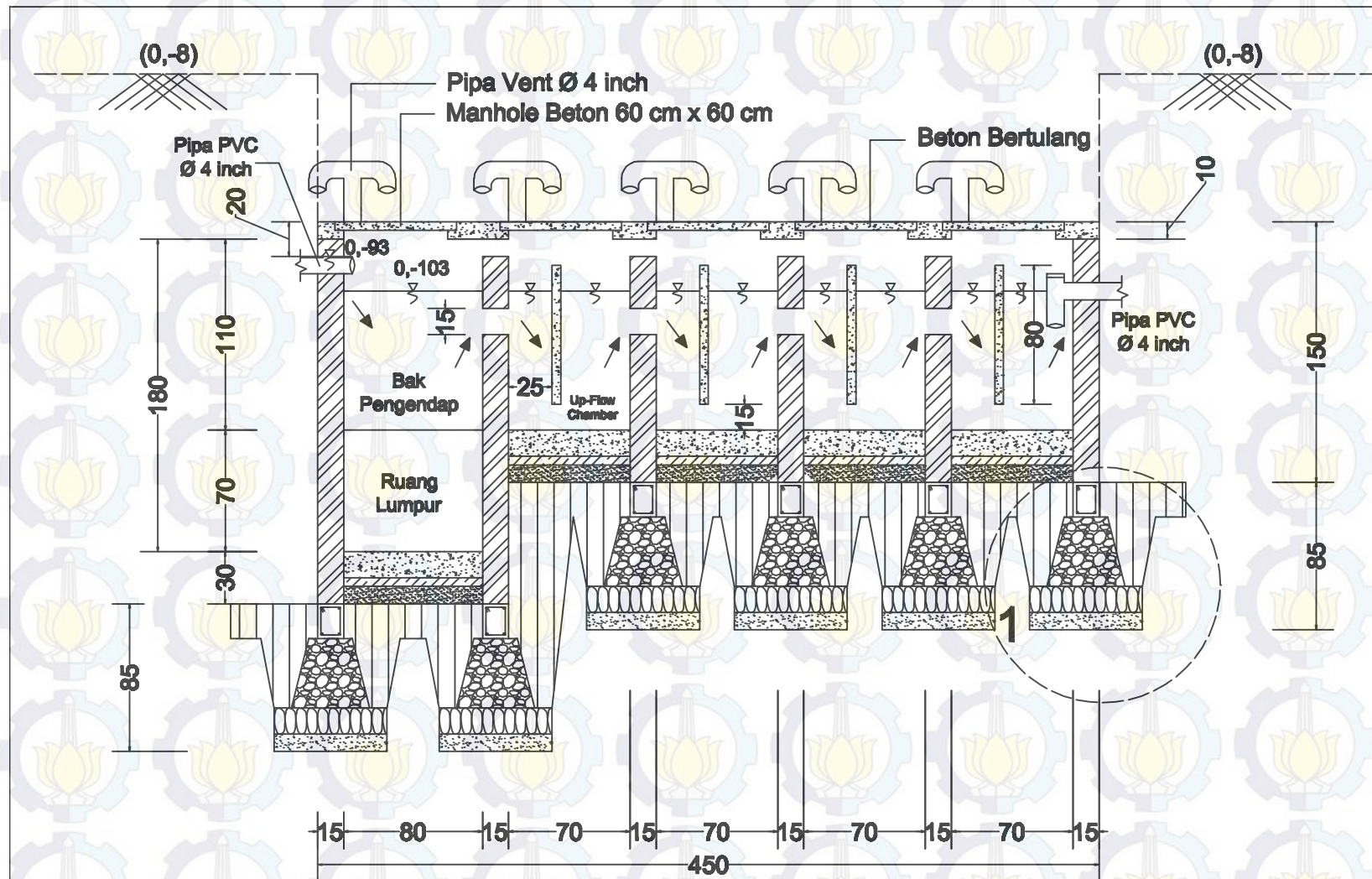
KETERANGAN

Satuan dalam centimeter

SKALA

1 : 40

No.



POTONGAN A-A



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroom, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

Anaerobic Baffled Reactor

Potongan A-A

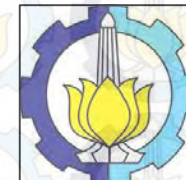
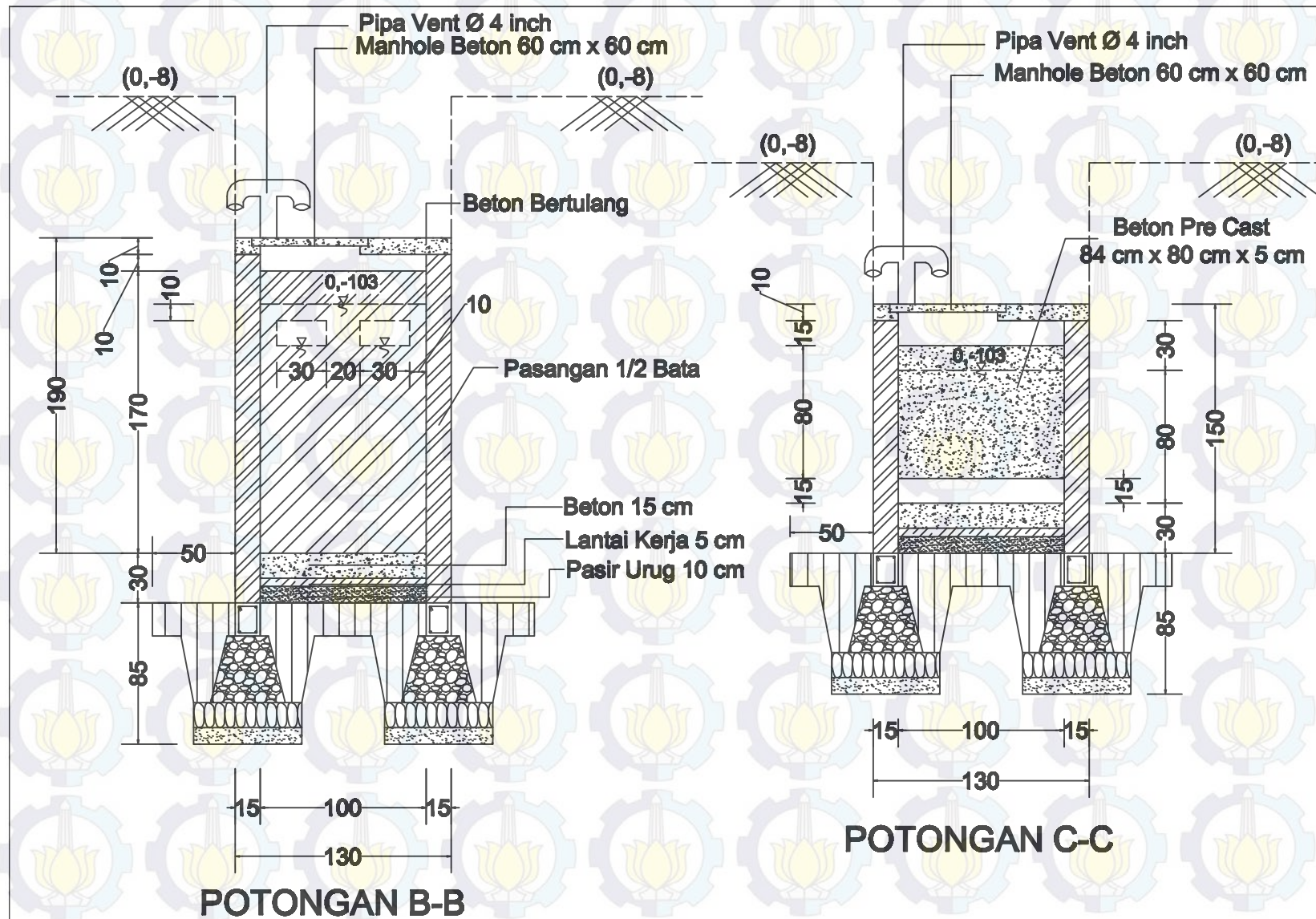
KETERANGAN

Satuan dalam centimeter

SKALA

1 : 40

No.



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroam, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

Anaerobic Baffled Reactor

Potongan B-B
Potongan C-C

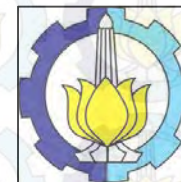
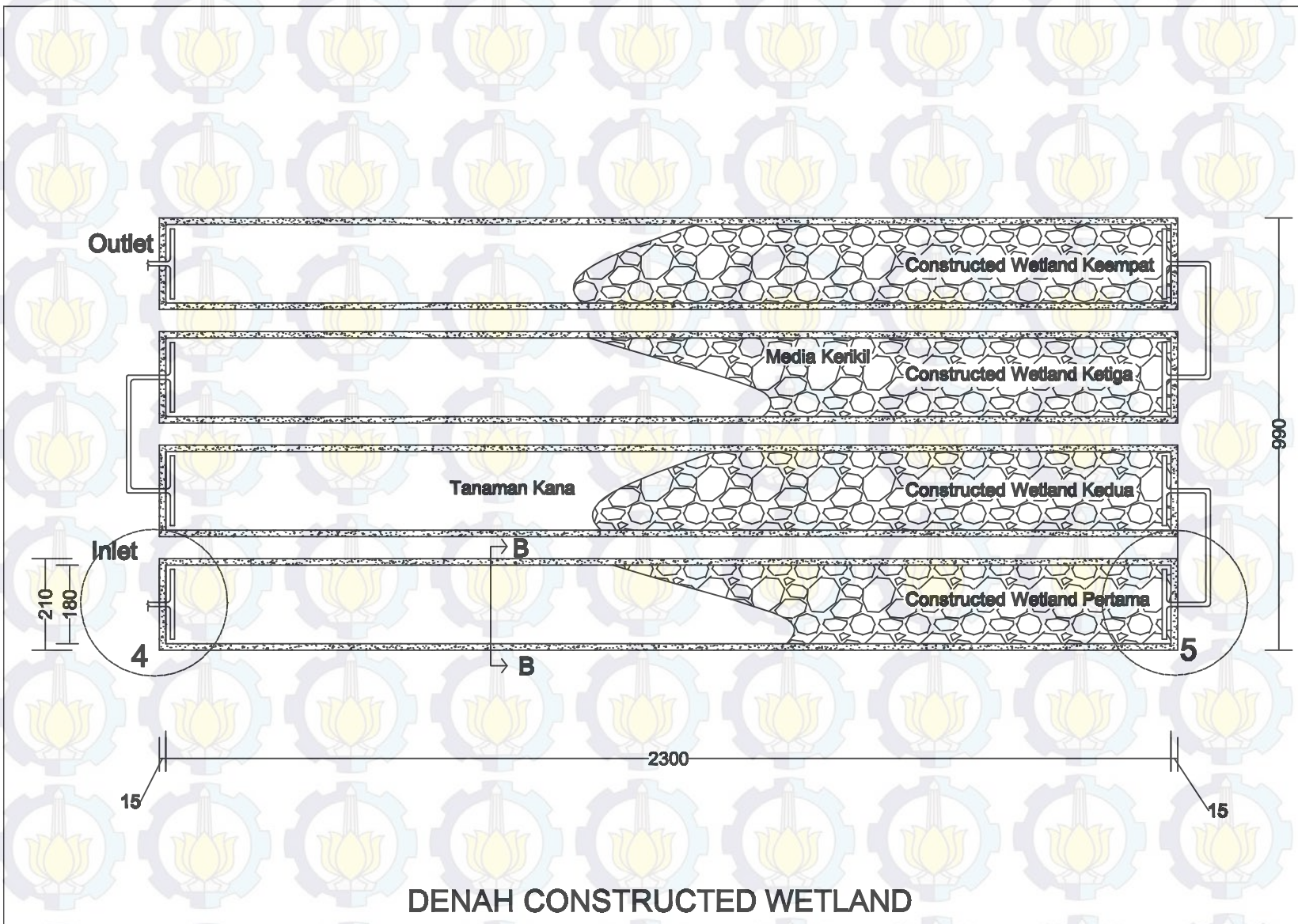
KETERANGAN

Satuan dalam centimeter

SKALA

1 : 40

No.



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroom, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

Alternatif Kedua
Constructed Wetland
Denah

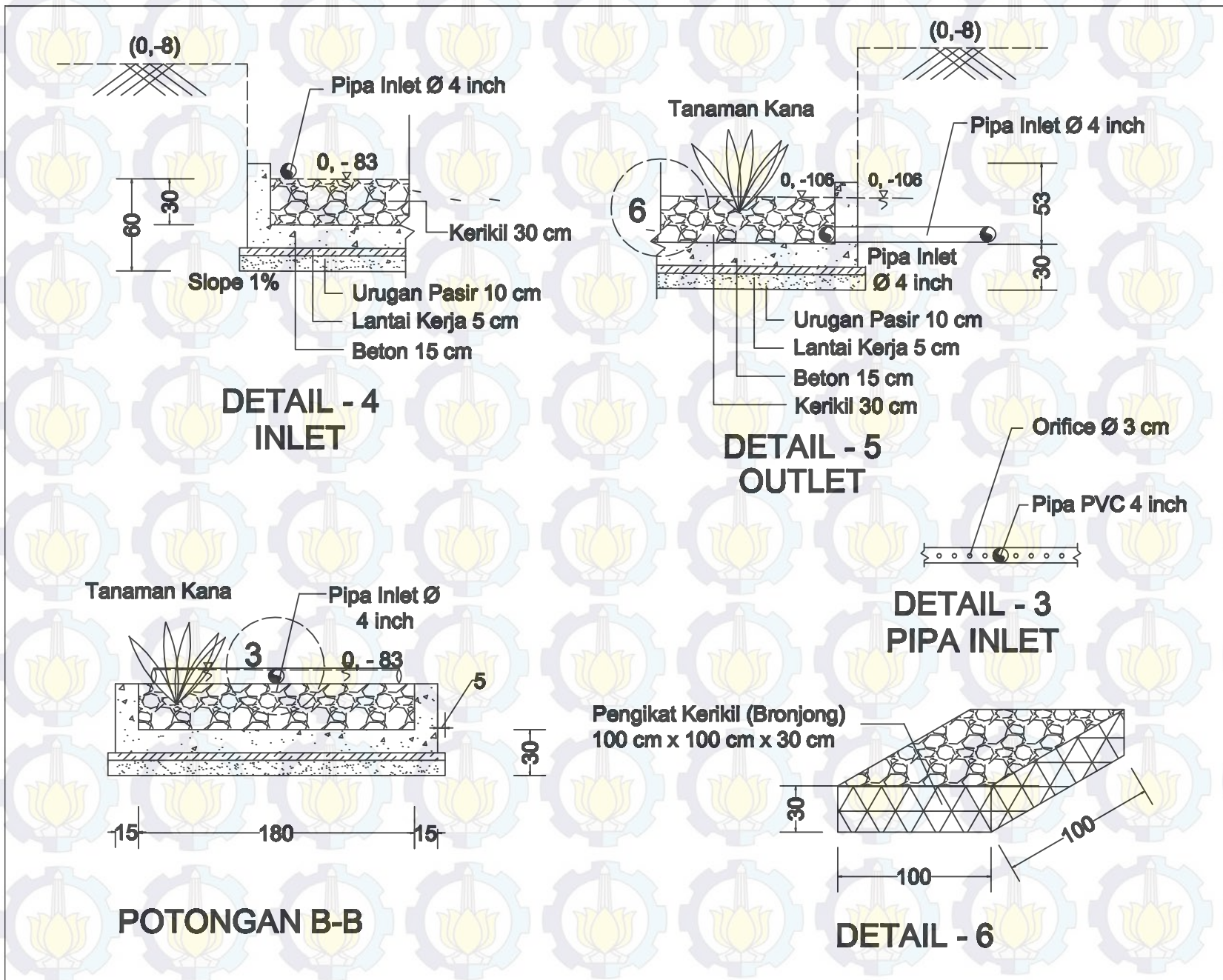
KETERANGAN

Satuan dalam centimeter

SKALA

1 : 125

No.



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroom, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

Alternatif Kedua
Constructed Wetland
Potongan B-B
Detail - 3
Detail - 4
Detail - 5
Detail - 6

KETERANGAN

Satuan dalam centimeter

SKALA

1 : 40

No.



JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2014

TUGAS AKHIR

DESAIN BANGUNAN PENGOLAHAN LIMBAH CAIR
PETERNAKAN BABI DAN PEMANFAATAN KEMBALI HASIL
PENGOLAHANNYA

DOSEN PEMBIMBING :

Prof. Dr. Ir. Nleke Kamaningroam, M.Sc
Ir. Mas Agus Mardiyanto, M.E., Ph.D

NAMA MAHASISWA :

I Komang Adi Putra
3310 100 081

JUDUL GAMBAR

Profil Hidrolis Bangunan IPAL
Alternatif Pertama dan Kedua

KETERANGAN GAMBAR

— Muka Tanah
— Muka Air

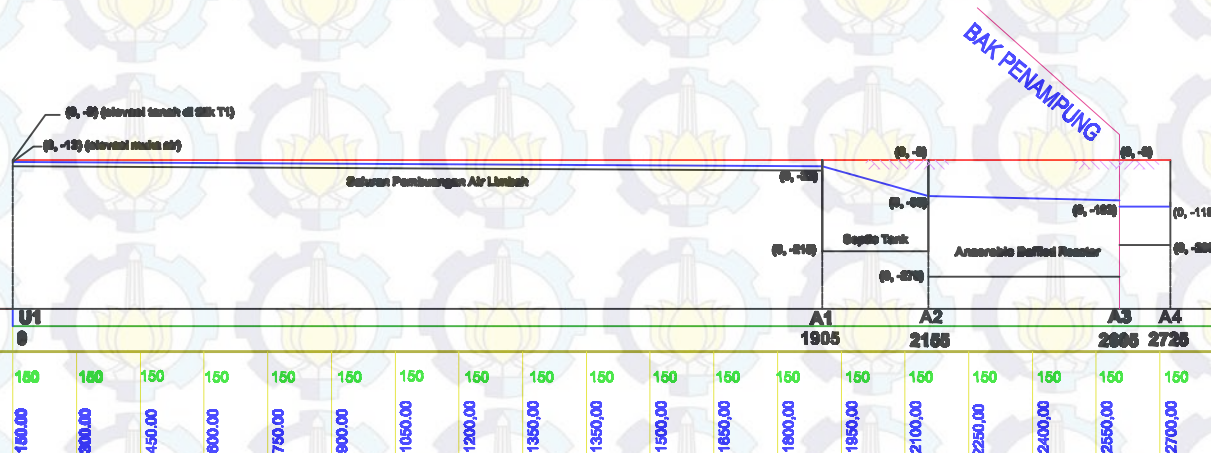
KETERANGAN

Satuan dalam centimeter

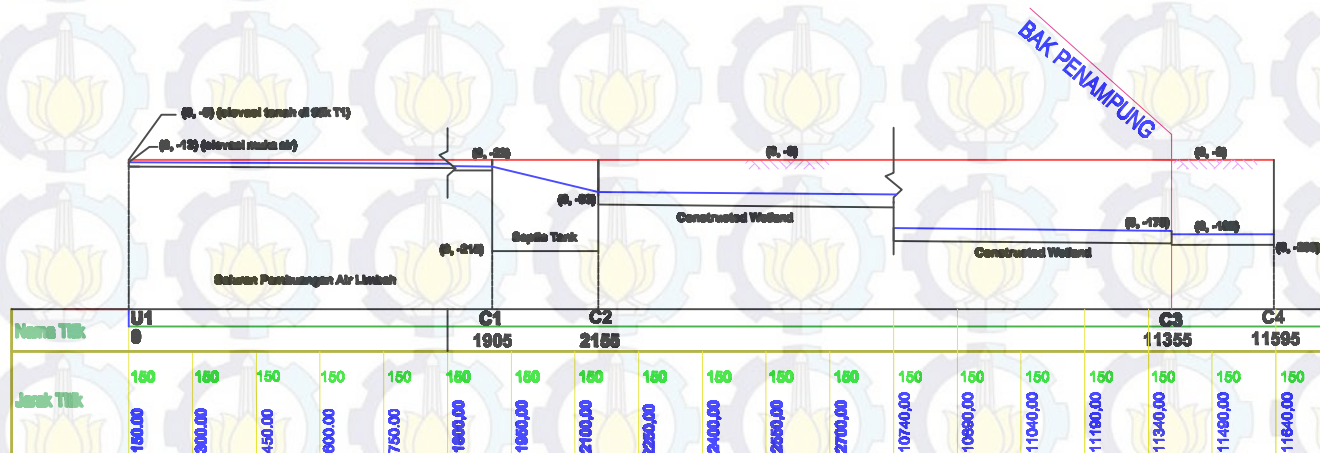
SKALA

1 : 150

No.



PROFIL HIDROLIS IPAL ALTERNATIF PERTAMA



PROFIL HIDROLIS IPAL ALTERNATIF KEDUA

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap I Komang Adi Putra lahir di kota Denpasar pada tanggal 10 Desember 1991. Lahir dari pasangan I Ketut Sutapa dan Ni Made Suarni sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Laksana Kumara Denpasar, SDN 6 Panjer, SMPN 6 Denpasar, dan SMAN 3 Denpasar. Melalui program SNMPTN tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan sarjana (S1) di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Semasa kuliah, penulis pernah mendapatkan penghargaan Juara II lomba karya tulis dalam rangka memperingati Hari Pramuka Ke-50 yang diselenggarakan oleh Kwartir Nasional Gerakan Pramuka. Selain itu, penulis juga mendapatkan penghargaan Juara II lomba karya tulis ilmiah yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Budidaya Perairan, Universitas Brawijaya pada tahun 2011. Pada bulan Maret-Juni 2013, penulis berkesempatan mengikuti program pertukaran pelajar ke Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Dankook, Kampus Jukjeon, Korea Selatan melalui beasiswa *Global Korea Scholarship*.

Pada bulan Juli-Agustus 2013, penulis melaksanakan kegiatan kerja praktik di Bali Tourism Development Corporation di bagian instalasi pengolahan air limbah. Selanjutnya, penulis mengambil Tugas Akhir dengan judul Desain Bangunan Pengolahan Limbah Cair Peternakan Babi dan Pemanfaatan Kembali Hasil Pengolahannya. Segala bentuk komunikasi kepada penulis dapat disampaikan melalui e-mail: adiputra.ikomang@gmail.com