



TUGAS AKHIR - RE 184804

**PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR
LIMBAH DAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR
LIMBAH DOMESTIK DI KELURAHAN PEGIRIAN
DAN KELURAHAN WONOKUSUMO, KOTA
SURABAYA**

YOGIE RANTETODING SUMULE
03211440000051

DOSEN PEMBIMBING:
BIEBY VOIJANT TANGAHU, ST., MT., Ph.D.

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR – RE 184804

**PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR
LIMBAH DAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR
LIMBAH DOMESTIK DI KELURAHAN PEGIRIAN
DAN KELURAHAN WONOKUSUMO, KOTA
SURABAYA**

YOGIE RANTETODING SUMULE
0321144000051

DOSEN PEMBIMBING:
BIEBY VOIJANT TANGAHU, ST., MT., Ph.D.

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2019



FINAL PROJECT - RE 184804

**PLANNING OF SEWERAGE SYSTEM AND
DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT PLANT
IN PEGIRIAN AND WONOKUSUMO, SURABAYA**

YOGIE RANTETODING SUMULE
0321144000051

ADVISOR

BIEBY VOIJANT TANGAHU, ST., MT., Ph.D.

Department of Environmental Engineering
Faculty of Civil Environmental and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya, 2019

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH DAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK DI KELURAHAN PEGIRIAN DAN KELURAHAN WONOKUSUMO, KOTA SURABAYA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memenuhi Gelar
Sarjana Teknik

Pada

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

Oleh:

YOGIE RANTETODING SUMULE
NRP. 0321144000051

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Bleby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19710818 199703 2 001



PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH DAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK DI KELURAHAN PEGIRIAN DAN KELURAHAN WONOKUSUMO, KOTA SURABAYA

Nama Mahasiswa : Yogie Rantetoding Sumule
NRP : 0321144000051
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo merupakan wilayah Kota Surabaya yang memiliki risiko sanitasi lingkungan yang tinggi dengan skor 4. Faktor yang menjadi penyebab tingginya risiko sanitasi adalah buangan air limbah domestik yang langsung dibuang ke saluran drainase tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut diantaranya dengan upaya mendukung bidang sanitasi lingkungan dengan mengolah limbah domestik sesuai dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs) dan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015-2019 bidang cipta karya yakni 100% akses air minum, 0% kawasan permukiman kumuh, 100% akses sanitasi layak.

Daerah perencanaan adalah penduduk Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo dengan terlayani SPAL dan IPAL yaitu 46.732 jiwa. Desain SPAL yang digunakan adalah shallow sewer terbagi menjadi zona-zona pelayanan dengan perlintasan pipa untuk menyalurkan *greywater* dan efluen tangki septik. Sistem *shallow sewer* dipilih karena sangat cocok digunakan pada daerah dengan kepadatan penduduk tinggi dan elevasi muka tanah yang landai. Dari beberapa alternatif teknologi tersebut akan dilakukan analisis agar dapat ditentukan alternatif teknologi yang sesuai dengan daerah perencanaan. Teknologi IPAL yang digunakan dalam perencanaan ini adalah *grease trap*, *anaerobic baffled reactor*, *anaerobic filter*, *aerobic biofilter*, dan desinfeksi. Baku mutu yang digunakan dalam perencanaan ini

adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.68 Tahun 2016 tentang Air Limbah Domestik dan Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013.

Metode perencanaan dimulai dengan melakukan studi literatur terkait topik perencanaan. Pengumpulan data terdiri data primer dan data sekunder yang diperoleh melalui survei lapangan, peraturan pemerintah, peta administrasi wilayah perencanaan, dan peta topografi. Kualitas influen yang diolah adalah TSS 279 mg/L, COD 479 mg/L, BOD₅ 243 mg/L, minyak dan lemak 30 mg/L, amonia 13 mg/L, dan total coliform 180 x 10⁶ MPN/100 mL. Penggambaran detail kemudian dibuat sebagai visualisasi *Engineering Design* untuk memudahkan perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ). Dari BOQ tersebut kemudian dibuat perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) perencanaan SPAL dan IPAL di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo, Kecamatan Semampir, Kota Surabaya. Anggaran biaya investasi yang dibutuhkan untuk pembangunan SPAL sebesar Rp 45.927.389.500 dan biaya investasi IPAL sebesar Rp 27.284.691.000 dan biaya investasi per sambungan rumah sebesar Rp 7.834.000.

Kata kunci: *Aerobic, anaerobic, IPAL, limbah domestik, shallow sewer*

PLANNING OF SEWERAGE SYSTEM AND DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT PLANT IN PEGIRIAN AND WONOKUSUMO, SURABAYA

Name : Yogie Rantetoding Sumule
NRP : 03211440000051
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

Pegirian and Wonokusumo is an area of Surabaya city that has a high risk of environmental sanitation with a score of 4. The factor that is the cause of high sanitation risk is the domestic wastewater that is directly discharged into the drainage channel without going through the processing process first. Various efforts have been made to overcome these problems including with efforts to support the field of environmental sanitation by processing domestic waste in accordance with the Sustainable Development Goals (SDGs) and the medium-term development plan National (RPJMN) 2015-2019 field of work is 100% water access, 0% slum area, 100% access to decent sanitation.

Planning area is a resident of Pegirian village and village Wonokusumo with served SPAL and IPAL of 46,732 inhabitants. The SPAL design used is shallow sewer divided into service zones with pipe crossing to transmit greywater and effluent septic tanks. The shallow sewer system is chosen because it is suitable for use in areas with high population density and ramps elevation of land. From some of these technological alternatives will be conducted analysis in order to be determined technology alternatives that fit the planning area. The IPAL technology used in this planning is grease trap, anaerobic baffled reactor, anaerobic filter, aerobic biofilter, and disinfection. The quality standards used in this planning are regulation of the Minister of Environment No. 68/2016 on domestic wastewater and East Java Governor Regulation No. 72/2013.

The planning method begins with conducting a literature study related to the planning topic. Data collection comprises primary data and secondary data obtained through field surveys,

government regulations, planning area administration maps, and topographical maps. The quality of the processed influent is TSS 279 mg/L, COD 479 mg/L, BOD₅ 243 mg/L, oil and grease 30 mg/L, ammonia 13 mg/L, and a total coliform 180 x 10⁶ MPN/100 mL. Detailed depictions are then created as visualization Engineering Design to facilitate the calculation of Bill of Quantity (BOQ). From the BOQ was then made calculation of the budget plan (RAB) planning of SPAL and IPAL in village Pegirian and Kelurahan Wonokusumo, subdistrict Semampir, city of Surabaya. The budget of investment costs required for the development of SPAL amounted to Rp 45,927,389,500 and the investment fee of IPAL amounted to Rp 27,284,691,000 and investment costs per home connection of Rp 7,834,000.

Key words: *Aerobic, anaerobic, IPAL, limbah domestic, shallow sewer*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan anugerah-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul “Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik Di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo, Kota Surabaya” dapat berjalan dengan lancar. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi tugas mata kuliah Tugas Akhir dan meningkatkan kemampuan pemahaman bidang teknik lingkungan. Dalam penyusunan laporan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D, selaku dosen pembimbing tugas akhir. Saya mengucapkan terimakasih atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan.
2. Bapak Welly Herumurti, ST.,M.Sc., Bapak Alfan Purnomo, ST., MT., dan Bapak Dr. Ir. Rachmat Boedisantoso, MT., selaku dosen penguji. Saya mengucapkan terimakasih atas segala saran serta masukan yang diberikan kepada penulis.
3. Orang tua penulis yang telah memberikan semangat, doa serta motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Amelia Nurfitri Fadlilah yang telah memberikan motivasi, doa, dan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis Laporan Tugas Akhir ini telah diupayakan sebaik baiknya, namun masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna hasil yang lebih baik.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Perencanaan.....	3
1.4 Ruang Lingkup	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sanitasi	5
2.2 Air Limbah Domestik	6
2.3 Baku Mutu Air Limbah Domestik	10
2.4 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik	12
2.5 Debit Air Limbah.....	14
2.6 Sistem Penyaluran Air Limbah	16
2.6.1 Sistem Penyaluran <i>Shallow Sewer</i>	19
2.6.2 Sistem Perpipaan	21
2.6.3 Bahan Perpipaan	21
2.7 Teknologi Pengolahan.....	22
2.7.1 <i>Grease Trap</i>	23
2.7.2 Bak Ekualisasi	23

2.7.3	<i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i>	24
2.7.4	<i>Anaerobic Filter (AF)</i>	29
2.7.5	<i>Biofilter Anaerobik - Aerobik</i>	31
2.7.6	<i>Constructed Wetland</i>	32
2.7.7	<i>Biofilter Aerobik</i>	34
2.8	Metode Pengambilan Contoh Air Limbah	35
BAB 3 GAMBARAN UMUM PERENCANAAN		37
3.1	Gambaran Umum Wilayah Perencanaan	37
3.2	Kondisi Sanitasi Wilayah Perencanaan	40
3.3	Lokasi Perencanaan IPAL	41
BAB 4 METODE PERENCANAAN		43
4.1	Gambaran Umum Perencanaan.....	43
4.2	Kerangka Perencanaan.....	43
4.3	Tahapan Perencanaan.....	46
BAB 5 ANALISIS HASIL SURVEI		51
5.1	Kuisisioner	51
5.2	Sarana Sanitasi	52
5.3	Pembahasan Hasil Kuisisioner	54
BAB 6 PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH		55
6.1	Area Pelayanan.....	55
6.2	Proyeksi Penduduk	56
6.3	Debit Air Limbah SPAL.....	63
6.4	Pembebanan SPAL.....	70
6.5	Dimensi Pipa SPAL	75
6.6	Penanaman Pipa SPAL.....	79

6.7	Bangunan Pelengkap	81
6.7.1	<i>Manhole</i>	81
6.7.2	Bak Kontrol.....	82
6.8	Profil Hidrolis	82
BAB 7 PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR		
LIMBAH DOMESTIK.....		
7.1	Debit Air Limbah di IPAL	85
7.2	Karakteristik Air Limbah Domestik.....	86
7.3	Alternatif Pengolahan Air Limbah Domestik	88
7.4	Sumur Pengumpul.....	96
7.4.1	Dimensi Sumur Pengumpul.....	99
7.4.2	<i>Bar Screen</i>	100
7.4.3	Pompa pada Sumur Pengumpul.....	100
7.5	Bak Distribusi	102
7.6	<i>Grease Trap</i>	103
7.7	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	103
7.8	<i>Anaerobic Filter</i>	116
7.9	<i>Aerobic Biofilter</i>	122
7.10	Desinfeksi.....	137
7.11	Luas IPAL.....	143
BAB 8 BILL OF QUANTITY (BOQ) DAN RENCANA		
ANGGARAN BIAYA (RAB)		
8.1	BOQ SPAL	146
8.1.1	BOQ Perpipaan	146
8.1.2	BOQ Galian dan Urugan	148
8.1.3	<i>Manhole</i>	151

8.1.4	Bak Kontrol.....	151
8.1.5	Pembongkaran untuk Penyambungan Bak Kontrol dengan Sambungan Rumah.....	152
8.2	BOQ IPAL.....	152
8.2.1	Sumur Pengumpul.....	152
8.2.2	Bak Distribusi	154
8.2.3	Bak Penyeduh Kaporit.....	157
8.2.4	Bak Kontak.....	159
8.2.4	Bak Pembubuh Kaporit.....	161
8.2.5	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i> dan <i>Anaerobic Filter</i>	162
8.2.6	<i>Aerobic Biofilter</i>	166
8.3	RAB SPAL.....	168
8.4	RAB Bangunan Pelengkap.....	169
8.5	RAB IPAL	171
8.5.1	RAB Sumur Pengumpul, Bak Distribusi, Bak Penyeduh Kaporit, Bak Pembubuh Kaporit dan Bak Kontak	171
8.5.2	RAB ABR dan AF	174
8.5.3	RAB <i>Aerobic Biofilter</i>	176
8.6	Total RAB SPAL dan IPAL	177
BAB 9 KESIMPULAN & SARAN		181
9.1	Kesimpulan.....	181
9.2	Saran.....	181
DAFTAR PUSTAKA		183
BIOGRAFI PENULIS		187
LAMPIRAN		189

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tahapan Pemilihan SPALD	14
Gambar 2. 2 Peak Faktor	16
Gambar 2. 3 <i>Geometric and Hydraulic Ratios for Circular Cross Section</i>	20
Gambar 2. 4 Bak Ekualisasi	24
Gambar 2. 5 Tipikal <i>Removal</i> BOD dan TSS	26
Gambar 2. 6 Hubungan BOD <i>Removal</i> dengan OLR.....	27
Gambar 2. 7 Hubungan <i>Wastewater Strength</i> dengan BOD <i>Removal</i>	27
Gambar 2. 8 Hubungan Temperatur dengan BOD <i>Removal</i>	28
Gambar 2. 9 Hubungan Jumlah Kompartemen dengan BOD <i>Removal</i>	28
Gambar 2. 10 Hubungan HRT dengan BOD <i>Removal</i>	28
Gambar 2. 11 Hubungan COD <i>Removal</i> dengan BOD <i>Removal</i>	29
Gambar 2. 12 Hubungan HRT dengan BOD <i>Removal</i>	30
Gambar 2. 13 Hubungan BOD <i>Removal</i> dengan COD <i>Removal</i>	31
Gambar 3. 1 Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Surabaya 2014-2034 (Perda 12 Tahun 2014)	38
Gambar 3. 2 Batas Wilayah Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo (Gambar Tanpa Skala).....	39
Gambar 3. 3 Kondisi Eksisting Penyaluran Air Limbah	40
Gambar 3. 4 Lokasi Perencanaan IPAL Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo	41
Gambar 5. 1 Sumber Air Bersih Warga Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo	52
Gambar 5. 2 Kepemilikan Jamban di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo	53
Gambar 5. 3 Pengurusan Septik Tank di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo	53
Gambar 6. 1 Garis Linear Metode <i>Least Square</i> Kelurahan Pegirian.....	61

Gambar 6. 2	Garis Linear Metode <i>Least Square</i> Kelurahan Wonokusumo.....	62
Gambar 6. 3	Faktor Puncak	69
Gambar 6. 4	<i>Hydraulic Elements for Circular Sewer</i>	76
Gambar 6. 5	<i>Hydraulic Elements for Circular Sewer</i>	78
Gambar 7. 1	Hubungan Fluktuasi Debit Air Limbah dengan Waktu Periode	99
Gambar 7. 2	Hubungan Total Head dan Kapasitas Pompa	101
Gambar 7. 3	<i>Percent Removal</i> BOD dan TSS berdasarkan T_d	104
Gambar 7. 4	Penyisihan COD pada Bak Pengendap.....	105
Gambar 7. 5	<i>Mass Balance</i> BOD, TSS dan COD Setelah melewati Kompartemen I ABR.....	107
Gambar 7. 6	<i>BOD removal effect of organic overloading</i>	110
Gambar 7. 7	<i>BOD removal according to strength</i>	111
Gambar 7. 8	<i>BOD removal relative to temperature</i>	111
Gambar 7. 9	<i>BOD removal relative to number upflow chamber</i>	112
Gambar 7. 10	<i>BOD removal relative to HRT</i>	112
Gambar 7. 11	Efisiensi Penyisihan COD Terhadap Penyisihan BOD	113
Gambar 7. 12	<i>Mass Balance</i> BOD, TSS dan COD Setelah Melawati ABR	115
Gambar 7. 13	<i>Anaerobic Filter, COD Removal in Relation to HRT</i>	117
Gambar 7. 14	<i>Simplified Curve of Ratio Efficiency of BOD Removal to COD Removal</i>	118
Gambar 7. 15	<i>Mass Balance</i> BOD, TSS dan COD Setelah Melawati AF	120
Gambar 7. 16	<i>Disk Diffuser merk Purescience SID12</i>	129
Gambar 7. 17	Hubungan Densitas udara dengan Suhu dan Tekanan.....	134
Gambar 7. 18	<i>BLOWTAC Seri Rotary Vane Type Blower MRB-2800</i>	136
Gambar 7. 19	Efisiensi penurunan Total Koliform dengan Variasi Waktu Kontak dengan T_d	139
Gambar 8. 1	Tahap Penyusunan RAB	146

Gambar 8. 2	Galian Normal Pipa Penyalur Limbah.....	148
Gambar 8. 3	Bentuk Galian yang Direncanakan Sepanjang Saluran	149

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Tipikal Kuantitas dan Karakteristik Air Limbah Rumah Tangga	7
Tabel 2. 2	Karakteristik Air Limbah Domestik Kawasan Pemukiman di Surabaya	10
Tabel 2. 3	Baku Mutu Air Limbah Domestik Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 68 tahun 2016.....	11
Tabel 2.4	Baku Mutu Air Limbah Domestik Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013	11
Tabel 2.5	Baku Mutu Air Limbah Domestik Terpilih.....	12
Tabel 2. 6	Kebutuhan Air Bersih Berdasarkan Kategori Kota...	15
Tabel 2. 7	Jarak Antar Manhole pada Jalur Lurus.....	17
Tabel 2. 8	Kriteria Perencanaan Sistem Penyaluran <i>Shallow Sewer</i>	19
Tabel 2. 9	Perbandingan Pengolahan secara Anaerobik dan Aerobik.....	22
Tabel 2. 10	Kriteria Desain <i>Constructed Wetland</i>	33
Tabel 2. 11	Karakteristik Tipikal Media Untuk <i>Sub-Surface Flow System</i>	33
Tabel 6. 1	Persentase Pelayanan	55
Tabel 6. 2	Data Penduduk Kelurahan Pegirian	56
Tabel 6. 3	Data Penduduk Kelurahan Wonokusumo.....	56
Tabel 6. 4	Persentase Pertumbuhan Penduduk Kelurahan Pegirian.....	57
Tabel 6. 5	Persentase Pertumbuhan Penduduk Kelurahan Wonokusumo	57
Tabel 6. 6	Nilai Korelasi Metode Aritmatika Kelurahan Pegirian.....	58
Tabel 6. 7	Nilai Korelasi Metode Geometrik Kelurahan Pegirian.....	59
Tabel 6. 8	Nilai Korelasi Metode <i>Least Square</i> Kelurahan Pegirian.....	59
Tabel 6. 9	Nilai Korelasi Metode Aritmatika Kelurahan Wonokusumo	60
Tabel 6. 10	Nilai Korelasi Metode Geometrik Kelurahan Wonokusumo	60

Tabel 6. 11 Nilai Korelasi Metode <i>Least Square</i> Kelurahan Wonokusumo	60
Tabel 6. 12 Hasil Proyeksi Penduduk Kelurahan Pegirian	62
Tabel 6. 13 Hasil Proyeksi Penduduk Kelurahan Wonokusumo.	63
Tabel 6. 14 Pemakaian Air Bersih di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo	64
Tabel 6. 15 Perhitungan Debit Air Limbah rata-rata	68
Tabel 6. 16 Perhitungan Debit Peak dan Debit Minimum	69
Tabel 6. 17 Perhitungan Pembebanan Pipa.....	70
Tabel 6. 18 Perhitungan Debit Infiltrasi.....	72
Tabel 6. 19 Debit Total	74
Tabel 6. 20 Kecepatan Pengaliran Pipa Minimal Saat <i>Full Flow</i>	75
Tabel 6. 21 Jarak Antar <i>Manhole</i>	81
Tabel 6. 22 Jalur Profil Hidrolis Saluran M-IPAL	83
Tabel 7. 1 Karakteristik Air Limbah Domestik Kelurahan Pegirian Titik 1	86
Tabel 7. 2 Karakteristik Air Limbah Domestik Kelurahan Pegirian Titik 2	86
Tabel 7. 3 Karakteristik Air Limbah Domestik Kelurahan Wonokusumo Titik 3.....	87
Tabel 7. 4 Karakteristik Air Limbah Domestik Kelurahan Wonokusumo Titik 4.....	87
Tabel 7. 5 Karakteristik Rata-rata Air Limbah Domestik.....	88
Tabel 7. 6 Perbandingan Pengolahan Secara Aerob dan Anaerob.....	89
Tabel 7. 7 Alternatif Pengolahan	90
Tabel 7. 8 Efisiensi Removal Tiap Unit Pengolahan.....	91
Tabel 7. 9 Perhitungan Removal Alternatif 1	92
Tabel 7. 10 Perhitungan Removal Alternatif 2.....	93
Tabel 7. 11 Perhitungan Removal Alternatif 3.....	94
Tabel 7. 12 Kelebihan Alternatif	96
Tabel 7. 13 Debit Fluktuasi Air Limbah.....	97
Tabel 7. 14 Efisiensi Pengolahan dengan ABR.....	115
Tabel 7. 15 Efisiensi Pengolahan dengan AF.....	121
Tabel 7. 16 Penurunan Total Koliform dengan Waktu Kontak 10 menit	139
Tabel 7. 17 Kualitas <i>Effluent</i> Air Limbah.....	143

Tabel 8. 1 Rincian Jumlah Pipa.....	147
Tabel 8. 2 Standar Urugan Galian yang Diperkenankan	148
Tabel 8. 3 BOQ <i>Manhole</i>	151
Tabel 8. 4 RAB SPAL	168
Tabel 8. 5 HSPK Unit <i>Manhole</i> Tipikal	169
Tabel 8. 6 HSPK Unit Bak Kontrol Tipikal.....	169
Tabel 8. 7 Pembongkaran untuk Penyambungan Bak Kontrol dengan Sambungan Rumah.....	170
Tabel 8. 8 RAB Bangunan Pelengkap.....	171
Tabel 8. 9 RAB Sumur Pengumpul	172
Tabel 8. 10 RAB Bak Distribusi	172
Tabel 8. 11 RAB Bak Penyeduh Kaporit.....	173
Tabel 8. 12 RAB Bak Kontak.....	173
Tabel 8. 13 RAB Bak Pembubuh Kaporit	174
Tabel 8. 14 RAB ABR & AF	175
Tabel 8. 15 RAB <i>Aerobic Biofilter</i>	176
Tabel 8. 16 Total Biaya Investasi SPAL	178
Tabel 8. 17 Total Biaya Investasi IPAL.....	178
Tabel 8. 18 Total RAB	178

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk di Indonesia khususnya di kota-kota besar telah menimbulkan permasalahan sanitasi lingkungan yakni peningkatan jumlah air limbah domestik. Sanitasi lingkungan adalah status kesehatan suatu lingkungan yang mencakup perumahan, pembuangan kotoran, dan penyediaan air bersih. Isu sanitasi, khususnya sanitasi di perkotaan merupakan isu yang memiliki permasalahan yang kompleks, sanitasi lingkungan berperan besar dalam upaya meningkatkan derajat kehidupan dan kesehatan masyarakat, terutama pada masyarakat lapisan bawah. Sanitasi lingkungan terkait dengan peningkatan kebersihan dan pencegahan penyebaran penyakit yang berhubungan dengan aspek lingkungan. Beberapa aspek lingkungan yang berhubungan dengan sanitasi diantaranya penanganan air limbah rumah tangga yang berasal dari mandi, cuci, dan limbah tinja dari kakus (Notoadmojo, 2005). Kondisi sanitasi yang buruk akan berdampak negatif pada aspek kehidupan yaitu penurunan kualitas lingkungan, penurunan taraf kesehatan masyarakat, pencemaran sumber air minum, dan peningkatan jumlah pengidap diare (Kementerian Kesehatan, 2016). *Sustainable Development Goals (SDGs)* memiliki tujuan dalam bidang sanitasi, yaitu mengolah limbah rumah tangga yang diolah sesuai standar nasional (Hoelman dkk, 2015). Upaya pencapaian target Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJMN) 2015-2019 bidang Cipta Karya yakni 100 : 0 : 100, dimana 100% akses air minum, 0% kawasan permukiman kumuh, dan 100% akses sanitasi layak. Secara nasional pada tahun 2016, persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap sanitasi layak sebesar 67,80% (Kementerian Kesehatan, 2016).

Kota Surabaya sebagai salah satu kota di Jawa Timur yang telah melaksanakan program PPSP (Percepatan Pembangunan Sanitasi dan Permukiman) dari 154 kelurahan, terdapat 20 kelurahan atau 12,99% termasuk kategori kelurahan Berisiko Sangat Tinggi terhadap kesehatan lingkungan dan 11 kelurahan atau sebesar 55,00% berada pada kelurahan di Surabaya Utara (EHRA, 2015). Berdasarkan Studi EHRA kelurahan di Wilayah

Surabaya Utara perlu mendapatkan perhatian dan prioritas dari Pemerintah Kota Surabaya dalam pembangunan program dan kegiatan yang terkait dengan sanitasi. Kelurahan Pegirian memiliki jumlah penduduk sebesar 31.904 jiwa dengan tingkat kepadatan penduduk sebesar 79.760 jiwa/km² dan Kelurahan Wonokusumo memiliki jumlah penduduk sebesar 61.560 jiwa dengan tingkat kepadatan penduduk sebesar 81.000 jiwa/km² menjadi wilayah di Surabaya yang termasuk Berisiko Sangat Tinggi dengan skor 4. Kebiasaan masyarakat membuang air bekas cucian ke saluran drainase maupun badan air secara langsung, tidak memiliki tangki septik, dan memiliki tangki septik yang tidak kedap menjadi sumber pencemaran air limbah domestik. Sebagai kota yang memanfaatkan air sungai sebagai air baku air minum, hal ini sangat merugikan karena setiap penambahan beban BOD sebesar 1 mg/L akan menyebabkan kenaikan biaya pengolahan sebesar Rp 9,17/m³ (Kementrian PU, 2013). Tidak hanya itu, sanitasi perkotaan yang tidak dikelola dengan baik juga akan membawa dampak negatif bagi kesehatan, buruknya sanitasi perkotaan dapat menyebabkan munculnya berbagai macam penyakit terutama diare dan demam berdarah (Cahyani dan Rahmawati, 2015). Perencanaan sistem penyaluran dan pengolahan air limbah di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo sesuai dengan Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 12 Tahun 2016 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Air Limbah yang memiliki tujuan pengendalian air limbah dilakukan untuk menjamin kualitas air agar sesuai dengan baku mutu air melalui upaya pencegahan dan penanggulangan pencemaran air serta pemulihan kualitas air dengan menetapkan Rencana Induk Sistem Pengolahan Air Limbah. Sistem penyaluran air limbah yang digunakan yaitu jenis *shallow sewer* dikarenakan cocok dengan daerah kepadatan penduduk tinggi dan elevasi muka tanah yang landai dan teknologi pengolahan air limbah domestik yang digunakan akan disesuaikan dengan luas lahan yang tersedia dan efisiensi penyisihan polutan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari perencanaan ini adalah:

1. Limbah *greywater* masih dibuang pada saluran drainase.

2. Pencemaran air limbah tangki septik yang meresap ke tanah.
3. Tidak adanya instalasi pengolahan air limbah domestik di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo, Kecamatan Semampir, Kota Surabaya.

1.3 Tujuan Perencanaan

Tujuan dari perencanaan ini adalah:

1. Merencanakan sistem penyaluran air limbah (SPAL) domestik yang sesuai untuk permukiman di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo, Kecamatan Semampir, Kota Surabaya.
2. Merencanakan instalasi pengolahan air limbah (IPAL) domestik yang sesuai untuk permukiman di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo, Kecamatan Semampir, Kota Surabaya.
3. Menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) sistem penyaluran air limbah dan pengolahan air limbah domestik untuk permukiman di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo, Kecamatan Semampir, Kota Surabaya.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari perencanaan ini adalah:

1. Area perencanaan terletak di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo, Kecamatan Semampir, Kota Surabaya.
2. Air limbah yang diolah berupa *grey water* dan efluen tangki septik.
3. Parameter yang diolah adalah BOD, COD, TSS, pH, minyak dan lemak, ammonia, dan total coliform.
4. Aspek yang dibahas adalah aspek teknis dan aspek finansial.
5. Jenis penyaluran air limbah yang didesain adalah *shallow sewer*.
6. Perhitungan Bill of Quantity (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pembangunan SPAL dan IPAL mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya, Tahun 2018.

7. Baku mutu efluen mengacu pada SK Permen KLHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dan Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013.

1.5 Manfaat

Manfaat dari perencanaan ini adalah:

1. Memberikan solusi sistem pengolahan air limbah domestik melalui rekomendasi desain dan pembiayaan kepada pemerintah Kota Surabaya untuk wilayah permukiman di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo, Kecamatan Semampir, Kota Surabaya.
2. Memberikan pertimbangan mengenai target sanitasi akses universal 100 : 0 : 100 dalam mengurangi beban pencemaran lingkungan akibat air limbah domestik untuk wilayah permukiman di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo, Kecamatan Semampir, Kota Surabaya.
3. Memberikan referensi desain SPAL dan IPAL kepada masyarakat di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo, Kecamatan Semampir, Kota Surabaya tentang pengolahan air limbah domestik.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sanitasi

Sanitasi adalah sistem yang terdiri dari pengumpulan, transportasi, pengolahan, dan penimbunan limbah bagi keberlangsungan kesehatan lingkungan (UN-Habitat, 2014). Sanitasi didefinisikan sebagai suatu upaya membuang limbah cair domestik untuk menjamin lingkungan hidup sehat, baik dalam lingkup rumah tangga. Sanitasi terdiri atas tiga subsector diantaranya air limbah, persampahan, dan drainase (Soedjono dkk, 2010). Menurut Undang-Undang No. 17 Tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) mengamanatkan terpenuhinya kebutuhan dasar masyarakat melalui penyediaan akses air minum sebesar 100%, terwujudnya kota tanpa pemukiman kumuh, serta 100 % pemenuhan sanitasi layak yang dapat terwujud pada tahun 2020. Dalam pelaksanaannya terdapat tantangan pelaksanaan diantaranya cakupan layanan sanitasi nasional yang masih rendah sebesar 59,7%, tidak seluruh masyarakat dapat menikmati akses sanitasi yang layak (sekitar 70 juta jiwa penduduk Indonesia buang air besar sembarangan), rendahnya kesadaran masyarakat untuk berperilaku hidup sehat, daerah belum memiliki dokumen perencanaan sanitasi berkualitas, rendahnya peran daerah terkait mengelola sanitasi, kesulitan penyediaan lahan yang layak dan sesuai dengan ketentuan teknis pembangunan infrastruktur; dan manajemen asset yang masih rendah. Peningkatan akses penduduk terhadap sanitasi layak menjadi 100% pada tingkat kebutuhan dasar melalui strategi pembangunan sarana prasarana pengelolaan air limbah domestik, yaitu dengan penambahan infrastruktur air limbah sistem terpusat di 12 Kota/Kab, penambahan pengolahan air limbah komunal di 5.200 Kawasan, penambahan IPAL skala kawasan sebanyak 200 Kawasan, serta peningkatan pengelolaan lumpur tinja melalui pembangunan IPLT di 222 Kota/Kab. (Kementerian PUPR, 2015).

2.2 Air Limbah Domestik

Air limbah domestik adalah sisa air yang telah digunakan yang bersumber dari rumah tangga yang mengandung unsur-unsur pencemar (Mara, 2004). Definisi air limbah adalah kombinasi dari cairan dan sampah-sampah cair yang berasal dari pemukiman, perdagangan, perkantoran, dan industri bersama-sama dengan air tanah, air permukaan, dan air hujan yang mungkin ada (Metcalf dan Eddy, 2004). Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama (Kepmen LH, 2003). Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan/atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen, dan asrama (Peraturan Menteri PUPR, 2017). Sumber air limbah domestik berasal dari aktivitas rumah tangga kamar mandi, area mencuci, dan dapur. Air limbah dari dapur mengandung residu makanan, kadar minyak dan lemak tinggi, dan detergen pembersih makanan. Air limbah kamar mandi mengandung sabun, pencuci rambut, pasta gigi, dan produk pembersih lainnya. Air limbah area mencuci menghasilkan konsentrasi bahan kimia tinggi dari pencucian, padatan terlarut, dan lemak (Morel dan Diener, 2006). Limbah domestik sebagian besar bersumber dari WC, kamar mandi, cucian pakaian, dapur, ditambah limbah yang dihasilkan karena fungsi khusus, seperti kegiatan membersihkan di pasar atau restoran, sistem pendingin terpusat, dan lain-lain. Namun karakteristik dan kuantitas limbah seperti di hotel, kantor, dan tempat ibadah memiliki tingkat pencemaran berbeda-beda sehingga perlu pengolahan yang sesuai dengan tingkat pencemaran (Peraturan Menteri PUPR, 2013). Limbah cair rumah tangga diklasifikasikan sebagai limbah non kakus (*grey water*) dan limbah kakus (*black water*). *Black water* dihasilkan dari WC sebagai buangan (*user-interface*). Dalam rumah tangga miskin, limbah ini sering dibuang saja ke cubluk atau sebagian kecil ke tangki septik. *Black water* memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. Urin, mengandung nitrogen dan limbah lain. Dalam konteks ini, urin adalah air seni murni yang tidak tercampur tinja atau air,
- b. Tinja, tanpa urine dan air pembersih,

- c. Air pembersih anus, air hasil bersih tubuh setelah buang air besar dan/atau air kecil. Ini hanyalah air yang dihasilkan oleh pengguna untuk membersihkan anus dan tidak termasuk materi kering seperti kertas toilet/ tisu, dan lain-lain.
- d. Materi pembersih dan materi lainnya dapat berupa kertas toilet, tongkol jagung, kain lap, batu dan/atau materi kering lainnya yang dipakai untuk membersihkan anus (sebagai pengganti air). Tergantung kepada sistemnya, materi pembersih kering mungkin dibuang ke kloset atau dikumpulkan secara terpisah. Walau sangat penting, produk khusus untuk kebersihan seperti pembalut untuk haid tidak termasuk di sini.
- e. Air guyur, air tawar, air hujan, air limbah rumah tangga yang didaur ulang, atau kombinasi ketiganya air yang dipakai untuk menggelontor kotoran manusia dari jamban (*user-interface*).

Limbah non kakus (*grey water*) adalah air limbah yang dihasilkan dari air bekas mandi, mencuci pakaian, dan buangan cairan dari dapur. *Grey water* sekitar 60% dari air limbah yang dihasilkan oleh rumah tangga dengan WC guyur limbah non kakus sangat mudah terkontaminasi kotoran manusia. Selain itu, limbah non kakus mengandung material organik karena buangan yang berasal dari dapur. Material organik umumnya mudah terdegradasi secara alamiah (*easily biodegradable*) (Peraturan Menteri PUPR, 2013). Berikut tabel karakteristik air limbah rumah tangga pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Tipikal Kuantitas dan Karakteristik Air Limbah Rumah Tangga

Limbah	Q L/orang.hari	pH	BOD gr/orang.hari	TSS gr/orang.hari	Minyak dan Lemak (mg/L)
Tinja	0,15	7 - 7,5	14-33,5	30	-

Limbah	Q L/orang.hari	pH	BOD gr/orang.hari	TSS gr/orang.hari	Minyak dan Lemak (mg/L)
Air Kencing	1,25	7 (4,5 - 8)	5-6	20-60	-
Pembersih Anus	10,5	7	-	-	-
Air Guyur	12 – 48	7	-	-	-
Grey water	Rumah tipe A dan B 20–30	6,5– 8,4	20-50	10-30	Kamar Mandi 37-78 mg/L
	Tipe C dan D				Cucian Pakaian
	90–120				8–35 mg/L
					Dapur 1000 mg/L

Sumber: Kujawa, (2005) dan Morel dan Diener, (2006)

Air limbah memiliki karakteristik fisik, kimia dan biologi. Karakteristik air limbah sebagai berikut:

a. Kekeruhan

Kekeruhan dapat disebabkan oleh material organik atau anorganik, misalnya lumpur dan padatan pasir (KemenPU, 2013).

b. Warna

Warna merupakan indikasi adanya bahan-bahan tertentu di dalam air limbah. Hasil penelitian Kodoatie dan Sjarief (2005), menyatakan air limbah domestik segar biasanya berwarna abu-abu, sedangkan pada keadaan septik, telah mengalami dekomposisi, air limbah domestik akan berwarna hitam.

c. Bau dan rasa

Penyebab bau dan rasa dapat berupa hadirnya mikroorganisme seperti alga, adanya gas seperti H₂S dan

sebagainya. Dari segi estetika, air yang memiliki bau dipandang mengganggu (KemenPU, 2013).

- d. Temperatur
Temperatur air buangan sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur air biasa. Temperatur air buangan dipengaruhi oleh adanya aktivitas mikroba, kelarutan gas, dan viskositas (Qasim, 1985).
- e. Derajat pH
pH mengindikasikan bahawa air limbah domestik bersifat asam atau basa. Proses pengolahan dapat berjalan dengan efektif untuk mengurangi efek negatif yang dihasilkan, air limbah domestik berada pada rentang pH 6,5-8,4 (Morel dan Diener, 2006).
- f. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*
BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik yang terkandung dalam air limbah. BOD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba *aerob* untuk mengoksidasi bahan organik menjadi karbondioksida dan air (Effendi, 2003)
- g. *Chemical Oxygen Demand (COD)*
COD adalah jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik dalam 1 L sampel air, dimana pengoksidasi $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). COD merupakan pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan berkurangnya oksigen terlarut didalam air. Analisa COD berbeda dengan analisa BOD namun perbandingan antara angka COD dan angkat BOD dapat dihitung (Morel dan Diener, 2006).
- h. *Dissolved Oxygen (DO)*
DO berasal dari udara maupun proses fotosintesis yang dilakukan oleh tumbuhan air (Setiarini dan Mangkoediharjo, 2013). Menurut Nurhasanah (2009), DO penting dalam pengoperasian sistem saluran pembuangan maupun bangunan pengolahan limbah. Air bersih biasanya jenuh akan oksigen, namun dengan cepat akan berkurang apabila limbah organik ditambahkan ke dalamnya.

- i. Mikroorganisme
 Pengolahan air limbah secara biologis didefinisikan sebagai suatu proses yang melibatkan kegiatan mikroorganisme dalam air untuk melakukan transformasi senyawa-senyawa kimia menjadi bentuk atau senyawa lain. Mikroorganisme mengkonsumsi bahan-bahan organik membuat *biomassa* sel baru serta zat-zat organik dan memanfaatkan energi yang dihasilkan dari reaksi oksidasi untuk metabolismenya (Metcalf dan Eddy, 2004).
- j. Bahan anorganik lain
 Bahan anorganik dalam air limbah diantaranya Ag, Al, As, Ba, Br, Cd, Cl, Cr, Cu, F, Hg, H₂S, PO₄, Pb, Se, Zn, dan lain-lain (KemenPU, 2003). Menurut Kadariswan (2007), mengenai karakteristik air limbah domestik yang dilakukan di sebuah kawasan pemukiman di Surabaya didapatkan hasil seperti pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Karakteristik Air Limbah Domestik Kawasan Pemukiman di Surabaya

Parameter	Satuan	Konsentrasi
pH	-	6,7
TSS	mg/L	43,67
COD	mg/L O ₂	93,67
BOD	mg/L O ₂	45,33
N (Amonium)	mg/L NH ₃ -N	148,65
P (Phosphat)	mg/L PO ₄ -P	4,65
Total Coliform	MPN/100 mL	15,16 x 10 ⁶

Sumber : Kadariswan, (2007)

2.3 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Baku mutu air limbah domestik diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Baku mutu tersebut mensyaratkan batas maksimum untuk tiap parameter air limbah domestik seperti tercantum dalam Tabel 2.3. Sedangkan di Provinsi Jawa Timur memiliki baku mutu air limbah domestik yang

diatur dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan / atau Kegiatan Usaha Lainnya. Baku mutu tersebut mensyaratkan batas maksimum untuk tiap parameter air limbah domestik seperti tercantum dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Baku Mutu Air Limbah Domestik Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 68 tahun 2016

Parameter	Satuan	Baku Mutu
pH	-	6-9
TSS	mg/L	30
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Ammonia	mg/L	10
Total Coliform	MPN/100 mL	3000

Sumber: Permen LHK 68/2016

Tabel 2.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 tahun 2013

Parameter	Satuan	Baku Mutu
pH	-	6-9
TSS	mg/L	50
BOD ₅	mg/L	30
COD	mg/L	50
Minyak dan Lemak	mg/L	10

Sumber: Pergub Jatim 72/2013

Berdasarkan perbandingan kedua baku mutu diatas, baku mutu yang digunakan dalam perencanaan adalah baku mutu menggunakan Pergub Jatim 72/2013 dan parameter yang tidak terdapat pada Pergub Jatim 72/2013 menggunakan baku mutu

Permen LHK 68/2016 sehingga baku mutu air limbah domestik yang digunakan seperti tercantum dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Baku Mutu Air Limbah Domestik Terpilih

Parameter	Satuan	Baku Mutu
pH	-	6-9**
TSS	mg/L	50**
BOD	mg/L	30**
COD	mg/L	50**
Minyak dan Lemak	mg/L	10**
Ammonia	mg/L	10*
Total Coliform	MPN/100 mL	3000*

Sumber : * Permen LH Nomor 68 / 2016

** Pergub Jatim Nomor 72 / 2013

2.4 Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik

Menurut Peraturan Menteri PUPR No.4/2017, Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik (SPALD) adalah serangkaian kegiatan pengelolaan air limbah domestik dalam satu kesatuan dengan prasarana dan sarana pengelolaan air limbah domestik. SPALD terdiri dari dua sistem yaitu SPALD Setempat dan SPALD Terpusat. SPALD Setempat memiliki cakupan pelayanan sebesar 2 – 10 rumah sedangkan SPALD Terpusat memiliki cakupan pelayanan sebesar 50 – 20.000 jiwa. Berikut merupakan dasar pertimbangan perencanaan SPALD:

- a. **Kepadatan Penduduk**
Tingkat kepadatan penduduk dalam perencanaan SPALD yaitu 150 jiwa/Ha.
- b. **Kedalaman Muka Air Tanah**
Kedalaman muka air tanah digunakan sebagai kriteria dalam penetapan SPALD. Untuk muka air tanah lebih kecil dari 2 (dua) meter atau jika air tanah sudah tercemar, digunakan SPALD Terpusat.
- c. **Kemiringan Tanah**
Perencanaan jaringan pengumpulan air limbah domestik menyesuaikan dengan kemiringan tanah sama dengan atau

lebih dari 2%, sedangkan *shallow sewer* dan *small bore sewer* dapat digunakan pada berbagai kemiringan tanah.

d. Permeabilitas Tanah

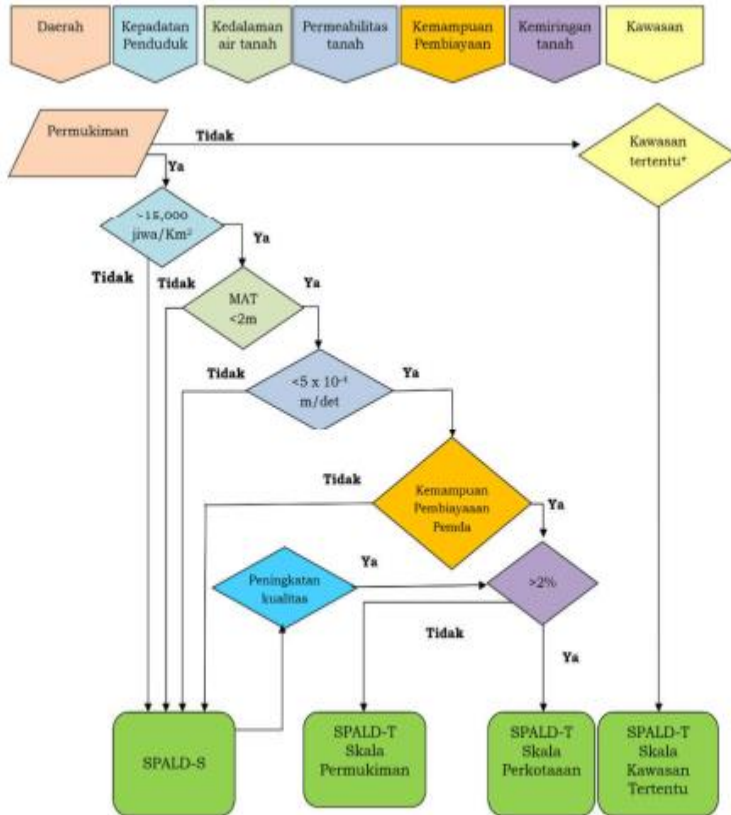
Permeabilitas tanah mempengaruhi penentuan jenis SPALD khususnya perencanaan sub-sistem Pengolahan Setempat (cubluk maupun tangki septik dengan bidang resapan). Untuk mengetahui besar kecilnya permeabilitas tanah dapat diperkirakan dengan memperhatikan jenis tanah dan angka infiltrasi tanah dan tes perkolasi tanah. Permeabilitas yang efektif yaitu 5×10^{-4} m/detik dengan jenis tanah pasir halus sampai dengan pasir yang mengandung lempung.

e. Kemampuan Pembiayaan

Kemampuan pembiayaan dapat mempengaruhi pemilihan jenis SPALD, terutama kemampuan Pemerintah Daerah dalam membiayai pengoperasian dan pemeliharaan SPALD-T.

Dasar pertimbangan yang utama dalam pemilihan teknologi SPALD yaitu kepadatan penduduk. Kepadatan penduduk >150 jiwa/Ha (15.000 jiwa/km²) dapat menerapkan sistem SPALD-T, sedangkan untuk kepadatan penduduk kurang dari 150 jiwa/Ha masih terdapat beberapa pertimbangan lainnya, seperti sumber air yang ada, kedalaman air tanah, permeabilitas tanah, kemiringan tanah, ketersediaan lahan, termasuk kemampuan membiayai. Sistem SPALD-S merupakan sistem pengelolaan air limbah yang dilakukan secara individu melalui pengolahan dan pembuangan air limbah domestik setempat. Sistem ini tidak cocok bagi daerah dengan kepadatan penduduk tinggi sehingga lahan yang tersedia sangat sempit, dan muka air tanah tinggi. Sistem SPALD-T merupakan sistem pembuangan air rumah tangga (mandi, cuci, dapur dan limbah kotoran) disalurkan keluar dari lokasi pekarangan masing-masing rumah ke saluran pengumpul air limbah dan selanjutnya disalurkan secara terpusat ke bangunan pengolahan air buangan sebelum dibuang ke badan air penerima. Sistem ini memiliki keuntungan hanya bisa dicapai sepenuhnya setelah selesai seluruhnya dan digunakan oleh seluruh penduduk di daerah tersebut. Sistem yang besar memerlukan perencanaan dan pelaksanaan jangka panjang dan memerlukan tenaga-tenaga terampil dan atau terdidik untuk menangani operasi dan pemeliharaan.

Berikut merupakan gambar diagram alir pemilihan jenis SPALD yang dapat dilihat pada Gambar 2.



* kawasan tertentu merupakan kawasan komersial, rumah susun, pertokoan,

Gambar 2. 1 Tahapan Pemilihan SPALD

Sumber : Permen PUPR no.4/2017

2.5 Debit Air Limbah

Debit air limbah dibagi menjadi 3 yaitu debit rata-rata air limbah (Q_{ave}), debit jam puncak air limbah (Q_{peak}), debit minimum air limbah (Q_{min}). Debit rata-rata air limbah dihasilkan dari jumlah rata-rata air limbah yang dihasilkan selama 24 jam

sesuai dengan data debit tahunan (Metcalf dan Eddy, 2004). Debit air limbah domestik secara umum ditentukan dari konsumsi air bersih dengan faktor 70 – 80% dari pemakaian air bersih (Metcalf dan Eddy, 2004). Sedangkan untuk penentuan kebutuhan air bersih per orang hari ditentukan melalui banyaknya penduduk dalam kota tersebut (KemenPU, 2013). Ketentuan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Kebutuhan Air Bersih Berdasarkan Kategori Kota

Uraian	Kategori Kota Berdasarkan Jumlah Jiwa				
	>1.000.000	500.000 s/d 1.000.000	100.000 s/d 500.000	20.000 s/d 100.000	<20.000
	Metro	Besar	Sedang	Kecil	Desa
Konsumsi unit sambungan rumah (SR) L/org/h.	190	170	130	100	80
Konsumsi unit hidran umum (HU) L/org/h.	30	30	30	30	30
Konsumsi unit non domestik L/org/h (%).	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30	20 - 30

Sumber: KemenPU, 2013

Berikut merupakan formula penentuan debit air limbah rata-rata:

$$Q_{ave} = Q_w \times (70 - 80\%) \dots \dots \dots (2.1)$$

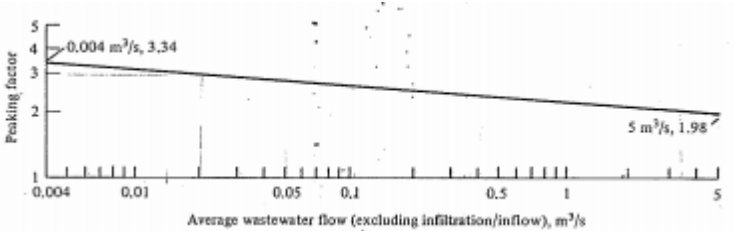
Dimana:

Q_{ave} = Debit air limbah (L/orang.hari)

Q_w = Debit rata-rata penggunaan air bersih (L/orang.hari)

Debit penggunaan air bersih untuk rumah tangga, bangunan umum, dan institusional akan mengalir sebagai air limbah. Kehilangan ini terjadi karena adanya evaporasi, penyiraman dan tanaman. Debit air limbah rata-rata harian merupakan jumlah dari debit air limbah domestik dan debit air limbah non domestik. Debit

puncak didapat dari hasil perkalian antara faktor puncak dengan debit rata-rata. Faktor puncak untuk menghitung Q_{peak} didapatkan dari grafik *peak* faktor berikut ini.



Gambar 2. 2 Peak Faktor

Sumber : Metcalf dan Eddy, 2004

Berikut merupakan formula penentuan debit puncak air limbah domestik:

Debit puncak

$$Q_{peak} = f_{peak} \times Q_{ave} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

Q_{peak} = debit air limbah puncak (L/detik)

f_{peak} = faktor puncak

Q_{ave} = debit air limbah rata (L/detik)

Menurut Metcalf dan Eddy (2004), Q_{min} berguna dalam penentuan ukuran saluran untuk menghindari terjadinya pengendapan *solid* dalam pipa. Debit minimum adalah debit air buangan pada saat pemakaian air minimum. Debit minimum juga dapat digunakan untuk menentukan kedalaman minimum, untuk menentukan perlu tidaknya penggelontoran (Qasim, 1985). Berikut merupakan rumus penentuan Q_{min} :

$$Q_{min} = 1/5 \times (P/1000)^{1.2} \times Q_{ave} \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana: Q_{min} = debit air limbah minimum (L/det)

Q_{ave} = debit air limbah rata-rata (L/det)

P = jumlah penduduk

2.6 Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL)

Menurut Metcalf dan Eddy (2004), mengklasifikasikan system penyaluran air limbah menjadi 3 tipe yaitu *sanitary* atau saluran terpisah, *storm-water*, dan gabungan. Syarat-syarat

penyaluran air limbah menurut Permen PUPR no.4/2017 yang harus diperhatikan dalam perencanaan jaringan saluran air limbah, antara lain:

1. Pengairan secara gravitasi.
2. Batasan kecepatan minimum dan maksimum harus diperhatikan. Kecepatan minimum untuk memungkinkan terjadi *self cleansing*, sehingga bahan padatan yang terdapat didalam saluran tidak mengendap di dasar pipa dan agar tidak mengakibatkan penyumbatan. Sedangkan kecepatan maksimum mencegah pengikisan pipa oleh bahan-bahan padat yang terdapat di dalam saluran.
3. Jarak antara *manhole* pada perpipaan mengurangi akumulasi gas dan memudahkan pemeliharaan saluran. Lokasi penempatan *manhole* sebagai berikut.
 - a. Pada jalur saluran yang lurus, dengan jarak tertentu tergantung diameter saluran, seperti pada Tabel 2.7, tapi perlu disesuaikan juga terhadap panjang peralatan pembersih yang akan dipakai.
 - b. Pada setiap perubahan kemiringan saluran, perubahan diameter, dan perubahan arah aliran, baik vertikal maupun horizontal.
 - c. Dimensi manhole minimal yaitu 50 cmx 50 cm atau diameter 60 cm.
 - d. Pada lokasi sambungan, persilangan atau percabangan (*intersection*) dengan pipa atau bangunan lain.

Tabel 2. 7 Jarak Antar Manhole pada Jalur Lurus

Diameter (mm)	Jarak antar Manhole (m)
20-50	50-75
50-75	75-125
100-150	125-150
150-200	150-200
1000	100-150

Sumber: Permen PUPR No.4/2017

4. Bangunan penggelontor ditempatkan setiap garis pipa dimana kecepatan pembersihan (*self cleansing*) tidak

tercapai akibat kemiringan tanah/ pipa yang terlalu landai atau kurangnya kapasitas aliran.

5. Stasiun pompa sebagai stasiun angkat (*lift station*), dipasang pada setiap jarak tertentu pada jaringan perpipaan yang sudah cukup dalam agar air tetap dapat mengalir. Pompa merupakan suatu alat yang digunakan untuk memindahkan zat cair dari permukaan yang rendah ke permukaan yang lebih tinggi. Dalam perencanaan SPAL biasanya digunakan pompa *submersible*, pompa *submersible* adalah sebuah pompa yang dirancang khusus, dimana motor dan komponen-komponen lainnya tertutup rapat, karena pada penggunaannya nanti seluruh permukaan pompa ini akan terendam ke dalam cairan. Pompa ini diletakkan di dalam cairan dan mendorong cairan melalui pipa-pipa salurannya (Siloker, 2013). Berikut merupakan rumus yang digunakan dalam menghitung *head* pompa

Head pompa = *head* statis + *head* sistem + *head* sisa tekan

Dimana:

Head statis = jarak dari muka air sampai pipa tertinggi (m)

Head sistem = *headlosses* mayor dan minor (m)

Head sisa tekan = sisa tekan yang dibutuhkan agar sesuai kebutuhan (m)

$$\text{Head sistem} = \text{Mayor losses} + \text{minor losses} + \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$H_f \text{ mayor} = \left[\frac{Q}{0,00155 \cdot c \cdot D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L \dots \dots \dots (2.5)$$

$$H_f \text{ minor} = n \times K \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (2.6)$$

- Dimana:
- Q = debit air limbah (L/det)
 - c = koefisien kekasaran pipa
 - D = diameter pipa (cm)
 - L = panjang pipa (m)
 - K = poefisien asesoris pipa
 - n = jumlah asesoris pipa
 - v = kecepatan aliran air dalam pipa (m/det)
 - v = kecepatan gravitasi (m/det²)

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam sistem penyaluran air limbah menurut Metcalf dan Eddy (2004) antara lain:

1. Konstanta Manning = 0,013 (saluran yang sudah ada dan terbangun dengan baik)
= 0,015 (saluran baru)
2. Kecepatan minimum = 0,6 m/detik
3. Kecepatan maksimum = 2,5 – 3,0 m/detik

2.6.1 Sistem Penyaluran *Shallow Sewer*

Menurut Permen PUPR No.4/2017, sistem penyaluran *shallow sewer* menyalurkan air limbah skala kecil, dengan kemiringan pipa yang lebih landai. Perpipaan air limbah domestik dangkal tergantung pada pembilasan air limbah untuk mengangkut buangan padat jika dibandingkan dengan cara konvensional yang mengandalkan *self cleansing*. Sistem penyaluran *shallow sewer* ini dipertimbangkan untuk daerah perkampungan dengan kepadatan penduduk tinggi yang sebagian besar penduduknya sudah memiliki suplai air bersih dan kamar mandi pribadi. Sistem ini melayani air limbah domestik dari kamar mandi, cucian, pipa servis, pipa lateral serta dilengkapi dengan pengolahan air limbah. Berikut merupakan kriteria perencanaan sistem penyaluran *shallow sewer* dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Kriteria Perencanaan Sistem Penyaluran *Shallow Sewer*

Parameter	Keterangan
Kepadatan Penduduk	>15.000 jiwa/Km ²
Suplai air bersih	>60%
Muka air tanah	<1,5 m
Kemiringan tanah	<2% (± 1%)
Diameter basah maksimum	0,8 diameter pipa
Diameter basah minimum	0,2 diameter pipa
Kemiringan hidrolis	0,006
Kedalaman pipa minimum	0,4 m

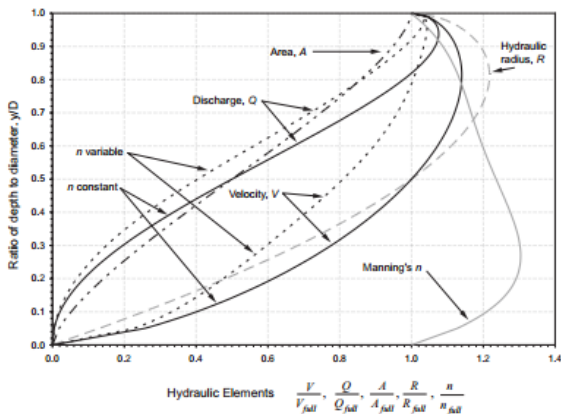
Sumber: Permen PUPR no.4/2017

Pada perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah harus ditentukan diameter pipanya dengan menggunakan Rumus Manning sebagai berikut:

$$v = 1/n \times R^{2/3} \times S^{1/2} \dots\dots\dots (2.7)$$

- dimana: v = kecepatan aliran air dalam pipa (m/det)
 n = koefisien kekasaran manning
 R = jari-jari hidraulik (m)
 S = slope pipa

Kecepatan ini didasarkan pada kemampuan pengaliran untuk memberikan daya pembilasan sendiri saluran tersebut terhadap endapan-endapan untuk menghindari terjadinya proses pembusukan air limbah. Pada perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah juga harus ditentukan tinggi muka air pada pipa SPAL saat debit maksimum dan saat debit minimum. Saat debit maksimum tinggi renang maksimum (d/D) maksimal 80% dari diameter pipa sedangkan debit minimum tinggi renang minimum (d/D) minimal 20% dari diameter pipa (Kementrian PUPR, 2017), penentuannya melalui grafik berikut ini



Gambar 2. 3 Geometric and Hydraulic Ratios for Circular Cross Section

Sumber: Systems, (2007)

Persamaan debit penuh dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$Q_{full} = 0,312/n \times D^{2,667} \times S^{0,5} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

Q_{full} = debit pipa saat keadaan penuh (m^3/s)

n = koefisien manning

D = diameter (m)

S = slope pipa

2.6.2 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan pada pengaliran air limbah komunal berfungsi untuk membawa air limbah beberapa rumah ketempat pengolahan air limbah agar tidak terjadi pencemaran pada lingkungan sekitarnya (KemenPU, 2013). Perpipaan sistem penyaluran air limbah menurut fungsinya sebagai berikut:

1. Pipa persil, yaitu pipa saluran yang umumnya terletak didalam pekarangan rumah dan langsung menerima air buangan dari dapur atau kamar mandi/wc.
Dimensi pipa = 3" – 4"
Kemiringan = 1% - 2%
2. Pipa servis yaitu pipa saluran yang menampung air buangan dari pipa-pipa persil dan terletak di jalan didepan rumah.
Dimensi pipa = 4" – 6"
Kemiringan = 1% - 2%
3. Pipa lateral, yaitu pipa saluran yang menerima air buangan dari pipa-pipa servis.
Dimensi pipa = 4" – 6"
Kemiringan = 1% - 2%
4. Pipa induk pipa air buangan yang menerima air buangan dari pipa lateral. Pipa ini langsung terhubung ke instalasi pengolahan air limbah.
Dimensi pipa = 6" – 8"
Kemiringan = 0,4% - 1%

2.6.3 Bahan Perpipaan

Menurut KemenPU (2013), pipa yang umum digunakan untuk penyaluran air limbah komunal antara lain:

1. Pipa SNI khusus air limbah, dalam kondisi khusus dapat digunakan pipa kelas AW. Pipa kelas D hanya boleh digunakan untuk pipa persil
2. PE (*polyethylene*) untuk daerah rawa atau persilangan di bawah air

3. Pipa galvanis untuk kondisi tertentu atas rekomendasi DPIU.

2.7 Teknologi Pengolahan

Pada awalnya air limbah domestik digunakan untuk irigasi bagi lahan perkebunan sampai pada abad ke-20 di Eropa Tengah, Amerika, dan beberapa negara lainnya tanpa menimbulkan masalah kesehatan dan efek pada lingkungan yang serius. Seiring berjalannya waktu, sistem seperti ini tidak dapat dengan mudah diterima karena membutuhkan area yang luas dan masalah kesehatan semakin meningkat sehingga dibuatlah sistem pengolahan air limbah modern yang lebih mempertimbangkan perbaikan sanitasi di masyarakat (Angelakis dan Snyder, 2015). Dalam hal ini alternatif pengolahan air limbah domestik dilakukan secara anaerobik dan aerobik. Salah satu keuntungan pengolahan air limbah secara anaerobik adalah volume reaktor yang dibutuhkan lebih besar dan volume lumpur yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan proses aerobik (Metcalf dan Eddy, 2004). Berikut merupakan tabel perbandingan pengolahan air limbah secara anaerobik dan aerobik dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Perbandingan Pengolahan secara Anaerobik dan Aerobik

Parameter	Aerobik	Anaerobik
Kebutuhan energi	Tinggi	Rendah
Tingkat pengolahan	60-90%	95%
Produksi lumpur	Tinggi	Rendah
Stabilitas proses terhadap <i>toxic</i>	Sedang sampai tinggi	Rendah sampai sedang
Kebutuhan nutrisi	Tinggi untuk beberapa limbah industri	Rendah
Bau	Tidak terlalu berpotensi menimbulkan bau	Berpotensi menimbulkan bau
Kebutuhan alkalinitas	Rendah	Tinggi untuk beberapa limbah industri
Produksi biogas	Tidak ada	ada
<i>start-up time</i>	2 – 4 minggu	2 – 4 bulan

Sumber: Eckenfelder, (1988)

2.7.1 Grease Trap

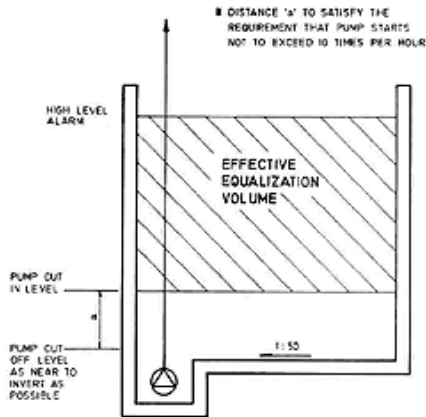
Grease trap berfungsi sebagai penangkap minyak dan lemak pada limbah dan mencegah terjadinya penggumpalan. Prinsip pemisahannya memanfaatkan sifat lemak atau minyak yang berat jenisnya lebih ringan dari air. *Grease trap* pada umumnya memiliki minimal dua kompartemen. Kompartemen pertama memiliki waktu detensi minimal 7 menit, sedangkan kompartemen kedua memiliki waktu detensi minimal 5 menit. Efisiensi yang dapat dihasilkan *grease trap* dalam menyisahkan minyak dan lemak dapat mencapai 95,8% dengan perlu dilakukannya perawatan dalam jangka waktu tertentu bergantung pada ukuran *grease trap* serta jumlah minyak dan lemak (Carrollton, 2012). Turbulensi harus dikurangi untuk menghindari suspensi minyak dan padatan (Morel dan Diener, 2006).

2.7.2 Bak Ekualisasi

Menurut Metcalf dan Eddy (2004), bak ekualisasi adalah suatu bak penampung air limbah agar debit air limbah yang diolah menjadi konstan. Bak ekualisasi bukan merupakan suatu proses pengolahan. Bak ekualisasi ini dimaksudkan untuk menangkap benda kasar yang mudah mengendap yang terkandung dalam air limbah. Penggunaan unit ekualisasi selalu ditempatkan pada awal proses pengolahan air sehingga dapat dicapai penurunan kekeruhan. Menurut Permen PUPR No.4/2017, perencanaan sumur pengumpul dilaksanakan berdasarkan kriteria desain yaitu waktu retensi air limbah domestik dalam sumur pengumpul yaitu tidak lebih dari 10 menit. Menurut Metcalf dan Eddy (2014), Kegunaan dari bak ekualisasi adalah:

1. Sebagai penampung air limbah, sehingga membuat air limbah yang masuk dari berbagai sumber (*toilet, wastafel*, dll.) dapat bercampur sehingga menghasilkan karakteristik air limbah yang bersifat homogen.
2. Menstabilkan debit yang masuk kedalam instalasi pengolahan air limbah akibat adanya variasi debit yang masuk.
3. Menstabilkan konsentrasi air limbah yang akan masuk ke dalam IPAL.

4. Meratakan variabel dan fluktuasi dari beban organik untuk menghindari *shock loading*.
 5. Membagi dan meratakan volume pasokan (influen).
- Berikut merupakan gambar bak ekualisasi:



Gambar 2. 4 Bak Ekualisasi
 Sumber: Metcalf dan Eddy, (2004)

2.7.3 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

ABR adalah reaktor yang didesain menggunakan *baffled* yang berseri untuk membuat air limbah yang mengandung polutan organik yang mengalir ke bawah dan ke atas melalui *baffle* seperti air limbah mengalir dari inlet menuju outlet. Sekat pada ABR berfungsi sebagai pengaduk untuk meningkatkan kontak antara air limbah domestik dan mikroorganisme. Menurut Götzenberger (2009), keuntungan penggunaan ABR antara lain:

- a. Konstruksi
 1. Desain yang mudah
 2. Tidak ada bagian yang bergerak dan tidak perlu pengadukan mekanis
 3. Tidak mahal untuk dibangun
 4. Volume kosong yang tinggi
 5. Clogging berkurang
 6. Ekspansi *sludge bed* berkurang
 7. Biaya modal dan operasi yang rendah
- b. Biomassa

1. Tidak membutuhkan alat pengendapan yang tidak lazim untuk biomassa
2. Menghasilkan sedikit lumpur
3. Waktu tinggal lumpur yang tinggi
4. Biomassa tidak memerlukan fixed media atau solid settling chamber untuk tinggal
5. Tidak memerlukan pemisahan gas atau lumpur yang spesial

c. Operasi

1. HRT rendah
2. Memungkinkan operasi berselang-seling
3. Sangat stabil pada *hydraulic shock loading*
4. Perlindungan dari material beracun pada influen
5. Waktu yang lama tanpa membuang lumpur
6. Stabilitas tinggi pada *organic shocks*

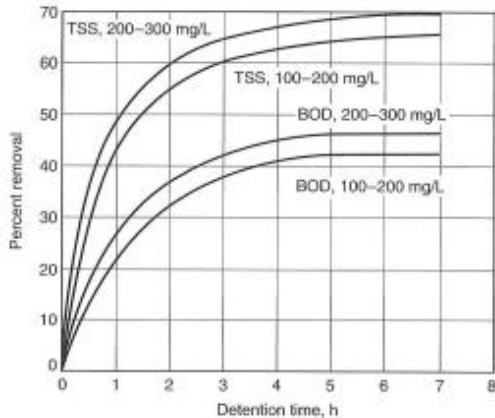
ABR cocok digunakan untuk mengolah berbagai jenis air limbah dengan konsentrasi BOD > 150 mg/L. Meskipun efisiensinya meningkat dengan penambahan beban organik yang lebih tinggi. ABR juga cocok untuk air limbah domestik. Peforma pengolahan mencapai rentan 65% hingga 90% untuk BOD *removal* (70% - 95% untuk COD *removal*) (Götzenberger, 2009). Kriteria desain untuk ABR menurut Götzenberger (2009) yaitu:

1. Kecepatan *up flow* = < 2 m/jam
2. Beban organik = < 3,0 kg COD/m³hari
3. *Hydraulic retention time* = 12 – 14 jam

Sedangkan menurut Metcalf dan Eddy (2014), kriteria desain untuk ABR meliputi:

1. Konsentrasi *volatile solids* = 2 – 10%
2. *Hydraulic retention time* = 6 – 24 jam
3. *Solid retention time* = > 30 hari
4. Beban organik = 5 – 10 kgCOD/m³hari

Persen removal TSS dan BOD pada kompartemen I atau zona pengendapan dapat diketahui dengan cara menentukan waktu detensi yang terjadi pada kompartemen I menggunakan grafik hubungan waktu detensi dengan efisiensi removal. Berikut merupakan gambar grafik yang disajikan pada Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Tipikal *Removal* BOD dan TSS
 Sumber: Metcalf dan Eddy, (2004)

Persamaan Perhitungan desain *Anaerobic Baffled Reactor* dapat dilihat pada langkah-langkah berikut :

> Waktu Tinggal Hidrolik (HRT)

$$HRT = V / Q \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana: HRT = Waktu tinggal hidrolik (hari)
 V = volume (m³)
 Q = Debit (m³/hari)

> *Organic Loading Rate* (OLR)

$$OLR = Q \times So / \text{volume} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana : Q = debit (m³/hari)
 So = Total COD inlet (mg/L)

> V_{up}

$$V_{up} = Q / (p \text{ satu kompartemen} \times l) \dots\dots\dots(2.11)$$

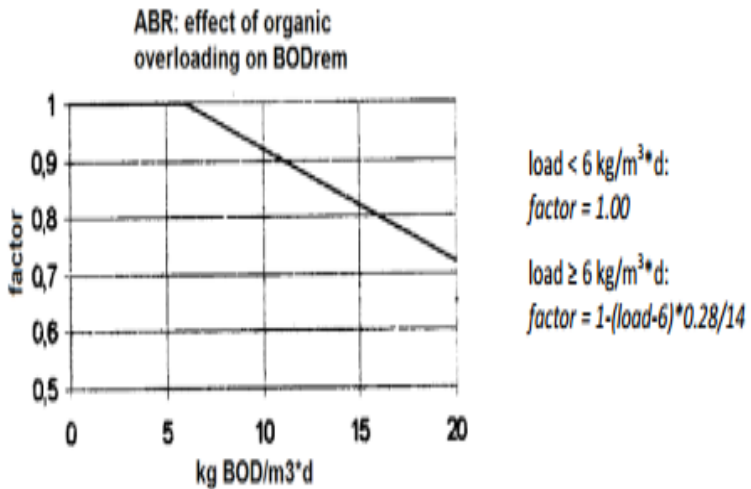
Dimana : P = panjang satu kompartemen (m)
 l = lebar satu kompartemen (m)

Kompartemen II

Kompartemen II dihitung berbeda pada kompartemen I dimana untuk mengetahui efisiensi BOD yang akan digunakan untuk mencari lumpur BOD. Perhitungan kompartemen II dimaksudkan agar perhitungan lumpur BOD dapat diketahui

jumlah dan konsentrasi yang dihasilkan selama proses penyisihan polutan organik maka digunakan beberapa parameter grafik diantaranya *Organic Loading Rate* (OLR), *BOD strength*, temperatur, jumlah kompartemen dan *Hidraulic Retention Time* (HRT). Parameter OLR, *BOD strength*, temperatur, jumlah kompartemen dan HRT disajikan sebagai berikut:

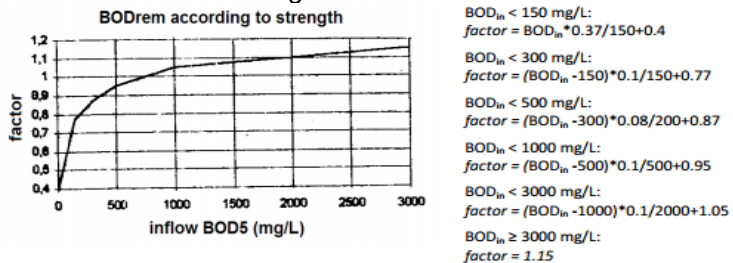
Grafik *organic loading rate* (OLR)



Gambar 2. 6 Hubungan BOD Removal dengan OLR

Sumber: Götzenberger, (2009)

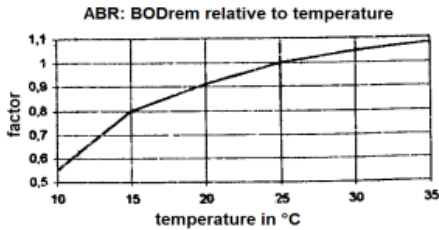
Grafik *wastewater strength*



Gambar 2. 7 Hubungan Wastewater Strength dengan BOD Removal

Sumber: Götzenberger, (2009)

Grafik *temperatur*



temp < 15 °C:
 $factor = (temp-10)*0.25/5+0.55$

temp < 20 °C:
 $factor = (temp-15)*0.11/5+0.8$

temp < 25 °C:
 $factor = (temp-20)*0.09/5+0.91$

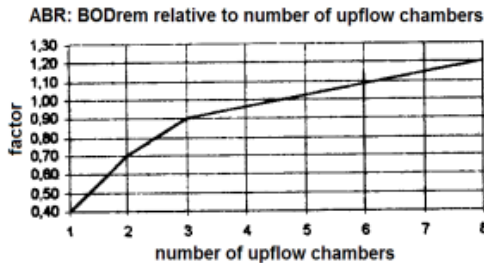
temp < 30 °C:
 $factor = (temp-25)*0.05/5+1$

temp ≥ 30 °C:
 $factor = (temp-30)*0.03/5+1.05$

Gambar 2. 8 Hubungan Temperatur dengan BOD Removal

Sumber: Götzenberger, (2009)

Grafik *chamber*



no = 1:
 $factor = 0.4$

no = 2:
 $factor = 0.7$

no = 3:
 $factor = 0.9$

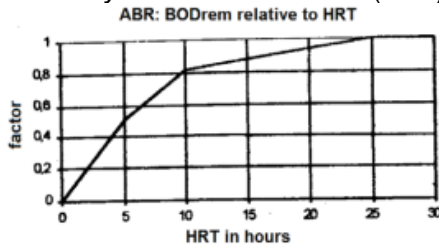
no > 3:
 $factor = (no-3)*0.06+0.9$

Gambar 2. 9 Hubungan Jumlah Kompartemen dengan BOD

Removal

Sumber: Götzenberger, (2009)

Grafik *hydarulic retention time (HRT)*



HRT < 5h:
 $factor = HRT*0.51/5$

HRT < 10h:
 $factor = (HRT-5)*0.31/5+0.51$

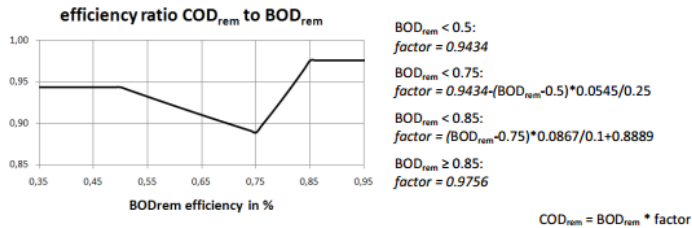
HRT < 25h:
 $factor = (HRT-12)*0.18/15+0.82$

HRT ≥ 25h:
 $factor = 1$

Gambar 2. 10 Hubungan HRT dengan BOD Removal

Sumber: Götzenberger, (2009)

Berdasarkan pengolahan kompartemen II, didapatkan efisiensi persen *removal* dari masing-masing parameter, maka efisiensi COD dapat diperoleh dari grafik hubungan efisiensi BOD dengan efisiensi COD.



Gambar 2. 11 Hubungan COD Removal dengan BOD Removal

Sumber: Götzenberger, (2009)

2.7.4 Anaerobic Filter (AF)

Menurut Sasse (1998), *Anaerobic Filter* (AF) secara umum memiliki kesamaan penampilan dengan trickling filter pada pengolahan air limbah secara aerobik. Air limbah pada AF didistribusikan hingga bagian bawah dari AF. Aliran air dalam AF adalah bawah ke atas melalui media batuan sehingga filternya terendam secara keseluruhan. Mikroorganisme anaerobik terakumulasi pada bagian kosong di antara batuan sehingga air limbah dapat kontak dengan biomassa aktif yang luas ketika melalui filter. AF memiliki beberapa keuntungan dibandingkan proses pengolahan air limbah secara biologis antara lain:

1. AF cocok untuk pengolahan air limbah terlarut
2. Tidak ada effluen atau *solid recycle* yang dibutuhkan. Padatan biologis tetap tinggal dalam filter dan tidak terbawa oleh effluen
3. Akumulasi konsentrasi yang tinggi pada padatan aktif dalam filter memungkinkan pengolahan limbah yang encer bahkan pada temperatur rendah. Pemanasan tidak dibutuhkan tidak seperti pada kebanyakan proses *anaerobic* yang lain untuk mempertahankan efisiensi yang tinggi.
4. Produksi lumpur yang sangat kecil. Effluen air limbah secara esensial tidak mengandung padatan tersuspensi dikarenakan padatan tersuspensi tertahan oleh media pada AF.

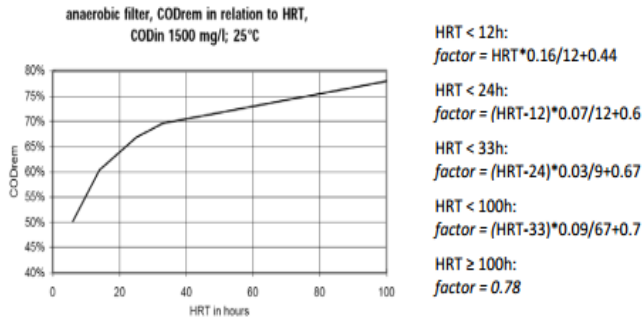
Removal efisiensi pengolahan pada AF yang dioperasikan dengan baik yaitu antara 70 -90% BOD. Kriteria desain untuk AF menurut (Götzenberger, 2009) antara lain:

1. Luas area filter = 80 – 120 m²/m³
2. Beban organik = < 4,0 kg COD/m³hari
3. *Hydraulic retention time* = 15 – 20 jam
4. Ukuran filter = 80 – 140 mm
5. Kecepatan aliran (Vup) = < 2 m/jam

Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan dimensi AF:

Volume AF = (V ABR x 60%) x V ABR
 Panjang kompartemen AF = V AF / (tinggi x lebar)
 Tinggi media pada AF = Volume ABR / Luas AF

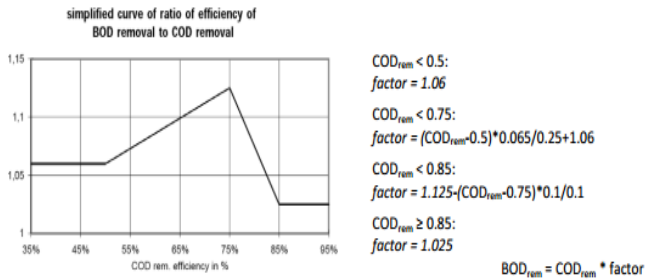
Gratik *Hydarulic Retention Time* (HRT)



Gambar 2. 12 Hubungan HRT dengan BOD Removal

Sumber: Götzenberger, (2009)

Berdasarkan pengolahan dalam AF, didapatkan efisiensi persen removal dari masing-masing parameter, maka efisiensi BOD dapat diperoleh dari grafik hubungan efisiensi COD dengan efisiensi BOD. Filter media menghilangkan bahan organik larut sebagai air limbah melewati medium dan masuk kontak dengan biofilm. Patogen mikroorganisme dalam air limbah juga dapat teradsorpsi oleh biofilm selama proses ini. Sloughs biofilm, bakteri patogen teradsorpsi padatan tersuspensi, di mana dapat dengan sedimentasi atau dilepaskan ke air limbah. Biofilm terjadi dalam filter anaerobik tetapi untuk tingkat yang lebih rendah. Filter anaerobik tidak memerlukan sedimentasi sekunder tetapi memerlukan penghapusan periodik padatan dalam filter.



Gambar 2. 13 Hubungan BOD Removal dengan COD Removal
Sumber: Götzenberger, (2009)

2.7.5 Biofilter Anaerobik - Aerobik

Menurut Permen PUPR no.4/2017, pengolahan air limbah domestik dengan proses biofilter anaerobik aerobik merupakan proses pengolahan air limbah dengan menggabungkan proses biofilter aerob dan proses biofilter anaerob. Kombinasi proses anaerob dan aerob dapat menurunkan zat organik (BOD, COD), konsentrasi ammonia, deterjen, padatan tersuspensi, bakteri E. Coli dan fosfat. Kombinasi proses Anaerob-Aerob, menghasilkan efisiensi pengurangan senyawa fospor lebih besar dari proses anaerob atau proses aerob saja. Selama berada pada kondisi anaerob, senyawa fospor anorganik yang ada dalam sel mikroorganismenya akan keluar sebagai akibat hidrolisa senyawa fospor. Sedangkan energi yang dihasilkan digunakan untuk menyerap BOD (senyawa organik) yang ada di dalam air limbah domestik. Selama berada pada kondisi aerob, senyawa fospor terlarut akan diserap oleh bakteri/mikroorganismenya dan akan disintesa menjadi polyphosphat dengan menggunakan energi yang dihasilkan oleh proses oksidasi senyawa organik (BOD). Dengan demikian kombinasi proses Anaerob-Aerob dapat menghilangkan BOD maupun fospor dengan baik. Proses ini dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban organik yang cukup besar.

Keunggulan proses pengolahan air limbah dengan Biofilter Anaerob-Aerob antara lain:

- a) pengelolaannya sangat mudah;
- b) tidak perlu lahan luas;
- c) biaya operasinya rendah;

- d) dibandingkan dengan proses lumpur aktif, lumpur yang dihasilkan relatif sedikit;
- e) dapat menghilangkan nitrogen dan fosfor yang dapat menyebabkan eutropikasi;
- f) suplai udara untuk aerasi relatif kecil;
- g) dapat digunakan untuk air limbah dengan beban BOD yang cukup besar;
- h) dapat menghilangkan padatan tersuspensi (SS) dengan baik.

2.7.6 Constructed Wetland

Constructed wetland atau lahan basah buatan adalah sistem pengolahan terencana atau terkontrol yang didesain menggunakan proses alami. Proses ini melibatkan vegetasi, media dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah (Risnawati dan Damanhuri, 2009). Sistem Pengolahan yang direncanakan, seperti untuk debit limbah, beban organik, kedalaman media, jenis tanaman lainnya, sehingga kualitas air limbah yang keluar dari sistem tersebut dapat dikontrol sesuai dengan yang dikehendaki oleh pembuatnya. *Constructed Wetland* terbagi menjadi dua tipe, yaitu sistem aliran permukaan (*Surface Flow Constructed Wetland*) atau FWS (*Free Water System*) dan sistem aliran bawah permukaan atau SSF-*Wetland* (*Sub-Surface Flow Constructed Wetland*).

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

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

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

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

Kriteria desain yang sangat penting untuk sistem *constructed wetland* adalah waktu detensi hidrolis, kedalaman bak (panjang dan lebar), laju beban BOD₅, dan laju beban hidrolis. Rentang tipikal yang disarankan untuk perancangan diberikan pada Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Kriteria Desain *Constructed Wetland*

No.	Paramater Desain	Unit	Tipe Sistem	
			FWS	SSF
1.	<i>Hydraulic detention</i>	<i>day</i>	4 – 15	4 – 15
2.	<i>time</i>	<i>lb/acre</i>	< 60	< 60
3.	<i>BOD5 loading rate</i>	<i>Mgal/acre.d</i>	0.015 –	0.015 –
4.	<i>Hydraulic loading rate</i>	<i>Acre/(Mgal/d)</i>	0.050	0.05
	<i>Specific area</i>		67 – 20	67 – 20

Sumber : Metcalf dan Eddy, (2004)

Karakteristik tipikal media yang digunakan pada sistem SFS terdapat pada tabel 2.11 berikut ini.

Tabel 2. 11 Karakteristik Tipikal Media Untuk *Sub-Surface Flow System*

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

Sumber : Metcalf dan Eddy, (2004)

Rumus yang digunakan dalam perhitungan desain *Constructed Wetland* adalah:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-Kt - td} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Kt = K_{20} (1,1)^{t-20} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$td = \frac{-\ln(\frac{C_e}{C_o})}{Kt} \dots\dots\dots(2.14)$$

$$As = d \cdot W = \frac{Q}{Kt \cdot S} \dots\dots\dots(2.15)$$

$$L = \frac{td \cdot Q}{W \cdot d \cdot \alpha} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$As = L \cdot W \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

Q = debit rata-rata (m³/hari)

As = luas permukaan (m²)

T = suhu (°C)

Ks = konduktivitas hidrolik (m/hari)

α = porositas media (desimal)

K₂₀ = koefisien standar pada suhu 20° C (per hari)

C_o = konsentrasi BOD influen (mg/L)

C_e = konsentrasi BOD efluen (mg/L)

S = *Slope* media

2.7.7 Biofilter Aerobik

Biofilter aerobik dioperasikan dengan tambahan oksigen melalui injeksi udara menggunakan unit kompresor atau *blower* dari bagian bawah media filter dengan tekanan tertentu lewat media porous (*unit diffuser*) atau pipa berlubang (*perforated pipe*). Biofilter aerobik dioperasikan dengan beban pengolahan lebih rendah, oleh karena itu biofilter aerobik umumnya diletakkan setelah proses anaerobik. Pada unit pengolahan biofilter aerobik memungkinkan pengolahan air limbah dengan lapisan biofilm dan juga pengolahan air limbah oleh mikroorganisme tersuspensi. Proses ini akan meningkatkan efisiensi penguraian zat organik, deterjen, dan mempercepat proses nitrifikasi. Proses ini juga disebut dengan kontak aerasi (Permen PUPR, 2017). Proses biofilter aerob menyisihkan polutan organik yang masih tersisa akan terurai menjadi gas karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O), amoniak terurai menjadi nitrat, dan gas H₂S akan menjadi sulfat.

2.8 Metode Pengambilan Contoh Air Limbah

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.59 (2008), cara pengambilan contoh untuk pengujian kualitas air secara umum melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Siapkan alat pengambil contoh yang sesuai dengan keadaan sumber airnya
2. Bilas alat pengambil contoh dengan air yang akan diambil, sebanyak 3 (tiga) kali
3. Ambil contoh sesuai dengan peruntukan analisis dan campurkan dalam penampung semetara, kemudian homogenkan
4. Masukkan ke dalam wadah yang sesuai peruntukan analisis
5. Pengambilan contoh untuk parameter pengujian di laboratorium dilakukan pengawetan terlebih dahulu

Beberapa tipe pengambilan contoh air limbah antara lain:

1. Contoh sesaat (*grab sample*)
2. Contoh gabungan waktu (*composite samples*)
3. Contoh gabungan tempat (*integrated samples*)
4. Contoh gabungan waktu dan tempat.

Sedangkan alat pengambil contoh harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Terbuat dari bahan yang tidak mempengaruhi sifat contoh
2. Mudah dicuci dari bekas contoh sebelumnya
3. Contoh mudah dipindahkan ke dalam botol penampung tanpa ada sisa bahan tersuspensi didalamnya
4. Mudah dan aman dibawa
5. Kapasitas alat tergantung dari tujuan pengujian

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

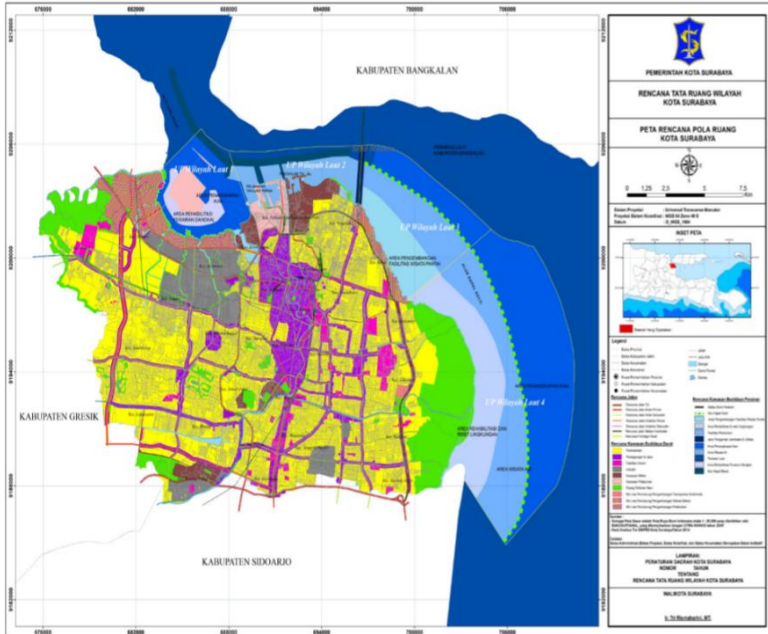
GAMBARAN UMUM PERENCANAAN

3.1 Gambaran Umum Wilayah Perencanaan

Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo merupakan kelurahan di wilayah Kecamatan Semampir, Kota Surabaya. Kelurahan Pegirian memiliki luas wilayah sebesar 0,4 km² dengan kepadatan 79.760 jiwa/km² dan Kelurahan Wonokusumo memiliki luas wilayah sebesar 0,76 km² dengan kepadatan 81.000 jiwa/km² (Kecamatan Semampir Dalam Angka 2017). Secara administrasi, wilayah Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo memiliki batas wilayah sebagai berikut:

1. Sebelah Utara : Selat Madura
2. Sebelah Selatan : Kelurahan Simokerto
3. Sebelah Timur : Kecamatan Kenjeran
4. Sebelah Barat : Kecamatan Pabean Cantika

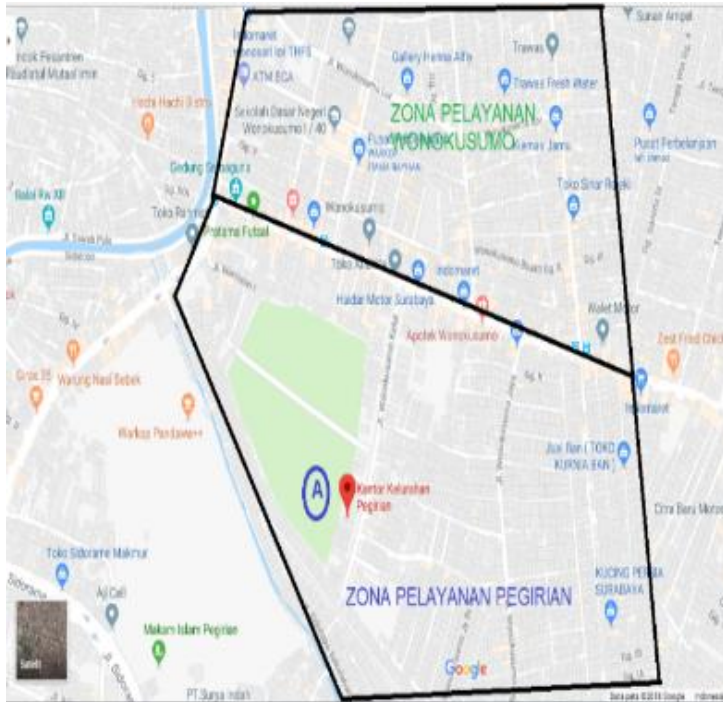
Zona wilayah daerah pelayanan mengacu pada Perda nomor 12 tahun 2014 Kota Surabaya tentang rencana tata ruang wilayah Kota Surabaya tahun 2014-2034. Gambar rencana tata ruang wilayah Kota Surabaya dapat dilihat pada Gambar 3.1. Berdasarkan data administrasi Kota Surabaya tahun 2018, Kelurahan Pegirian memiliki 11 rukun warga (RW) dan 94 rukun tetangga (RT) dan Kelurahan Wonokusumo memiliki 16 rukun warga (RW) dan 168 rukun tetangga (RT). Dalam perencanaan ini, hanya sebagian Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo yang akan dilayani sehingga pelayanan mencakup 46.732 jiwa. Kelurahan Pegirian memiliki data jumlah penduduk pria sebesar 16.042 jiwa, perempuan sebesar 15.862 jiwa dan perbandingan rasio laki-laki terhadap perempuan sebesar 101,13, sedangkan Kelurahan Wonokusumo memiliki data jumlah penduduk pria sebesar 30.269 jiwa, perempuan sebesar 31.291 jiwa, dan rasio laki-laki terhadap perempuan sebesar 96,73. Kelurahan Pegirian memiliki tingkat pendidikan tinggi rata-rata diatas 1.020 jiwa, sedangkan Kelurahan Wonokusumo memiliki tingkat pendidikan tinggi rata-rata diatas 1.329 jiwa. Gambar zona pelayanan Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 1 Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Surabaya 2014-2034 (Perda 12 Tahun 2014)

Sumber: Perda nomor 12, (2014)

Menurut Perda No. 12 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Surabaya Tahun 2014-2034, rencana pola ruang terbagi kedalam kawasan lindung dan budidaya. Luasan eksisting kawasan lindung sebesar 40,13% dan kawasan budidaya sebesar 59,87%. Kawasan lindung terdiri dari kawasan perlindungan setempat, ruang terbuka hijau, kawasan pelestarian alam dan cagar budaya, kawasan rawan bencana, dan kawasan lindung wilayah laut. Sedangkan kawasan budidaya terdiri dari fasilitas umum, kawasan perdagangan dan jasa, permukiman, kawasan industri dan pergudangan, kawasan militer, kawasan pengembangan pelabuhan, kawasan pendukung pengembangan wisata bahari, dan kawasan *mix use* permukiman dan fasilitas umum.



**Gambar 3. 2 Batas Wilayah Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo
(Gambar Tanpa Skala)**

Sumber : Google Earth, 2019

Berdasarkan data hasil registrasi penduduk per kelurahan tahun 2017, Kelurahan Pegirian memiliki jumlah penduduk sebesar 31.904 jiwa dengan tingkat kepadatan penduduk sebesar 79.760 jiwa/km² dan Kelurahan Wonokusumo memiliki jumlah penduduk sebesar 61.560 jiwa dengan tingkat kepadatan penduduk sebesar 81.000 jiwa/km². Untuk jumlah keluarga di Kelurahan Pegirian sebesar 6.284 keluarga dengan rata-rata anggota keluarga sebesar 5 jiwa dan jumlah keluarga di Kelurahan Wonokusumo sebesar 11.225 keluarga dengan rata-rata anggota keluarga sebesar 5 jiwa. Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo termasuk wilayah geografis Kota Surabaya yang

merupakan bagian dari wilayah Surabaya Utara, dengan ketinggian \pm 4,6 meter diatas permukaan laut (Kecamatan Semampir Dalam Angka 2017).

3.2 Kondisi Sanitasi Wilayah Perencanaan

Kondisi sanitasi di wilayah Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo tergolong kurang baik karena *grey water* langsung dialirkan ke saluran drainase tanpa melalui pengolahan. Kebutuhan air bersih di Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo masyarakat sudah dilayani air minum dari PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. Untuk akses jalan rata-rata memiliki lebar jalan antara 2-6 meter dengan konstruksi jalan menggunakan aspal dan paving block. Berikut merupakan gambar salah satu kondisi eksisting penyaluran air limbah di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Kondisi Eksisting Penyaluran Air Limbah
Sumber : Observasi Lapangan, 2019

3.3 Lokasi Perencanaan IPAL

Lokasi perencanaan IPAL berada pada lokasi koordinat $7^{\circ}12'45.4896''S$ dan $112^{\circ}45'27.3348''E$. Berikut merupakan gambar lokasi yang dapat digunakan alternatif sebagai lokasi perencanaan IPAL Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo.



Gambar 3. 4 Lokasi Perencanaan IPAL Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo

Sumber : Observasi Lapangan, 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

METODE PERENCANAAN

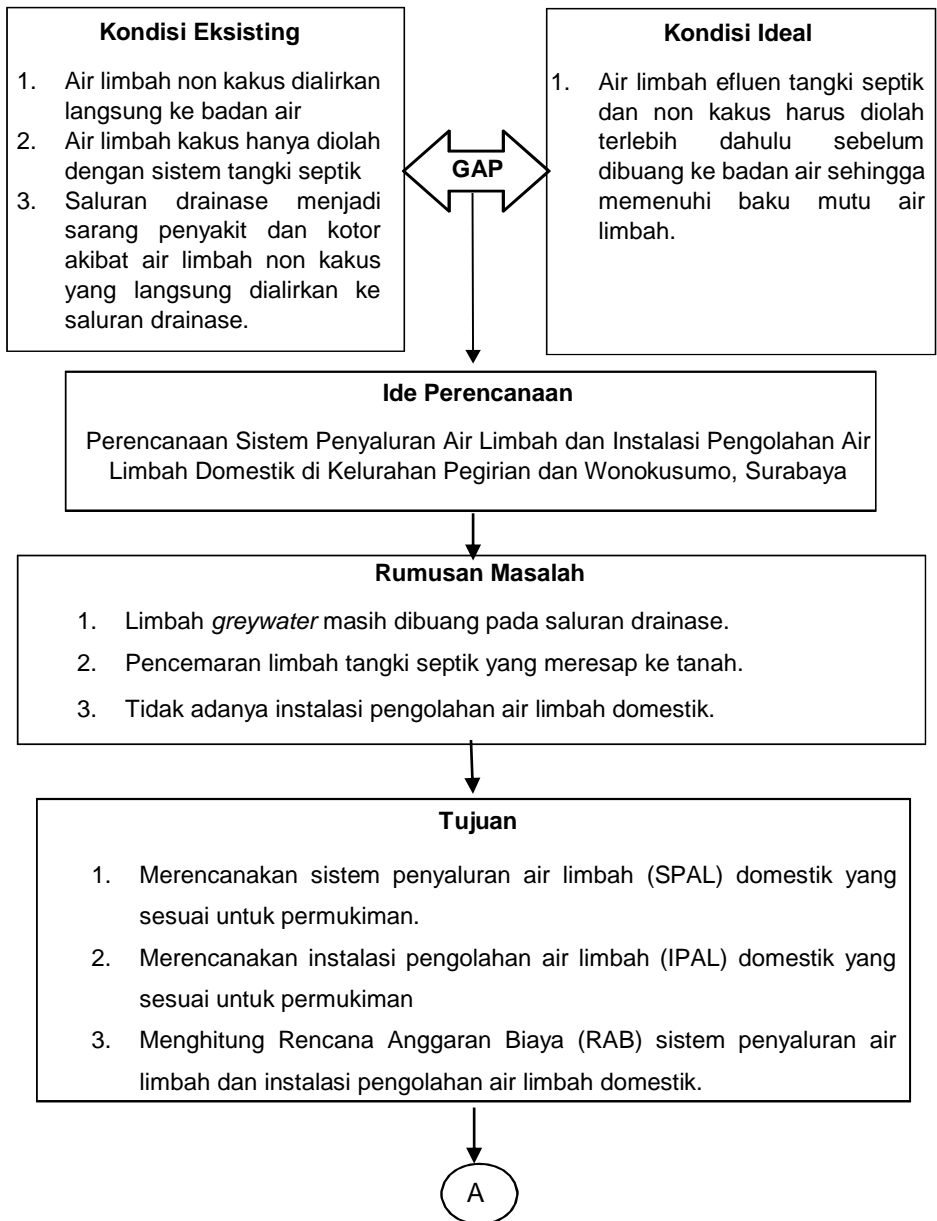
4.1 Gambaran Umum Perencanaan

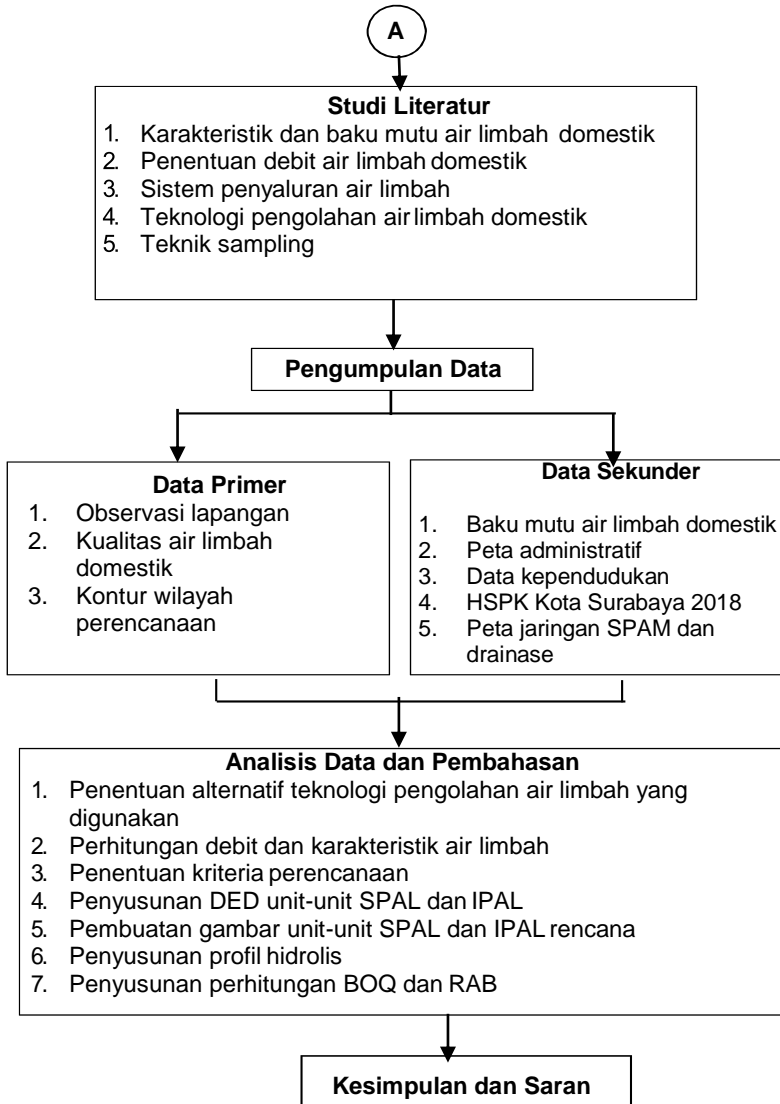
Pada tugas akhir ini dilakukan perencanaan SPAL dan IPAL untuk wilayah Kelurahan di Surabaya Utara yaitu Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo. Metode perencanaan ini disusun sebagai pedoman dalam melaksanakan proses perencanaan. Proses perencanaan dimulai dari pengumpulan data primer dan sekunder, perencanaan SPAL, perencanaan IPAL, dan perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) SPAL dan IPAL.

Perencanaan ini menggunakan dua aspek yakni aspek teknis dan aspek finansial. Parameter perencanaan mengacu pada Permen LHK No. 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik yaitu BOD₅, COD, TSS, pH, total coliform, minyak dan lemak, serta amonia. Perencanaan ini meliputi perhitungan Detail Engineering Design (DED) SPAL dan IPAL. Perhitungan RAB digunakan untuk merealisasikan SPAL dan IPAL. Acuan perhitungan RAB adalah Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya Tahun 2018.

4.2 Kerangka Perencanaan

Perencanaan adalah suatu tahapan dalam tahapan proyek yang meletakkan dasar tujuan dan sasaran sekaligus menyiapkan segala program teknis dan administratif agar dapat di implementasikan. Tujuan perencanaan adalah melakukan usaha untuk memenuhi persyaratan spesifikasi proyek yang ditentukan dalam batasan biaya, mutu, dan waktu ditambah dengan terjaminnya faktor keselamatan. Kerangka perencanaan merupakan gambaran awal mengenai alur perancangan. Penyusunan kerangka perencanaan yang jelas dan sistematis dapat mempermudah dalam proses pelaksanaan perencanaan. Kerangka perencanaan digunakan sebagai dasar acuan untuk memulai suatu perencanaan. Kerangka perencanaan ini berisi tahapan yang dilakukan dalam perencanaan dari awal hingga akhir. Menyusun metode kerangka perencanaan diharapkan perencanaan menggunakan standar prosedur yang dengan tujuan tercapainya mutu pekerjaan perencanaan. Kerangka perencanaan dapat dilihat pada Gambar 4.1.





Gambar 4. 1 Diagram Alir Kerangka Perencanaan

4.3 Tahapan Perencanaan

Berdasarkan diagram alir kerangka perencanaan pada sub-bab 4.2, maka tahapan dalam perencanaan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Ide Perencanaan

Ide perencanaan merupakan awal mula adanya masalah dari suatu objek sehingga diperlukan suatu pemecahan solusi. Pada tugas akhir ini ide dari perencanaan adalah “Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah dan Instalasi Pengolahan Air Limbah Domestik di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo, Surabaya”. Ide tersebut muncul dilatar belakangi karena berisiko sangat tinggi terhadap sanitasi lingkungan dengan skor 4 di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo. Hal tersebut disebabkan air limbah domestik langsung dibuang ke badan air sehingga badan air menjadi kotor, tercemar, berbau, dan berpotensi menimbulkan penyakit. Dengan adanya perencanaan ini, diharapkan dapat mengurangi permasalahan air limbah domestik sehingga tidak mencemari lingkungan sekitar dan menciptakan lingkungan yang sehat.

2. Studi Literatur

Studi Literatur merupakan teori yang menjadi dasar yang dapat mendukung perencanaan yang akan dilakukan. Sumber yang digunakan dalam studi literatur dapat diperoleh dari buku, jurnal, makalah seminar, skripsi, thesis dan sumber lain yang dapat dipertanggungjawabkan. Literatur yang perlu dikumpulkan antara lain:

- a. Sumber air limbah domestik
- b. Karakteristik dan baku mutu air limbah domestik
- c. Teknik pengumpulan sampel
- d. Debit air limbah domestik
- e. Sistem penyaluran air limbah
- f. Alternatif unit pengolahan air limbah domestik dan kriteria desain dari tiap alternatif unit pengolahan air limbah domestik
- g. Rencana anggaran biaya

3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahapan dasar dalam perencanaan, pengumpulan data diperlukan dalam desain untuk mendukung perencanaan yang akan dilakukan. Data yang digunakan dalam perencanaan meliputi data primer dan data sekunder. Adapun data primer yang dibutuhkan adalah:

a. Karakteristik Air Limbah

Pengukuran karakteristik air limbah domestik dilakukan dengan cara *integrated sampling*, yaitu pengambilan sampel dengan gabungan tempat. Titik pengambilan sampel dilakukan pada 2 titik diantaranya *influent* dari tangki septik dan *effluent* dari tangki septik. Pengambilan sampel ini dilakukan pada jam puncak yakni rentan waktu pukul 06.00 – 09.00. Analisis sampel menggunakan standar dari APHA AWWA *Standards Methods for Examination of Water and Wastewater* tahun 1999. Analisa sampling ini dilakukan di laboratorium untuk kemudian diketahui besarnya nilai karakteristik air limbah yang akan diolah pada unit pengolahan.

b. Elevasi muka tanah

Data elevasi didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan menggunakan GPS.

c. Lahan IPAL

Kondisi rencana lahan IPAL dan lokasi perencanaan, data ini bisa didapatkan melalui wawancara dan pengukuran terhadap lahan. Selain itu, dilakukan dengan cara pengukuran menggunakan GPS untuk mengetahui ketinggian lokasi. Luas lahan yang tersedia didapatkan dari pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan meteran.

Sedangkan data sekunder yang dibutuhkan dalam perencanaan ini antara lain:

d. Baku Mutu Air Limbah Domestik

Baku mutu air limbah domestik mengacu pada Parameter yang digunakan dalam analisis air limbah domestik berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur

Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan / atau Kegiatan Usaha Lainnya dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

- e. Peta Administratif
Data ini bisa didapat di Badan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Surabaya.
 - f. Data Kependudukan
Data ini bisa didapatkan di Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Surabaya.
 - g. Debit Pemakaian Air Bersih
Data ini bisa didapatkan di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.
 - h. Peta Jaringan SPAM dan Saluran Drainase
Data peta jaringan SPAM didapatkan di PDAM Surya Sembada Kota Surabaya dan untuk data peta saluran drainase didapatkan di Dinas PU Bina Marga dan Pematusan Kota Surabaya.
 - i. Teknis pengoperasian dan pemeliharaan unit IPAL Rangkaian SNI-DT 2007.
 - j. Harga satuan pokok untuk menghitung kebutuhan finansil didalam pembangunan SPAL dan IPAL, mengacu pada HSPK Kota Surabaya tahun 2018.
4. Analisis Data dan Pembahasan
- Analisis data merupakan pengolahan data secara matematik yang dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan yang diperlukan sebagai dasar sebuah perancangan. Data-data tersebut antara lain:
- a. Aspek Teknis
Aspek teknis dalam perencanaan ini adalah desain SPAL dan IPAL. Tahapan dalam pengerjaan diantaranya:
 - 1. Penentuan debit air limbah domestik berdasarkan studi literatur yaitu 80% dari pemakaian air bersih.
 - 2. Perencanaan sistem jaringan SPAL yang disesuaikan dengan topografi lahan dengan sistem

- gravitasi jika memungkinkan. Sistem penyaluran air limbah yang digunakan adalah *Shallow Sewer*.
3. Menganalisis kualitas air limbah domestik dari hasil sampling dengan diuji di Laboratorium Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan Balai Besar Laboratorium Kesehatan Surabaya.
 4. Menentukan alternatif pengolahan air limbah domestik yang dipilih berdasarkan aspek teknis dan finansial seperti persen removal optimum dan kebutuhan lahan.
 5. Menganalisis kondisi lahan IPAL yang akan direncanakan. Aspek yang dianalisis adalah IPAL yang digunakan lokasinya pada lahan kosong atau pada pemukiman, hal ini ditentukan berdasarkan kontur wilayah Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo, Surabaya. Lokasi IPAL harus berada pada lokasi dengan kontur wilayah terendah pada lokasi perencanaan tersebut agar SPAL dilakukan dengan sistem gravitasi tanpa pemompaan.
 6. Menentukan kriteria desain unit SPAL dan IPAL yang terpilih sesuai dengan studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya.
 7. Menghitung dimensi pipa SPAL dan unit IPAL yang terpilih berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya dan menggunakan bantuan program *Microsoft Excel*.
 8. Menggambar *Detail Engineering Design* (DED) untuk SPAL dan IPAL yang akan dibangun beserta aksesoris pelengkap berdasarkan data hasil perhitungan dengan menggunakan program *AutoCAD 2017*.
- b. Aspek Finansial
- Aspek finansial dalam hal ini yaitu bagaimana cara mendapatkan biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan sistem penyaluran air limbah dan unit pengolahan, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan kepada pemerintah Kota Surabaya untuk dapat direalisasikan. Aspek finansial yang akan

dibahas adalah menghitung BOQ (*Bill Of Quantity*) dan RAB (Rencana Anggaran Biaya) berdasarkan gambar DED yang telah dibuat, yang sesuai SNI tentang pekerjaan bangunan gedung serta mengacu pada Harga Satuan Pokok Kota Surabaya Tahun 2018 di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo, Surabaya menggunakan program *Microsoft Excel*.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil perencanaan, dihasilkan data yang nantinya akan menjawab tujuan perencanaan, serta dapat disimpulkan kelebihan dari perencanaan ini. Kesimpulan yang didapat adalah menemukan desain SPAL dan IPAL yang terpilih, dan menghitung RAB pembangunan SPAL dan IPAL. Kesimpulan diharapkan dapat menjadi referensi perencanaan sejenis selanjutnya dengan lokasi atau unit yang berbeda dan untuk rekomendasi desain kepada pemerintah setempat agar dapat direalisasikan.

BAB 5 ANALISIS HASIL SURVEI

Untuk melakukan analisis statistik diperlukan data, maka dari itu data perlu dikumpulkan. Sensus terjadi apabila setiap anggota atau karakteristik yang ada di dalam populasi dikenai penelitian (Sudjana, 1996). Penentuan jumlah responden akan ditentukan berdasarkan rumus slovin. Berikut merupakan perhitungan jumlah responden kuisisioner

Diketahui: Jumlah Penduduk = 46.732 jiwa

Jumlah orang/KK = 5 orang

(Sumber: Kantor Kelurahan Se-Kecamatan Semampir)

Jumlah KK = 9346 KK

Berikut merupakan rumus slovin:

$$n = \frac{N}{1+(N \times e^2)}$$

Dimana: n = jumlah sampel

N = jumlah populasi

e = batas toleransi kesalahan

Berikut merupakan perhitungan jumlah sampel yang dibutuhkan:

$$n = \frac{N}{1+(N \times e^2)}$$

$$n = \frac{9346}{1+(9346 \times 0,1^2)}$$

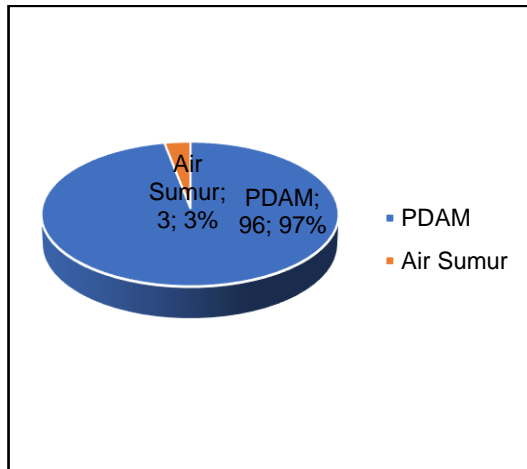
n = 98,9 sampel \approx 99 sampel

5.1 Kuisisioner

Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus Slovin, jumlah responden kuisisioner ditujukan sebanyak 99 KK yang berada di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo, Surabaya. Pengisian kuisisioner dilakukan dengan metode wawancara kepada masing-masing kepala keluarga. Aspek yang dikaji adalah sarana sanitasi. Berdasarkan survei penduduk yang dilakukan, diketahui profil sanitasi masyarakat setempat seperti sumber air bersih, komposisi ketersediaan kakus, dan komposisi pengurasan tangki septik.

5.2 Sarana Sanitasi

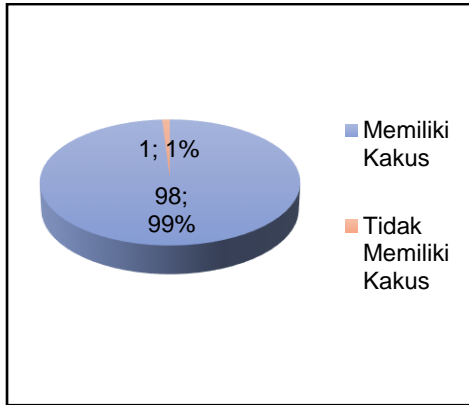
Sumber air bersih merupakan salah satu syarat terciptanya sanitasi yang layak bagi masyarakat. Air bersih dalam jumlah yang cukup dibutuhkan dalam kegiatan sehari-hari seperti untuk mandi, cuci, dan buang air besar. Survei yang dilakukan terhadap 99 KK, hampir semua warga telah menggunakan air PDAM sebagai sumber air bersih rumah tangga. Hanya ada 3 KK saja. Ketersediaan air dalam jumlah banyak, seperti air PDAM, dibutuhkan untuk menggelontor tinja pada jamban.



Gambar 5. 1 Sumber Air Bersih Warga Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo

Sumber : Hasil Perhitungan

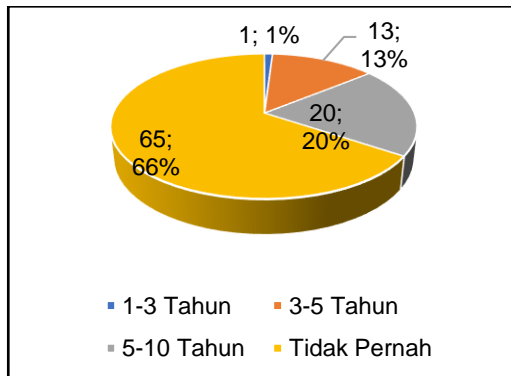
Survei dilakukan salah satu tujuannya adalah untuk mengetahui kepemilikan kakus dan tangki septik. Dari 99 KK yang disurvei, hanya ada 1 KK yang belum memiliki kakus sebagai tempat buang air besar. Sedangkan dari 98 KK lainnya sudah memiliki kakus. Berikut merupakan grafik kepemilikan kakus di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo.



Gambar 5. 2 Kepemilikan Jamban di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo

Sumber : Hasil Perhitungan

Sedangkan untuk waktu pengurasan didominasi septik tank yang tidak pernah dikuras selain itu dikuras dengan jangka waktu lebih dari 5 tahun sekali. Hal ini menunjukkan bahwa efluen dari tangki septik dapat mencemari lingkungan sekitar. Berikut merupakan grafik waktu pengurasan septik tank warga Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo.



Gambar 5. 3 Pengurasan Septik Tank di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo

Sumber : Hasil Perhitungan

5.3 Pembahasan Hasil Kuisisioner

Berdasarkan hasil survei, pentingnya pengolahan air limbah domestik perlu ditangani dengan cara melakukan penyuluhan akan pentingnya sanitasi, penyuluhan tidak hanya dilakukan pada acara seminar, arisan dll, tetapi dapat dilakukan melalui pawai sanitasi dengan menggerakkan organisasi masyarakat setempat seperti karang taruna, ibu PKK, dll. Selain itu harus didukung pula oleh aparat setempat seperti lurah, ketua RW, ketua RT, sanitarian puskesmas, serta tokoh masyarakat. Kegiatan ini dilakukan secara terus menerus hingga masyarakat benar – benar paham akan pentingnya sanitasi.

Memilih teknologi yang cocok bukan merupakan hal yang mudah, tetapi hal ini dapat mengurangi resiko masalah dan kegagalan di masa yang akan datang. Dua kunci peting dalam memilih teknologi pengolahan adalah keterjangkauan dan kecocokan (Grau, 1996). Menurut Massoud et al 2009, teknologi yang paling cocok adalah teknologi yang terjangkau secara ekonomi, berkelanjutan terhadap lingkungan dan dapat diterima masyarakat.

Beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan teknologi yang paling cocok diterapkan antara lain:

- a. Terjangkau ekonomi: investasi, densitas populasi, efisiensi teknologi, operasi dan perbaikan serta pengolahan lumpur.
- b. Berkelanjutan terhadap lingkungan: melindungi lingkungan, koservasi *resource*, dan penggunaan kembali air.
- c. Diterima masyarakat: proteksi kesehatan masyarakat, peraturan dan kebijakan pemerintah, tempat tinggal manusia dan perencanaan

Secara konvensional, operasi, dan perbaikan dari IPAL yang dibebankan pada pemilik rumah terkadang berakibat kegagalan sistem diakibatkan perbaikan yang tidak sesuai. Maka dari itu diperlukan pembangunan peraturan, program, tata cara, dan institusi yang memastikan desain dan konstruksinya baik serta operasi dan perbaikannya.

BAB 6

PERENCANAAN SISTEM PENYALURAN AIR LIMBAH

6.1 Area Pelayanan

Area pelayanan sistem penyaluran air limbah ini mencakup seluruh Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo, Kota Surabaya. Air limbah dari tiap rumah harus disalurkan menuju ke unit pengolahan air limbah domestik. Jalur penyaluran air limbah menggunakan prinsip gravitasi, yaitu menyesuaikan dengan kontur tanah wilayah perencanaan. Air limbah dialirkan dari kontur tertinggi menuju kontur terendah, dan unit IPAL dibangun di akhir pipa penyaluran. Berdasarkan data yang diperoleh dari Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo diperoleh data sebagai berikut:

- Jumlah penduduk = 46.732 jiwa
- Jumlah KK = 9346 KK
- Rata-rata jumlah orang/KK = 5 jiwa

Persentase pelayanan sistem penyaluran sistem air limbah disajikan pada Tabel 6.1.

Tabel 6. 1 Persentase Pelayanan

Kelurahan	Luas Lahan (m ²)	Luas Blok (Ha)	Pelayanan (%)
Pegirian	262845	26,2845	32,26
Wonokusumo	551841,3	55,18413	67,74
Jumlah	814686,3	81,46863	100

Sumber: Hasil Perhitungan

Pelayanan dilakukan sebanyak 100% pada daerah rencana dalam perencanaan dengan menggunakan perbandingan luas lahan. Zona wilayah daerah pelayanan mengacu pada Perda nomor 12 tahun 2014 Kota Surabaya tentang rencana tata ruang wilayah Kota Surabaya tahun 2014-2034, dimana pada perencanaan ini zona pelayanan yang didahulukan adalah zona yang tidak berbatasan langsung dengan jalur rel kereta api. Hal ini dapat menyebabkan anggaran perencanaan yang besar.

6.2 Proyeksi Penduduk

Proyeksi penduduk diperlukan dalam setiap rencana pembangunan guna memperkirakan jumlah penduduk dimasa yang akan datang. Perhitungan proyeksi penduduk digunakan untuk menentukan debit air limbah. Proyeksi penduduk dilakukan berdasarkan Peraturan Menteri PUPR No. 4 Tahun 2017 yang disebutkan bahwa proyeksi penduduk didasarkan pada rencana pengembangan daerah dan keseragaman tingkat kepadatan penduduk untuk penyelenggaraan selama 20 tahun mendatang. Data penduduk yang digunakan minimal 5 tahun terakhir agar proyeksi penduduk dapat dilakukan. Data jumlah penduduk Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo disajikan pada Tabel 6.2 dan Tabel 6.3.

Tabel 6. 2 Data Penduduk Kelurahan Pegirian

Jumlah Penduduk Kelurahan Pegirian		
No.	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
1	2011	30826
2	2012	30956
3	2013	31597
4	2014	31767
5	2015	31884
6	2016	31894
7	2017	31904

Sumber: Kantor Kecamatan Semampir, 2017

Tabel 6. 3 Data Penduduk Kelurahan Wonokusumo

Jumlah Penduduk Kelurahan Wonokusumo		
No.	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
1	2011	57479
2	2012	58292
3	2013	59067
4	2014	59770
5	2015	60738

Jumlah Penduduk Kelurahan Wonokusumo		
No.	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
6	2016	61198
7	2017	61560

Sumber: Kantor Kecamatan Semampir, 2017

Data diatas selanjutnya digunakan untuk menghitung persentase pertumbuhan penduduk. Data persentase pertumbuhan penduduk Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo disajikan pada Tabel 6.4 dan Tabel 6.5.

Tabel 6. 4 Persentase Pertumbuhan Penduduk Kelurahan Pegirian

No.	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Pertumbuhan Penduduk (Jiwa)	Presentase Pertumbuhan (%)
1	2011	30826	0	0%
2	2012	30956	130	0,4%
3	2013	31597	641	2,1%
4	2014	31767	170	0,5%
5	2015	31884	117	0,4%
6	2016	31894	10	0,03%
7	2017	31904	10	0,03%
Jumah			1078	3,5%
Rata-rata			179,67	0,6%
Deviasi				0,8%
Deviasi Max				1,3%
Deviasi Min				-0,2%

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. 5 Persentase Pertumbuhan Penduduk Kelurahan Wonokusumo

No.	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Pertumbuhan Penduduk (Jiwa)	Presentase Pertumbuhan (%)
1	2011	57479	0	0%

No.	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Pertumbuhan Penduduk (Jiwa)	Presentase Pertumbuhan (%)
2	2012	58292	813	1,4%
3	2013	59067	775	1,3%
4	2014	59770	703	1,2%
5	2015	60738	968	1,6%
6	2016	61198	460	0,8%
7	2017	61560	362	0,6%
Jumah			4081	6,9%
Rata-rata			680,1667	1,2%
Deviasi				0,4%
Deviasi Max				1,5%
Deviasi Min				0,8%

Sumber: Hasil Perhitungan

Data diatas menunjukkan hasil dari persentase pertumbuhan penduduk. Pertumbuhan penduduk dari tiap tahun mengalami kenaikan. Perhitungan proyeksi penduduk dapat menggunakan tiga metode adalah metode aritmatik, geometrik, dan *least square*. Ketiga metode tersebut dihitung nilai koefisien korelasinya terlebih dahulu untuk memilih metode yang akan digunakan dalam proyeksi penduduk. Hasil nilai r dari Kelurahan Pegirian disajikan pada Tabel 6.6, Tabel 6.7, Tabel 6.8, dan hasil nilai r dari Kelurahan Wonokusumo disajikan pada Tabel 6.9, 6.10, 6.11.

Tabel 6. 6 Nilai Korelasi Metode Aritmatika Kelurahan Pegirian

Metode Aritmatika								
No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	Y	XY	X ²	Y ²	r
1	2011	30826	0	0	0	0	0	-0,25
2	2012	30956	1	130	130	1	16900	
3	2013	31597	2	641	1282	4	410881	
4	2014	31767	3	170	510	9	28900	
5	2015	31884	4	117	468	16	13689	
6	2016	31894	5	10	50	25	100	
7	2017	31904	6	10	60	36	100	

Metode Aritmatika								
No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	Y	XY	X ²	Y ²	r
Jumlah		220828	21	1078	2500	91	470570	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. 7 Nilai Korelasi Metode Geometrik Kelurahan Pegirian

Metode Geometrik								
No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	Y	XY	X ²	Y ²	r
1	2011	30826	1	10,34	10,34	1	106,84	0,90
2	2012	30956	2	10,34	20,68	4	106,92	
3	2013	31597	3	10,36	31,08	9	107,35	
4	2014	31767	4	10,37	41,46	16	107,46	
5	2015	31884	5	10,37	51,85	25	107,53	
6	2016	31894	6	10,37	62,22	36	107,54	
7	2017	31904	7	10,37	72,59	49	107,55	
Jumlah		220828	28	72,52	290,23	140	751,18	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. 8 Nilai Korelasi Metode Least Square Kelurahan Pegirian

Metode Least Square								
No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	Y	XY	X ²	Y ²	r
1	2011	30826	1	30826	30826	1	950242276	0,9010
2	2012	30956	2	30956	61912	4	958273936	
3	2013	31597	3	31597	94791	9	998370409	
4	2014	31767	4	31767	127068	16	1009142289	
5	2015	31884	5	31884	159420	25	1016589456	
6	2016	31894	6	31894	191364	36	1017227236	
7	2017	31904	7	31904	223328	49	1017865216	
Jumlah		220828	28	220828	888709	140	6967710818	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. 9 Nilai Korelasi Metode Aritmatika Kelurahan Wonokusumo

Metode Aritmatika								
No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	Y	XY	X ²	Y ²	r
1	2011	57479	0	0	0	0	0	0,13
2	2012	58292	1	813	813	1	660969	
3	2013	59067	2	775	1550	4	600625	
4	2014	59770	3	703	2109	9	494209	
5	2015	60738	4	968	3872	16	937024	
6	2016	61198	5	460	2300	25	211600	
7	2017	61560	6	362	2172	36	131044	
Jumlah		418104	21	4081	12816	91	3035471	

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. 10 Nilai Korelasi Metode Geometrik Kelurahan Wonokusumo

Metode Geometrik								
No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	Y	XY	X ²	Y ²	r
1	2011	57479	1	10,96	10,96	1	120,10	0,9922
2	2012	58292	2	10,97	21,95	4	120,41	
3	2013	59067	3	10,99	32,96	9	120,70	
4	2014	59770	4	11,00	43,99	16	120,96	
5	2015	60738	5	11,01	55,07	25	121,32	
6	2016	61198	6	11,02	66,13	36	121,48	
7	2017	61560	7	11,03	77,19	49	121,61	
Jumlah		418104	28	77	308,3	140	846,587	

Sumber: Hasil Perhitungan

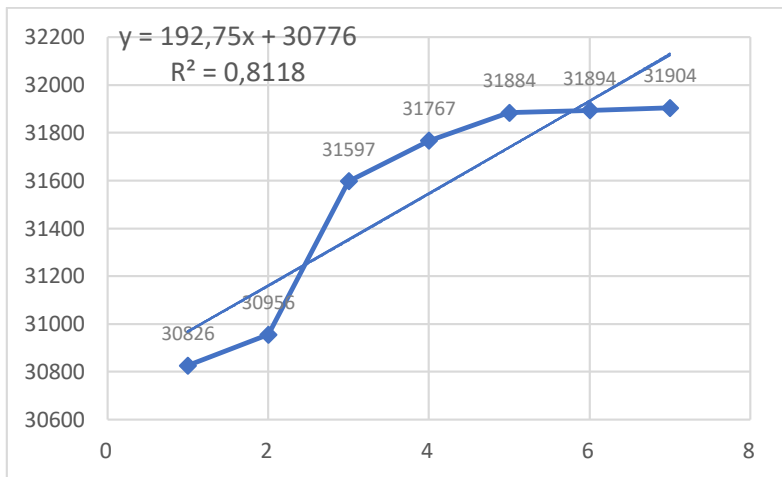
Tabel 6. 11 Nilai Korelasi Metode Least Square Kelurahan Wonokusumo

Metode Least Square								
No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	Y	XY	X ²	Y ²	r
1	2011	57479	1	57479	57479	1	3303835441	0,9929
2	2012	58292	2	58292	116584	4	3397957264	

Metode Least Square								
No	Tahun	Jumlah Penduduk	X	Y	XY	X ²	Y ²	r
3	2013	59067	3	59067	177201	9	3488910489	
4	2014	59770	4	59770	239080	16	3572452900	
5	2015	60738	5	60738	303690	25	3689104644	
6	2016	61198	6	61198	367188	36	3745195204	
7	2017	61560	7	61560	430920	49	3789633600	
Jumlah		418104	28	418104	1692142	140	24987089542	

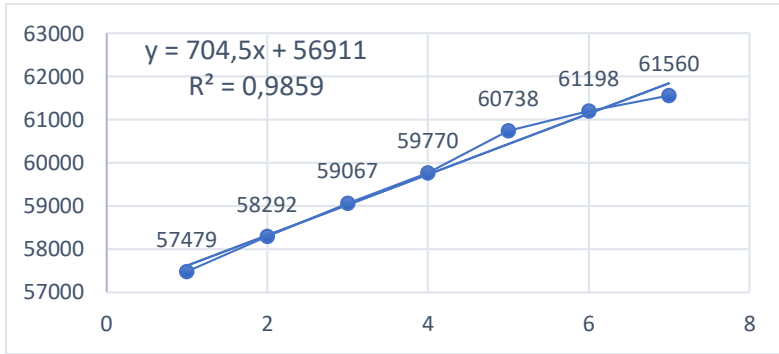
Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan nilai koefisien korelasi dari masing-masing metode diatas menunjukkan perbedaan yang signifikan. Pemilihan metode didasarkan atas hasil nilai koefisien yang mendekati angka 1 adalah metode *least square*. Pemilihan angka 1 menunjukkan tingkat validasi yang tinggi. Perhitungan proyeksi penduduk Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo dengan metode *least square* dibuat garis linearnya tersaji pada Gambar 6.1 dan Gambar 6.2.



Gambar 6. 1 Garis Linear Metode *Least Square* Kelurahan Pegirian

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 6. 2 Garis Linear Metode *Least Square* Kelurahan Wonokusumo

Sumber: Hasil Perhitungan

Persamaan garis linear yang telah diketahui kemudian digunakan sebagai rumus untuk menghitung proyeksi penduduk. Hasil dari proyeksi penduduk Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo disajikan pada Tabel 6.12 dan Tabel 6.13.

Tabel 6. 12 Hasil Proyeksi Penduduk Kelurahan Pegirian

Tahun	Penduduk	Tahun	Penduduk
2011	30826	2026	33860
2012	30956	2027	34053
2013	31597	2028	34246
2014	31767	2029	34438
2015	31884	2030	34631
2016	31894	2031	34824
2017	31904	2032	35017
2018	32318	2033	35209
2019	32511	2034	35402
2020	32704	2035	35595
2021	32896	2036	35788
2022	33089	2037	35980
2023	33282	2038	36173

Tahun	Penduduk	Tahun	Penduduk
2024	33475	2039	36366
2025	33667	2040	36559

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. 13 Hasil Proyeksi Penduduk Kelurahan Wonokusumo

Tahun	Penduduk	Tahun	Penduduk
2011	57479	2026	68183
2012	58292	2027	68888
2013	59067	2028	69592
2014	59770	2029	70297
2015	60738	2030	71001
2016	61198	2031	71706
2017	61560	2032	72410
2018	62547	2033	73115
2019	63252	2034	73819
2020	63956	2035	74524
2021	64661	2036	75228
2022	65365	2037	75933
2023	66070	2038	76637
2024	66774	2039	77342
2025	67479	2040	78046

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan proyeksi penduduk Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo tahun 2040 sebesar 36.559 jiwa dan 78.046 jiwa.

6.3 Debit Air Limbah SPAL

Dalam perencanaan SPAL kali ini, direncanakan seberapa kebutuhan SPAL yang dibutuhkan mulai dari depan rumah warga hingga menuju ke IPAL komunal yang akan dibangun. Namun sebelum direncanakan SPAL dari sumber air limbah hingga ke unit IPAL, perlu diketahui debit air limbah dari tiap rumah warga. Perhitungan diawali dengan menentukan pelayanan penduduk, pembebanan dari tiap jaur pipa, dan kebutuhan air rata-rata dari tiap sambungan rumah. Perhitungan debit air limbah diperoleh

setelah mengetahui rata-rata penggunaan air bersih yang diketahui melalui data sekunder PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. Berdasarkan Permen PUPR No.4 tahun 2017, persentase air limbah yang mencapai saluran air limbah berada pada kisaran (70 – 80)%. Pada perencanaan ini, air limbah diambil presentase sebesar 80% dari penggunaan air bersih. Setelah mengetahui debit air limbah rata-rata kemudian dihitung debit puncak dan debit minimum. Untuk mengetahui faktor puncak maka dilihat grafik faktor puncak. Jumlah responden yang dibutuhkan untuk menghitung sampel penggunaan air bersih menggunakan rumus Slovin dengan galat sebesar 10%.

Diketahui: Jumlah Penduduk = 46732 jiwa

Jumlah orang/KK = 5 orang

(Sumber: Kantor Kelurahan Se-Kecamatan Semampir, 2017)

Jumlah KK = 9346 KK

Berikut merupakan rumus slovin:

$$n = \frac{N}{1+(N \times e^2)}$$

Dimana: n = jumlah sampel

N = jumlah populasi

e = batas toleransi kesalahan

Berikut merupakan perhitungan jumlah sampel yang dibutuhkan:

$$n = \frac{N}{1+(N \times e^2)}$$

$$n = \frac{9346}{1+(9346 \times 0,1^2)}$$

n = 98,9 sampel ≈ 99 sampel

Data penggunaan air bersih disajikan dalam Tabel 6.14.

Tabel 6. 14 Pemakaian Air Bersih di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo

No	Pemakaian (m ³)	Pemakaian (L)	Pemakaian per Hari (L)	Jumlah Anggota Keluarga	Volume per Orang (L)
1	21	21000	700,00	5	140,00
2	23	23000	766,67	4	191,67
3	15	15000	500,00	5	100,00

No	Pemakaian (m ³)	Pemakaian (L)	Pemakaian per Hari (L)	Jumlah Anggota Keluarga	Volume per Orang (L)
4	21	21000	700,00	5	140,00
5	19	19000	633,33	5	126,67
6	34	34000	1133,33	5	226,67
7	22	22000	733,33	5	146,67
8	17	17000	566,67	5	113,33
9	21	21000	700,00	5	140,00
10	24	24000	800,00	5	160,00
11	36	36000	1200,00	6	200,00
12	67	67000	2233,33	7	319,05
13	23	23000	766,67	5	153,33
14	20	20000	666,67	4	166,67
15	14	14000	466,67	4	116,67
16	16	16000	533,33	4	133,33
17	12	12000	400,00	3	133,33
18	25	25000	833,33	4	208,33
19	30	30000	1000,00	5	200,00
20	26	26000	866,67	5	173,33
21	21	21000	700,00	3	233,33
22	25	25000	833,33	5	166,67
23	32	32000	1066,67	5	213,33
24	19	19000	633,33	4	158,33
25	17	17000	566,67	4	141,67
26	24	24000	800,00	5	160,00
27	32	32000	1066,67	5	213,33
28	19	19000	633,33	5	126,67
29	24	24000	800,00	5	160,00
30	14	14000	466,67	4	116,67
31	27	27000	900,00	5	180,00
32	12	12000	400,00	5	80,00
33	25	25000	833,33	5	166,67
34	21	21000	700,00	5	140,00
35	11	11000	366,67	3	122,22

No	Pemakaian (m ³)	Pemakaian (L)	Pemakaian per Hari (L)	Jumlah Anggota Keluarga	Volume per Orang (L)
36	16	16000	533,33	5	106,67
37	10	10000	333,33	3	111,11
38	22	22000	733,33	4	183,33
39	37	37000	1233,33	5	246,67
40	27	27000	900,00	5	180,00
41	57	57000	1900,00	6	316,67
42	45	45000	1500,00	5	300,00
43	18	18000	600,00	4	150,00
44	21	21000	700,00	5	140,00
45	22	22000	733,33	5	146,67
46	25	25000	833,33	5	166,67
47	32	32000	1066,67	5	213,33
48	34	34000	1133,33	4	283,33
49	32	32000	1066,67	4	266,67
50	23	23000	766,67	5	153,33
51	30	30000	1000,00	5	200,00
52	21	21000	700,00	5	140,00
53	20	20000	666,67	5	133,33
54	17	17000	566,67	5	113,33
55	18	18000	600,00	4	150,00
56	17	17000	566,67	5	113,33
57	18	18000	600,00	4	150,00
58	20	20000	666,67	4	166,67
59	27	27000	900,00	3	300,00
60	37	37000	1233,33	4	308,33
61	45	45000	1500,00	6	250,00
62	44	44000	1466,67	5	293,33
63	19	19000	633,33	5	126,67
64	26	26000	866,67	5	173,33
65	37	37000	1233,33	4	308,33
66	32	32000	1066,67	4	266,67
67	22	22000	733,33	5	146,67

No	Pemakaian (m ³)	Pemakaian (L)	Pemakaian per Hari (L)	Jumlah Anggota Keluarga	Volume per Orang (L)
68	10	10000	333,33	3	111,11
69	18	18000	600,00	3	200,00
70	27	27000	900,00	4	225,00
71	24	24000	800,00	5	160,00
72	13	13000	433,33	5	86,67
73	18	18000	600,00	5	120,00
74	15	15000	500,00	5	100,00
75	12	12000	400,00	5	80,00
76	17	17000	566,67	5	113,33
77	21	21000	700,00	5	140,00
78	32	32000	1066,67	5	213,33
79	15	15000	500,00	5	100,00
80	30	30000	1000,00	5	200,00
81	21	21000	700,00	5	140,00
82	13	13000	433,33	3	144,44
83	19	19000	633,33	5	126,67
84	18	18000	600,00	5	120,00
85	17	17000	566,67	5	113,33
86	15	15000	500,00	5	100,00
87	21	21000	700,00	5	140,00
88	18	18000	600,00	5	120,00
89	17	17000	566,67	5	113,33
90	16	16000	533,33	5	106,67
91	13	13000	433,33	5	86,67
92	19	19000	633,33	5	126,67
93	18	18000	600,00	5	120,00
94	20	20000	666,67	4	166,67
95	15	15000	500,00	5	100,00
96	15	15000	500,00	5	100,00
97	17	17000	566,67	4	141,67
98	18	18000	600,00	4	150,00
99	18	18000	600,00	5	120,00

No	Pemakaian (m ³)	Pemakaian (L)	Pemakaian per Hari (L)	Jumlah Anggota Keluarga	Volume per Orang (L)
Rata-rata Pemakaian Air					163,21

Sumber : Hasil Pengolahan Data PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, 2018

Berikut contoh perhitungan debit air limbah pada blok 2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Diketahui: Jumlah KK} &= 687 \\
 \text{Jumlah Penduduk} &= 3434 \text{ orang} \\
 \text{Q rata-rata air limbah} &= \text{Q air bersih} \times 80\% \times \text{jumlah penduduk} \\
 &= 163,21 \text{ L/orang.hari} \times 80\% \times \\
 &\quad 3434 \text{ orang} \\
 &= 0,0052 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

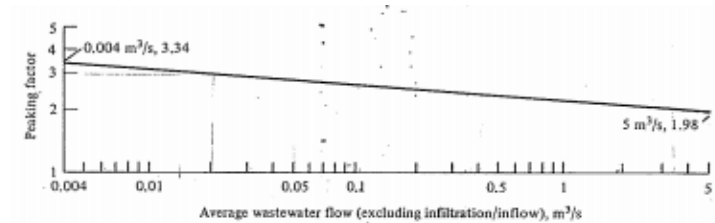
Berikut merupakan hasil perhitungan debit air limbah rata-rata tiap yang tersaji pada Tabel 6.15.

Tabel 6. 15 Perhitungan Debit Air Limbah rata-rata

Blok	Pelayanan (%)	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Jumlah KK	Qrata-rata (m ³ /s)
1	4,6	1785	357	0,0027
2	8,8	3434	687	0,0052
3	12,1	4739	948	0,0072
4	7,2	2815	563	0,0043
5	3,1	1220	244	0,0018
6	14,4	5612	1122	0,0085
7	6,1	2365	473	0,0036
8	17,2	6712	1342	0,0101
9	12,6	4904	981	0,0074
10	13,9	5439	1088	0,0082
11	31,1	5682	1136	0,0086
12	42,3	7728	1546	0,0117
13	26,6	4869	974	0,0074

Sumber : Hasil Perhitungan

Setelah menghitung debit air limbah rata-rata kemudian dihitung debit puncak dan debit minimum. Untuk mengetahui faktor puncak maka dilihat grafik faktor puncak pada gambar 6.3.



Gambar 6. 3 Faktor Puncak

Sumber : Metcalf dan Eddy, 2004

Faktor peak = 3,1

Selanjutnya dihitung debit minimum tiap blok. Berikut merupakan contoh perhitungan debit minimum jalur blok 2:

$$\begin{aligned}
 \text{- Debit Minimum} &= \frac{1}{5} * Q_{ave} \left(\frac{P}{1000} \right)^{0,2} \\
 &= \frac{1}{5} * 0,0052 * \left[\frac{3434}{1000} \right]^{0,2} \\
 &= 0,0013 \text{ m}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil perhitungan debit peak dan debit minimum tiap blok tersaji pada Tabel 6.16.

Tabel 6. 16 Perhitungan Debit Peak dan Debit Minimum

Blok	Pelayanan (%)	Qrata-rata (m³/s)	Faktor Puncak	Qpuncak (m³/s)	Qmin (m³/s)
1	4,6	0,003	3,34	0,009	0,0006
2	8,8	0,005	3,3	0,017	0,0013
3	12,1	0,007	3,2	0,023	0,0020
4	7,2	0,004	3,34	0,014	0,0010
5	3,1	0,002	3,34	0,006	0,0004
6	14,4	0,008	3,17	0,027	0,0024
7	6,1	0,004	3,34	0,012	0,0008
8	17,2	0,010	3,1	0,031	0,0030

Blok	Pelayanan (%)	Qrata-rata (m ³ /s)	Faktor Puncak	Qpuncak (m ³ /s)	Qmin (m ³ /s)
9	12,6	0,007	3,2	0,024	0,0020
10	13,9	0,008	3,17	0,026	0,0023
11	31,1	0,009	3,15	0,027	0,0024
12	42,3	0,012	3,1	0,036	0,0035
13	26,6	0,007	3,2	0,024	0,0020

Sumber : Hasil Perhitungan

6.4 Pembebanan SPAL

Setiap pipa SPAL yang dialirkan melalui pipa tersier dari setiap rumah, akan memberikan beban debit maupun tekanan kepada pipa sekunder, begitu juga dengan pipa sekunder yang memberikan beban debit maupun tekanan ke pipa primer sebelum menuju ke IPAL. Saluran pipa SPAL akan menerima beban debit yang berbeda-beda sesuai dengan tata letak daerah pelayanannya yang dipengaruhi juga oleh jumlah penduduk yang terlayani dalam daerah tersebut. Hasil perhitungan untuk pembebanan pipa disajikan pada Tabel 6.17.

Tabel 6. 17 Perhitungan Pembebanan Pipa

No	pipa	Beban saluran	Blok	Q rata-rata
				m ³ /s
1	a-M	30%	11	0,009
2	b-O	40%	12	0,012
3	c-Q	30%	13	0,007
4	M-N	Total Saluran a-M		0,009
5	N-O	Total Saluran M-N		0,009

No	pipa	Beban saluran	Blok	Q rata-rata
				m ³ /s
6	O-P	Total Saluran N-O		0,009
7	Q-P	Total Saluran c-Q		0,007
8	P-I	Total Saluran Q-P		0,007
		Total Saluran O-P		0,009
		Total Saluran P-I		0,016
9	N-H	10%	10	0,008
		10%	9	0,007
		Total Saluran N-H		0,016
10	f-L	10%	8	0,010
11	e-i	10%	7	0,004
12	H-I	Total Saluran N-H		0,016
13	I-J	Total Saluran N-H		0,016
		Total Saluran P-I		0,016
		Total Saluran I-J		0,032
14	J-K	Total Saluran I-J		0,032
15	K-L	Total Saluran J-K		0,032
16	L-D	Total Saluran f-L		0,010
		Total Saluran K-L		0,032
		Total Saluran L-D		0,042
17	k-G	10%	3	0,007
18	J-F	10%	4	0,004
19	K-E	10%	5	0,002
20	G-F	Total Saluran k-G		0,007
21	F-E	Total Saluran J-F		0,004

No	pipa	Beban saluran	Blok	Q rata-rata	
				m ³ /s	
				Total Saluran G-F	0,007
				Total Saluran F-E	0,011
				Total Saluran E-D	0,013
22	E-D			Total Saluran F-E	0,011
				Total Saluran K-E	0,002
				Total Saluran E-D	0,013
23	D-C			Total Saluran E-D	0,013
				Total Saluran L-D	0,042
				Total Saluran D-C	0,055
24	j-B	10%	6	0,008	
25	G-I	10%	2	0,005	
26	I-C	10%	1	0,003	
27	C-B			Total Saluran I-C	0,003
				Total Saluran D-C	0,055
				Total Saluran C-B	0,058
28	B-A			Total Saluran j-B	0,008
				Total Saluran C-B	0,058
				Total Saluran B-A	0,066
29	A-IPAL			Total Saluran B-A	0,066

Sumber : Hasil Perhitungan

Selanjutnya dihitung debit limpasan infiltrasi dari masing-masing pipa tersaji pada Tabel 6.18.

Tabel 6. 18 Perhitungan Debit Infiltrasi

Jalur Pipa	Luas	Rate Infiltrasi	Q peak infiltrasi
	Ha	m ³ /Ha.d	m ³ /s
a-M	2,5	14	0,00040

Jalur Pipa	Luas	Rate Infiltrasi	Q peak infiltrasi
	Ha	m ³ /Ha.d	m ³ /s
b-O	4,4	14	0,00072
c-Q	2,1	14	0,00034
M-N	2,5	14	0,00040
N-O	2,5	14	0,00040
O-P	2,5	14	0,00040
Q-P	2,1	14	0,00034
P-I	4,6	14	0,00074
N-H	1,5	14	0,00024
f-L	0,9	14	0,00015
e-i	0,3	14	0,00005
H-I	1,5	14	0,00024
I-J	6,0	14	0,00097
J-K	6,0	14	0,00097
K-L	6,0	14	0,00097
L-D	7,0	14	0,00113
k-G	0,7	14	0,00011
J-F	0,4	14	0,00006
K-E	0,2	14	0,00003
G-F	0,7	14	0,00011
F-E	1,1	14	0,00017
E-D	1,2	14	0,00020
D-C	8,2	14	0,00133
j-B	0,8	14	0,00013
G-I	0,5	14	0,00008
I-C	0,3	14	0,00004
C-B	8,5	14	0,00137
B-A	9,3	14	0,00150
A-IPAL	9,3	14	0,00150

Sumber : Hasil Perhitungan

Selanjutnya dihitung debit total dari masing-masing pipa tersaji pada Tabel 6.19.

Tabel 6. 19 Debit Total

Jalur Pipa	Q peak	Q peak infiltrasi	Q Total
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
a-M	0,027	0,00040	0,03
b-O	0,036	0,00072	0,04
c-Q	0,024	0,00034	0,02
M-N	0,027	0,00040	0,03
N-O	0,027	0,00040	0,03
O-P	0,027	0,00040	0,03
Q-P	0,024	0,00034	0,02
P-I	0,051	0,00074	0,05
N-H	0,050	0,00024	0,05
f-L	0,031	0,00015	0,03
e-i	0,012	0,00005	0,01
H-I	0,050	0,00024	0,05
I-J	0,100	0,00097	0,10
J-K	0,100	0,00097	0,10
K-L	0,100	0,00097	0,10
L-D	0,132	0,00113	0,13
k-G	0,023	0,00011	0,02
J-F	0,014	0,00006	0,01
K-E	0,006	0,00003	0,01
G-F	0,023	0,00011	0,02
F-E	0,037	0,00017	0,04
E-D	0,043	0,00020	0,04
D-C	0,175	0,00133	0,18
j-B	0,027	0,00013	0,03
G-I	0,017	0,00008	0,02
I-C	0,009	0,00004	0,01
C-B	0,184	0,00137	0,19

Jalur Pipa	Q peak	Q peak infiltrasi	Q Total
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
B-A	0,211	0,00150	0,21
A-IPAL	0,211	0,00150	0,21

Sumber : Hasil Perhitungan

6.5 Dimensi Pipa SPAL

Perhitungan dimensi pipa air limbah berdasarkan pada pembebanan air limbah pada masing-masing pipa. Hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan dimensi pipa adalah kecepatan maksimum dan minimum air limbah. Kecepatan minimum digunakan untuk menghindari adanya endapan dalam pipa, sedangkan kecepatan maksimum untuk menghindari gesekan yang berlebihan dalam pipa sehingga mengakibatkan kerusakan. Apabila kecepatan minimum tidak tercapai, maka diperlukan debit penggelontoran yang diperlukan untuk menggelontor air dan mencegah endapan yang ada di dalam pipa SPAL. Pada perencanaan kali ini digunakan sistem *shallow sewer* yang menyalurkan air limbah skala kecil, dengan kemiringan pipa yang lebih landai. Perpipa air limbah sistem *shallow sewer* tergantung pada pembilasan air limbah untuk mengangkut buangan padat jika dibandingkan dengan cara konvensional yang mengandalkan self cleansing (Permen PUPR No.4 tahun 2017). Berikut merupakan kriteria desain v_{min} saat *full flow* menurut Permen PUPR No.4 tahun 2017.

Tabel 6. 20 Kecepatan Pengaliran Pipa Minimal Saat *Full Flow*

Diameter (mm)	Kecepatan Self Cleansing (m/dtk)
200	0,41
250	0,42
300	0,44
375	0,45
450	0,47

Sumber: Permen PUPR no.4 tahun 2017

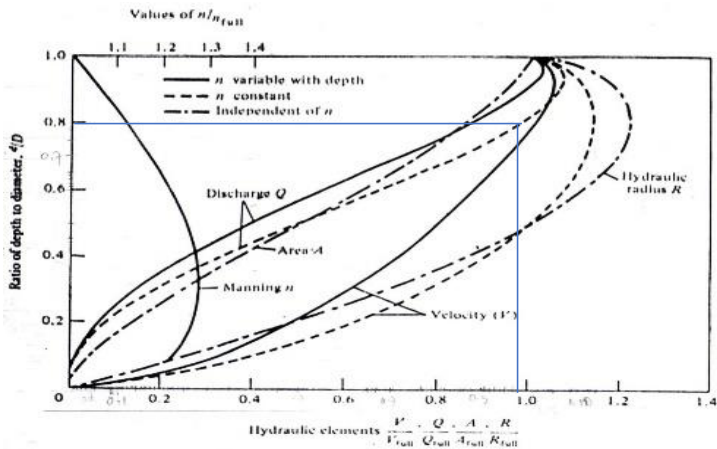
Berikut merupakan contoh perhitungan dimensi pipa jalur e-i.

Diketahui :

- Q_{minimum} = 0,001 m³/detik
- $Q_{\text{peak total}}$ = 0,01 m³/detik
- Panjang Pipa = 430 m
- Elevasi medan awal = 4,2 m
- Elevasi medan akhir = 4,1 m

Direncanakan :

- Slope pipa = 0,003
- d/D = 0,8



Gambar 6. 4 Hydraulic Elements for Circular Sewer

Berdasarkan grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer*, maka didapatkan

$$Q_{\text{PEAK}}/Q_{\text{FULL}} = 0,975.$$

Maka :

$$\begin{aligned} Q_{\text{full}} &= Q_{\text{PEAK}} / (Q_{\text{PEAK}}/Q_{\text{FULL}}) \\ &= 0,01 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,975 \\ &= 0,0102 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Untuk pipa pvc, koefisien kekasaran pipa (n) = 0,013

- Perhitungan dimensi pipa digunakan rumus manning yaitu:

$$v = 1/n \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

Dalam penentuan diameter pipa digunakan rumus turunan dari rumus manning, yaitu sebagai berikut:

$$Q = \frac{0,3117}{n} \times D^{3/8} \times S^{1/2}$$

$$0,0102 = \frac{0,3117}{0,013} \times D^{3/8} \times 0,0056^{1/2}$$

$$D = 0,1735 \text{ m}$$

$$= 173,5 \text{ mm}$$

$$D_{\text{terpasang}} = 0,25 \text{ m} = 250 \text{ mm}$$

- Cek Q full

$$Q = \frac{0,3117}{n} \times D^{3/8} \times S^{1/2}$$

$$Q = \frac{0,3117}{0,013} \times 0,25^{3/8} \times 0,0056^{1/2}$$

$$= 0,033 \text{ m}^3/\text{detik}$$

- Penentuan rasio Qmin/Qfull

$$Q_{\text{Min}}/Q_{\text{full cek}} = 0,001 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,033 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 0,0303$$

- Cek V full

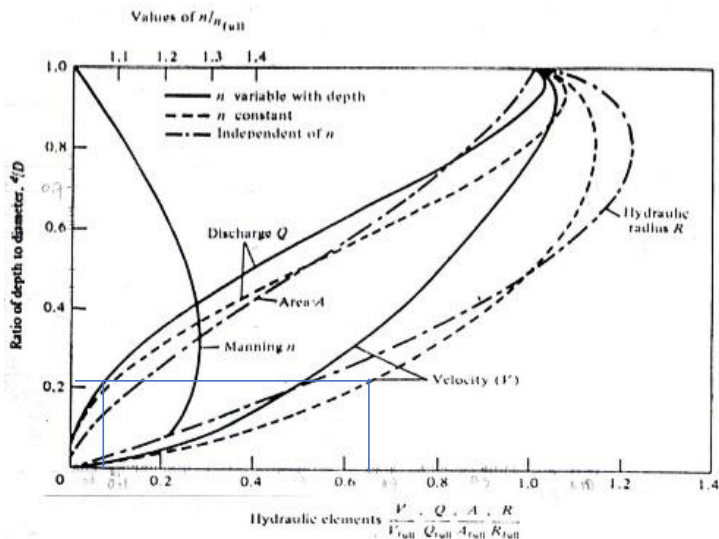
$$v = \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$$

$$v = \frac{0,033}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,11^2}$$

$$= 0,664 \text{ m/detik}$$

$$V_{\text{full cek}} = 0,664 \text{ m/detik}$$

Nilai n Manning dapat dianggap konstan untuk semua kedalaman perencanaan. Berdasarkan plot grafik terlihat jelas bahwa kecepatan di sebagian terisi saluran selokan melingkar dapat melebihi yang di bagian penuh dan maksimum pada d/D dari 0,8. Demikian pula, pelepasan yang diperoleh tidak maksimal pada kondisi aliran penuh, tetapi maksimum ketika kedalaman sekitar 0,95 kali kedalaman penuh. Air limbah yang mengalir dengan kedalaman antara 50% dan 80% penuh tidak perlu ditempatkan pada kondisi curam gradien untuk mencapai pembersihan diri. Hal ini dikarenakan bahwa kecepatan adalah fungsi intensitas kekuatan traksi yang tergantung pada koefisien gesekan serta kecepatan aliran yang dihasilkan oleh gradien dari pipa. Setelah itu ditentukan rasio v_{min}/v_{full} dan d_{min}/D dari grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer*.



Gambar 6. 5 Hydraulic Elements for Circular Sewer

- $V_{min}/V_{full} = 0,64$ (didapatkan dari hubungan antara nilai dari Q_{min}/Q_{full} cek dengan V_{min}/V_{full} pada grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer*)
- $V_{min} = V_{full} \text{ cek} \times (V_{min}/V_{full}) = 0,664 \text{ m/detik} \times 0,64 = 0,425 \text{ m/detik}$

Kecepatan minimum pipa hasil perhitungan didapatkan 0,425 m/s. Kriteria desain kecepatan pipa minimum ditetapkan sebesar 0,6 m/s sehingga dalam perhitungan diatas belum memenuhi. Perpipaan air limbah domestik dengan sistem shallow sewer bergantung pada pembilasan air limbah untuk mengangkut buangan padat jika dibandingkan dengan cara konvensional yang mengandalkan *self cleansing*.

Penggelontoran dilaksanakan saat debit dan kecepatan aliran minimal, yang kedalaman renang air limbah tidak cukup untuk membersihkan endapan padat. Volume air yang dibutuhkan untuk penggelontoran dihitung dengan persamaan berikut. Volume air penggelontoran:

$$H_{min} = d_{min}/D \times D_{pakai}$$

$$= 0,12 \times 0,104 \text{ m}$$

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

Hmin yang dipersyaratkan = 0,05 m

$$\Delta A \text{ gelontor} = (1,4 \times \pi \times h_{\text{min}} \text{ syarat}) - (1,4 \times \pi \times h_{\text{min}})$$

$$= (1,4 \times 3,14 \times 0,052) - (1,4 \times \pi \times 0,012)$$

$$= 0,004 \text{ m}^2$$

$$Q_{\text{gelontor}} = \Delta A \text{ gelontor} \times V_{\text{min}} \text{ syarat}$$

$$= 0,004 \text{ m}^2 \times 0,6 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$= 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Volume gelontor} = Q_{\text{gelontor}} \times (\text{Panjang pipa} / V_{\text{min}} \text{ syarat})$$

$$= 0,002 \text{ m}^3/\text{s} \times (491 \text{ m} / 0,6 \text{ m/s})$$

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

Selanjutnya dilakukan perhitungan dimensi pipa untuk setiap jalur dengan cara yang sama, hasil perhitungan dimensi pipa dapat dilihat pada lampiran.

6.6 Penanaman Pipa SPAL

Penanaman pipa dihitung untuk mencari kedalaman galian yang dibutuhkan untuk menanam pipa servis. Penanaman pipa mengikuti slope rancang yang telah ditetapkan sebelumnya. Penanaman dilakukan dengan diusahakan sedemikian rupa sehingga pemompaan tidak diperlukan. Pompa digunakan apabila penanaman pipa telah mencapai 7 meter (Permen PUPR no.4 tahun 2017). Kedalaman penanaman pipa minimal harus disesuaikan dengan kelas yang dilewati saluran, pipa PDAM jenis tanah, lokasi bangunan yang akan menggunakan fasilitas penyaluran air buangan, kekuatan saluran dan diameter saluran. Berdasarkan data yang diperoleh dari PDAM Surya Sembada Kota Surabaya penanaman pipa SPAM memiliki kedalaman 0,6 m. Untuk beberapa pipa yang memiliki slope lebih landai daripada

slope muka tanah dan juga mempunyai beda ketinggian lebih dari 1 meter dapat digunakan drop manhole. Beberapa pipa yang memiliki slope lebih landai daripada slope muka tanah dan juga mempunyai beda ketinggian lebih dari 0,5 meter dapat digunakan drop *manhole*.

Berikut adalah contoh perhitungan penanaman pipa pada jalur e-i :

- Panjang Pipa = 430 m
 - Diameter pipa (D) = 250 mm
 - Slope pipa = 0,003
 - Elevasi tanah awal = 4,2 m
 - Elevasi tanah akhir = 4,1 m
 - Urugan pasir atas pipa = 0,1 m
 - Headloss (HL) = Panjang pipa x Slope
= $430 \times 0,003$
= 1,29 m
- Kemudian dihitung kedalaman penanaman :
- Elevasi tanah awal = 4,2 m
 - Elevasi bawah pipa awal = elevasi tanah awal – 1– D
= $4,2 - 1 - 0,25$ m
= 2,95 m
 - Elevasi atas pipa awal = elevasi bawah pipa awal + D
= $2,95 + 0,25$ m
= 3,2 m
 - Elevasi tanah akhir = 4,1
 - Elevasi bawah pipa akhir HL = elevasi bawah pipa awal - HL
= $2,95 - 1,29$ m
= 1,66 m
 - Elevasi atas pipa akhir D = elevasi bawah pipa akhir + D
= $1,66 + 0,25$
= 1,91 m
 - Kedalaman penanaman pipa elevasi bawah pipa akhir = elevasi tanah akhir – D –
= $4,1 - 0,25 - 1,66$ m
= 2,19 m

Tabel hasil perhitungan penanaman pipa SPAL pada semua jalur dapat dilihat pada lampiran.

6.7 Bangunan Pelengkap

Pada sistem jaringan pipa air limbah dalam perencanaan ini dilengkapi dengan bangunan pelengkap sebagai penunjang daya dukung pengaliran air limbah diantaranya *manhole* dan bak kontrol.

6.7.1 *Manhole*

Bangunan pelengkap *manhole* berguna sebagai jalan masuknya petugas pengontrol saluran. *Manhole* dindingnya terbuat dari beton bertulang yang sudah dibuat di pabrik dengan ketebalan dinding 15 cm dan lubang tutupnya berdiameter 70 cm. Pada perencanaan ini, terdapat lima jenis *manhole* yang digunakan yaitu :

- *Manhole* lurus
- *Manhole* belok
- *Manhole* pertigaan
- *Manhole* perempatan
- *Drop Manhole*

Berikut merupakan standar jarak antar *manhole* menurut Permen PUPR no.4 tahun 2017.

Tabel 6. 21 Jarak Antar *Manhole*

Diamter(mm)	Jarak antar <i>manhole</i> (m)
20 - 50	50 - 75
50 -75	75 - 125
100 - 150	125 - 150
150 - 200	150 - 200
1000	100 - 150

Sumber: Permen PUPR no.4 tahun 2017

Pipa yang terpasang pada SPAL berdiameter 250 dan 500 mm. berdasarkan tabel jarak pemasangan *manhole* sepanjang

(125-150) m. Pada perencanaan ini pemasangan *manhole* pada jarak tiap 150 m. Penambahan angka satu ini dikarenakan pada penanaman pipa awal harus dipasang *manhole*.

Misalnya jenis pipa a-M dengan panjang pipa 491 m dan jarak antar *manhole* 150 m. Maka jumlah *manhole* adalah $(491 \text{ m} / 150 \text{ m}) + 1 = 4$ buah. Tabel hasil penentuan *manhole* berdasarkan jarak serta kondisi titik dapat dilihat pada lampiran.

6.7.2 Bak Kontrol

Bak kontrol merupakan prasarana pendukung sub-sistem pelayanan yang berfungsi sebagai prasarana untuk menahan sampah atau benda yang dapat menyumbat pipa pengumpulan air limbah. Jumlah bak kontrol yang dipasang sama dengan jumlah KK atau rumah terlayani sebanyak 9346 buah. Perhitungan bak kontrol sebagai berikut:

- td = 30 menit
- Kedalaman = 0,3 m
- Q rata-rata = 163,21 L/KK.hari x 5 orang
= 816 L/KK.hari
- Faktor peak = 2
- Q peak = 816 L/KK.hari x 2
= 1632 L/KK.hari
= 0,068 m³/KK.jam

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Volume Bak kontrol} &= Q_{\text{peak}} \times T_d \\ &= 0,068 \text{ m}^3/\text{KK.jam} \times 0,5 \text{ jam} \\ &= 0,034 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Asurface Bak kontrol} &= \frac{\text{Volume bak kontrol}}{\text{Kedalaman bak kontrol}} = \frac{0,034}{0,3} \\ &= 0,113 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Panjang Bak kontrol} = 0,34 \text{ m}$$

$$\text{Lebar Bak kontrol} = 0,34 \text{ m}$$

6.8 Profil Hidrolis

Profil hidrolis menunjukkan perjalanan air sejak awal masuk kedalam pipa servis sampai kedalam unit pengolahan. Tujuannya adalah memudahkan perencanaan dalam melihat penanaman yang harus dilakukan. Terdapat keterangan panjang pipa, elevasi

muka tanah, elevasi atas pipa, slope saluran, diameter pipa serta jenis *manhole* yang ada, sesuai dari perhitungan yang telah dilakukan. Profil hidrolis dari saluran terpanjang perencanaan yaitu saluran M-IPAL. Jalur Profil Hidrolis tersaji pada table 6.22.

Tabel 6. 22 Jalur Profil Hidrolis Saluran M-IPAL

Jalur Pipa Menuju IPAL						
No	Jalur Pipa	Jenis Pipa	Elevasi atas pipa (m)		Elevasi bawah pipa (m)	
			Awal	Akhir	Awal	Akhir
1	M-N	Primer	3,25	3,16	2,97	2,88
2	N-O	Primer	3,16	2,99	2,88	2,71
3	O-P	Primer	2,99	2,89	2,71	2,65
4	P-I	Primer	2,89	2,80	2,65	2,60
5	I-J	Primer	2,80	2,74	2,60	2,44
6	J-K	Primer	2,74	2,70	2,44	2,40
7	K-L	Primer	2,70	2,65	2,40	2,32
8	L-D	Primer	2,65	2,57	2,32	2,21
9	D-C	Primer	2,57	2,47	2,21	2,11
10	C-B	Primer	2,47	2,33	2,11	2,00
11	B-A	Primer	2,33	2,21	2,00	1,73
12	A-IPAL	Primer	2,21	2,01	1,73	1,56

Sumber: Hasil Perhitungan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 7

PERENCANAAN INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK

IPAL adalah bangunan yang digunakan untuk mengolah air limbah agar karakteristik yang dihasilkan setelah olahan memenuhi standart baku mutu yang sudah ditetapkan. Didalam merancang IPAL domestik komunal yang paling penting adalah menentukan jumlah air limbah yang akan diolah. Selanjutnya menentukan besarnya polutan organik (BOD) inlet, BOD air olahan yang diharapkan, efisiensi pengolahan serta beban pengolahan atau waktu tinggal di dalam reaktor IPAL serta jenis proses yang digunakan. Besarnya parameter yang ditetapkan akan menentukan besarnya IPAL yang akan digunakan. Proses perencanaan suatu instalasi pengolahan air limbah ada dua yaitu:

- a. *Initial years* adalah waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan konstruksi bangunan dan bangunan yang siap beroperasi.
- b. *Design years* adalah tahun dimana bangunan mencapai kapasitas yang direncanakan.

Perencanaan penyelenggaraan IPAL jangka panjang merupakan rangkaian dari keseluruhan penyelenggaraan di sektor air limbah domestik untuk jangka waktu 20 (dua puluh) tahun. Periode perencanaan yang digunakan adalah 20 tahun mulai tahun 2020 sampai tahun 2040. *Initial years* direncanakan selama 2 tahun termasuk waktu untuk perencanaan, masa tender, dan waktu pembangunan instalasi yang dimulai pada tahun 2018.

7.1 Debit Air Limbah di IPAL

Berdasarkan hasil perhitungan debit total air limbah, diperoleh debit air limbah yang dihasilkan dari Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo. Kuantitas air limbah yang akan diolah pada instalasi pengolahan air limbah sebagai berikut

- Debit rata-rata = 0,066 m³/detik
- Debit puncak = 0,21 m³/detik
- Debit minimum = 0,012 m³/detik

Pada perencanaan ini digunakan debit puncak sebagai debit pengolahan air limbah domestik.

7.2 Karakteristik Air Limbah Domestik

Karakteristik air limbah didapatkan melalui data primer dari perumahan di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo, Surabaya. Pengujian hasil sampling dilakukan di Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan Balai Besar Laboratorium Kesehatan Surabaya. Sampling dilakukan pada 4 titik secara acak di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo. Hasil analisa karakteristik air limbah tersaji pada Tabel 7.1, Tabel 7.2, Tabel 7.3, dan Tabel 7.4.

Tabel 7. 1 Karakteristik Air Limbah Domestik Kelurahan Pegirian

Titik 1

Parameter	Hasil	Satuan	Baku Mutu Air Limbah
pH	7,65	-	6-9
TSS	266	mg/L	50
COD	465	mg/L O ₂	50
BOD ₅	212	mg/L O ₂	30
Minyak dan Lemak	29	mg/L	10
Amonia	11,22	mg/L NH ₃ -N	10
Total Koliform	170 x 10 ⁶	MPN/100 mL	3000

Sumber: Hasil Perhitungan Lab, 2019

Tabel 7. 2 Karakteristik Air Limbah Domestik Kelurahan Pegirian

Titik 2

Parameter	Hasil	Satuan	Baku Mutu Air Limbah
pH	7,81	-	6-9
TSS	272	mg/L	50
COD	457	mg/L O ₂	50
BOD	238	mg/L O ₂	30
Minyak dan Lemak	30	mg/L	10
Amonia	13,3	mg/L NH ₃ -N	10

Parameter	Hasil	Satuan	Baku Mutu Air Limbah
Total Koliform	180 x 10 ⁶	MPN/100 mL	3000

Sumber: Hasil Perhitungan Lab, 2019

Tabel 7. 3 Karakteristik Air Limbah Domestik Kelurahan Wonokusumo Titik 3

Parameter	Hasil	Satuan	Baku Mutu Air Limbah
pH	7,67	-	6-9
TSS	287	mg/L	50
COD	505	mg/L O ₂	50
BOD ₅	266	mg/L O ₂	30
Minyak dan Lemak	30	mg/L	10
Amonia	14,1	mg/L NH ₃ -N	10
Total Koliform	180 x 10 ⁶	MPN/100 mL	3000

Sumber: Hasil Perhitungan Lab, 2019

Tabel 7. 4 Karakteristik Air Limbah Domestik Kelurahan Wonokusumo Titik 4

Parameter	Hasil	Satuan	Baku Mutu Air Limbah
pH	7,78	-	6-9
TSS	289	mg/L	50
COD	490	mg/L O ₂	50
BOD ₅	256	mg/L O ₂	30
Minyak dan Lemak	32	mg/L	10
Amonia	13,89	mg/L NH ₃ -N	10
Total Koliform	190 x 10 ⁶	MPN/100 mL	3000

Sumber: Hasil Perhitungan Lab, 2019

Berdasarkan data karakteristik air limbah yang didapat dari empat lokasi sampling, selanjutnya dilakukan perhitungan rata-rata karakteristik air limbah yang akan digunakan dalam pengolahan air limbah tersaji pada Tabel 7.5.

Tabel 7. 5 Karakteristik Rata-rata Air Limbah Domestik

Parameter	Hasil	Satuan	Baku Mutu Air Limbah
pH	7,73	-	6-9
TSS	279	mg/L	50
COD	479	mg/L O ₂	50
BOD ₅	243	mg/L O ₂	30
Minyak dan Lemak	30	mg/L	10
Amonia	13	mg/L NH ₃ -N	10
Total Koliform	180 x 10 ⁶	MPN/100 mL	3000

Sumber: Hasil Perhitungan Lab, 2019

7.3 Alternatif Pengolahan Air Limbah Domestik

Langkah awal dalam merencanakan bangunan pengolahan air limbah adalah menghitung efisiensi removal air limbah yang diperlukan agar memenuhi baku mutu air limbah dan menentukan proses pengolahan air limbah yang mampu mencapai efisiensi removal tersebut. Pengolahan biologis yang bertujuan untuk untuk memisahkan bahan organik dan padatan tersuspensi yang dapat terdegradasi secara biologis. Pengolahan tahap ini memanfaatkan kemampuan mikroorganisme untuk memisahkan kontaminan-kontaminan dalam air limbah. Target utama pengolahan ini adalah penurunan kandungan organik (biasanya diukur dalam BOD atau COD, padatan tersuspensi dan mikroorganisme patogen). Alternatif pengolahan akan dilakukan pada pemilihan beberapa alternatif pada tahap biologis. Sebelum itu perlu diketahui terlebih dahulu dasar pemikiran bagi pemilihan alternatif pengolahan nantinya. Kriteria dalam memilih unit pengolahan yang tepat adalah:

- a. Efisiensi pengolahan
Ditujukan agar efisiensi memperoleh persyaratan yang ditentukan untuk dikembalikan ke badan air atau dimanfaatkan kembali.
- b. Aspek teknis
 - Segi konstruksi: menyangkut teknis pelaksanaan, ketersediaan tenaga ahli, kemudahan material konstruksi dan instalasi bangunan.
- c. Aspek lingkungan

Kemungkinan terjadinya gangguan yang dirasakan oleh penduduk akibat ketidakseimbangan faktor ekologis.

Berdasarkan proses-proses pengolahan yang telah dijelaskan di atas maka, akan direncanakan tiga alternatif pengolahan dengan membedakan pada tahapan pengolahan biologis karena pada tahap pengolahan biologis terdapat bermacam-macam sistem pengolahan yang aerobik maupun anaerobik. Selain itu, tiap sistem juga memiliki efisiensi removal yang berbeda-beda. Dari ketiga alternatif pengolahan biologis tersebut nantinya akan dipilih satu proses pengolahan yang paling efektif dan efisien dari masing-masing tipe unit pengolahan berdasarkan kriteria design yang ada. Sebelum menentukan alternatif pengolahan biologi pada *secondary treatment* perlu diketahui perbandingan penggunaan proses aerobik dan anaerobik. Pemilihan bergantung dari karakteristik air limbah yang akan diolah. Untuk karakteristik limbah tertentu diperlukan kombinasi dari kedua proses tersebut.

Perbedaan utama dari pengolahan secara aerob dan anaerob terletak pada kondisi lingkungannya. Pada pengolahan secara aerob, kehadiran oksigen mutlak diperlukan untuk metabolisme bakteri, sementara pada kondisi anaerob sebaliknya. Berikut ini adalah beberapa perbedaan utama antara pengolahan secara aerob dan anaerob. Tabel berikut menunjukkan perbandingan antara pengolahan secara aerob dan anaerob:

Tabel 7. 6 Perbandingan Pengolahan Secara Aerob dan Anaerob

Parameter	Aerobik	Anaerobik
Kebutuhan energi	Tinggi	Rendah
Tingkat pengolahan	60-90%	95%
Produksi lumpur	Tinggi	Rendah
Stabilitas proses terhadap toksik	Sedang sampai tinggi	Rendah sampai sedang
Kebutuhan nutrisi	Tinggi untuk beberapa limbah industri	Rendah
Bau	Tidak terlalu berpotensi menimbulkan bau	Berpotensi menimbulkan bau

Parameter	Aerobik	Anaerobik
Kebutuhan alkalinitas	Rendah	Tinggi untuk beberapa limbah industri
Produksi biogas	Tidak ada	ada
Start-up time	2 – 4 minggu	2 – 4 bulan

Sumber: Eckenfelder et al., (1988)

Alternatif yang ditentukan pada pengolahan ini sebanyak tiga alternatif dimana yang membedakan antara ketiganya adalah perbedaan unit yang digunakan pada pengolahan biologis seperti pada Tabel 7.7.

Tabel 7. 7 Alternatif Pengolahan

Alternatif	Unit Pengolahan				
	1	<i>Anaerobic Filter</i>	Tangki Aerasi	<i>Constructed Wetland</i>	
2	<i>Grease Trap</i>	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	<i>Anaerobic Filter</i>	<i>Aerobic Biofilter</i>	Desinfeksi
3	<i>Grease Trap</i>	<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	<i>Anaerobic Filter</i>	Desinfeksi	

Efisiensi removal setiap alternatif pengolahan merupakan suatu hal yang harus diketahui agar dapat memilih jenis pengolahan yang efektif dan efisien dari ketiga alternatif yang ada. Sehingga dalam pemilihan alternatif ini harus memenuhi *effluent* yang didasarkan baku mutu menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik tentang baku mutu air limbah domestik. Efisiensi removal adalah persen pengurangan pencemar pada setiap unit. Dalam pemilihan alternatif, hal ini merupakan sesuatu yang sangat penting sebagai langkah awal penentuan unit mana yang sesuai untuk mengolah air limbah sehingga output yang dihasilkan memenuhi baku mutu *effluent standard*. Untuk unit pengolahan yang tidak mampu mengolah kualitas dan kuantitas air limbah yang ada hingga memenuhi baku mutu berarti tidak layak untuk diterapkan karena

dapat membahayakan kesehatan lingkungan dan masyarakat sekitar apabila menggunakan air sisa pengolahan yang dibuang ke badan air. Besarnya efisiensi removal tiap unit pengolahan terdapat pada Tabel 7.8 Efisiensi Removal Tiap Unit Pengolahan.

Tabel 7. 8 Efisiensi Removal Tiap Unit Pengolahan

Proses Pengolahan	Efisiensi Removal (%)				
	BOD	COD	TSS	Total Koliform	Ammonia
Sumur Pengumpul	-	-	-	-	-
Bak Distribusi	-	-	-	-	-
<i>Constructed Wetland</i>	80-90 ^b	80-90 ^b	50-70 ^b	-	40-52 ^b
<i>Anaerobic Baffled Reactor</i>	70 – 95 ^a	65 - 90 ^a	65 - 90 ^a	-	-
<i>Anaerobic Filter</i>	70 - 90 ^a	65 - 90 ^a	66 - 90 ^a	-	-
Desinfeksi	-	-	-	99,82-99,99 ^c	-
<i>Aerobic Biofilter</i>	60-90 ^d	60-90 ^d	60-90 ^d	-	80-90 ^d
Tangki Aerasi	60-70 ^d	60-70 ^d	50-60 ^d	-	60-80 ^d

Sumber: ^aPermen PUPR no.4 tahun 2017

^bNorth American Treatment Database NADB (1993) and Komex, 2000

^cKomala dan Ajeng, 2014

^dMetcalf and Eddy,2003

Setelah diketahui besarnya efisiensi removal dari masing-masing bangunan, selanjutnya dilakukan perhitungan berdasarkan karakteristik air limbah yang akan diolah.

Tabel 7. 9 Perhitungan Removal Alternatif 1

Parameter	Inlet	<i>Anaerobic Filter</i>		Tangki Aerasi		<i>Constructed Wetland</i>		Baku Mutu Air Limbah	Keterangan
	mg/L	<i>Removal</i>	Effluen	<i>Removal</i>	Effluen	<i>Removal</i>	Effluen		
pH	7,7	0%	7,7	0%	7,7	0%	7,7	6-9	Memenuhi
TSS	279	80%	55,8	60%	22,32	50%	11,16	50	Memenuhi
COD	479	80%	95,8	70%	28,74	80%	5,75	50	Memenuhi
BOD ₅	243	80%	48,6	70%	14,58	80%	2,92	30	Memenuhi
Minyak dan Lemak	30	0%	30	0%	30	0%	30	10	Tidak Memenuhi
Amonia	13	0%	13	60%	5,20	0%	5,20	10	Memenuhi
Total Koliform	180x10 ⁶	0%	180x10 ⁶	0%	180x10 ⁶	0%	180x10 ⁶	3000	Tidak Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7. 10 Perhitungan Removal Alternatif 2

Parameter	Inlet	Grease Trap		Anaerobic Baffled Reactor		Anaerobic Filter		Aerobic Biofilter		Desinfeksi		Baku Mutu Air Limbah	Keterangan
	mg/L	Removal	Effluen	Removal	Effluen	Removal	Effluen	Removal	Effluen	Removal	Effluen		
pH	7,7	0%	7,7	0%	7,7	0%	7,7	0%	7,7	0%	6-9	6-9	Memenuhi
TSS	279	0%	279	90%	27,90	80%	5,58	60%	2,23	0%	50	50	Memenuhi
COD	479	0%	479	90%	47,90	80%	9,58	60%	3,83	0%	50	50	Memenuhi
BOD ₅	243	0%	243	90%	24,30	80%	4,86	60%	1,94	0%	30	30	Memenuhi
Minyak dan Lemak	30	95%	1,5	0%	1,5	0%	1,5	0%	1,5	0%	10	10	Memenuhi
Amonia	13	0%	13,00	0%	13,00	0%	13,00	90%	1,30	0%	10	10	Memenuhi
Total Koliform	180x10 ⁶	0%	180x10 ⁶	0%	180x10 ⁶	0%	180x10 ⁶	0%	180x10 ⁶	99,99%	3000	3000	Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7. 11 Perhitungan Removal Alternatif 3

Parameter	Inlet	Grease Trap		Anaerobic Baffled Reactor		Anaerobic Filter		Desinfeksi		Baku Mutu Air Limbah	Keterangan
	mg/L	Removal	Effluen	Removal	Effluen	Removal	Effluen	Removal	Effluen		
pH	7,7	0%	7,7	0%	7,7	0%	7,7	0%	7,7	6-9	Memenuhi
TSS	279	0%	279	90%	27,90	80%	5,58	0%	5,58	50	Memenuhi
COD	479	0%	479	90%	47,90	80%	9,58	0%	9,58	50	Memenuhi
BOD ₅	243	0%	243	90%	24,30	80%	4,86	0%	4,86	30	Memenuhi
Minyak dan Lemak	30	95%	1,5	0%	1,5	0%	1,5	0%	1,5	10	Memenuhi
Amonia	13	0%	13,0	0%	13,0	0%	13,00	0%	13,0	10	Tidak Memenuhi
Total Koliform	180x10 ⁶	0%	180x10 ⁶	0%	180x10 ⁶	0%	180x10 ⁶	99,99%	1800	3000	Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan ketiga alternatif yang ada dalam perencanaan bangunan pengolahan air buangan ini, maka akan dipilih satu yang sesuai dengan keadaan dan situasi di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo. Untuk analisis pemilihan alternatif diatas, alternatif pertama tidak dipilih karena parameter *total koliform*, minyak dan lemak tidak memenuhi baku mutu sesuai standar Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/ atau Kegiatan Usaha Lainnya. Menurut Entjang (2003), menyatakan semakin tinggi tingkat kontaminasi bakteri *coliform*, semakin tinggi pula risiko kehadiran bakteri-bakteri patogen lain yang biasa hidup dalam kotoran manusia dan hewan. Salah satu contoh bakteri patogen yang kemungkinan terdapat dalam air terkontaminasi kotoran manusia atau hewan berdarah panas adalah bakteri *Escherichia coli*, yaitu mikroba penyebab gejala diare, demam, kram perut, dan muntah-muntah. Menurut Metcalf dan Eddy (1991), menyatakan dampak yang nyata dari adanya lemak dan minyak di permukaan air adalah terhalangnya penetrasi sinar matahari yang mengurangi laju proses fotosintesa yang mengurangi masukan O₂ bebas dari udara ke air. Kurangnya laju fotosintesa dan masukan O₂ dari udara akan mengganggu organisme yang ada di air. Minyak dan lemak merupakan bahan organik namun mempunyai rantai karbon yang panjang dan kompleks. Sebagian emulsi minyak dan lemak akan mengalami degradasi melalui *fotooksidasi* spontan dan oksidasi oleh mikroorganisme. Penguraian lemak dan minyak dalam kondisi kurang oksigen akan menyebabkan penguraian yang tidak sempurna sehingga menimbulkan bau. Beberapa komponen yang menyusun minyak juga diketahui bersifat racun terhadap hewan dan manusia, tergantung dari struktur dan berat molekulnya.

Alternatif ketiga tidak dipilih karena parameter ammonia tidak memenuhi baku mutu sesuai standar Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/ atau Kegiatan Usaha Lainnya. Menurut Rezakazemi (2012), menyatakan ammonia

bersifat racun bagi mayoritas ikan dan teroksidasi secara biologis oleh mikroorganisme menjadi nitrit yang berbahaya bagi manusia. Menurut Nida Sopiah dan Titiresmi (2006), menyatakan kadar ammonia dalam air permukaan kurang dari 10 mg/L dan kadar ammonia dalam air buangan biasanya mencapai 30 mg/L atau lebih. Akumulasi kadar ammonia dibadan air akan memberikan dampak negatif bagi lingkungan diantaranya *eutrofikasi* pada badan air yaitu menurunnya oksigen terlarut pada badan air sehingga kemampuan *self purification* ekosistem air semakin rendah dan proses nitrifikasi tidak stabil yang berakibat pada keracunan pada biota air.

Alternatif kedua dipilih karena parameter pencemar memenuhi baku mutu sesuai standar Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/ atau Kegiatan Usaha Lainnya. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi *removal*, dapat diketahui bahwa alternatif kedua menggunakan unit pengolahan *grease trap*, *Anaerobic Baffled Reactor*, *Anaerobic Filter*, *Aerobic Biofilter* dan desinfeksi dengan kelebihanannya pada alternatif 2 adalah sebagai berikut:

Tabel 7. 12 Kelebihan Alternatif

FAKTOR	ALTERNATIF 2
Efisiensi Removal BOD	70 – 85%
Operasional	Mudah
Beban Hidrolik	Fleksibel
Beban Organik	Fleksibel
Kebutuhan Lahan	Sedang
Lumpur Yang Dihasilkan	Sedikit

Sumber: Hasil Perhitungan

7.4 Sumur Pengumpul

Sumur pengumpul berfungsi sebagai bak penampung sementara air sebelum dipompa menuju bangunan selanjutnya.

Penggunaan sumur pengumpul pada *primary treatment* ditujukan untuk beberapa hal yaitu, menampung air buangan dari saluran pembawa atau sewer yang kedalamannya di bawah permukaan instalasi pengolahan sebelum air dipompa ke atas. Sumur pengumpul dapat menstabilkan variasi debit dan konsentrasi air buangan yang akan masuk ke bangunan pengolah air, sehingga tidak terjadi *shock loading* saat pengolahan.

Sumur pengumpul hanya sebagai bak penampung sementara, sehingga waktu detensi di sumur pengumpul relatif singkat. Kriteria desain waktu detensi (td) sumur pengumpul adalah < 10 menit untuk menghindari terjadinya pengendapan lumpur. Dalam membuat desain sumur pengumpul, beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu dimensi pipa sewer yang masuk ke dalam sumur pengumpul dan dimensi pompa yang digunakan. Untuk menghitung dimensi sumur pengumpul dibutuhkan data fluktuasi dari debit air limbah yang masuk ke dalam sumur pengumpul. Berikut merupakan table fluktuasi air limbah yang masuk ke dalam sumur pengumpul selama 24 jam. Untuk menghitung dimensi sumur pengumpul dibutuhkan data fluktuasi dari debit air limbah yang masuk ke dalam sumur pengumpul. Berikut merupakan table fluktuasi air limbah yang masuk ke dalam sumur pengumpul selama 24 jam tersaji pada Tabel 7.13.

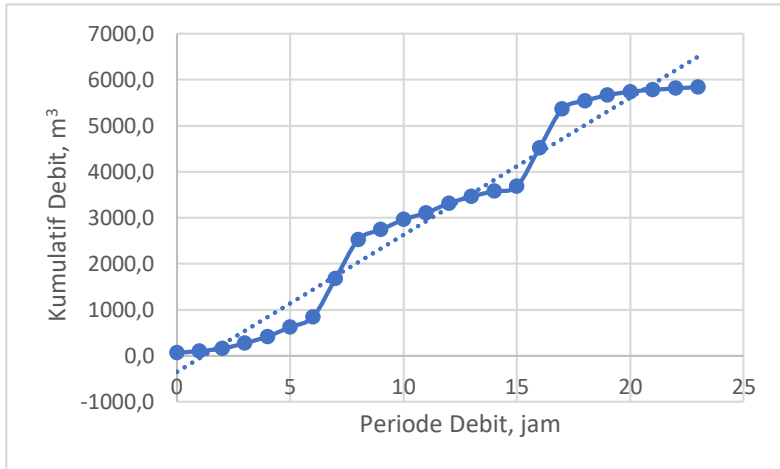
Tabel 7. 13 Debit Fluktuasi Air Limbah

Waktu	Debit (m ³ /s)	Debit (m ³ /jam)	Kumulatif Debit (m ³ /jam)	Kumulatif Debit Rata-rata (m ³ /jam)
00.00-01.00	0,0085	30,6	64,8	251,33
01.00-02.00	0,0095	34,2	99,0	502,66
02.00-03.00	0,0156	56,2	155,2	753,99
03.00-04.00	0,0322	115,9	271,1	1005,31
04.00-05.00	0,0413	148,7	419,8	1256,64
05.00-06.00	0,0566	203,8	623,5	1507,97
06.00-07.00	0,0611	220,0	843,5	1759,30
07.00-08.00	0,233	838,8	1682,3	2010,63

Waktu	Debit (m ³ /s)	Debit (m ³ /jam)	Kumulatif Debit (m ³ /jam)	Kumulatif Debit Rata-rata (m ³ /jam)
08.00-09.00	0,233	838,8	2521,1	2261,96
09.00-10.00	0,0611	220,0	2741,0	2513,28
10.00-11.00	0,0611	220,0	2961,0	2764,61
11.00-12.00	0,0413	148,7	3109,7	3015,94
12.00-13.00	0,0566	203,8	3313,4	3267,27
13.00-14.00	0,042	151,2	3464,6	3518,60
14.00-15.00	0,0315	113,4	3578,0	3769,93
15.00-16.00	0,0295	106,2	3684,2	4021,25
16.00-17.00	0,233	838,8	4523,0	4272,58
17.00-18.00	0,233	838,8	5361,8	4523,91
18.00-19.00	0,051	183,6	5545,4	4775,24
19.00-20.00	0,034	122,4	5667,8	5026,57
20.00-21.00	0,0211	76,0	5743,8	5277,90
21.00-22.00	0,0113	40,7	5784,5	5529,22
22.00-23.00	0,0085	30,6	5815,1	5780,55
23.00-00.00	0,0085	30,6	5845,7	6031,88
Rata-rata	0,067	242,15		
Peak	0,233	838,8		
Minimum	0,0085	30,6		

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel diatas menunjukkan debit aliran air limbah yang masuk ke IPAL, setelah itu dibuat *flowrate pattern* untuk mengetahui volume yang dibutuhkan untuk mendesain sumur pengumpul. Hubungan *flowrate pattern* dimaksudkan untuk mengetahui volume sumur pengumpul yang selanjutnya akan digunakan untuk menghitung dimensi sumur pengumpul. *Flowrate pattern* disajikan pada Gambar 7.1.



Gambar 7. 1 Hubungan Fluktuasi Debit Air Limbah dengan Waktu Periode

Berdasarkan grafik diatas, diperoleh volume sumur pengumpul sebesar 220 m³. Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap dimensi sumur pengumpul. Berikut merupakan perhitungan dimensi sumur pengumpul:

- Kedalaman sumur pengumpul
Kedalaman sumur pengumpul dihitung dari penanaman pipa akhir dan direncanakan maksimal 4 m, maka
 $H = 4 \text{ m} - 2,24 \text{ m} = 1,76 \text{ m}$
- Asumsi panjang : lebar = 1 : 1
Luas = volume / h
 $= 220 \text{ m}^3 / 1,76 \text{ m} = 125 \text{ m}^2$
Luas = P x L
 $= L \times L$
 $= L^2$
 $125 = L^2$
 $L = 11,2 \text{ m}$
 $P = 11,2 \text{ m}$

7.4.1 Dimensi Sumur Pengumpul

Kedalaman penanaman pipa akhir yaitu 2,44 m.

7.4.2 Bar Screen

Bar Screen digunakan untuk menyaring air limbah dari pipa *sewer* sebelum air limbah masuk ke dalam pompa.

Direncanakan :

- Pembersihan *bar screen* dilakukan secara manual
- Kemiringan batang secara vertical sebesar 65°
- Jarak antar batang sebesar 50 mm
- Lebar batang sebesar 15 mm

Perhitungan *bar screen* sebagai berikut:

Lebar total screen = lebar sumur pengumpul = 10 m

Sehingga jumlah batang yang diperlukan :

$$\begin{aligned} \text{Lebar total} &= (\text{jarak antar batang} \times n) + (\text{lebar batang} \times (n-1)) \\ 10 \text{ m} &= (0,05 \times n) + (0,15 \times (n-1)) \\ 10 \text{ m} &= 0,05 n + 0,15 n - 0,15 \\ 10 \text{ m} &= 0,2 n \\ n &= 50 \text{ batang} \end{aligned}$$

7.4.3 Pompa pada Sumur Pengumpul

Air buangan yang dialirkan ke dalam sumur pengumpul dinaikkan menuju bangunan Bak Distribusi dengan menggunakan pompa. Jenis pompa yang dapat digunakan adalah pompa yang tidak akan tersumbat oleh partikel besar dari air buangan atau oleh kepekatan lumpur. Dalam perencanaan ini digunakan adalah pompa *submersible* (terendam air) sebanyak 1 buah. Berikut perhitungan pompa sebagai berikut:

- Grata-rata = $0,067 \text{ m}^3/\text{detik} = 67 \text{ L/detik}$
- $H_{\text{pompa}} = H_{\text{statik}} + H_f \text{ mayor} + H_f \text{ minor}$
- $H_{\text{statik}} = 6 \text{ m}$
- Panjang pipa yang dibutuhkan = $6 \text{ m} + 4 \text{ m} = 10 \text{ m}$

$$\begin{aligned} A \text{ pipa} &= \frac{Q}{v} = \frac{0,067 \frac{\text{m}^3}{\text{detik}}}{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \\ &= 0,067 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$D \text{ pipa} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,067}{3,14}} = 0,29 \text{ m} \approx 0,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek } V &= \frac{Q}{A} = \frac{0,067}{3,14 \times 0,25 \times 0,3^2} \\ &= 1 \text{ m/s (memenuhi)} \end{aligned}$$

Mayor Losses

$$\begin{aligned}
 H_f \text{ pipa} &= \left[\frac{Q}{0,00155 \cdot C \cdot D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L \\
 &= \left[\frac{67}{0,00155 \cdot 120 \cdot 30^{2,63}} \right]^{1,85} \times 10 \\
 &= 0,03 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Minor Losses

$$\begin{aligned}
 H_f \text{ belokan} &= k \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,25 \times \frac{1^2}{2 \times 9,81} = 0,0127 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$H_f \text{ kecepatan} = \frac{v^2}{2g} = \frac{1^2}{2 \times 9,81} = 0,051 \text{ m}$$

$$H_f \text{ minor losses} = 0,0127 \text{ m} + 0,051 \text{ m} = 0,0637 \text{ m}$$

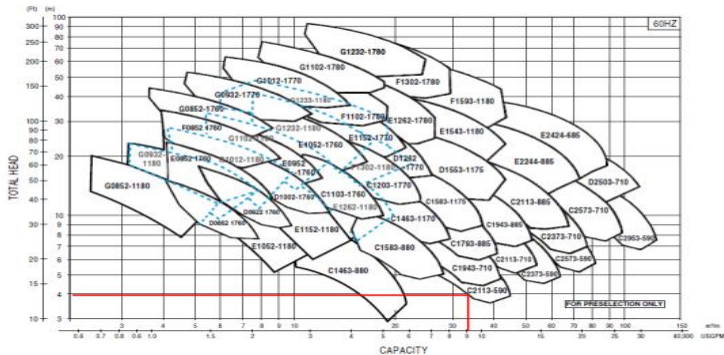
$$\begin{aligned}
 H_{\text{pompa}} &= H_{\text{statik}} + H_f \text{ mayor losses} + H_f \text{ minor losses} \\
 &= 6 \text{ m} + 0,03 \text{ m} + 0,0637 \text{ m} \\
 &= 6,0937 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Daya pompa dengan efisiensi 80%

$$\text{Power pompa} = \frac{\gamma \times H_{\text{pompa}} \times Q}{\eta} = \frac{9,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 6,0937 \text{ m} \times 0,067 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,8} = 5 \text{ kWh}$$

Maka pompa yang dibutuhkan adalah dengan $Q = 67 \text{ L/detik}$, head pompa = 6,0937 m dan daya sebesar 5 kWh. Pompa yang digunakan adalah pompa submersible sejumlah 1 buah.

Selection chart



Gambar 7. 2 Hubungan Total Head dan Kapasitas Pompa

Sumber: www.ebara.com

Berdasarkan grafik diatas, total head pompa sebesar 6,0937 sehingga digunakan pompa jenis C 2113-590.

7.5 Bak Distribusi

Bak distribusi berfungsi sebagai bak penampung air sementara yang akan didistribusikan menuju bangunan selanjutnya dengan tujuan debit air limbah dapat dibagi secara merata. Bak distribusi digunakan ketika terdapat lebih dari satu bangunan sehingga debit yang masuk dibagi sesuai dengan kebutuhan. Sama halnya dengan sumur pengumpul, kriteria desain pada waktu detensi dalam bak distribusi relatif singkat namun lebih cepat dari sumur pengumpul karena tidak berfungsi sebagai penampung sehingga aliran yang masuk harus sesegera mungkin untuk dialirkan kembali kedalam bangunan selanjutnya.

Dalam mendesain bak distribusi, hal yang harus diperhatikan juga yaitu dimensi yang didesain tidak terlalu besar agar tidak terjadi pengendapan sedimen dan tidak menggunakan pompa pada zona outlet untuk efisiensi. Waktu detensi bak distribusi (td) < 3 menit untuk menghindari terjadinya pengendapan lumpur.

- Qrata-rata = 0,068 m³/detik
- Waktu detensi = 1 menit (kriteria < 3 menit)
= 60 detik
- Volume bak distribusi = Q rata-rata x td
= 0,068 m³/detik x 60 detik
= 4,08 m³

- Direncanakan kedalaman bak distribusi = 1 m

- Asumsi panjang : lebar = 1 : 1
 - Luas = volume / h
= 4,08 m³ / 1 m = 4,08 m²
 - Luas = P x L
= L x L
= L²
 - 4,08 m² = L²
 - L = 2 m
 - P = 2 m

- Cek td = volume bak distribusi / Qrata-rata
 = $(2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 1 \text{ m}) / 0,068 \text{ m}^3/\text{detik}$
 = 58,82 detik
 = 1 menit (memenuhi)

7.6 Grease Trap

Pada umumnya, *Grease trap* direncanakan sebagai pengolahan awal dan berfungsi hanya untuk mengolah parameter minyak dan lemak. Prinsip pemisahannya memanfaatkan sifat lemak atau minyak yang berat jenisnya lebih ringan dari air. *Grease trap* pada umumnya memiliki minimal dua kompartemen (Carrollton, 2012). Nantinya air limbah akan disatukan pada satu pipa dan akan memasuki unit *grease trap*.

Persen pengolahan minyak lemak pada *grease trap* sebesar 95% (Wongthanate, *et al.*, 2014). Berikut merupakan perhitungan konsentrasi effluen air limbah:

- Konsentrasi minyak & lemak awal = 30 mg/L
- Persen removal = 95%
- Konsentrasi minyak & lemak *effluent*
 = $(100 - 95)\% \times 30 \text{ mg/L}$
 = 1,5 mg/L

Hasil yang diperoleh sudah memenuhi baku mutu yaitu 1,5 mg/L dari batas minimum 5 mg/L.

7.7 Anaerobic Baffled Reactor

ABR adalah reaktor yang didesain menggunakan *baffled* yang berseri untuk membuat air limbah yang mengandung polutan organik yang mengalir ke bawah dan ke atas melalui *baffle* seperti air limbah mengalir dair inlet menuju outlet. Sekat pada ABR berfungsi sebagai pengaduk untuk meningkatkan kontak antara air limbah domestik dan mikroorganisme. Menurut Götzenberger 2009, rancangan dimensi tangki menurut adalah sebagai berikut:

1. Rasio panjang terhadap lebar adalah 2 : 1 sampai 3 : 1
2. Tinggi tangki adalah tinggi air dalam tangki ditambah freeboard.

Untuk memberikan distribusi air limbah yang bagus dan merata, rancangan dimensi tiap ruangan ABR adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan aliran ke atas (up flow) saat debit maksimum adalah 1 – 2 m/jam

2. Pembebanan organik adalah $< 3 \text{ kg/m}^3/\text{hari}$.

Perhitungan Kompartemen I (Bak Pengendapan Lumpur)

Diketahui :

1. Debit Limbah

- $Q_{\text{peak}} = 0,21 \text{ m}^3/\text{detik}$

Karena debit yang masuk terlalu besar, maka direncanakan akan dibangun 9 bagian ABR yang diletakkan secara paralel dengan dimensi yang sama, maka debit setiap unitnya dapat dihitung:

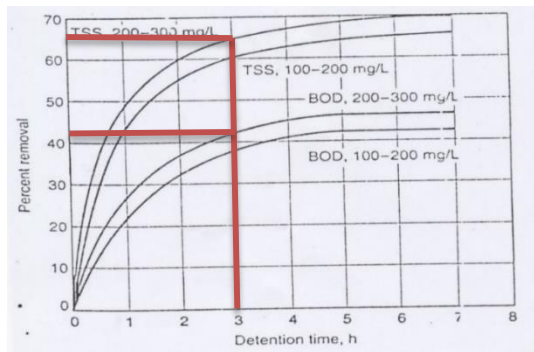
$$\begin{aligned} Q &= Q / 9 \text{ unit} \\ &= 0,21 \text{ m}^3/\text{s} / 9 \text{ unit} \\ &= 0,023 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 82,8 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

2. Konsentrasi Air Limbah Domestik

- TSS = 279 mg/L
- BOD = 243 mg/L
- COD = 479 mg/L

Removal BOD, COD dan TSS

Pada kompartemen I waktu tinggal di ambil selama 3 jam karena bila dilihat dari grafik t_d vs removal BOD, $t_d = 3$ jam tidak terjadi perubahan yang signifikan dan memperhitungkan lahan sehingga kompartemen tidak terlalu besar. Hubungan waktu detensi dan % removal BOD serta TSS ditunjukkan pada Gambar 6.7



Gambar 7. 3 Percent Removal BOD dan TSS berdasarkan T_d

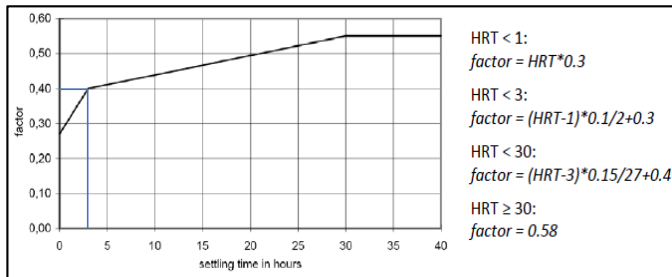
Sumber: Metcalf dan Eddy, (2004)

Berdasarkan grafik didapatkan % removal :

$$\text{BOD}_5 = 43 \%$$

$$\text{TSS} = 65 \%$$

Untuk menghitung persen removal dari COD, dapat ditentukan dari grafik rasio BOD/COD di bawah ini:



Gambar 7. 4 Penyisihan COD pada Bak Pengendap

Sumber: Götzenberger (2009)

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai COD removal adalah BOD removal dikalikan dengan faktor. Karena waktu detensi yang dibutuhkan pada kompartemen ini adalah 3 jam, maka removal COD adalah :

$$\begin{aligned} \text{COD removal} &= \{ \text{HRT} - 3 \} * 0,15 / 27 + 0,4 \\ &= \{ 3 - 3 \} * 0,15 / 27 + 0,4 \\ &= 40 \% \end{aligned}$$

Mass Balance Kompartemen 1

➤ Massa tiap parameter

- $\text{BOD} = \frac{243 \text{ mg/L} \times 1987200 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 492,8 \text{ kg/hari}$
- $\text{TSS} = \frac{279 \text{ mg/L} \times 1987200 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 554,4 \text{ kg/hari}$
- $\text{COD} = \frac{479 \text{ mg/L} \times 1987200 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 951,8 \text{ kg/hari}$

➤ BOD

Konsentrasi terremoveal = 43% x 243 mg/L = 104,49 mg/L

Konsentrasi outlet = (100% - 43%) x 243 mg/L = 138,51 mg/L

Massa terremoveal = 43% x 492,8 kg/hari = 211,9 kg/hari

Massa outlet = 492,8 kg/hari – 211,9 kg/hari
= 280,9 kg/hari

➤ TSS

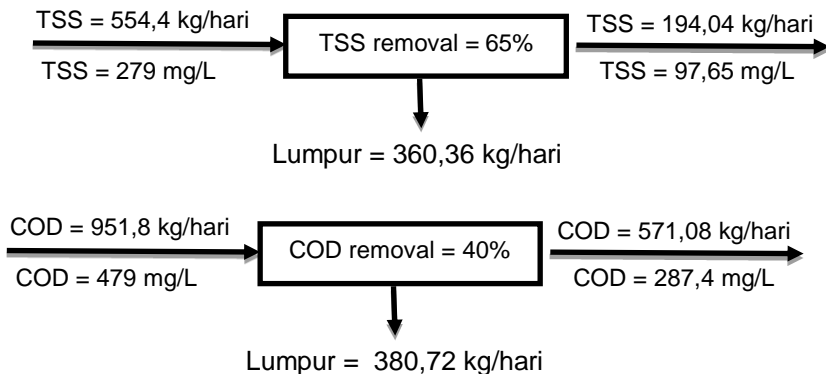
$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi teremoval} &= 65\% \times 279 \text{ mg/L} = 181,35 \text{ mg/L} \\ \text{Konsentrasi outlet} &= (100\% - 65\%) \times 279 \text{ mg/L} = 97,65 \text{ mg/L} \\ \text{Massa teremoval} &= 65\% \times 554,4 \text{ kg/hari} = 360,36 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa outlet} &= 554,4 \text{ kg/hari} - 360,36 \text{ kg/hari} \\ &= 194,04 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

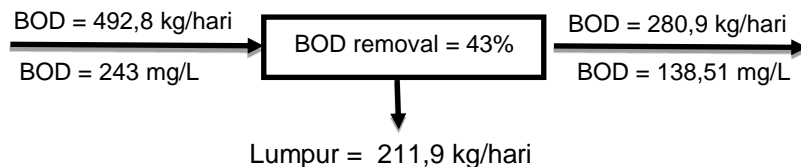
➤ COD

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi teremoval} &= 40\% \times 479 \text{ mg/L} = 191,6 \text{ mg/L} \\ \text{Konsentrasi outlet} &= (100\% - 40\%) \times 479 \text{ mg/L} = 287,4 \text{ mg/L} \\ \text{Massa teremoval} &= 40\% \times 951,8 \text{ kg/hari} = 380,72 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa outlet} &= 951,8 \text{ kg/hari} - 380,72 \text{ kg/hari} \\ &= 571,08 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Perhitungan *mass balance* dimaksudkan untuk mengetahui parameter BOD yang masuk dan keluar, serta yang mengendap menjadi lumpur. Selain konsentrasi BOD, parameter COD juga dihitung besaran yang masuk, keluar, dan mengendap menjadi lumpur. Parameter TSS juga dihitung besaran konsentrasi yang masuk, keluar, dan menjadi lumpur. Hal ini dihitung dengan tujuan agar memudahkan dalam *design* perencanaan.

Berikut merupakan diagram alir *mass balance* BOD, TSS dan COD:





Gambar 7. 5 Mass Balance BOD, TSS dan COD Setelah melewati Kompartemen I ABR

Sumber: Hasil Perhitungan

- Durasi Pengurasan
Menurut Permen PUPR no.4 tahun 2017, durasi pengurasan lumpur akan dilakukan setiap 6 bulan sekali sebagai bentuk operasi dan perawatan IPAL.

- Produksi Lumpur

Produksi lumpur yang dihasilkan selama 6 bulan dan dapat dihitung sebagai berikut :

Diketahui : Produksi lumpur per orang = 40 L/orang.tahun
 Durasi pengurasan = 6 bulan = 0,5 tahun
 Jumlah pelayanan = 46732 orang
 Jumlah pelayanan per ABR = 46732 orang / 9
 = 5192 orang

- Volume Lumpur

Volume lumpur bertujuan untuk menentukan besar volume lumpur yang terbentuk, perhitungan volume lumpur sebagai berikut

Volume lumpur = Produksi Lumpur per orang x Populasi x Durasi Pengurasan
 = 40 L/orang.tahun x 5192 orang x 0,5 tahun
 = 103840 L
 = 103,84 m³

Volume lumpur endapan = %removal di BP x volume lumpur
 = 65% x 103,84 m³
 = 67,5 m³

- **Dimensi Bangunan Ruang Lumpur dan Kompartemen I**

Direncanakan $H_{air} = 3 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Volume bak pengendap} &= Q \times t_d \\ &= 82,8 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\ &= 248,8 \text{ m}^3 \\ \text{Luas bak pengendap} &= \text{Volume bak pengendap} / h \text{ air} \\ &= 248,8 \text{ m}^3 / 3 \text{ m} \\ &= 83 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P : L &= 2 : 1 \\ P &= 2 L \\ A &= P \times L \\ 83 \text{ m}^2 &= 2 L \times L \\ 83 \text{ m}^2 &= 2L^2 \\ L &= 6,4 \text{ m} \\ P &= 2L \\ P &= 2 \times 6,4 \text{ m} \\ P &= 12,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi ruang lumpur} &= \text{Volume lumpur} / \text{Luas bak pengendap} \\ &= 103,84 \text{ m}^3 / (6,4 \text{ m} \times 12,8 \text{ m}) = 1,3 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimensi Kompartemen I

$$\begin{aligned} \text{Panjang total + dinding plat} &= 12,8 \text{ m} + (2 \times 0,2) \text{ m} = 13,2 \text{ m} \\ \text{Lebar total + dinding plat} &= 6,4 \text{ m} + (2 \times 0,2) \text{ m} = 6,8 \text{ m} \\ \text{Kedalaman total} &= \text{Kedalaman bak + freeboard +} \\ &\quad \text{plat bawah + plat atas} \\ &= (3 \text{ m} + 1,3 \text{ m}) + 0,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m} \\ &\quad + 0,2 \text{ m} \\ &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan ABR (kompartemen 2 dan seterusnya)

Direncanakan lebar kompartemen II sama dengan kompartemen I dan panjang setiap bagian kompartemen II adalah 50-60% dari tinggi ABR karena merupakan kriteria desain dari ABR sendiri dimana ketika terlalu panjang maka akan terjadi *dead zone* sehingga kecepatan air untuk naik sangat lambat. Berikut ini merupakan rencana desain dari kompartemen II.

- Q peak = 82,8 m³/jam
- Tinggi ABR = 4,3 m
- Lebar ABR = 6,4 m
- Panjang = (50% - 60%) x tinggi ABR
= 60% x 4,3 m

- $$= 2,6 \text{ m}$$
- Rentang HLR
HLR rencana $= (16,8 - 38,4) \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$
 $= 35 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$ (agar luas permukaan tidak terlalu besar, sehingga dimensi tidak terlalu besar)
 - HRT rencana $= 16 \text{ jam}$ (HRT kriteria 6 - 20 jam)
 - Asurface total $= Q \text{ peak} / \text{HLR rencana}$
 $= 1987,2 \text{ m}^3/\text{hari} / 35 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$
 $= 56,7 \text{ m}^2$
 - Tinggi total ABR $= \text{HLR rencana} \times (\text{HRT rencana}/24)$
 $= 35 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \times (16/24)$
 $= 23,3 \text{ m}$
 - Jumlah kompartemen $= \text{Tinggi total yang diperlukan}/\text{tinggi kompartemen 1}$
 $= 23,3 \text{ m} / 4,3 \text{ m}$
 $= 5,42 \text{ unit} \approx 6 \text{ unit}$
- Cek HRT $= \frac{\text{Volume kompartemen II}}{Q}$
 $= \frac{2,6 \text{ m} \times 6,4 \text{ m} \times 4,3 \text{ m} \times 6 \text{ buah}}{82,8 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}}$
 $= 5,9 \text{ jam}$
 $= 6 \text{ jam}$ (memenuhi kriteria)
 - Cek Vup $= \frac{Q}{A \text{ cross}}$
 $= \frac{82,8 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}}{6,4 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}}$
 $= 4,97 \text{ m}/\text{hari}$
 $= 0,2 \text{ m}/\text{jam}$ (memenuhi kriteria $\leq 2 \text{ jam}$)
 - Cek OLR $= \text{massa COD effluent} / (\text{jumlah kompartemen} \times \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi})$
 $= 571,08 \text{ kg}/\text{hari} / (6 \times 2,6 \text{ m} \times 6,4 \text{ m} \times 4,3 \text{ m})$
 $= 1,3 \text{ kg COD}/\text{m}^3.\text{hari}$ (memenuhi kriteria $< 3 \text{ kg COD}/\text{m}^3.\text{hari}$)

- Dimensi ABR

Panjang total ABR = (panjang kompartemen I) + (panjang per kompartemen II x jumlah kompartemen + (tebal dinding x jumlah kompartemen)

$$= 11,2 \text{ m} + (2,6 \text{ m} \times 6) + (0,2 \text{ m} \times 6)$$

$$= 28 \text{ m}$$

Lebar ABR = Lebar ABR desain + (2 x tebal dinding)

$$= 5,6 \text{ m} + (2 \times 0,2 \text{ m})$$

$$= 6 \text{ m}$$

Tinggi ABR = Kedalaman bak + freeboard + plat bawah + plat atas

$$= (3 \text{ m} + 1,3 \text{ m}) + 0,3 \text{ m} + (2 \times 0,2 \text{ m})$$

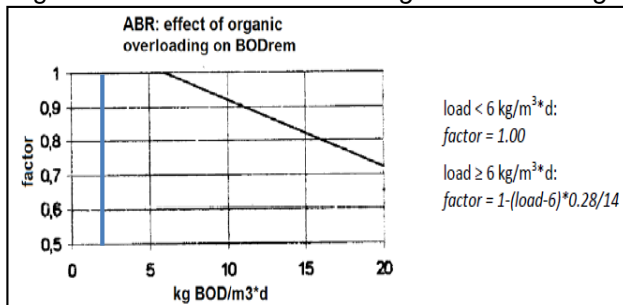
$$= 5 \text{ m}$$

- Penentuan % removal BOD

Diketahui konsentrasi BOD₅, COD, dan TSS setelah melalui bak pengendap 1

- BOD = 138,51 mg/L
= 280,9 kg/hari
- COD = 287,4 mg/L
= 571,08 kg/hari
- TSS = 97,65 mg/L
= 194,04 kg/hari

a. Faktor grafik *BOD removal effect of organic overloading*



Gambar 7. 6 BOD removal effect of organic overloading

Sumber: Götzenberger, (2009)

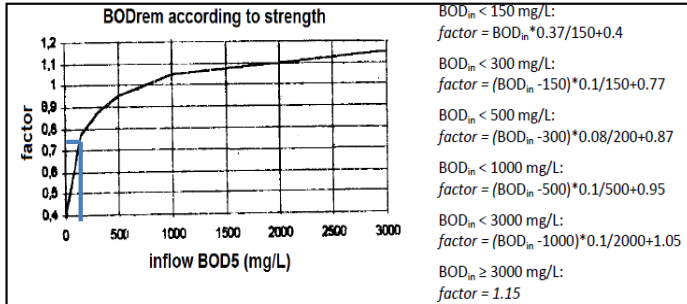
$$OLR = \frac{Q \times [\text{BOD in}]}{\text{Vol}} = \frac{1987,2 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 138,51 \text{ mg/L}}{p \times l \times h \times \text{jumlah kompartemen}}$$

$$= \frac{1987,2 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 0,13851 \text{ kg/m}^3}{2,6 \text{ m} \times 6,4 \text{ m} \times 4,3 \text{ m} \times 6}$$

$$= 0,64 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

Faktor BOD removal = 1

b. Faktor dari grafik *BOD removal according to strength*



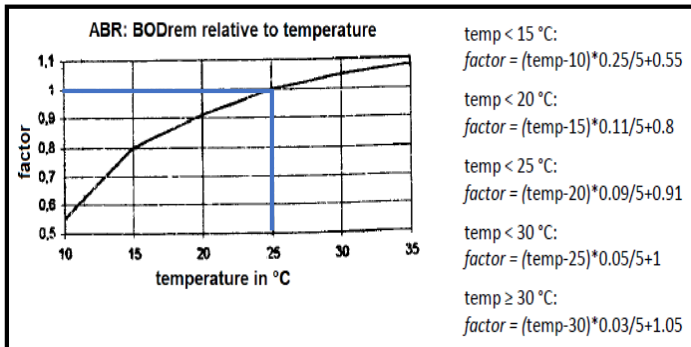
Gambar 7. 7 BOD removal according to strength

Sumber: Götzenberger, (2009)

Konsentrasi *Influent* BOD = 138,51 mg/L

Faktor BODrem = 0,75

c. Faktor dari grafik *BOD removal relative to temperature*

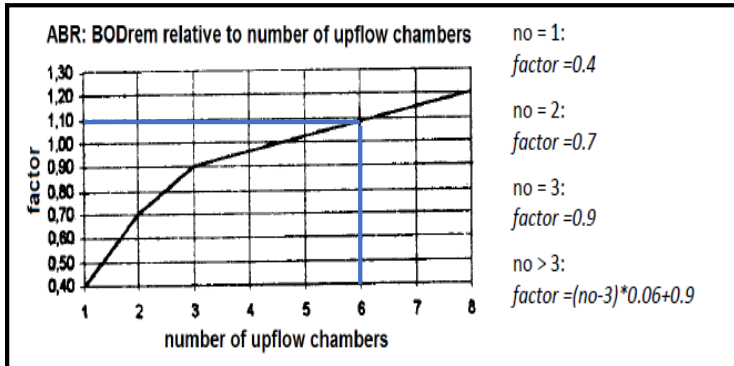


Gambar 7. 8 BOD removal relative to temperature

Sumber: Götzenberger, (2009)

Asumsi temperatur air limbah 25°C
 Faktor temperature = 1

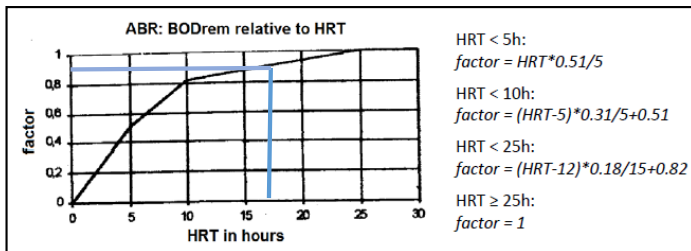
d. Faktor dari grafik *BOD removal relative to number upflow chamber*



Gambar 7. 9 BOD removal relative to number upflow chamber
 Sumber: Götzenberger, (2009)

Total kompartemen ABR = 6 kompartemen
 Faktor = 1,1

e. Faktor dari *BOD removal relative to HRT*



Gambar 7. 10 BOD removal relative to HRT
 Sumber: Götzenberger, (2009)

HRT rencana = 16 jam
 Faktor = 0,9

Sehingga dari grafik-grafik tersebut diperoleh perhitungan efisiensi BOD sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{BOD}} &= \text{OLR} \times \text{BOD Strength} \times T^{\circ} \times \Sigma_{\text{kompt}} \times \text{HRT} \times 100\% \\ &= 1 \times 0,75 \times 1 \times 1,1 \times 0,9 \times 100\% \\ &= 74,25 \% \end{aligned}$$

- **Produksi Lumpur BOD**

Range koefisien yield : $\gamma = 0,05 - 1$ (yang digunakan 0,06)

Produksi lumpur

$$\begin{aligned} P_x &= \gamma \times \% \text{ removal BOD} \times \text{konsentrasi } \textit{influent} \times Q \text{ peak} \\ &= 0,06 \times 0,7425 \times 0,13851 \text{ kg/m}^3 \times 1987,2 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 12,2 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- **Produksi Lumpur TSS**

$$\begin{aligned} \text{Lumpur TSS} &= (\text{Konsentrasi TSS} - \text{Baku mutu}) \times Q \text{ peak} \\ &= (97,65 \text{ mg/L} - 30 \text{ mg/L}) \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1.000.000 \text{ mg}} \times \\ &\quad 1987,2 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 134,4 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

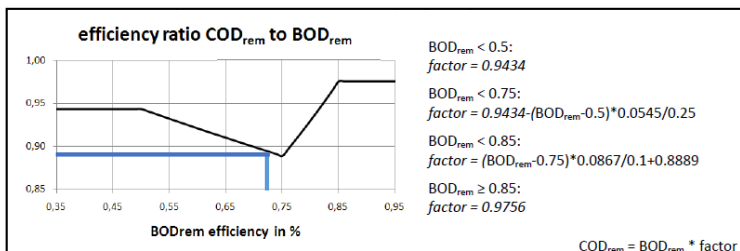
- **Total Lumpur**

$$\begin{aligned} \text{Total lumpur} &= \text{Lumpur BOD} + \text{Lumpur TSS} \\ &= 12,2 \text{ Kg/hari} + 134,4 \text{ Kg/hari} \\ &= 146,6 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

- **Kualitas Effluent ABR**

$$\begin{aligned} \text{Effluent BOD} &= (100\% - 74,25\%) \times \text{Konsentrasi } \textit{Influent} \text{ BOD}_5 \\ &= 25,75 \% \times 138,51 \text{ mg/L} \\ &= 35,66 \text{ mg/L (belum memenuhi baku mutu)} \end{aligned}$$

Efisiensi Penyisihan COD Terhadap Penyisihan BOD



Gambar 7. 11 Efisiensi Penyisihan COD Terhadap Penyisihan BOD

Sumber: Götzenberger, (2009)

$$\begin{aligned}
 \text{Factor} &= 0,895 \\
 \text{Removal COD} &= \% \text{ Removal BOD} \times \text{factor} \\
 &= 0,7425 \times 0,895 \\
 &= 0,6645 \\
 &= 66,45\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Effluent COD} &= (100\% - 66,45\%) \times \text{Konsentrasi COD } \textit{influent} \\
 &= 33,55\% \times 287,4 \text{ mg/L} \\
 &= 96,4 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi TSS} &= \frac{\text{effluen dari komp I} - \text{effluen baku mutu}}{\text{effluen dari komp I}} \times 100\% \\
 &= \frac{97,65 - 30}{97,65} \times 100\% \\
 &= 69,27\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Effluent TSS} &= (100\% - 69,27\%) \times \text{Konsentrasi TSS } \textit{influent} \\
 &= 32,7\% \times 97,65 \text{ mg/L} \\
 &= 30 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu)}
 \end{aligned}$$

Mass Balance Effluent setelah melewati ABR

➤ BOD

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi teremoval} &= 74,25\% \times 138,51 \text{ mg/L} = 102,84 \text{ mg/L} \\
 \text{Konsentrasi outlet} &= (100\% - 74,25\%) \times 138,51 \text{ mg/L} \\
 &= 35,66 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa teremoval} &= 74,25\% \times 280,9 \text{ kg/hari} = 208,5 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa outlet} &= 280,9 \text{ kg/hari} - 208,5 \text{ kg/hari} \\
 &= 72,4 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

➤ TSS

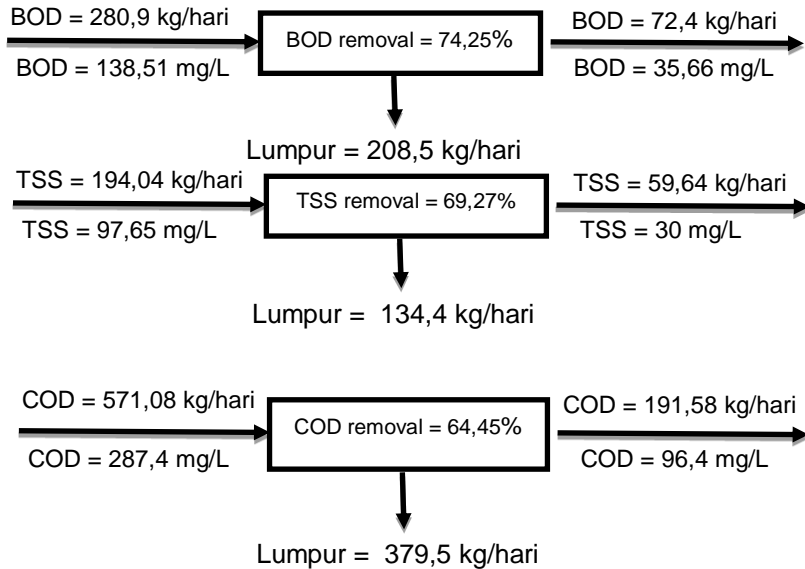
$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi teremoval} &= 69,27\% \times 97,65 \text{ mg/L} = 67,64 \text{ mg/L} \\
 \text{Konsentrasi outlet} &= (100\% - 69,27\%) \times 97,65 \text{ mg/L} = 30 \\
 &\text{mg/L} \\
 \text{Massa teremoval} &= 69,27\% \times 194,04 \text{ kg/hari} = 134,4 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa outlet} &= 194,04 \text{ kg/hari} - 134,4 \text{ kg/hari} \\
 &= 59,64 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

➤ COD

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi teremoval} &= 66,45\% \times 287,4 \text{ mg/L} = 190,9 \text{ mg/L} \\
 \text{Konsentrasi outlet} &= (100\% - 66,45\%) \times 287,4 \text{ mg/L} \\
 &= 96,4 \text{ mg/L} \\
 \text{Massa teremoval} &= 66,45\% \times 571,08 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Massa outlet
 = 379,5 kg/hari
 = 571,08 kg/hari – 379,5 kg/hari
 = 191,58 kg/hari

Berikut merupakan *mass balance* BOD, TSS dan COD setelah melewati ABR



Gambar 7. 12 Mass Balance BOD, TSS dan COD Setelah Melawati ABR

Sumber: Hasil Perhitungan

Sehingga effluent dari masing-masing parameter dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

Tabel 7. 14 Efisiensi Pengolahan dengan ABR

Parameter	Influen (mg/L)	Effluen (mg/L)	Baku Mutu	Keterangan
TSS	279	27,9	50	Memenuhi
COD	479	47,9	50	Memenuhi

Parameter	Influen (mg/L)	Effluen (mg/L)	Baku Mutu	Keterangan
BOD ₅	243	24,3	30	Memenuhi
Minyak & Lemak	30	1,5	5	Memenuhi
NH ₃	13	13	10	Tidak Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

Dengan mengacu pada baku mutu Permen LHK No. 68 tahun 2016 *effluent* dari ABR dengan parameter BOD dan NH₃ belum memenuhi baku mutu sedangkan untuk parameter lain sudah memenuhi baku mutu sehingga perlu dilakukan pengolahan lanjutan agar *effluent* air limbah domestik memenuhi baku mutu.

7.8 Anaerobic Filter

Menurut Sasse (1998), *Anaerobic Filter* (AF) secara umum memiliki kesamaan penampilan dengan trickling filter pada pengolahan air limbah secara aerobik. Air limbah pada AF didistribusikan hingga bagian bawah dari AF. Aliran air dalam AF adalah bawah ke atas melalui media batuan sehingga filternya terendam secara keseluruhan. Mikroorganisme anaerobik terakumulasi pada bagian kosong di antara batuan sehingga air limbah dapat kontak dengan biomassa aktif yang luas ketika melalui filter. Perhitungan *anaerobic filter* sebagai berikut:

Diketahui :

- $Q_{influent} = Q_{effluent} ABR = 1987,2 \text{ m}^3/\text{hari}$
- BOD *influent* ke AF = BOD *effluent* ABR = 35,66 mg/L
- COD *influent* ke AF = COD *effluent* ABR = 96,4 mg/L
- Lebar AF = lebar ABR = 5,6 m
- Kedalaman AF = Kedalaman ABR = 4,3 m

Dimensi AF

- Void = 40%, Volume media = (100-40)% = 60 %
- Volume AF = (Volume ABR x 60%) x Volume ABR

$$= (100\% + 60\%) \times (P_{ABR} \times L_{ABR} \times H_{ABR})$$

$$= 1,6 \times (2,6 \times 5,6 \times 4,3) \text{ m}^3$$

$$= 100,2 \text{ m}^3$$

- Panjang kompartemen AF = Volume AF / (tinggi x lebar)
= $100,2 \text{ m}^3 / (4,3 \text{ m} \times 5,6 \text{ m})$
= 4,16 m
- Tinggi media pada AF = Volume ABR / Luas AF
= $(2,6 \text{ m} \times 5,6 \text{ m} \times 4,3 \text{ m}) / (5,6 \text{ m} \times 4,3 \text{ m})$
= 2,6 m

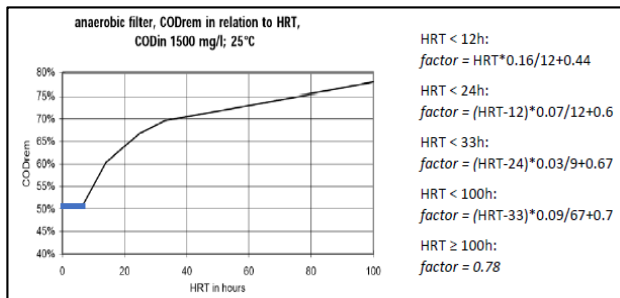
Perhitungan Jumlah Kompartemen AF

Karena influent AF merupakan *effluent* dari ABR maka HRT AF sama dengan HRT ABR 1 kompartemen.

- HRT AF = $\frac{HRT \text{ total}}{\text{Jumlah kompartemen}}$
= $\frac{5,9}{6}$
= 0,9 jam

- HRT AF Efisiensi COD = $\frac{\text{Influent COD} - \text{effluent rencana}}{\text{Influent COD}} \times 100\%$
= $\frac{96,4 - 45}{96,4} \times 100\%$
= 53,32%

Grafik menentukan HRT AF, dengan acuan HRT ABR < 12 jam



Gambar 7. 13 Anaerobic Filter, COD Removal in Relation to HRT

Sumber: Götzenberger, (2009)

% Removal COD = $HRT \times 0,16 / 12 + 0,44$

$$\frac{0,5532}{HRT} = HRT \times 0,4533$$

$$HRT = 1,22 \text{ jam}$$

Sehingga jumlah kompartemen AF = HRT total AF/HRT AF

$$= 1,22 \text{ jam} / 0,9 \text{ jam}$$

$$= 2 \text{ kompartemen}$$

Cek HRT dan Vup

$$\text{Cek HRT} = \frac{\text{Volume}}{Q} = \frac{p \times l \times h \times \text{jumlah kompartemen}}{Q}$$

$$= \frac{2,6 \times 6,4 \times 4,3 \times 2}{1987,2}$$

$$= 0,251 \text{ hari}$$

$$= 6,024 \text{ jam (memenuhi kriteria)}$$

$$\text{Cek Vup} = \frac{Q_r}{A \text{ cross AF}} = \frac{1987,2}{2,6 \times 6,4}$$

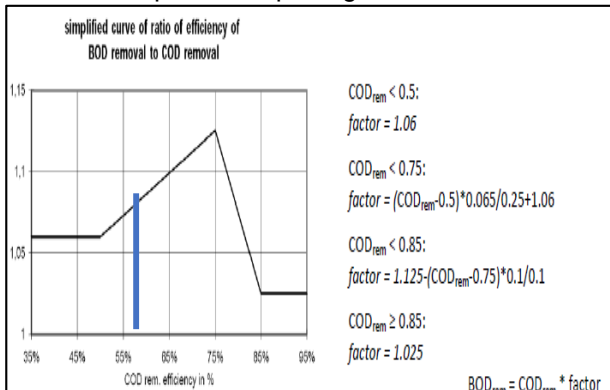
$$= 199,4 \text{ m/hari}$$

$$= 4,9 \text{ m/jam (memenuhi kriteria)}$$

Effluent BOD, COD dan TSS

- % removal COD = 55,32 %

Grafik *Simplified Curve of Ratio Efficiency of BOD Removal to COD Removal* dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 7. 14 Simplified Curve of Ratio Efficiency of BOD Removal to COD Removal

(Sumber: Götzenberger, 2009)

- % removal BOD = CODremoval x faktor
 = $0,5532 \times (\text{COD removal} - 0,5) \times \frac{0,065}{0,25 + 1,06}$
 = $0,5532 \times (0,5532 - 0,5) \times \frac{0,065}{0,25 + 1,06}$
 = 59,4%
- Effluent COD = $(100\% - 55,32\%) \times \text{Influent COD}$
 = $55,48\% \times 96,4 \text{ mg/L}$
 = 43,07 mg/L (memenuhi baku mutu)
- Effluent BOD = $(100\% - 59,4\%) \times \text{Influent BOD}$
 = $40,6\% \times 35,66 \text{ mg/L}$
 = 14,48 mg/L (memenuhi baku mutu)
- Effluent TSS = $(100\% - 40\%) \times \text{Influent TSS}$
 = $60\% \times 30 \text{ mg/L}$
 = 18 mg/L (memenuhi baku mutu)

Mass Balance Effluent setelah melewati AF

➤ BOD

Konsentrasi teremoval = $59,4\% \times 35,66 \text{ mg/L} = 21,18 \text{ mg/L}$

Konsentrasi outlet = $(100\% - 59,4\%) \times 35,66 \text{ mg/L}$
 = 14,48 mg/L

Massa teremoval = $59,4\% \times 72,4 \text{ kg/hari} = 43 \text{ kg/hari}$

Massa outlet = $72,4 \text{ kg/hari} - 43 \text{ kg/hari}$
 = 29,4 kg/hari

➤ TSS

Konsentrasi teremoval = $40\% \times 30 \text{ mg/L} = 12 \text{ mg/L}$

Konsentrasi outlet = $(100\% - 40\%) \times 30 \text{ mg/L} = 18 \text{ mg/L}$

Massa teremoval = $40\% \times 59,64 \text{ kg/hari} = 23,86 \text{ kg/hari}$

Massa outlet = $59,64 \text{ kg/hari} - 23,86 \text{ kg/hari}$
 = 35,78 kg/hari

➤ COD

Konsentrasi teremoval = $55,32\% \times 96,4 \text{ mg/L} = 55,33 \text{ mg/L}$

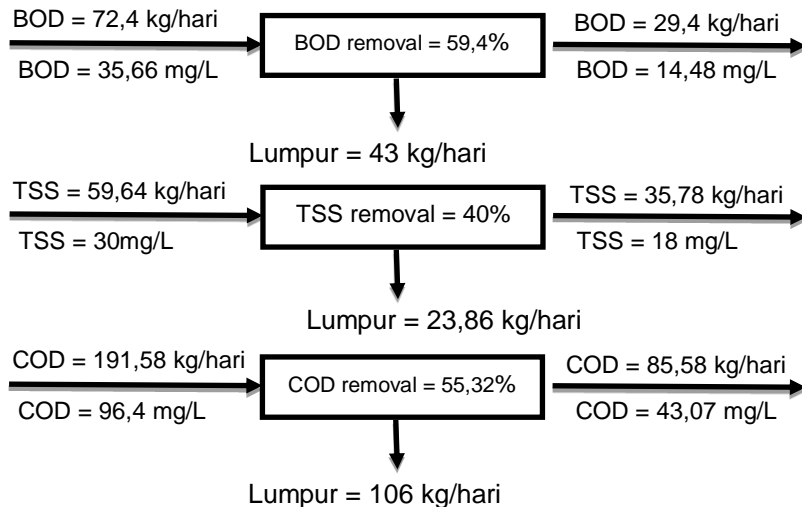
Konsentrasi outlet = $(100\% - 55,32\%) \times 96,4 \text{ mg/L}$
 = 43,07 mg/L

Massa teremoval = $55,32\% \times 191,58 \text{ kg/hari}$

= 106 kg/hari
 Massa outlet = $191,58 \text{ kg/hari} - 106 \text{ kg/hari}$
 = 85,58 kg/hari

Perhitungan *mass balance* dimaksudkan untuk mengetahui parameter BOD yang masuk dan keluar, serta yang mengendap menjadi lumpur. Selain konsentrasi BOD, parameter COD juga dihitung besaran yang masuk, keluar, dan mengendap menjadi lumpur. Parameter TSS juga dihitung besaran konsentrasi yang masuk, keluar, dan menjadi lumpur. Hal ini dihitung dengan tujuan agar memudahkan dalam *design* perencanaan

Berikut merupakan *mass balance* BOD, TSS dan COD setelah melawati AF.



Gambar 7. 15 Mass Balance BOD, TSS dan COD Setelah Melawati AF

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan unit AF didapatkan hasil 14,48 mg/L(BOD) dan 43,07 mg/L(COD), effluent yang didapat sudah sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan yaitu 30 mg/L(BOD) dan 100 mg/L (COD), sehingga aman untuk dilepaskan ke badan air. Berdasarkan perhitungan Instalasi Pengolahan Air Limbah yang menggunakan kombinasi

ABR dan AF didapatkan hasil effluent yang telah memenuhi baku mutu kecuali untuk parameter NH_3 . Hasil effluent sebagai berikut :

Tabel 7. 15 Efisiensi Pengolahan dengan AF

Parameter	Influen (mg/L)	Effluen (mg/L)	Baku Mutu	Keterangan
TSS	27,9	5,58	30	Memenuhi
COD	47,9	9,58	50	Memenuhi
BOD ₅	24,3	4,86	30	Memenuhi
Minyak & Lemak	1,5	1,5	10	Memenuhi
NH_3	13	13	10	Tidak Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

- Dimensi Total AF

Free board = 0,3 m

Tebal dinding = 0,2 m

Panjang total ABR = (panjang per kompartemen x jumlah kompartemen + (tebal dinding x 2))
 = (4,16 m x 2) + (0,2 m x 2)
 = 8,72 m

Lebar ABR = Lebar ABR desain + (2 x tebal dinding)
 = 5,6 m + (2 x 0,2) m
 = 6 m

Tinggi ABR = Kedalaman bak + freeboard + plat bawah + plat atas
 = (3 m + 1,3 m) + 0,3 m + (2 x 0,2 m)
 = 5 m

- Menghitung Headloss

Headloss dihitung dengan menggunakan rumus Rose, direncanakan:

Tebal media = Tinggi media = 2,6 m = 260 cm

Diameter media (d) = 2 cm

Factor bentuk (ψ) = 0,82

Porositas media = 0,42

Temperature air (T) = 25°C

Densitas (ρ) = 0.09907 gr/cm³

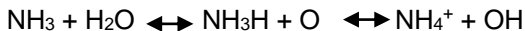
$\mu = 0.8949 \times 10^{-3}$ N.det/m² = 0,8949 x 10⁻² gr/cm.detik

Kecepatan = 0,61 m/jam = 61 cm/jam

- $Nre = (\psi \times \rho \times d \times v_a) / \mu$
 $= \frac{0,82 \times 0,99707 \times 2 \times \frac{61}{3600}}{0,008949} = 3,1$ (transisi)
- $C_D = \frac{24}{Nre} + \frac{3}{\sqrt{Nre}} + 0,34$
 $C_D = \frac{24}{3,1} + \frac{3}{\sqrt{3,1}} + 0,34$
 $= 9,786$
- Headloss = $1,067 \frac{C_D L V a^2}{\psi d s^4 g}$
 $= \frac{1,067 \times 9,786 \times 2,6 \times \frac{0,61^2}{3600}}{0,82 \times 0,02 \times (0,42)^4 \times 9,81}$
 $= 0,000155$ m
 $= 0,0155$ cm

7.9 **Aerobic Biofilter**

Aerobic Biofilter adalah proses pengolahan air limbah dengan menggunakan media penyangga dalam reaktor biologis dan dengan bantuan aerasi. Proses aerasi diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam media penyangga yang membutuhkan suplai oksigen untuk mengurai senyawa organik menjadi CO₂, air, dan amonia. Suplai oksigen untuk proses aerasi yang dapat diperoleh dengan mengalirkan udara melalui pipa yang dapat diperoleh melalui pipa yang berasal dari blower. Pada pengolahan air limbah secara biologis aerobik akan dihasilkan lumpur lebih banyak daripada proses anaerobik. Lumpur yang dihasilkan berupa biofilm hasil reduksi zat organik yang digunakan mikroba untuk berkembang biak. Dalam air, mudah terdekomposisi menjadi ion ammonium dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



NH₃ adalah ammonia yang tidak larut, NH₄⁺ adalah ammonia yang terionkan (ion ammonium). Air dengan suhu 0^oC dan pH 6 hampir semua ammonia membentuk ion ammonium, hanya 0,01% ammonia yang berada dalam bentuk tak terionkan. Sedangkan pada suhu 0^oC dan pH 10, sebanyak 89% ammonia berada dalam

bentuk tak terionkan (Krupa, 2003). Perencanaan unit *Aerobic Biofilter* sebagai berikut:

$$Q_r = 0,21 \text{ m}^3/\text{s}$$

Direncanakan

$$\theta_c = 10 \text{ hari (8 - 15)}$$

$$Y = 0,45 \text{ kg VSS / kg BOD (0,4 - 8)}$$

$$k_d = 0,12 \text{ g VSS / g VSS.d}$$

$$K_s = 8 \text{ mg/L}$$

$$X_{MLSS} = 3000 \text{ mg / L (1000 - 3500)}$$

$$MLVSS/MLSS = 0,8 \text{ (0,8 - 0,9)}$$

$$[BOD]_{in} = 14,48 \text{ mg/L} = 0,01448 \text{ kg/m}^3$$

$$[NH_4]_{in} = 13 \text{ mg/L} = 0,013 \text{ kg/m}^3$$

$$K_n = 0,5 \text{ mg/L}$$

$$Y_n = 0,15 \text{ kg VSS / kg NH}_4\text{N}$$

$$k_{dn} = 0,17 \text{ g VSS / g VSS.d}$$

Luas permukaan biofilter = $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Media sarang tawon)

$$\text{BOD removal flux} = 12 \text{ g/m}^2 \text{ d}$$

$$\text{Nitrifikasi flux} = 0,9 \text{ g/m}^2 \text{ d}$$

$$\text{HLR} = 2,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam (1 - 5)}$$

Perhitungan Dimensi *Aerobik Biofilter*

1. Perhitungan volume media *biofilter*

Perhitungan volume media untuk *removal* BOD

$$\text{BOD removal flux } 90\% = \frac{\text{BOD removal flux}}{\% \text{ removal BOD}}$$

$$= \frac{12 \text{ g/m}^2 \text{ d}}{90 \%}$$

$$= 13,33 \text{ g/m}^2 \text{ d}$$

$$\text{BOD}_{ef} = 14,48 \text{ mg/L} \times (100\% - 90\%)$$

$$= 1,448 \text{ mg/L} \text{ (memenuhi baku mutu BOD } 30 \text{ mg/L)}$$

$$\text{Media area} = \frac{Q_{in} \times \text{BOD}_{in}}{\text{BOD removal flux } 90\%}$$

$$= \frac{18144 \text{ m}^3/\text{d} \times 14,48 \text{ g/m}^3}{13,33 \text{ g/m}^2 \text{ d}}$$

$$= 1970 \text{ m}^2$$

$$\text{Media volume} = \frac{\text{Media area}}{\text{Fraksi luas permukaan biofilter}}$$

$$= \frac{1970 \text{ m}^2}{200 \text{ m}^2/\text{m}^3}$$

$$= 9,85 \text{ m}^3$$

Perhitungan volume media untuk removal NH₄

$$\text{NH}_4 \text{ removal flux } 99,8\% = \frac{\text{NH}_3 \text{ removal flux}}{\% \text{ removal NH}_3}$$

$$= \frac{1,04 \text{ g/m}^2 \text{ d}}{99,8 \%}$$

$$= 1,039 \text{ g/m}^2 \text{ d}$$

$$\text{NH}_4 \text{ ef} = 13 \text{ mg/L} \times (100\% - 99,8\%)$$

$$= 0,026 \text{ mg/L} \text{ (memenuhi baku mutu NH}_3 \text{ } 10 \text{ mg/L)}$$

$$\text{Media area} = \frac{Q_{in} \times \text{NH}_3 \text{ in}}{\text{NH}_3 \text{ removal flux } 99,8\%}$$

$$= \frac{18144 \text{ m}^3/\text{d} \times 13 \text{ g/m}^3}{1,039 \text{ g/m}^2 \text{ d}}$$

$$= 2270 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Media volume} &= \frac{\text{Media area}}{\text{Fraksi luas permukaan biofilter}} \\ &= \frac{2270 \text{ m}^2}{200 \text{ m}^2/\text{m}^3} \\ &= 11,35 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Media volume total} &= \text{Volume media BOD} + \text{Volume media NH}_3 \\ &= 9,85 \text{ m}^3 + 11,35 \text{ m}^3 \\ &= 21,2 \text{ m}^3\end{aligned}$$

2. Perhitungan dimensi *aerobik biofilter*

Kriteria desain *Hydraulic Loading Rate* (HLR) pada unit *aerobik biofilter* adalah $0,042 - 1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$.

Debit operasional 24 jam

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

$$\begin{aligned}A_{\text{surface}} &= V \text{ media} / H \text{ media} \\ &= 21,2 \text{ m}^3 / 1,5 \text{ m} \\ &= 14,13 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$Q \text{ 24 jam} = 5,67 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\begin{aligned}\text{HLR} &= Q_{\text{des}} / A_{\text{surface}} \\ &= 7,56 \text{ m}^3/\text{jam} / 14,13 \text{ m}^2 \\ &= 0,53 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam} \text{ (memenuhi kriteria desain)}\end{aligned}$$

$$P : L = 2 : 1$$

$$A_s = 2L^2$$

$$14,13 \text{ m}^2 = 2L^2$$

$$\text{Panjang} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 4 \text{ m}$$

Direncanakan

$$\text{Hair di atas media} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Freeboard} = 50 \text{ cm}$$

$$\text{Hair di bawah media} = 50 \text{ cm}$$

Pada perencanaan ini, bak *Aerobik Biofilter* direncanakan berjumlah 2 buah untuk mempermudah pengoperasian saat dilakukan perawatan. Lebar bak akan dibagi dua sementara Panjang dan kedalaman bak tetap

$$\text{Panjang} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 4 \text{ m} / 2 = 2 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman} = 1,5 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,5 \text{ m} = 2,8 \text{ m}$$

Perhitungan Produksi Biomass (Px)

Biomass dihasilkan dari proses sistesa sel untuk degradasi zat organik biodegradable (Px Bio) dan nitrifikas (Px N) secara aerobik. Biomass tersebut nantinya akan menjadi lumpur yang harus diendapkan pada bak pengendap.

Perhitungan Px Bio

$$\begin{aligned} \text{Px Bio} &= \frac{Y \times Q \text{des}(S_0 - S_e)}{1 + (kd \cdot \theta_c)} \\ &= \frac{0,45 \text{ kg VSS} / \text{kg BOD} \times 18144 \text{ m}^3/\text{d} \left(0,01448 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0,0001448 \text{kg}/\text{m}^3\right)}{1 + (0,12 \text{ g VSS} / \text{g VSS} \cdot \text{d} \times 10 \text{hari})} \\ &= 1,4790 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

Cell / Biomass: $C_5H_7O_2N$ Mr = 113 ; N Ar = 14 ; C Ar = 12

$$\% \text{ N Biomass} = \frac{\text{Ar N}}{\text{Mr cell}} \times 100\%$$

$$\% \text{ C Biomass} = \frac{\text{Ar C}}{\text{Mr cell}} \times 100\%$$

$$\% \text{ N} = 12\%$$

$$\text{N sintesa sel} = \% \text{N} \times \text{Px Bio}$$

$$= 0,17748 \text{ kg (Kadar N masih memenuhi)}$$

Perhitungan Px N

Sebelum menentukan Px N terlebih dahulu dihitung total NOx yang akan dioksidasi sisa proses sintesa sel zat organik.

$$[\text{NOx}] = [\text{TKN}]_{\text{in}} - [\text{TKN}]_{\text{ef}} - \frac{\% \text{N} \times \text{Px bio}}{Q_{\text{des}}}$$

$$\begin{aligned} [\text{NOx}] &= 0,01448 \text{ kg/m}^3 - 0,0001 \text{ kg/m}^3 - \frac{0,17748 \text{ kg}}{18144 \text{ m}^3/\text{d}} \\ &= 0,0134 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Px N} = \frac{Y_n \times Q_{\text{des}} \times [\text{NOx}]}{1 + (k_{\text{dn}} \cdot \theta_c)}$$

$$\begin{aligned} \text{Px N} &= \frac{0,15 \text{ kg VSS} / \text{kg NH}_4\text{N} \times 18144 \text{ m}^3/\text{d} \times 0,0134 \text{ kg/m}^3}{1 + (0,17 \text{ g VSS} / \text{g VSS} \cdot \text{d} \times 10 \text{ hari})} \\ &= 0,2011 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

Penentuan Px total

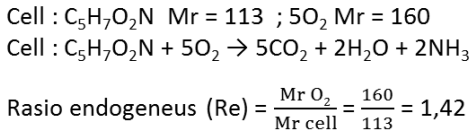
$$\begin{aligned} \text{Px total} &= \text{Px Bio} + \text{Px N} \\ &= 1,4790 \text{ kg/d} + 0,2011 \text{ kg/d} \\ &= 1,6801 \text{ kg/d} \end{aligned}$$

Kebutuhan Oksigen (RO)

Pada sistem aerob dibutuhkan suplai oksigen untuk proses oksidasi zat organik oleh bakteri aerob dan proses nitrifikasi.

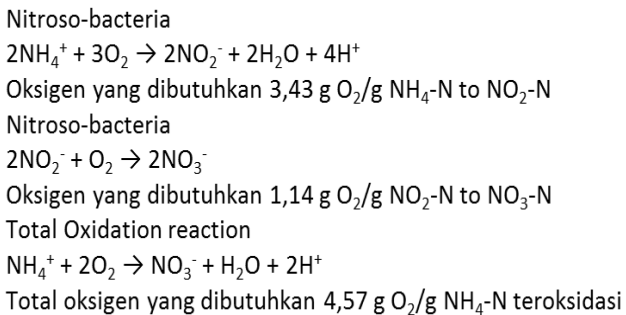
1. Reaksi Oksidasi Zat Organik

Reaksi oksidasi zat organik dapat dilihat dari persamaan sebagai berikut:



Pada reaksi di atas diketahui bahwa kebutuhan oksigen dalam sintesa sel (*endogeneous*) adalah 1,42 biomass yang dihasilkan.

2. Reaksi Oksidasi NH_4^+



Pada reaksi oksidasi NH_4^+ di atas diketahui untuk mengoksidasi 1 g NH_4^+ menjadi NO_3^- dibutuhkan oksigen sebanyak 4,57 g.

3. Kebutuhan Oksigen Total

Kebutuhan oksigen total dalam sistem tangki aerasi dengan proses nitrifikasi dapat hitung secara teoritis melalui perhitungan berikut berikut

$$R_o = Q_{des}(S_o - S_e) - (R_e \cdot P_x \text{ bio}) + 4,57 Q(\text{NO}_x)$$

$$\begin{aligned} R_o &= 18144 \text{ m}^3/\text{d} \cdot (0,01443\text{kg}/\text{m}^3 - 0,0001443\text{kg}/\text{m}^3) - \\ &\quad (1,42 \times 1,6801 \text{ kg}/\text{d}) + 4,57 \cdot 18144 \text{ m}^3/\text{d} (0,0134\text{kg}/\text{m}^3) \\ &= 33,89 \text{ kg}/\text{d} \end{aligned}$$

Kebutuhan Diffuser dan Blower/Kompresor

Direncanakan menggunakan Disk Diffuser merk Purescience SID12

Diameter = 10 in

= 260 mm = 26 cm

Transfer O_2 = 0,15 kg/ m^3 .jam (0,112 - 0,185)

Aliran udara = 8 m^3 /jam (1,5 - 3)

= 0,133333333 m^3 /menit

Kedalaman max = 3,2 m



Gambar 7. 16 Disk Diffuser merk Purescience SID12

Sumber: www.diskdiffuser.com

Direncanakan

Kebutuhan Oksigen = 34,25 kg/d

Kedalaman = 2,3 m

1. Perhitungan Kejenuhan Kelarutan Gas

$$C_s = (C_s)_{760} \times \frac{P - p_u}{760 - p_u}$$

C_s = Kejenuhan kelarutan gas mg/L

P = Tekanan barometrik (mm Hg)

p_u = Tekanan jenuh uap air (mm Hg)

Diperkirakan suhu air limbah 25°C dan P rata-rata = 750 mmHg

Pada tekanan 760 mmHg, $C_s = 8,4$ mg/L ; $p_u = 23,8$ mmHg

$$\begin{aligned} C_s 25^\circ\text{C} &= 8,4 \text{ mg/L} \times \frac{750 \text{ mmHg} - 23,8 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg} - 23,8 \text{ mmHg}} \\ &= 8,2859 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Konsentrasi Gas Jenuh Pada Kedalaman Tertentu

$$C_m = C_s \times \left(\frac{P_r}{203} + \frac{O_e}{42} \right)$$

C_m = Konsentrasi gas jenuh pada kedalaman bak, mg/L

P_r = Tekanan absolut pada kedalaman pelepasan udara, kPa

O_e = % gas dalam aliran udara yang dikeluarkan

$$\begin{aligned}
 \text{Tekanan} &= 1 \text{ atm} \\
 &= 10,34 \text{ m air} \\
 &= 101,37 \text{ kPa} \\
 &= 760 \text{ mm Hg}
 \end{aligned}$$

Tekananan Absolut (Pr)

$$Pr = (P \text{ atm} + (\text{Hair}/10,34 \text{ m}))101,37 \text{ kPa} + \text{Kehilangan energi}$$

Kehilangan energi akibat gesekan udara dengan pipa distribusi adalah 10 kPa

$$Pr = (1 \text{ atm} + (2,3 \text{ m}/10,34 \text{ m}))101,37 \text{ kPa} + 10 \text{ kPa}$$

$$Pr = 132,585 \text{ kPa}$$

% Gas pada Aliran Udara (Oe)

Kandungan O₂ di udara = 21%

Asumsi O₂ dalam gelembung udara larut di air adalah 8 %

$$Oe = 21 \% \times (1 - \% \text{Penyerapan } O_2)$$

$$Oe = 21 \% \times (1 - 8 \%) = 19\%$$

Perhitungan Cm

$$\begin{aligned}
 Cm &= Cs \times \left(\frac{Pr}{203} + \frac{Oe}{42} \right) \\
 &= 8,2859 \text{ mg/L} \times \left(\frac{132,585 \text{ kPa}}{203} + \frac{19}{42} \right) \\
 &= 9,16 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Massa Oksigen yang Dikeluarkan Diffuser

$$N = C G_a^{1-n} D^{0,67} (C_m - C_L) * 1,02^{(T-20)} \alpha$$

C = konstanta (0,04233)

n = konstanta (0,1)

D = Kedalaman difuser, m

C_m = Konsentrasi gas jenuh pada kedalaman bak, mg/L

C_L = Konsentrasi DO pada kedalaman air, mg/L

α = Koefisien transfer (air limbah/air bersih)

G_a = Debit udara m³/menit (sesuai kriteria Diffuser)

Diperkirakan

DO = 2 mg/L

α = 0,75

$$N = 0,04233 \cdot (0,133 \frac{m^3}{menit}^{1-0,1}) \cdot (2,3^{0,67}) \cdot (9,16 \text{mg/L} - 2 \text{mg/L}) * 1,02^{(25-20)} 0,75$$

$$= 0,05032 \text{ kg O}_2/\text{jam}$$

4. Perhitungan Jumlah dan Letak Diffuser

$$\text{Jumlah Difuser} = \frac{\text{Kebutuhan Oksigen sehari}}{24 \text{ jam} \times N}$$

$$\text{Jumlah} = 34,25 \text{ kg/d} / (24 \text{ jam} \times 0,05032 \text{ kg O}_2/\text{jam})$$

$$= 15,4$$

$$= 16 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah tiap bak} = 16 \text{ buah} / 2 \text{ bak} = 8 \text{ difuser tiap bak}$$

Panjang Tangki = 6 m

Lebar Tangki = 3 m (dibagi 2) = 1,5 m

Direncanakan jumlah Diffuser tiap lebar dan panjang

Lebar = 2 buah

Panjang = 4 buah

Jumlah = 8 buah/bak

Total = 8 buah/bak x 2 = 16 buah

5. Perhitungan Jenis Kompresor/Blower

Perbedaan Volume, Tekanan, dan Suhu pada Inlet-Outlet Difuser

$$\frac{P_s V_s}{T_s} = \frac{P_i V_i}{T_i}, \quad V_i = \frac{P_s \cdot T_i}{P_i \cdot T_s} \times V_s$$

P_s = Tekanan pada keadaan standar

P_i = Tekanan pada tempat perencanaan/inlet

T_s = Suhu pada keadaan standar (K)

T_i = Suhu pada tempat perencanaan (K)

V_s = Volume gas yang dikeluarkan pada keadaan standar

= Jumlah Difuser x Laju aliran udara tiap difuser

= 20 x 0,133 m³/menit

V_s = 2,67 m³/menit = 0,044 m³/s

V_i = Volume gas yang masuk inlet

P_s = 760 mmHg = 101,325 kPa

$$P_i = 750 \text{ mmHg} = 99,992 \text{ kPa}$$

$$T_s = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_i = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$V_i = \frac{101,3250144 \text{ kPa} \times 298^\circ\text{K}}{99,99179056 \text{ kPa} \times 293^\circ\text{K}} \times 0,044 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 2,75 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$= 0,0458 \text{ m}^3/\text{s}$$

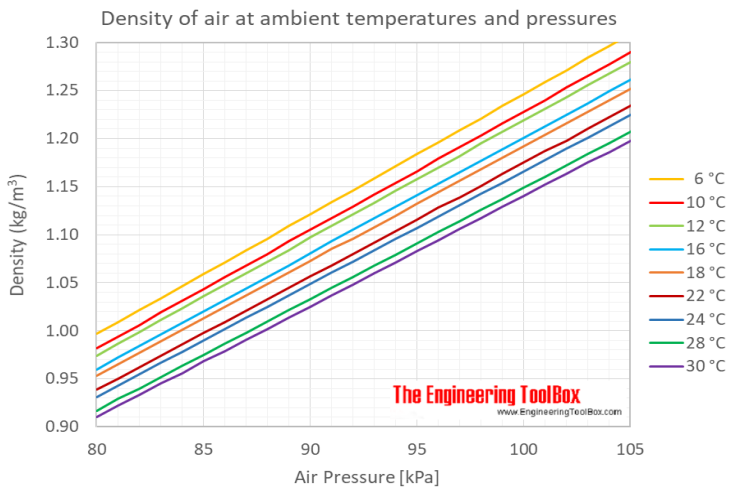
Massa Aliran Udara

$$F = G_a \times \rho_{\text{udara}}$$

F = Masaa aliran udara, (kg/s)

G_a (V_i) = Laju aliran udara total, (m³/s)

ρ_{udara} = Massa jenis udara, (kg/m³)



Gambar 7. 17 Hubungan Densitas udara dengan Suhu dan Tekanan

Berdasarkan grafik di atas, Udara yang berada pada tekanan 9,9 kPa dan suhu 25 °C memiliki $\rho_{\text{udara}} = 1,175 \text{ kg/m}^3$.

$$F = 0,0458 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,175 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,05382 \text{ kg/s}$$

Daya Kompresor

$$P = \frac{F \cdot R \cdot T_i}{C \cdot n \cdot E} \left[\left(\frac{P_r}{P_i} \right)^n - 1 \right]$$

P = Daya blower/kompresor, hp (kW)

F = Masaa aliran udara, (kg/s)

R = 53,5 (USCS), 0,288 (SI)

T_i = Suhu pada inlet tempat perencanaan, 'R ('K)

C = 550 (USCS), 1,0 (SI)

n = 0,283 untuk udara

E = Efisiensi (70%-80%), Direncanakan 75%

P_i = Tekanan pada tempat perencanaan/inlet, psi (kPa)

P_r = Tekanan pada outlet, psi (kPa)

$$P = \frac{0,05382 \text{ kg/s} \times 0,288 \times 298 \text{ 'K}}{1 \times 0,283 \times 75\%} \left[\left(\frac{132,585 \text{ kPa}}{99,99179 \text{ kPa}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$= 1,82 \text{ kW}$$

Spesifikasi Kompresor yang Dibutuhkan

Daya = 1,82 kW

Ga = 0,04581 m³/s

= 2,78434 m³/menit

= 164,9 m³/jam

= 3957,6 m³/d

Pada brosur kompresor merk BLOWTAC tidak terdapat kompresor dengan kriteria hasil perhitungan, sehingga digunakan kompresor dengan spesifikasi tertinggi yaitu **BLOWTAC Seri Rotary Vane Type Blower MRB-2400.**



Gambar 7. 18 BLOWTAC Seri Rotary Vane Type Blower MRB-2800

Sumber: www.blowtac.com

Spesifikasi Blower/Kompresor:

D Outlet = 2,5 in
= 6,35 cm

Ampere = 65 A

Daya = 3,7 kW

Ga = 2,5 – 2,82 m³/menit

Kebisingan = 66 dB

Dimensi = 1,325 x 0,44 x 0,87 m

Jumlah kompresor direncanakan berjumlah 2 buah yang bekerja secara bergantian agar tersedia waktu istirahat bagi kompresor karena proses aerasi berlangsung selama 24 jam.

7.10 Desinfeksi

Desinfeksi adalah memusnahkan mikro-organisme yang dapat menimbulkan penyakit. Desinfeksi merupakan benteng manusia terhadap paparan mikro-organisme patogen penyebab penyakit, termasuk di dalamnya virus, bakteri dan protozoa parasite. Adapun desinfeksi yang digunakan dalam perencanaan ini adalah klorinasi menggunakan zat klor. Klor merupakan bahan yang paling umum digunakan sebagai disinfektan karena efektif pada konsentrasi rendah, murah dan membentuk sisa klor jika diterapkan pada dosis yang mencukupi. Beberapa faktor penting yang mempengaruhi efisiensi desinfeksi dengan klor adalah:

- Kekuatan dari disinfektan
- Konsentrasi dari disinfektan
- Temperatur
- Pengadukan
- Reaksi breakpoint
- Waktu kontak
- Karakteristik air
- Karakteristik mikroorganisme
- pH

Dosis klor adalah jumlah klor yang ditambahkan pada air untuk menghasilkan residu spesifik pada akhir waktu kontak. Hasil sisa (residu) adalah dosis dikurangi kebutuhan klor yang digunakan oleh komponen dan materi organik yang ada dalam air. Dosis klor yang dibutuhkan pada proses pengolahan ditentukan dengan uji laboratorium atau *pilot plant*. Dosis klor dapat bervariasi tergantung pada kualitas air, temperatur dan kondisi iklim yang lain. Berikut ini beberapa jenis disinfektan yang digunakan yaitu :

- 1) gas klor (Cl_2), kandungan klor aktif minimal 99%;
- 2) kaporit atau kalsium hipoklorit ($\text{CaOCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) kandungan klor aktif (60 — 70) %;
- 3) sodium hipoklorit (NaOCl), kandungan klor aktif 15%; (SNI 6774, 2008)

Berikut merupakan kelebihan dan kekurangan dari penggunaan klor sebagai desinfektan:

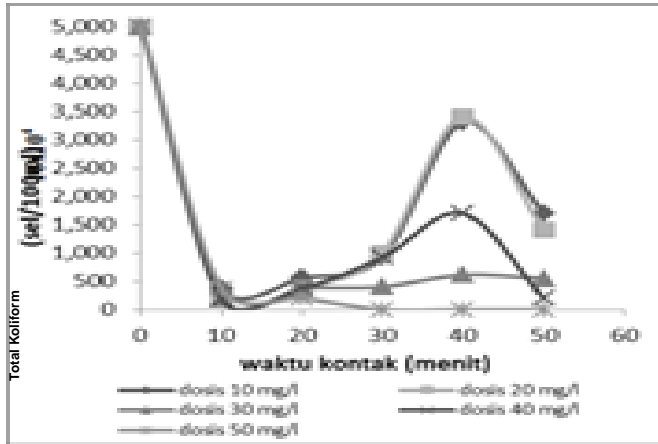
Keunggulan:

- b. Teknologi desinfeksi yang sudah dikenal luas dan klorin merupakan desinfektan yang efektif
- c. Memiliki sisa klor yang dapat dipantau dan diatur kadarnya (sisa klor dapat dijaga pada perpipaan yang panjang)
- d. Dapat mengoksidasi sulfida
- e. Unit klorinasi dapat digunakan untuk keperluan lainnya seperti pengendalian bau maupun desinfeksi pada sistem pengolahan air bersih
- f. Relatif murah
- g. Tersedia dalam bentuk kalsium dan sodium hipoklorit (sebagai alternatif dari penggunaan gas klor)

Kekurangan:

- Menggunakan zat kimia yang dapat membahayakan operator dan masyarakat sekitar sehingga perlu standard safety yang tinggi
- Memerlukan waktu kontak yang relatif lebih lama dibandingkan dengan desinfektan lainnya
- Perlu adanya deklorinasi untuk menurunkan toksisitas efluen terolah
- Berpotensi untuk terbentuknya trihalometan dan DBP (disinfectant by products)
- Adanya pembentukan VOC (volatile organic compounds) di tangki kontak
- Dapat mengoksidasi besi, magnesium, zat organik, maupun anorganik sehingga desinfektan terkonsumsi
- Meningkatkan level TDS pada efluen
- Meningkatkan kandungan klorida
- Menyebabkan air limbah menjadi asam jika alkalinitas tidak memadai

Menurut Komala dan Ajeng (2014) dari hasil pengujian efektifitas penurunan Total Koliform dengan penambahan kaporit dengan memvariasikan waktu kontak dan dosis kaporit, berikut merupakan diagram hasil pengujian waktu kontak optimum dan tabel variasi dosis:



Gambar 7. 19 Efisiensi penurunan Total Koliform dengan variasi waktu kontak dengan td

Sumber: Komala dan Ajeng, (2014)

Tabel 7. 16 Penurunan Total Koliform dengan Waktu Kontak 10 menit

Dosis	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Effluen	Persen Removal
10 mg/L	$1,6 \times 10^5$ MPN/100 mL	$3,7 \times 10^2$ MPN/100 mL	99,82 %
20 mg/L	$1,6 \times 10^5$ MPN/100 mL	$1,9 \times 10^2$ MPN/100 mL	99,89%
30 mg/L	$1,6 \times 10^5$ MPN/100 mL	$1,8 \times 10^2$ MPN/100 mL	99,99%
40 mg/L	$1,6 \times 10^5$ MPN/100 mL	$1,9 \times 10^2$ MPN/100 mL	99,89%
50 mg/L	$1,6 \times 10^5$ MPN/100 mL	$3,6 \times 10^2$ MPN/100 mL	99,85%

Sumber: Komala dan Ajeng, (2014)

Maka dari hasil tersebut didapatkan dosis optimum sebesar 30 mg/L dan waktu kontak optimum selama 10 menit. Selanjutnya dilakukan perhitungan kebutuhan kaporit, dimensi bak penyeduh

kaporit dan bak pembubuh kaporit. Berikut merupakan perhitungannya unit desinfeksi :

- **Perhitungan Kaporit yang Dibutuhkan**

Diketahui:

Dosis klor yang dibutuhkan = 30 mg/L

$Q = 0,21 \text{ m}^3 / \text{detik}$

$= 1987,2 \text{ m}^3/\text{hari}$

Kebutuhan kaporit = $Q \times \text{Kadar pembubuhan}$

$= 1987,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 30 \text{ mg/L} \times 10^{-6} \text{ kg/mg}$

$\times 1000 \text{ L/m}^3$

$= 59,6 \text{ kg} / \text{hari}$

Kebutuhan kaporit kadar 70% = $59,6 \text{ kg/hari} / 70\%$

$= 85 \text{ kg/hari}$

Volume kaporit = kebutuhan kaporit / ρ kaporit

$= 85 \text{ kg/hari} / 2,35 \text{ kg/L}$

$= 0,036 \text{ m}^3/\text{hari}$

Volume Air Pelarut = kebutuhan kaporit / kelarutan kaporit

$= 85 \text{ kg/hari} / 210 \text{ g/L}$

$= 405 \text{ L/hari}$

$= 0,405 \text{ m}^3/\text{hari}$

Volume larutan total = volume kaporit + volume air pelarut

$= 0,036 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,405 \text{ m}^3/\text{hari}$

$= 0,441 \text{ m}^3/\text{hari}$

Debit kaporit = $0,441 \text{ m}^3 / \text{hari} / 86400 \text{ detik}$

$= 0,0000051 \text{ m}^3/\text{detik}$

$= 0,0051 \text{ L/dtk}$

- **Perhitungan Dimensi Bak Penyeduh Kaporit**

Direncanakan :

- Periode pelarutan kaporit = 2 hari

- Dimensi P : L = 1 : 1

- Tinggi bak = 1 m

Perhitungan :

- Volume bak = volume larutan total x frekuensi pelarutan

$= 0,441 \text{ m}^3/\text{hari} \times 2 \text{ hari} = 0,882 \text{ m}^3$

- Dimensi bak
 - Luas (A) = Volume/h
= 0,882 m³/1 m
= 0,882 m²
 - Luas (A) = P x L
 - L (lebar) = 0,9 m
= 1 m
 - Panjang (P) = lebar
= 1 m
 - Tinggi bak (h) = 1 + 0,25 m
= 1,25 m

• Perhitungan Dimensi Bak Pembunuh Kaporit

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= \text{volume larutan total} \times \text{frekuensi penampungan} \\
 &= 0,441 \text{ m}^3/\text{hari} \times 2 \text{ hari} \\
 &= 0,882 \text{ m}^3 \\
 &= 882 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Pada bak pembunuh kaporit ini digunakan profil tank yang memiliki volume 900 L dan diletakkan diatas inlet dari bak kontak yang nantinya pada bagian bawah profil tank tersebut dilubangi dengan diameter yang sesuai agar debit kaporit yang mengalir sesuai dengan hasil perhitungan, selain itu profil tank dilengkapi dengan saringan pada bagian atasnya agar lubang yang telah dibuat tidak tersumbat. Berikut merupakan perhitungan dimensi lubang pada profil tank:

Diketahui : Q kaporit = 0,0000051 m³/detik
V rencana= 0,6 m/detik

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 Q &= v \text{ asumsi} \times A \\
 A &= \frac{Q}{v \text{ rencana}} = \frac{0,0000051}{0,6} = 0,0000085 \text{ m}^2 \\
 D &= \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0000085}{3,14}} = 0,0033 \text{ m} = 0,33 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Bak Kontak

Bak kontak merupakan bak yang digunakan untuk mereaksikan kaporit dengan effluen air limbah dari AF sehingga terjadi reaksi dimana diharapkan terjadi reduksi Total Koliform agar

memenuhi baku mutu. Menurut (Ulliaju dkk, 2016), penambahan kaporit dalam air limbah selain dapat mereduksi total koliform juga dapat mereduksi kadar ammonia dalam air limbah. Peletakkan bak kontak diletakkan 0,5 m dibawah pipa effluen dari AF sehingga terjadi pengadukan secara hidrolis. Berikut merupakan perhitungan bak kontak.

- **Perhitungan dimensi bak kontak**

Diketahui : $Q = 0,21 \text{ m}^3 / \text{detik}$
 $= 1987,2 \text{ m}^3/\text{hari}$
 $Td = 10 \text{ menit} = 600 \text{ detik}$
 Kedalaman bak = 1 m

Perhitungan:

Volume bak kontak = $Q \times td$
 $= 0,21 \text{ m}^3/\text{detik} \times 600 \text{ detik}$
 $= 126 \text{ m}^3$

Luas Bak = Volume / kedalaman
 $= 126 \text{ m}^3 / 1 \text{ m}$
 $= 126 \text{ m}^2$

P : L = 2 : 1

P = 2 L

A = P x L

$126 \text{ m}^2 = 2 \text{ L} \times \text{L}$

$126 \text{ m}^2 = 2\text{L}^2$

L = 7,9 m

=8 m

P = 2L

P = 2 x 8 m

P = 16 m

Dimensi Bak Kontak

Panjang total + dinding plat = $16 \text{ m} + (2 \times 0,2) \text{ m} = 16,4 \text{ m}$

Lebar total + dinding plat = $8 \text{ m} + (2 \times 0,2) \text{ m} = 8,4 \text{ m}$

Kedalaman total = Kedalaman bak + freeboard + plat bawah
 $= 1 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,2 \text{ m}$
 $= 1,5 \text{ m}$

Kualitas Effluen Air Limbah

Effluent total koliform = $(100\% - 99,99\%) \times \text{Konsentrasi total}$

$$\begin{aligned}
 & \text{koliform } \textit{influent} \\
 & = 0,01\% \times 18 \times 10^8 \text{ MPN/100mL} \\
 & = 1800 \text{ MPN/100mL (memenuhi baku mutu)}
 \end{aligned}$$

Tabel 7. 17 Kualitas *Effluent* Air Limbah

Parameter	Influen (mg/L)	Effluen (mg/L)	Baku Mutu	Keterangan
TSS	279	2,23	50	Memenuhi
COD	479	3,83	50	Memenuhi
BOD ₅	243	1,94	30	Memenuhi
Minyak & Lemak	30	1,5	10	Memenuhi
NH ₃	13	1,3	10	Memenuhi
Total Koliform	18 x 10 ⁶	1800	3000	Memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

Dengan mengacu pada baku mutu Permen LHK No. 68 tahun 2016 dan Pergub Jatim no.72 tahun 2013, effluen dari IPAL dengan parameter TSS, BOD, COD, NH₃, Minyak & lemak dan total koliform sudah memenuhi baku mutu.

7.11 Luas IPAL

Perhitungan luas IPAL yaitu dengan menambahkan lus masing-masing unit IPAL dengan ditambahkan 20% dari luas tersebut untuk area operasionalnya. Berikut merupakan perhitungan luas IPAL.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas IPAL} &= \text{Sumur Pengumpul} + \text{Bak Distribusi} + \text{ABR \& AF} + \\
 & \quad \text{Aerobik Filter} + \text{Bak Penyeduh} + \text{Bak Kontak} \\
 &= 100 + 4 + 316 + 32 + 1 + 128 \\
 &= 581 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

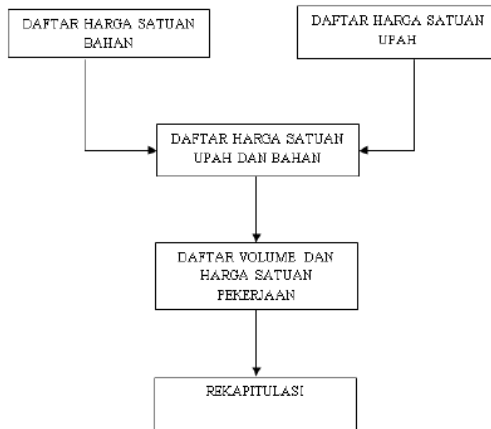
BAB 8

BILL OF QUANTITY (BOQ) DAN RENCANA ANGGARAN BIAYA (RAB)

Bill Of Quantity (BOQ) merupakan perhitungan suatu bahan atau bangunan untuk mengetahui jumlah atau volume yang dibutuhkan dalam perancangan Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) dan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan perhitungan suatu bahan atau bangunan untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) setelah diketahui BOQ. Dalam aplikasinya di lapangan Rencana Anggaran Biaya merupakan alat untuk mengendalikan jumlah biaya penyelesaian pekerjaan secara berurutan sesuai dengan yang telah direncanakan. RAB merupakan perkiraan yang dibuat sebelum pelaksanaan suatu proyek fisik dimulai dibuat oleh pemilik (*owner*), konsultan teknik dan perencana kontraktor. Tujuan pembuatan RAB adalah:

1. Agar biaya pembangunan yang dibutuhkan dapat diketahui sebelumnya.
2. Untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya kemacetan dalam proses pembangunan.
3. Untuk mencegah terjadinya pemborosan dalam penggunaan sumber daya anggaran biaya.

Dalam menyusun RAB setidaknya secara sederhana dapat dipilah menjadi dua langkah, yakni tahap persiapan dan tahap penyusunan RAB itu sendiri. Perhitungan RAB dimaksudkan agar dapat mengetahui kisaran taksir biaya yang dibutuhkan dalam perencanaan SPAL dan IPAL sehingga memudahkan dalam penyusunan langkah-langkah strategis yang diambil oleh pemilik proyek jika dikemudian hari perencanaan tersebut direalisasikan. Hal tersebut dikarenakan bahwa dalam penyusunan RAB ada dua faktor utama yang senantiasa dipadukan yakni faktor pengalaman dan faktor analisis biaya konstruksi (meliputi upah, tenaga kerja dan bahan). Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda pada masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja secara ringkas proses penyusunan anggaran dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 8. 1 Tahap Penyusunan RAB

Rencana Anggaran Biaya pelaksanaan proyek dibuat berdasarkan rencana anggaran penawaran yang digunakan sebagai acuan biaya penyelesaian proyek yang harus diikuti oleh setiap unit yang dalam kendali seorang manajer proyek. Sebagai penetapan harga dalam suatu pelelangan ada 2 estimasi, yaitu:

1. Estimasi perencanaan (*Engineer's Estimate* atau *EE*)
2. Estimasi pemilik (*Owner's Estimate* atau *OE*)

8.1 BOQ SPAL

Bill Of Quantity (BOQ) merupakan perhitungan suatu bahan atau bangunan untuk mengetahui jumlah atau volume yang dibutuhkan dalam perancangan Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) Perancangan tersebut meliputi perpipaan, galian dan urugan pipa, bangunan pelengkap.

8.1.1 BOQ Perpipaan

Dalam perencanaan ini digunakan pipa PVC, data masing masing diameter dan panjang pipa diketahui dari perhitungan dimensi pipa. Setiap batang pipa PVC sepanjang 6 m. Berikut ini adalah perincian jumlah pipa yang dibutuhkan yang disajikan pada Tabel 8.1

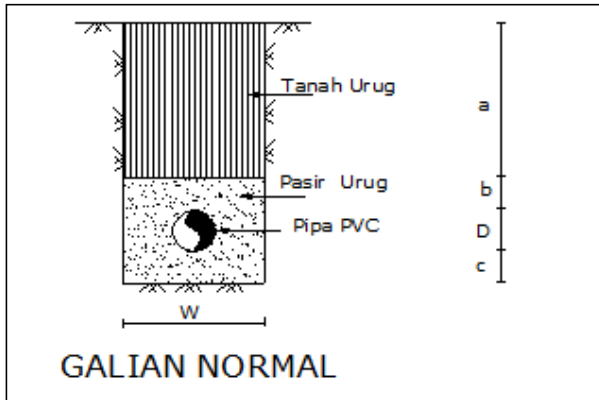
Tabel 8. 1 Rincian Jumlah Pipa

No	Jalur Pipa	Panjang Pipa (m)	D pipa (mm)	Panjang Per Pipa (m)	Jumlah Pipa
1	a-M	491	280	4	123
2	b-O	365	315	4	91
3	c-Q	120	280	4	30
4	M-N	91,5	280	4	23
5	N-O	132	280	4	33
6	O-P	127	280	4	32
7	Q-P	213	280	4	53
8	P-I	434	355	4	109
9	N-H	468	355	4	117
10	f-L	437	315	4	109
11	e-i	430	280	4	108
12	H-I	140	315	4	35
13	I-J	65	400	4	16
14	J-K	145	400	4	36
15	K-L	32	400	4	8
16	L-D	317	450	4	79
17	k-G	391	400	4	98
18	J-F	346	400	4	87
19	K-E	331	280	4	83
20	G-F	108	280	4	27
21	F-E	120	315	4	30
22	E-D	62	450	4	16
23	D-C	197	500	4	49
24	j-B	673	450	4	168
25	G-I	167	280	4	42
26	I-C	280	280	4	70
27	C-B	80	500	4	20
28	B-A	390	500	4	98
29	A-IPAL	260	500	4	65

Sumber: Hasil Perhitungan

8.1.2 BOQ Galian dan Urugan

Penggalian pipa disesuaikan pada keadaan tanah di wilayah perencanaan yang cenderung stabil atau normal. Penanaman pipa dari muka tanah direncanakan sesuai dengan perhitungan penanaman pipa yang telah dihitung sebelumnya. Bentuk galian yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 8.2



Gambar 8. 2 Galian Normal Pipa Penyalur Limbah

Adapun nilai a,b,c,d dan w telah diatur dalam standar Departemen Pekerjaan Umum yang dapat dilihat melalui Tabel 8.2 :

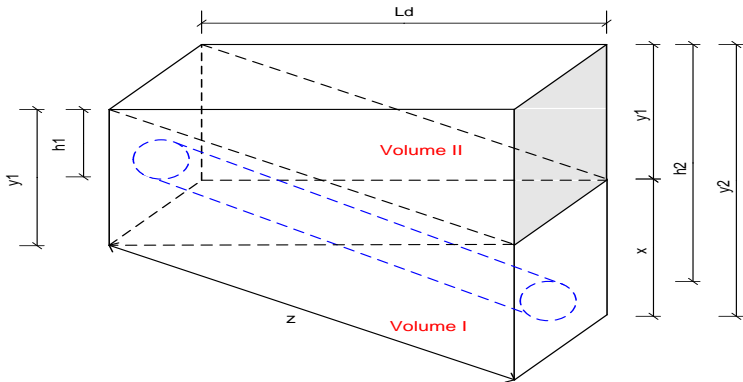
Tabel 8. 2 Standar Urugan Galian yang Diperkenankan

Diameter (mm)	L	h pipa	h tanah	h pasir	
	abcd	w	a	b	c
50 -200	100 -115	55 - 60	65 - 75	15	15
150 - 200	120 - 125	65 -70	75	15	15
250 - 300	130 - 135	75 -80	75	15	15
350 - 400	140 -150	85 - 95	75	15	15
500 - 600	160 -170	100 -110	75	15	15
600 -700	180 - 190	120 -130	75	15	15
700 - 900	190 - 200	140 - 150	75	15	15
900 - 1100	200 - 210	160 -170	75	15	15

Diameter (mm)	L	h pipa	h tanah	h pasir	
	abcd	w	a	b	c
1100 - 1300	210 - 220	180 -190	75	15	15

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum,2017

Bentuk Galian yang direncanakan sepanjang pipa dapat dilihat pada Gambar 8.3



Gambar 8. 3 Bentuk Galian yang Direncanakan Sepanjang Saluran

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum,2017

Perhitungan BOQ untuk galian pipa adalah sebagai berikut :

- D = diameter pipa.
- h = kedalaman penanaman pipa.
- h_1 = kedalaman penanaman pipa awal.
- h_2 = kedalaman penanaman pipa akhir.
- w = lebar galian
- y = kedalaman galian = $h + c$
- y_1 = kedalaman galian awal.
- y_2 = kedalaman galian akhir.
- A = luas galian
- Volume galian I = $[(0,3 \times 2) + D] \times y_1 \times z$
- Volume galian II = $\frac{1}{2} \times [(0,3 \times 2) + D] \times X \times L_d$
- Volume galian total = Volume galian I + Volume galian II

- Volume pipa = $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times Ld$
- Volume urugan pasir = $[D + (0,3 \times 2)] \times (b + D + c) \times Ld -$
Volume pipa.
- Volume Sisa Tanah Galian = Volume galian total – Volume urugan pasir.

Berikut contoh perhitungan Volume Pekerjaan galian pipa pada saluran a-M adalah sebagai berikut:

- $D = 280 \text{ mm} = 0,28 \text{ m}$
- Panjang saluran = L pipa = 491 m
- $h_1 = 1,28 \text{ m}, h_2 = 1,28 \text{ m}$
- $y_1 = h_1 + c = 1,28 + 0,15 = 1,43 \text{ m}$
- $y_2 = h_2 + c = 1,28 + 0,15 = 1,43 \text{ m}$
- $Z = [(Ld^2) + (y_1^2)]^{1/2}$
 $= [(491^2) + (1,43^2)]^{1/2} = 491 \text{ m}$
- $X = y_2 - y_1$
 $= 1,43 \text{ m} - 1,43 \text{ m} = 0 \text{ m}$
- $A = L \text{ persegi} - L1 - L2$
 $= 653 \text{ m}^2 - 12,3 \text{ m}^2 - 12,3 \text{ m}^2$
 $= 628,5 \text{ m}^2$
- Volume galian I = $[(0,3 \times 2) + D] \times y_1 \times z$
 $= [(0,3 \times 2) + 0,28] \times 1,43 \times 491$
 $= 440 \text{ m}^3$
- Volume galian II = $\frac{1}{2} \times [(0,3 \times 2) + D] \times X \times Ld$
 $= \frac{1}{2} \times [(0,3 \times 2) + 0,28] \times 0 \times 491$
 $= 0 \text{ m}^3$
- Volume galian total = Volume galian I + Volume galian II
 $= 440 + 0$
 $= 440 \text{ m}^3$
- Volume pipa = $\frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times Ld$
 $= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,28^2 \times 491$
 $= 30,22 \text{ m}^3$
- Volume urugan pasir
 $= [(D + (0,3 \times 2)) \times (b + D + c) \times Ld] - \text{Volume Pipa}$
 $= [(0,28 + (0,3 \times 2)) \times (1,5 + 0,28 + 0,15) \times 491] - (30,22)$
 $= 134,76 \text{ m}^3$

- Volume aspal hitam
 $= 0,1 \times (2,5 \times (D)) \times L_d$
 $= 0,1 \times (2,5 \times 0,28) \times 491$
 $= 34,37 \text{ m}^3$
- Volume tanah urug
 $= \text{volume galian} - \text{volume pipa} - \text{volume urugan pasir-}$
 $\text{volume aspal hitam}$
 $= 440 - 30,22 - 134,76 - 34,37$
 $= 240,59 \text{ m}^3$
- Volume tanah sisa galian
 $= \text{volume galian} - \text{volume aspal} - \text{volume tanah urug}$
 $= 440 - 34,37 - 240,59$
 $= 164,98 \text{ m}^3$

Perhitungan BOQ untuk rincian galian pipa tersaji pada lampiran.

8.1.3 Manhole

Manhole memiliki jumlah yang berbeda, dimana *manhole* yang digunakan diantaranya yaitu *manhole* lurus, *manhole* belokan, *manhole* pertigaan, dan *manhole* perempatan. Jumlah keseluruhan *manhole* disajikan pada Tabel 8.4

Tabel 8. 3 BOQ Manhole

No	Jenis Manhole	Jumlah Manhole
		buah
1	Lurus	78
2	Belokan	5
3	Pertigaan	15
4	Perempatan	0
5	Drop Manhole	0
Total		99

Sumber: Hasil Perhitungan

8.1.4 Bak Kontrol

Jumlah bak kontrol dihitung sama dengan jumlah KK atau rumah terlayani yaitu sebanyak 9346 buah.

8.1.5 Pembongkaran untuk Penyambungan Bak Kontrol dengan Sambungan Rumah

Jumlah bak kontrol dalam perencanaan sama dengan sambungan rumah terlayani sebanyak 9346 buah. Perencanaan perhitungan untuk satu sambungan rumah sebagai berikut:

- Pekerjaan pembongkaran tegel
- Pekerjaan galian tanah biasa
- Pekerjaan pemasangan pipa servis 110 mm
- Pekerjaan pemasangan bak kontrol
- Pekerjaan pengurangan
- Pekerjaan plester
- Pekerjaan pemasangan kembali tegel
- Pekerjaan pengangkutan sisa tanah tidak terpakai

8.2 BOQ IPAL

BOQ IPAL terdiri dari sumur pengumpul, bak distribusi, ABR, AF, *Aerobic Biofilter*, bak penyeduh kaporit, bak pembubuh kaporit dan bak kontak.

8.2.1 Sumur Pengumpul

Dimensi:

Panjang	= 10 m
Lebar	= 10 m
Kedalaman	= 2,2 m
Tebal tutup	= 0,1 m
Tebal plat dasar	= 0,2 m
Lebar sepatu lantai	= 0,2 m
Tebal lantai kerja	= 0,05 m
Tebal pasir	= 0,1 m

Penggalian tanah biasa untuk konstruksi

$$= P \times L \times h$$

$$= (\text{panjang SP} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar SP} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{tebal tutup} + \text{Kedalaman sumur pengumpul} + \text{tebal plat dasar} + \text{tebal lantai kerja} + \text{tebal pasir})$$

$$= (10+0,2+0,2) \times (10+0,2+0,2) \times (0,1+2,2+0,2+0,05+0,1)$$

$$= 286,7 \text{ m}^3$$

Pengurugan pasir dengan pemadatan

$$\begin{aligned} &= P \times L \times \text{tebal pasir} \\ &= (\text{panjang} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{tebal pasir}) \\ &= (10+0,2+0,2) \times (10+0,2+0,2) \times 0,1 \\ &= 10,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pekerjaan beton K-225

- beton lantai bangunan
= (panjang + sepatu lantai) x (lebar + sepatu lantai) x (tebal lantai kerja + tebal plat dasar)
= (10 + 0,2 + 0,2) x (10 + 0,2 + 0,2) x (0,05 + 0,2)
= 27,04 m³
- beton dinding bangunan
= [(panjang x 2) + (lebar x 2)] x tebal dinding x kedalaman
= [(10 x 2) + (10 x 2)] x 0,2 x 2,2
= 17,6 m³
- beton tutup bangunan
= panjang x lebar x tebal tutup
= 10 x 10 x 0,01
= 1 m³
- Total volume beton bangunan
= beton lantai + beton dinding + beton tutup
= 27,04 + 17,6 + 1
= 45,64 m³
- Pekerjaan Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi
= panjang sepatu lantai x lebar sepatu lantai x tinggi urugan
= [(10,4 x 10,4) - (10 x 10)] x 2,65
= 21,62 m³

Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)

Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan yaitu 17,6 m³. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 110 kg/ m³ , sehingga diperoleh berat besi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} &= \text{volume pembesian} \times \text{berat besi} \\ &= 17,6 \times 110 \\ &= 1936 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Pekerjaan Bekisting

- Volume Bekisting untuk Lantai

Volume bekisting untuk lantai adalah 25% dari Volume beton lantai

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= 25 \% \times \text{Volume beton lantai} \\ &= 0,25 \times 27,04 \text{ m}^3 \\ &= 6,76 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- Volume Bekisting untuk Dinding

Volume bekisting untuk dinding adalah 80% dari Volume beton dinding

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= 80 \% \times \text{Volume beton dinding} \\ &= 0,80 \times 17,6 \text{ m}^3 \\ &= 14,08 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- Volume Bekisting untuk Atap

Volume bekisting untuk atap adalah 100% dari Volume beton atap

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= 100\% \times \text{Volume beton atap} \\ &= 1 \times 1 \text{ m}^3 \\ &= 1 \text{ m}^3\end{aligned}$$

- Total Bekisting

= bekisting lantai + bekisting dinding + bekisting tutup

$$= 6,76 + 14,08 + 1$$

$$= 21,84 \text{ m}^3$$

Pekerjaan pompa

Pompa yang digunakan sebanyak 1 buah pada sumur pengumpul sebelum masuk menuju bak distribusi.

Pekerjaan pipa

Jumlah pipa yang dibutuhkan sepanjang 10 meter. Panjang pipa per batang yaitu 4 meter, maka dibutuhkan sebanyak 3 buah pipa.

Pipa yang digunakan dengan diameter 110 mm.

8.2.2 Bak Distribusi

Dimensi:

$$\text{Panjang} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi diatas tanah} = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi dibawah tanah} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Tebal tutup} = 0,1 \text{ m}$$

Freeboard	= 0,2 m
Tebal dinding	= 0,2 m
Tebal plat dasar	= 0,2 m
Lebar sepatu lantai	= 0,2 m
Tebal lantai kerja	= 0,05 m
Tebal pasir	= 0,1 m

Penggalian tanah biasa untuk konstruksi

$$\begin{aligned}
 &= P \times L \times h \\
 &= (\text{panjang BD} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar BD} + \text{sepatu lantai}) \times \\
 &(\text{tebal plat dasar} + \text{Kedalaman bangunan yang digali} + \text{tebal lantai} \\
 &\text{kerja} + \text{tebal pasir}) \\
 &= (2+0,2+0,2) \times (2+0,2+0,2) \times (0,2+1+0,05+0,1) \\
 &= 7,8 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Pengurugan pasir dengan pemadatan

$$\begin{aligned}
 &= P \times L \times \text{tebal pasir} \\
 &= (\text{panjang} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{tebal pasir}) \\
 &= (2+0,2+0,2) \times (2+0,2+0,2) \times 0,1 \\
 &= 0,6 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Pekerjaan beton K-225

- beton lantai bangunan

$$\begin{aligned}
 &= (\text{panjang} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{tebal lantai} \\
 &\text{kerja} + \text{tebal plat dasar}) \\
 &= (2 + 0,2 + 0,2) \times (2 + 0,2 + 0,2) \times (0,05 + 0,2) \\
 &= 1,44 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$
- beton dinding bangunan

$$\begin{aligned}
 &= [(\text{panjang} \times 2) + (\text{lebar} \times 2)] \times \text{tebal dinding} \times (\text{tinggi} + \text{freeboard}) \\
 &= [(2 \times 2) + (2 \times 2)] \times 0,2 \times (1 + 0,2) \\
 &= 1,92 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$
- beton tutup bangunan

$$\begin{aligned}
 &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tebal tutup} \\
 &= 2 \times 2 \times 0,1 \\
 &= 0,4 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$
- Total volume beton bangunan

$$\begin{aligned}
 &= \text{beton lantai} + \text{beton dinding} + \text{beton tutup} \\
 &= 1,44 + 1,92 + 0,4 \\
 &= 3,76 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

- Pekerjaan Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi
 = panjang sepatu lantai x lebar sepatu lantai x tinggi urugan
 = $[(2,6 \times 2,6) - (2 \times 2)] \times 0,65$
 = $1,8 \text{ m}^3$

Pekerjaan pembersihan dengan besi beton (polos)

Volume pembersihan didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan yaitu $1,92 \text{ m}^3$. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 110 kg/ m^3 , sehingga diperoleh berat besi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} &= \text{volume pembersihan} \times \text{berat besi} \\ &= 1,92 \times 110 \\ &= 211,2 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Pekerjaan Bekisting

- Volume Bekisting untuk Lantai

Volume bekisting untuk lantai adalah 25% dari Volume beton lantai

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 25 \% \times \text{Volume beton lantai} \\ &= 0,25 \times 1,44 \text{ m}^3 \\ &= 0,36 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Volume Bekisting untuk Dinding

Volume bekisting untuk dinding adalah 80% dari Volume beton dinding

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 80 \% \times \text{Volume beton dinding} \\ &= 0,80 \times 1,92 \text{ m}^3 \\ &= 1,2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Volume Bekisting untuk Atap

Volume bekisting untuk atap adalah 100% dari Volume beton atap

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 100\% \times \text{Volume beton atap} \\ &= 1 \times 0,4 \text{ m}^3 \\ &= 0,4 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Total Bekisting

$$\begin{aligned} &= \text{bekisting lantai} + \text{bekisting dinding} + \text{bekisting tutup} \\ &= 0,36 + 1,54 + 0,4 \\ &= 2,3 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pekerjaan pipa

Jumlah pipa yang dibutuhkan sepanjang 6 meter untuk 9 buah saluran. Panjang pipa per batang yaitu 4 meter, maka dibutuhkan

sebanyak 14 buah pipa. Pipa yang digunakan dengan diameter 110 mm.

8.2.3 Bak Penyeduh Kaporit

Dimensi:

Panjang	= 1 m
Lebar	= 1 m
Tinggi	= 1,25 m
Tinggi diatas tanah	= 0,45 m
Tinggi dibawah tanah	= 0,3 m
Freeboard	= 0,25 m
Tebal dinding	= 0,2 m
Tebal plat dasar	= 0,2 m
Lebar sepatu lantai	= 0,2 m
Tebal lantai kerja	= 0,05 m
Tebal pasir	= 0,1 m

Penggalian tanah biasa untuk konstruksi

$$\begin{aligned} &= P \times L \times h \\ &= (\text{panjang BP} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar BP} + \text{sepatu lantai}) \times \\ &(\text{tebal plat dasar} + \text{Kedalaman bangunan yang digali} + \text{tebal lantai} \\ &\text{kerja} + \text{tebal pasir}) \\ &= (1+0,3+0,3) \times (1+0,3+0,3) \times (0,2+2+0,05+0,1) \\ &= 6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pengurugan pasir dengan pemadatan

$$\begin{aligned} &= P \times L \times \text{tebal pasir} \\ &= (\text{panjang} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{tebal pasir}) \\ &= (1+0,2+0,2) \times (1+0,2+0,2) \times 0,1 \\ &= 0,2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pekerjaan beton K-225

- beton lantai bangunan
$$\begin{aligned} &= (\text{panjang} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{tebal lantai} \\ &\text{kerja} + \text{tebal plat dasar}) \\ &= (1 + 0,2 + 0,2) \times (1 + 0,2 + 0,2) \times (0,05 + 0,2) \\ &= 0,5 \text{ m}^3 \end{aligned}$$
- beton dinding bangunan
$$= [(\text{panjang} \times 2) + (\text{lebar} \times 2)] \times \text{tebal dinding} \times (\text{tinggi} + \text{freeboard})$$

$$= [(1 \times 2) + (1 \times 2)] \times 0,2 \times (0,75 + 0,25)$$

$$= 2,4 \text{ m}^3$$

- Total volume beton bangunan

= beton lantai + beton dinding

$$= 0,5 + 2,4$$

$$= 2,9 \text{ m}^3$$

- Pekerjaan Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi

= panjang sepatu lantai x lebar sepatu lantai x tinggi urugan

$$= [(1,6 \times 1,6) - (1 \times 1)] \times 2,35$$

$$= 3,7 \text{ m}^3$$

Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)

Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan yaitu $2,4 \text{ m}^3$. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 110 kg/m^3 , sehingga diperoleh berat besi sebagai berikut.

= volume pembesian x berat besi

$$= 2,4 \times 110$$

$$= 264 \text{ Kg}$$

Pekerjaan Bekisting

- Volume Bekisting untuk Lantai

Volume bekisting untuk lantai adalah 25% dari Volume beton lantai

$$\text{Volume} = 25 \% \times \text{Volume beton lantai}$$

$$= 0,25 \times 0,5 \text{ m}^3$$

$$= 0,12 \text{ m}^3$$

- Volume Bekisting untuk Dinding

Volume bekisting untuk dinding adalah 80% dari Volume beton dinding

$$\text{Volume} = 80 \% \times \text{Volume beton dinding}$$

$$= 0,80 \times 2,4 \text{ m}^3$$

$$= 1,92 \text{ m}^3$$

- Total Bekisting

= bekisting lantai + bekisting dinding

$$= 0,12 + 1,92$$

$$= 2,04 \text{ m}^3$$

8.2.4 Bak Kontak

Dimensi:

Panjang	= 16 m
Lebar	= 8 m
Tinggi air	= 0,7 m
Kedalaman bak	= 1 m
Tebal dinding	= 0,2 m
Tebal plat dasar	= 0,2 m
Lebar sepatu lantai	= 0,2 m
Tebal lantai kerja	= 0,05 m
Tebal pasir	= 0,1 m

Penggalian tanah biasa untuk konstruksi

$$= P \times L \times h$$

$$= (\text{panjang BK} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar BK} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{tebal plat dasar} + \text{Kedalaman bangunan yang digali} + \text{tebal lantai kerja} + \text{tebal pasir})$$

$$= (16+0,2+0,2) \times (8+0,2+0,2) \times (0,2+1+0,05+0,1)$$

$$= 186 \text{ m}^3$$

Pengurangan pasir dengan pemadatan

$$= P \times L \times \text{tebal pasir}$$

$$= (\text{panjang} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{tebal pasir})$$

$$= (16+0,2+0,2) \times (8+0,2+0,2) \times 0,1$$

$$= 13,8 \text{ m}^3$$

Pekerjaan beton K-225

- beton lantai bangunan

$$= (\text{panjang} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{tebal lantai kerja} + \text{tebal plat dasar})$$

$$= (16 + 0,2 + 0,2) \times (8 + 0,2 + 0,2) \times (0,05 + 0,2)$$

$$= 34,44 \text{ m}^3$$

- beton dinding bangunan

$$= [(\text{panjang} \times 2) + (\text{lebar} \times 2)] \times \text{tebal dinding} \times \text{kedalaman bak}$$

$$= [(16 \times 2) + (8 \times 2)] \times 0,2 \times 1$$

$$= 9,6 \text{ m}^3$$

- Total volume beton bangunan

$$= \text{beton lantai} + \text{beton dinding}$$

$$= 34,44 + 9,6$$

$$= 44,04 \text{ m}^3$$

- Pekerjaan Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi
 = panjang sepatu lantai x lebar sepatu lantai x tinggi urugan
 = $[(16,4 \times 9,6) - (16 \times 8)] \times 1,35$
 = $39,8 \text{ m}^3$

Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)

Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan yaitu $9,6 \text{ m}^3$. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 110 kg/ m^3 , sehingga diperoleh berat besi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} &= \text{volume pembesian} \times \text{berat besi} \\ &= 9,6 \times 110 \\ &= 1056 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Pekerjaan Bekisting

- Volume Bekisting untuk Lantai

Volume bekisting untuk lantai adalah 25% dari Volume beton lantai

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 25 \% \times \text{Volume beton lantai} \\ &= 0,25 \times 34,44 \text{ m}^3 \\ &= 8,61 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Volume Bekisting untuk Dinding

Volume bekisting untuk dinding adalah 80% dari Volume beton dinding

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 80 \% \times \text{Volume beton dinding} \\ &= 0,80 \times 9,6 \text{ m}^3 \\ &= 7,68 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Total Bekisting

$$\begin{aligned} &= \text{bekisting lantai} + \text{bekisting dinding} \\ &= 8,61 + 7,68 \\ &= 16,3 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pekerjaan pipa

Jumlah pipa yang dibutuhkan sepanjang 32 meter untuk 1 buah saluran. Panjang pipa per batang yaitu 4 meter, maka dibutuhkan sebanyak 8 buah pipa. Pipa yang digunakan dengan diameter 110 mm.

8.2.4 Bak Pembubuh Kaporit

Dimensi:

Panjang	= 16 m
Lebar	= 8 m
Tebal plat 1	= 0,2 m
Tebal plat 2	= 0,2 m
Tebal plat 3	= 1 m
Tebal dinding	= 0,2 m

Pekerjaan beton K-225

- beton membujur
= (panjang + tebal dinding) x tebal plat 1 x tebal plat 2 x jumlah
= (16 + 0,2 + 0,2) x 0,2 x 0,2 x 2
= 1,3 m³
- beton melintang
= (lebar + tebal dinding) x tebal plat 1 x tebal plat 3 x jumlah
= (8 + 0,2 + 0,2) x 0,2 x 1 x 1
= 1,7 m³
- Total volume beton bangunan
= beton membujur + beton melintang
= 1,3 + 1,7
= 3 m³

Pekerjaan pembesian dengan besi beton (polos)

Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume beton bangunan yaitu 3 m³. Besi yang digunakan direncanakan memiliki berat 110 kg/ m³ , sehingga diperoleh berat besi sebagai berikut.

$$\begin{aligned} &= \text{volume pembesian} \times \text{berat besi} \\ &= 3 \times 110 \\ &= 330 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Pekerjaan Bekisting

- Volume Bekisting Membujur
Volume bekisting membujur adalah 25% dari Volume beton lantai
Volume = 25 % x Volume beton lantai
= 0,25 x 1,3 m³
= 0,33 m³
- Volume Bekisting Melintang
Volume bekisting melintang adalah 80% dari Volume beton dinding

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 80 \% \times \text{Volume beton dinding} \\ &= 0,80 \times 1,7 \text{ m}^3 \\ &= 1,37 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Total Bekisting
= bekisting membujur + bekisting melintang
= $0,33 + 1,37$
= $1,7 \text{ m}^3$

Pekerjaan Bak Pembubuh Kaporit

Jumlah bak pembubuh kaporit yang dibutuhkan sebanyak 1 buah dengan volume 882 L. dalam perencanaan ini digunakan profil tank yang memiliki volume 900 L.

8.2.5 Anaerobic Baffled Reactor dan Anaerobic Filter

Perencanaan BOQ ABR dan AF sebagai berikut:

Panjang total ABR dan AF
= panjang bak pengendap + (panjang kompartemen x jumlah kompartemen) + panjang AF
= $11,2 \text{ m} + (2,6 \text{ m} \times 6 \text{ m}) + 4,16 \text{ m}$
= $30,96 \text{ m}$

Lebar = $5,6 \text{ m}$
H air = $4,3 \text{ m}$
Freeboard = $0,3 \text{ m}$
Tinggi = 5 m
Tebal beton = $0,2 \text{ m}$

Volume beton dinding

$$\begin{aligned} &= 2 \times (\text{tinggi} \times \text{tebal beton} \times \text{lebar}) + 2 \times (\text{tinggi ABR} \times \text{tebal beton} \\ &\times \text{panjang ABR dan AF}) \\ &= 2 \times (5 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 5,6 \text{ m}) + 2 \times (5 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 35,12 \text{ m}) \\ &= 81,44 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume beton lantai

$$\begin{aligned} &= [(\text{panjang} + (\text{tebal} \times 9))] \times [(\text{lebar} + (\text{tebal} \times 2))] \times \text{tebal} \\ &= [(35,12 \text{ m} + (0,2 \text{ m} \times 9))] \times [(5,6 \text{ m} + (0,2 \text{ m} \times 2))] \times 0,2 \text{ m} \\ &= 44,3 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume beton atap

$$\begin{aligned} &= \text{Volume beton lantai} \\ &= 44,3 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume beton antara kompartemen

$$\begin{aligned} &= \text{kompartemen ABR \& AF + sekat grease trap – lubang pipa} \\ &= [\text{jumlah kompartemen} \times (\text{tebal} \times \text{tinggi} \times \text{lebar})] + [\text{lebar} \times \text{tinggi} \\ &\times \text{tebal}] - \text{jumlah kompartemen} \times \text{jumlah pipa per kompartemen} \times \\ &(\pi \times ((d / 2)^2) \times \text{tebal}) \\ &= [7 \times (0,2 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 4,3 \text{ m})] + [4,3 \text{ m} \times 2,6 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}] - 7 \times 6 \times (3,14 \\ &\times ((0,11 \text{ m} / 2)^2) \times 0,2 \text{ m}) \\ &= 32,26 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pemasangan pipa air kotor 4”

$$\begin{aligned} \text{Panjang di pasaran} &= 4 \text{ m} \\ \text{Panjang yang dibutuhkan} &= 3 \text{ m} \\ \text{Jumlah pipa yang dibutuhkan} &= 1 \text{ batang} \end{aligned}$$

Pemasangan pipa air kotor 4”

$$\begin{aligned} \text{Panjang di pasaran} &= 4 \text{ m} \\ \text{Jumlah pipa yang dibutuhkan} \\ &= \text{jumlah pipa per kompartemen} \times \text{jumlah kompartemen} \times \text{panjang} \\ &\text{pipa yang dibutuhkan} / \text{panjang pipa di pasaran} \\ &= 4 \text{ buah} \times 7 \text{ kompartemen} \times 3 \text{ m} / 4 \text{ m} \\ &= 21 \text{ batang} \end{aligned}$$

Volume bekisting

- Volume bekisting dinding
 $= 0,8 \times \text{Volume beton dinding}$
 $= 0,8 \times 81,44 \text{ m}^3$
 $= 65,2 \text{ m}^3$
- Volume bekisting lantai
 $= 0,25 \times \text{volume beton lantai}$
 $= 0,25 \times 44,3 \text{ m}^3$
 $= 11,1 \text{ m}^3$
- **Volume bekisting atap**
 $= \text{volume bekisting lantai}$
 $= 11,1 \text{ m}^3$
- **Volume bekisting antar kompartemen**
 $= 0,8 \times \text{volume beton antar kompartemen}$
 $= 0,8 \times 32,26 \text{ m}^3$
 $= 25,8 \text{ m}^3$

Volume total beton ABR dan AF

$$\begin{aligned} &= \text{Volume beton dinding} + \text{Volume beton lantai} + \text{Volume} \\ &\text{beton atap} + \text{Volume beton antara kompartemen} \\ &= 81,44 \text{ m}^3 + 44,3 \text{ m}^3 + 44,3 \text{ m}^3 + 25,8 \text{ m}^3 \\ &= 195,84 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pembuatan bouwplank

$$\begin{aligned} &= (\text{lebar} + (\text{tebal} \times 2)) \times (\text{panjang} + (\text{tebal} \times 2)) \times 0,2 \text{ m} \\ &= (5,6 \text{ m} + (0,2 \text{ m} \times 2)) \times (30,96 \text{ m} + (0,2 \text{ m} \times 2)) \times 0,2 \text{ m} \\ &= 37,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pemasangan trucuk bambu

$$\begin{aligned} &= (\text{lebar} + (\text{tebal} \times 2)) \times (\text{panjang} + (\text{tebal} \times 2)) \times \text{tinggi bambu} \\ &= (5,6 \text{ m} + (0,2 \text{ m} \times 2)) \times (30,96 \text{ m} + (0,2 \text{ m} \times 2)) \times 0,2 \text{ m} \\ &= 37,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Urugan pasir dipadatkan

$$\begin{aligned} &= (\text{lebar} + (\text{tebal} \times 2)) \times (\text{panjang} + (\text{tebal} \times 2)) \times \text{tinggi pasir} \\ &= (5,6 \text{ m} + (0,2 \text{ m} \times 2)) \times (30,96 \text{ m} + (0,2 \text{ m} \times 2)) \times 0,1 \text{ m} \\ &= 18,8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Lantai kerja K-250

$$\begin{aligned} &= (\text{lebar} + (\text{tebal} \times 2)) \times (\text{panjang} + (\text{tebal} \times 2)) \times \text{tinggi lantai} \\ &= (5,6 \text{ m} + (0,2 \text{ m} \times 2)) \times (30,96 \text{ m} + (0,2 \text{ m} \times 2)) \times 0,05 \text{ m} \\ &= 9,4 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kedalaman penanaman IPAL

$$\begin{aligned} &= \text{tinggi ABR} + (2 \times \text{tebal plat}) + \text{freeboard} \\ &= 4,3 \text{ m} + (2 \times 0,2 \text{ m}) + 0,3 \text{ m} \\ &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

Kedalaman galian tanah

$$\begin{aligned} &= \text{kedalaman penanaman IPAL} + \text{tinggi terucuk bambu} + \text{tinggi} \\ &\text{urugan pasir dipadatkan} + \text{tinggi lantai kerja} \\ &= 5 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,05 \text{ m} \\ &= 5,35 \text{ m} \end{aligned}$$

Pekerjaan Pemasangan Sheet Pile

Pekerjaan pembuatan *sheet pile* menggunakan baja untuk pengaman galian agar tanah tidak longsor karena penanaman cukup dalam. Perhitungan volume pembuatan sheet pile dilakukan dengan cara sebagai berikut

Panjang sheet pile

$$\begin{aligned} &= \text{panjang total ABR \& AF} + 0,5 \times 2 \\ &= 30,96 + 0,5 \times 2 \\ &= 31,96 \text{ m} \end{aligned}$$

Lebar sheet pile

$$\begin{aligned} &= (\text{lebar total} + \text{lebar beton} \times 2) + 0,5 \times 2 \\ &= (5,6 + 0,2 \times 2) + 0,5 \times 2 \\ &= 7 \text{ m} \end{aligned}$$

Volume panjang sheet pile

$$\begin{aligned} &= \text{panjang} \times \text{lebar kayu} \times \text{kedalaman penanaman} \times 2 \\ &= 30,96 \text{ m} \times 0,06 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2 \\ &= 18,6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume lebar sheet pile

$$\begin{aligned} &= \text{lebar} \times \text{lebar kayu} \times \text{kedalaman penanaman} \times 2 \\ &= 5,6 \text{ m} \times 0,06 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2 \\ &= 3,36 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume total sheet pile

$$\begin{aligned} &= 18,6 \text{ m}^3 + 3,36 \text{ m}^3 \\ &= 21,96 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pekerjaan penggalian tanah untuk konstruksi

Panjang = pekerjaan *sheet pile* = 31,96 m

Lebar = pekerjaan *sheet pile* = 7 m

Tinggi = 6 m

Volume penggalian tanah untuk konstruksi

$$\begin{aligned} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi} \\ &= 31,96 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 6 \text{ m} \\ &= 1342,32 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pengangkutan tanah dari lubang galian dalamnya lebih dari 1 m

= pekerjaan volume penggalian tanah untuk konstruksi
= 1342,32 m³

Pengangkutan tanah keluar proyek

= pekerjaan volume penggalian tanah untuk konstruksi
= 1342,32 m³

Aksesoris pipa

- Pipa vent = 1 buah x 9 = 9 buah
- Tee = 21 buah x 9 = 189 buah
- Elbow = 4 buah x 9 = 36 buah

Media sarang tawon

Volume media = panjang AF + lebar AF + tinggi media
= 8,32 m + 5,6 m + 2,6 m
= 16,52 m³

8.2.6 Aerobic Biofilter

Perencanaan BOQ *Aerobic Biofilter* sebagai berikut:

Dimensi bak *aerobic biofilter* adalah sebagai berikut:

P = 6 m (+ pembetonan 0,3 m)

L = 4 m (+ pembetonan 0,3 m)

H total = 2,8 m

a. Pembersihan Lahan

Luas Pembersihan = Panjang x Lebar
= 6,3 m x 4,3 m
= 27,09 m²

b. Penggalian Tanah untuk Konstruksi

Volume = Panjang x Lebar x Kedalaman
= 6,3 m x 4,3 x 2,8 m
= 75,85 m²

c. Pembuatan Pondasi + Bekisting (Pondasi Telapak)

Volume = Panjang x Lebar x Tinggi Pondasi
= 6,3 m x 4,3 m x 0,2 m

$$= 5,42 \text{ m}^2$$

d. Pembuatan Lantai Kerja K-225 (Ketebalan 2 cm)

Volume = Panjang x Lebar x Ketebalan
= 6,3 m x 4,3 m x 0,2 m
= 5,42 m²

e. Bekisting Lantai

Luas = Panjang x Lebar
= 6,3 m x 4,3 m
= 27,09 m²

f. Pembetonan dan Bekisting Dinding

Volume = (Panjang + Lebar) x Tebal x Kedalaman
= (6,3 + 4,3) m x 0,2 m x 2,8 m
= 5,94 m³

g. Pekerjaan Acian

Luas = (2 x (Panjang x Kedalaman)) + (2 x (Lebar x Kedalaman)) + (Panjang x Lebar)
= (2x(6 m x 2,8 m)) + (2 x(4 m x 2,8 m)) + (6 m x 4 m)
= 80 m²

h. Pekerjaan Pengurugan Pasir

Volume = Panjang x Lebar x Tebal
= 6,3 m x 4,3 m x 0,1 m
= 2,7 m³

i. Perlengkapan

Perlengkapan yang dibutuhkan antara lain:

- Pompa Resirkulasi = 2 buah
- Pipa inlet dan outlet = 10 m
- Blower = 2 buah
- Aksesoris *blower* = 1 buah
- Tangga = 1 buah
- Pipa diffuser = 1 set

8.3 RAB SPAL

Hasil analisa HSPK yang digunakan untuk pekerjaan SPAL yang disajikan pada tabel yang terdapat pada lampiran. Setelah dilakukan perhitungan BOQ dan dilakukan analisa HSPK SPAL, maka dapat diketahui RAB SPAL yang disajikan pada Tabel 8.4.

Tabel 8. 4 RAB SPAL

No	Uraian Pekerjaan	Acuan	Satuan	Volume Kegiatan	Harga per Satuan
1	Pembersihan Lapangan "Ringan" dan Perataan	HSPK 2018 Nomor 24.01.01.03	m ²	7412,50	Rp 58.929.375,00
2	Uitzet dengan WaterPass / Theodolit	HSPK 2018 Nomor 24.01.01.05	m ²	7412,50	Rp 34.211.207,75
3	Penggalian Tanah dengan Alat Berat	HSPK 2018 Nomor 24.01.02.12	m ³	10765,41	Rp 345.261.914,80
4	Pengurugan Tanah Kembali	HSPK 2018 Nomor 24.01.02.13	m ³	6215,66	Rp 76.937.473,60
5	Pembongkaran Jalan Aspal	HSPK 2018 Nomor 24.03.01.32	m ³	670,15	Rp 297.544.380,00
6	Pengurugan Tanah dengan Pemasangan	HSPK 2018 Nomor 24.01.02.14	m ³	6215,66	Rp 1.317.098.938,05
7	Pembuatan Manhole	HSPK 2018 Nomor 24.03.01.28	m ³	72,32	Rp 371.645.394,45
8	Pemasangan Pipa	HSPK 2018 Nomor 24.07.03.17	m	6216	Rp 1.173.917.484,48
9	Pengaspalan Jalan Bekas Galian	HSPK 2018 Nomor 24.08.02.37	m ²	6215,7	Rp 664.900.384,60
Total					Rp 4.340.446.552,73

Sumber: Hasil Perhitungan

8.4 RAB Bangunan Pelengkap

Setelah diketahui jumlah yang dibutuhkan, maka dapat ditentukan HSPK *manhole* yang disajikan pada Tabel 8.5.

Tabel 8. 5 HSPK Unit *Manhole* Tipikal

Uraian	Satuan	Harga	
		Bahan	Upah
Bahan			
Galian Tanah	m ³		Rp113.025
Pasir Urug	m ³	Rp212.400	Rp45.210
Rabat Beton	m ³	Rp57.288	Rp10.041
Lantai kerja K-225	m ³	Rp815.948	Rp289.664
Dinding, Beton bertulang 1:2:3	m ³	Rp815.948	Rp289.664
Cover, Beton bertulang 1:2:3	m ³	Rp786.077	Rp343.988
Tutup, Beton bertulang 1:2:3	m ³	Rp287.807	Rp103.342
Jumlah		Rp2.975.468	Rp1.194.934
Total		Rp4.170.402	

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2018

Berikut merupakan HSPK dari unit bak kontrol yang didesain sama untuk seluruh rumah yang disajikan pada Tabel 8.6.

Tabel 8. 6 HSPK Unit Bak Kontrol Tipikal

Uraian	Satuan	Harga	
		Bahan	Upah
Bahan			
Galian Tanah	m ³		Rp86.450
Pasir Urug	m ³	Rp180.240	Rp34.580
Pasangan 1/2 Bata 1:2	m ³	Rp157.995	Rp45.926
Cover, Beton bertulang 1:2:3	m ³	Rp786.077	Rp343.988
Tutup, Beton bertulang 1:2:3	m ³	Rp287.807	Rp103.342

Uraian	Satuan	Harga	
		Bahan	Upah
Lantai kerja K-225	m ³	Rp754.392	Rp168.640
Jumlah		Rp2.166.511	Rp782.926
Total		Rp2.949.438	

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2018

Berikut merupakan hasil perhitungan pembongkaran satu sambungan rumah untuk pemasangan unit bak kontrol tersaji pada Tabel 8.7

Tabel 8. 7 Pembongkaran untuk Penyambungan Bak Kontrol dengan Sambungan Rumah

No	Uraian Pekerjaan	Acuan	Satuan	Volume Kegiatan	Harga per Satuan	Harga
1	Pembongkaran Tegel	HSPK 2018 Nomor 7395	m ²	5	Rp300.601	Rp1.503.005
2	Penggalian Tanah Biasa	HSPK 2018 Nomor 2835	m ³	5	Rp114.107	Rp570.535
3	Pemasangan Pipa dan Harga Pipa	HSPK 2018 Nomor 24.07.03.17 dan Brosur Pipa	m	6	Rp18.800	Rp112.800
4	Pengurugan Tanah Kembali untuk Konstruksi	HSPK 2018 Nomor 03-2835	m ³	3	Rp81.820	Rp245.460
5	Plester	HSPK 2018 Nomor 2837	m ²	5	Rp69.300	Rp346.500
6	Pemasangan Kembali Tegel Baru	HSPK 2018 Nomor 7395	m ³	5	Rp300.601	Rp1.503.005
7	Pengangkutan Tanah	HSPK 2018 Nomor 03-2835	m ³	2	Rp84.200	Rp168.400
Total						Rp4.449.705

Sumber: Hasil Perhitungan

Sehingga total biaya sambungan rumah sebanyak 9346 untuk pembongkaran yaitu Rp 41.586.942.930. Berikut merupakan rencana anggaran biaya untuk bangunan pelengkap yang disesuaikan dengan HSPK Kota Surabaya Tahun 2018 yang disajikan pada Tabel 8.8.

Tabel 8. 8 RAB Bangunan Pelengkap

Jumlah	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
buah			
9346	Unit Bak Kontrol	Rp2.949.438	Rp24.733.982.959
99	Unit Manhole	Rp4.170.402	Rp337.802.547
TOTAL			25.071.785.510

Sumber: Hasil Perhitungan

8.5 RAB IPAL

Rencana Anggaran Biaya (RAB) Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) terdiri dari Rencana Anggaran Biaya Sumur Pengumpul, Bak Distribusi, *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)*, *Anaerobic Filter (AF)*, Bak Penyeduh Kaporit, Bak Pembubuh Kaporit dan Bak Kontak.

8.5.1 RAB Sumur Pengumpul, Bak Distribusi, Bak Penyeduh Kaporit, Bak Pembubuh Kaporit dan Bak Kontak

Pekerjaan yang dilakukan pada sumur pengumpul, bak distribusi, bak penyeduh kaporit, bak kontak dan bak pembubuh kaporit adalah sama, hanya saja pada sumur pengumpul terdapat pompa, maka dari itu HSPK yang digunakan sama, berikut adalah HSPK sumur pengumpul, bak distribusi, bak penyeduh kaporit, bak kontak dan bak pembubuh kaporit dapat dilihat pada lampiran. Perhitungan rencana anggaran biaya sumur pengumpul, bak distribusi, bak penyeduh kaporit, bak kontak dan bak pembubuh kaporit. Hasil rekapitulasi dari unit sumur pengumpul disajikan pada Tabel 8.9 dan 8.10.

Tabel 8. 9 RAB Sumur Pengumpul

Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	786	Rp 113.025	Rp 88.837.650
Pengurugan pasir dengan pemadatan	m ³	14,16	Rp 257.610	Rp 3.647.758
Pekerjaan Beton K-225	m ³	84,74	Rp 1.128.291	Rp 95.611.379
Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi	m ³	77,25	Rp18.039	Rp 1.393.513
Pekerjaan pembesian dengan Besi beton (polos)	m ³	3729	Rp16.739	Rp 62.420.104
Pekerjaan Bekisting	m ²	40,79	Rp 283.070	Rp 11.546.425
Pemasangan pipa air kotor diameter 12"	m	2	Rp 415.462	Rp 830.923
Pengadaan pompa	buah	1	Rp 8.000.000	Rp 8.000.000
Total				Rp 272.287.752

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 8. 10 RAB Bak Distribusi

Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	3,7	Rp113.025	Rp418.193
Pengurugan pasir dengan pemadatan	m ³	0,58	Rp257.610	Rp149.414
Pekerjaan Beton K-225	m ³	2,77	Rp1.128.291	Rp3.125.366
Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi	m ³	1,64	Rp18.039	Rp29.584
Pekerjaan pembesian dengan Besi beton (polos)	m ³	142,56	Rp16.739	Rp2.386.326
Pekerjaan Bekisting	m ²	1,43	Rp283.070	Rp404.790
Pemasangan pipa air kotor diameter 4"	m	9	Rp73.047	Rp657.427
Total				Rp7.171.100

Sumber: Hasil Perhitungan

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi anggaran biaya dari unit bak penyeduh kaporit yang disajikan pada Tabel 8.11.

Tabel 8. 11 RAB Bak Penyeduh Kaporit

Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	4,1	Rp113.025	Rp463.403
Pengurugan pasir dengan pemadatan	m ³	0,62	Rp257.610	Rp159.718
Pekerjaan Beton K-225	m ³	2,7	Rp1.128.291	Rp3.046.386
Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi	m ³	1,45	Rp18.039	Rp26.157
Pekerjaan pembesian dengan Besi beton (polos)	m ³	125,4	Rp16.739	Rp2.099.083
Pekerjaan Bekisting	m ²	1,3	Rp283.070	Rp367.991
Total				Rp6.162.737

Sumber: Hasil Perhitungan

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi anggaran biaya dari unit bak kontak yang disajikan pada Tabel 8.12.

Tabel 8. 12 RAB Bak Kontak

Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
Penggalian tanah biasa untuk konstruksi	m ³	119,76	Rp113.025	Rp13.535.874
Pengurugan pasir dengan pemadatan	m ³	5,1	Rp257.610	Rp1.313.811
Pekerjaan Beton K-225	m ³	21,02	Rp1.128.291	Rp23.716.677
Pengurugan tanah kembali untuk konstruksi	m ³	15,7	Rp18.039	Rp283.212
Pekerjaan pembesian	m ³	910,8	Rp16.739	Rp15.245.972

Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
dengan Besi beton (polos)				
Pekerjaan Bekisting	m ²	9,8	Rp283.070	Rp2.774.086
Pemasangan pipa air kotor diameter 16"	m	1	Rp512.986	Rp512.986
Total				Rp57.382.618

Sumber: Hasil Perhitungan

Berikut ini adalah hasil rekapitulasi anggaran biaya dari unit bak penyeduh kaporit untuk seluruh yang disajikan pada Tabel 8.13.

Tabel 8. 13 RAB Bak Pembunuh Kaporit

uraian pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
Pekerjaan Beton K-225	m ³	3,18	Rp1.128.291	Rp3.587.965
Pekerjaan pembesian dengan Besi beton (polos)	m ³	349,8	Rp16.739	Rp5.855.337
Pekerjaan Bekisting	m ²	1,61	Rp283.070	Rp455.743
Pengadaan profil tank 900 L	L	1	Rp1.919.000	Rp1.919.000
Total				Rp11.818.045

Sumber: Hasil Perhitungan

8.5.2 RAB ABR dan AF

Setelah diperoleh perhitungan kuantitas, maka dapat dilakukan analisa HSPK untuk pekerjaan ABR dan AF yang dapat dilihat pada lampiran. Setelah diketahui HSPK beserta uraian pekerjaannya, kemudian dilakukan perhitungan rencana anggaran biaya unit ABR dan AF. RAB ABR dan AF disusun secara bersamaan karena memperhatikan faktor penggunaan fungsi bangunan dilapangan. Biasanya ABR dan AF merupakan satu kesatuan unit yang saling bergandengan dalam pengolahan limbah domestik. Hasil rekapitulasi dari unit ABR & AF disajikan pada Tabel 8.14.

Tabel 8. 14 RAB ABR & AF

Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
Penggalian Tanah Biasa Untuk Konstruksi	m ²	827,46	Rp 113.025,00	Rp 93.523.666,50
Pengangkutan Tanah Dari Lubang Galian Dalamnya Lebih Dari 1m	m ³	827,46	Rp 23.032,50	Rp 19.058.472,45
Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m ³	827,46	Rp 53.750,00	Rp 44.475.975,00
Pemasangan (Sewa) Sheet Pile Baja (Tinggi = 6 m) untuk Pengaman Galian / Tebing Pekerjaan Beton K-100	m ³	22,6	Rp 846.693,76	Rp 19.135.278,98
Pembuatan Blowplank / Titik	m ³	24,41	Rp 111.090,50	Rp 2.711.719,11
Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3m	m	24,41	Rp 37.817,50	Rp 923.125,18
Pengurugan Pasir Padat	m	12,2	Rp 257.610,00	Rp 3.142.842,00
Lantai Kerja K-250	m ³	6,1	Rp 301.766,37	Rp 1.840.774,88
Pekerjaan Bekisting Lantai	m ³	4,53	Rp 406.201,50	Rp 1.840.092,80
Pekerjaan Bekisting Atap	m ³	4,53	Rp 406.201,50	Rp 1.840.092,80

Uraian Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga Satuan	Jumlah Harga
Pekerjaan Bekisting Dinding	m ³	53,23	Rp 396.255,00	Rp 21.092.653,65
Pekerjaan Beton K-250	m ³	102,77	Rp 1.122.215,85	Rp 115.330.122,90
Pemasangan Pipa Air Kotor Dia 4"	batang	25	Rp 73.332,22	Rp 1.833.305,38
Pemasangan Aksesoris Pipa Air Kotor	buah	144	Rp 159.250,00	Rp 22.932.000,00
Pemasangan Media Sarang Tawon	m ³	45,96	Rp 752.415,00	Rp 34.580.993,40
Total				Rp 384.261.115,00

Sumber: Hasil Perhitungan

8.5.3 RAB *Aerobic Biofilter*

Hasil rekapitulasi dari unit *Aerobic Biofilter* disajikan pada Tabel 8.15.

Tabel 8. 15 RAB *Aerobic Biofilter*

Bak <i>Aerobic Biofilter</i>						
Uraian Pekerjaan	Volume	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga Total (Rp)	
Fisik						
1	Pondasi telapak + Bekisting	5.42	1	m ³	4,989,056	27.040.684
2	Pembuatan lantai kerja	5.42	1	m ³	850,623	4.610.375

Bak Aerobic Biofilter						
3	Bekisting lantai	27.09	1	m ³	850,623	23.043.369
4	Pembetonan dan bekisting dinding	5.94	1	m ³	6,232,597	37.021.626
5	Pekerjaan acian	80	1	m ³	51,468	4.117.430
6	Pengurusan tanah	2.7	1	m ³	223,243	602.757
Alat						
1	Blower	-	2	buah	9,500,000	19.000.000
2	Tangga	-	1	buah	2,500,000	2.500.000
3	Pipa inlet - outlet 2"	-	10	m	100,000	1.000.000
4	Pipa difuser	-	10	m	250,000	2.500.000
5	Plat penutup	-	1	buah	975,000	975.000
6	Aksesoris blower	-	1	buah	200,000	200.000
Total Harga						122.611.240

Sumber: Hasil Perhitungan

8.6 Total RAB SPAL dan IPAL

Setelah diketahui perhitungan biaya anggaran jaringan SPAL dan IPAL. Berikut adalah perhitungan investasi SPAL dan IPAL disajikan pada Tabel 8.16 dan Tabel 8.17.

Tabel 8. 16 Total Biaya Investasi SPAL

Uraian	Investasi
SPAL	Rp 4.340.446.552
Pembongkaran Sambungan Rumah untuk penyambungan bak kontrol	Rp 41.586.942.930
Total	Rp 45.927.389.482

Sumber: Hasil Perhitungan

Biaya investasi untuk tiap sambungan rumah adalah Rp 45.927.389.482 / 9346 SR = Rp 4.914.123.

Tabel 8. 17 Total Biaya Investasi IPAL

Uraian	Investasi
Bangunan Pelengkap	Rp 26.422.995.692
Sumur pengumpul	Rp 272.287.752
Bak Distribusi	Rp 7.171.100
ABR & AF	Rp 384.261.115,00
<i>Aerobic Biofilter</i>	Rp 122.611.240
Bak Penyeduh Kaporit	Rp 6.162.737
Bak Pembubuh Kaporit	Rp 11.818.045
Bak kontak	Rp 57.382.618
Total	Rp 27.284.690.298

Sumber: Hasil Perhitungan

Total biaya SPAL dan IPAL tersaji pada Tabel 8.18.

Tabel 8. 18 Total RAB

Uraian	Investasi
SPAL	Rp 45.927.389.500

Uraian	Investasi
IPAL	Rp 27.284.691.000
Total	Rp 73.212.080.000

Sumber: Hasil Perhitungan

Adapun rincian biaya per sambungan rumah beserta SPAL dan IPAL adalah Rp 73.212.080.000 / 9346 SR = Rp 7.834.000

Untuk membandingkan biaya perencanaan SPAL dan IPAL dengan daerah lain adalah daerah Kecamatan Bungah Gresik dengan total biaya sebesar Rp 11.121.645.679 dengan rincian 12 SPAL dengan *shallow sewer* dan *smallbore sewer*, IPAL dengan unit ABR-ABF yang melayani 12 RW atau 2402 sambungan rumah dengan rincian biaya per sambungan rumah sebesar Rp 4.630.161.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 9

KESIMPULAN & SARAN

9.1 Kesimpulan

Kesimpulan akhir yang dapat diambil dalam perencanaan dengan ini diantaranya:

1. Perencanaan SPAL
 - a. Daerah yang dilayani yaitu Kelurahan Pegirian dan Kelurahan Wonokusumo, Kota Surabaya yang terbagi jumlah penduduk terlayani keseluruhan yaitu 46.732 orang atau 9346 sambungan rumah.
 - b. Efluen hasil perencanaan IPAL dirancang memenuhi Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013 dan Permen LHK No. 68 Tahun 2016.
2. Sistem IPAL menggunakan unit *grease trap*, *anaerobic baffled reactor*, *anaerobic filter*, *aerobic biofilter*, dan desinfeksi.
3. Rencana Anggaran SPAL sebesar Rp 45.927.389.500 dan rencana anggaran IPAL sebesar Rp 27.284.691.000 serta biaya investasi per sambungan rumah sebesar Rp 7.834.000.

9.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan setelah dilakukan perencanaan diantaranya:

- a) Perlu dilakukan verifikasi data kembali dengan data dilapangan dengan tujuan mendapatkan hasil yang lebih baik dan detail, sehingga dapat diterapkan di Kelurahan Pegirian dan Wonokusumo Kota Surabaya.
- b) Perlu dilakukan survei debit puncak pada wilayah dilayani pada waktu keadaan hujan guna memastikan debit pengolahan IPAL.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2017. *Kecamatan Semampir dalam Angka*. Carrollton. 2012. *Guidance Document for Sizing and Installation of Grease Traps and Interceptors*.
- Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., dan Hassel, D. G. (2009). *A Review on Anaerobic–Aerobic Treatment of Industrial and Municipal Wastewater*. *Chemical Engineering Journal*, 155 (1–2), hal. 1–18.
- Dinas Kesehatan Kota Surabaya. 2015. *Studi Environmental Health Risk Assessment (EHRA)*.
- Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya Kota Surabaya. 2010. *Strategi Sanitasi Kota (SSK)*.
- Eckenfelder, Jr., W. Wesley. 1980. *Principles of Water Quality Management*. CBI Publishing Company: Boston.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Entjang, I. 2003. *Mikrobiologi dan Parasitologi untuk Akademi Keperawatan dan Sekolah Tenaga Kesehatan yang Sederajat*. Bandung: Citra Adtya Bakti.
- Fair, G.M. dan Geyer, J.C., 1966. *Water Supply and Wastewater Disposal*. New York: Wiley.
- Götzenberger, J. 2009. *Praxis-oriented Training Manual Decentralized Wastewater Treatment Systems (DEWATS)*. New Delhi: BORDA.
- Grau, P. 1996. *Low Cost Wastewater Treatment*. *Water Science and Technology*, 33(8), pp 39 – 46.
- Hamid, A. 2014. *Perbandingan Desain IPAL Proses Attached Growth Anaerobic Filter dengan Suspended Growth Anaerobic Baffled Reactor untuk Pusat Pertokoan di Kota Surabaya*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.
- Hassan, S. R., dan Dahlan, I. 2013. *Anaerobic Wastewater Treatment Using Anaerobic Baffled Bioreactor: A Review*. *Central European Journal of Engineering*, 3 (3), hal. 389-399.
- Hoelmann, M. B., Parhusip, B. T. P., Eko, S., Bahagijo, S., Santono, H. 2015. *Panduan SDGs untuk Pemerintah*

- Daerah (Kota dan Kabupaten) dan Pemangku Kepentingan Daerah*. Jakarta: INFID.
- Kadariswan, A. 2007. *Perencanaan Sistem Penyaluran Air Limbah Beserta Instalasi Pengolahan Air Limbah Perumahan Dosen dan Asrama Mahasiswa ITS*. Surabaya: Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2017. *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2016*.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2013. *Materi Bidang Air Limbah / Diseminasi dan Sosialisasi Keteknikan Bidang PLP*.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. *Perencanaan Pengelolaan Air Limbah dengan Sistem Terpusat*.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 112 Tahun 2003 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Khaq, Fajar A dan Slamet, A. 2017. *Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik di Kecamatan Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo*. Surabaya: Teknik Lingkungan FTSP-ITS.
- Khambali. 2011. *Teknologi Bioenergi*. Bogor: PT. Agromedia Pustaka.
- Kodoatie, R. J. dan Sjarief, R. 2005. *Pengelolaan Sumberdaya Air Terpadu*. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Komala, Puti S dan Yanarosanti, A. 2014. *Inaktivasi Bakteri Escherichia coli Air Sumur Menggunakan Desinfektan Kaporit*. Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Andalas.
- Kujawa, K. 2005. *Anaerobic Treatment of Concentrated Wastewater in DESAR Concept*. Utrecht: STOWA.
- Mahida, U.N. 1986. *Water Pollution and Disposal of Wastewater on The Land*. Diterjemahkan oleh G.A. Ticoalu dengan judul Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri. Cetakan Kedua. CV Rajawali. Jakarta.
- Massoud, M. A. *Decentralized Approaches to Wastewater Treatment and Management: Applicability in Developing Countries*. Journal of Environmental Management, 90(1), pp 652 - 659
- Metcalf dan Eddy. 2004. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4th edition. New York: McGraw- Hill Book Company.

- Metcalf dan Eddy. 2014. *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5th edition. New York: McGraw- Hill Book Company.
- Morel, A. dan Diener, S. 2006. *Greywater Management in Low and Middle-Income Countries. Review of Different Treatment Systems for Household or Neighbourhoods*. Dubendorf: Swiss Federal Institut of Aquatic Science. Department of Water and Sanitation in Developing Countries.
- Notoatmojo. 2005. *Metodologi Penelitian Kesehatan*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Nurhasanah. 2009. *Penentuan Kadar COD pada Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit, Pabrik Karet. dan Domestik*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Peraturan Daerah Kota Surabaya No. 12 Tahun 2016 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Air Limbah.
- Pemerintah Kota Surabaya. 2009. *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Sidoarjo Tahun 2009-2029*.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2017 Tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 68 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Atau Kegiatan Usaha Lainnya.
- Qasim, R. 1985. *Wastewater Treatment Plants*. Canada: CBS College Publishing.
- Ramandeep, K. 2015. *Anaerobic Baffled Reactor: A Promising Wastewater Treatment Technology in Tropical Countries*. International Journal on Emerging Technologies, 7 (1), hal. 114-117.
- Rezakazemi, M., Shirazian, S., and Ashrafizadeh, S. N., 2012. *Simulation of ammonia removal from industrial wastewater streams by means of a hollow-fiber membrane contactor, Desalination*, 285: 383-392.
- Risnawati, D. 2009. *Penyisihan Logam Pada Lindi Menggunakan Constructed Wetland*. Institut Teknologi Bandung: Bandung.

- Said, N. I. dan Wahjono, H. D. 1999. *Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Dengan Sistem Biofilter Anerob-Aerob*. Jakarta: BPPT.
- Sasse, L. 1998. *DEWATS; Decentralised Wastewater Treatment in Developing Countries*. New Delhi: BORDA.
- Setiarini, W. D., Mangkoedihardjo, S. 2013. *Penurunan BOD dan COD pada Air Limbah Katering Menggunakan Konstruksi Subsurface-flow Wetland dan Biofilter dengan Tumbuhan Kana*. Jurnal Sains dan Seni POMITS Vol. 2 No. 1: 2337-3520.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. SNI Nomor 6989.59 tentang *Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah*.
- Systems, B., Thomas, M. W., Thomas, E. B., Eric, H. LaVere, B. M., Noah, W., dan Brian, E.W. 2007. *Wastewater Collection System Modeling and Design*. Exton: Bentley Institute Press.
- Ulliaji, Arivia,. 2016. *Efektifitas Variasi Dosis Kaporit dalam Menurunkan Kadar Amoniak Limbah Cair Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah Semarang*. Jurnal Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro.
- Wahyu Widayat dan Nusa Idaman Said. 2005. *Rancang Bangun IPAL Rumah Sakit dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob*. Jakarta: BPPT Vol. 1 No. 1.
- Wulandari dan Retno. 2014. *Perencanaan Pengolahan Air Limbah Sistem Terpusat (Studi Kasus di Perumahan PT. Pertamina Unit Pelayanan III Plaju – Sumatera Selatan*. Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Wongthanate, J., Mapracha, N., Prapagdee, B., dan Arunlertaree, C. 2014. *Efficiency of Modified Grease Trap for Domestic Wastewater Treatment*. The Journal of Industrial Technology. Vol. 10. pp : 2557-2569.
- United Nations-Habitat. 2014. *Realising The Human Rights to Water and Sanitation: A Handbook by The UN Special Rapporteur Catarina de Albuquerque*.

BIOGRAFI PENULIS



Yogie Rantetoding Sumule merupakan nama lengkap penulis. Penulis lahir di Ambon pada tanggal 26 Agustus 1996. Penulis mengemban Pendidikan formal dimulai dari Pendidikan di SMAN 1 Pontianak. Penulis kemudian melanjutkan Pendidikan sarjana di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, ITS, Surabaya pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 03211440000051. Selama masa perkuliahan penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa. Penulis tercatat sebagai anggota aktif Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan ITS. Penulis juga pernah mengikuti pelatihan diantaranya SMK3 *Based on* PP 50/2012, ISO 9001:2015 dan ISO 14001:2015. Informasi lebih lanjut tentang penulis dapat dihubungi melalui *email* yogierantetodingsumule@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR KUISIONER

Identitas Responden

1. Nama :
2. Nama Kepala Keluarga :
3. Jumlah Anggota Keluarga :
4. Umur :
5. Jenis Kelamin : L / P

Sarana Sanitasi

6. Darimanakah sumber air bersih Bapak/Ibu/Saudara/i?
 - a. PDAM
 - b. Air tanah/sumur
 - c. Air sungai
 - d. Lainnya.....
7. Apakah di rumah Bapak/Ibu/Saudara/i terdapat jamban?
 - a. Ada (lanjut nomor 12)
 - b. Tidak ada
8. Apakah Bapak/Ibu/Saudara/i masih menggunakan WC umum?
 - a. Ya
 - b. Tidak
9. Apakah di rumah Bapak/Ibu/Saudara/i terdapat *septic tank*?
 - a. Ada
 - b. Tidak ada
10. Kapan waktu pengurusan *septic tank* Bapak/Ibu/Saudara/i?
 - a. 1 – 3 tahun sekali
 - b. 3 – 5 tahun sekali
 - c. 5 – 10 tahun sekali
 - d. Tidak pernah
11. Apa yang Bapak/Ibu/Saudara/i lakukan dalam menangani air bekas mandi/cuci/dapur?
 - a. Diresapkan ke tanah
 - b. Dialirkan ke *septic tank*
 - c. Dialirkan ke selokan
 - d. Lainnya

Terimakasih atas pendapat Bapak/Ibu/Saudara/i dalam pengisian kuisisioner ini

Tandatangan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL PELAYANAN KESEHATAN
BALAI BESAR LABORATORIUM KESEHATAN SURABAYA

Jalan Karangmenjangan No. 18 Surabaya - 60286
Telepon Pelayanan : (031) 5020306, TU : (031) 5021451; Faksimili : (031) 5020388
Website : bblksurabaya.com : Surat elektronik : bblksub@yahoo.co.id

HASIL PENGUJIAN CONTOH AIR LIMBAH

Nomor : L19003217 / 084 / AB / III / 2019
Dikirim oleh : YOGIE RANETODING SUMULE
Alamat : Jl. Perumahan Semolowaru Indah II, Blok O, No. 10
Jenis contoh air : Air Limbah Keluaran Wonokusumo (08.57 WIB)
Contoh diambil oleh : Yang bersangkutan
Tanggal pengambilan contoh : 11 Maret 2019
Tanggal diterima di BBLK : 11 Maret 2019
Tanggal dikerjakan : 11 Maret 2019 – 25 Maret 2019

NO.	PARAMETER	METODE	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. 68 Tahun 2016
					Kadar Maksimum
1.	B O D ₅	IK/KIM.31/05-18	mg/L	266	30
2.	COD	IK/KIM.32/05-18	mg/L	505	100
3.	TSS	SNI 06-6989.3-2004	mg/L	287	30
4.	Minyak & Lemek	SNI 06-6989.10-2004	mg/L	30	5
5.	pH	SNI 06-6989.11-2004	-	7,67	6 - 9
6.	Amonia	IK/KIM.29/05-18	mg/L	13,89	10
7.	Total Koliform	IKM/5.4.87/MBS (MPN)	MPN/100 mL	190 x 10 ⁴	3000

Perhatian :

- Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh diatas
- Hasil ini tidak boleh dipergunakan untuk keperluan lain/kegiatan
- Dilarang menggandakan dokumen ini tanpa seijin pihak BBLK Surabaya



Certification No. 01/18/18413
Scope: Provision of
Health Laboratory Service

Form 07-LHU ALD-33



KEMENTERIAN KESEHATAN RI

DIREKTORAT JENDERAL PELAYANAN KESEHATAN BALAI BESAR LABORATORIUM KESEHATAN SURABAYA

Jalan Karangmenjangan No. 18 Surabaya - 60286
Telepon Pelayanan : (031) 5020306, TU : (031) 5021451; Faksimili : (031) 5020388
Website : bbksurabaya.com : Surat elektronik : bbksub@yahoo.co.id

HASIL PENGUJIAN CONTOH AIR LIMBAH

Nomor : L19003217 / 083 / AB / III / 2019
Dikirim oleh : **YOGIE RANTETODING SUMULE**
Alamat : **Jl. Perumahan Semolowaru Indah II, Blok O, No. 10**
Jenis contoh air : **Air Limbah Keluarahan Wonokusumo (08.33 WIB)**
Contoh diambil oleh : **Yang bersangkutan**
Tanggal pengambilan contoh : **11 Maret 2019**
Tanggal diterima di BBLK : **11 Maret 2019**
Tanggal dikerjakan : **11 Maret 2019 – 25 Maret 2019**

NO.	PARAMETER	METODE	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK
					sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. 68 Tahun 2016
Kadar Maksimum					
1.	BOD ₅	IK/KIM.31/05-18	mg/L	256	30
2.	COD	IK/KIM.32/05-18	mg/L	490	100
3.	TSS	SNI 06-6989.3-2004	mg/L	289	30
4.	Minyak & Lemak	SNI 06-6989.10-2004	mg/L	32	5
5.	pH	SNI 06-6989.11-2004	-	7,78	6 - 9
6.	Amonia	IK/KIM.29/05-18	mg/L	13,89	10
7.	Total Kolfom	IKM/5.4.87/MBS (MPN)	MPN/100mL	190 x 10 ⁴	3000

Perhatian:

- Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh diatas
- Hasil ini tidak boleh dipergunakan untuk keperluan akreditasi/akreditasi
- Dilarang menggunakan dokumen ini tanpa seijin pihak BBLK Surabaya



Form 07-LHU ALD-32



KEMENTERIAN KESEHATAN RI
DIREKTORAT JENDERAL PELAYANAN KESEHATAN
BALAI BESAR LABORATORIUM KESEHATAN SURABAYA

Jalan Karangmenjangan No. 18 Surabaya - 60286
Telepon Pelayanan : (031) 5020306, TU : (031) 5021451; Faksimili : (031) 5020388
Website : bblksurabaya.com : Surat elektronik : bblksub@yahoo.co.id

HASIL PENGUJIAN CONTOH AIR LIMBAH

Nomor : L19003217 / 082 / AB / III / 2019
Dikirim oleh : **YOGIE RANTETODING SUMULE**
Alamat : **Jl. Perumahan Semolowaru Indah II, Blok O, No. 10**
Jenis contoh air : **Air Limbah Keluaran Pegirian (07.45 WIB)**
Contoh diambil oleh : **Yang bersangkutan**
Tanggal pengambilan contoh : **11 Maret 2019**
Tanggal diterima di BBLK : **11 Maret 2019**
Tanggal dikerjakan : **11 Maret 2019 – 25 Maret 2019**

44

NO.	PARAMETER	METODE	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK
					sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. 68 Tahun 2016
					Kadar Maksimum
1.	B O D ₅	IK/KIM.31/05-18	mg/L	212	30
2.	COD	IK/KIM.32/05-18	mg/L	465	100
3.	T S S	SNI 06-6989.3-2004	mg/L	266	30
4.	Minyak & Lemak	SNI 06-6989.10-2004	mg/L	29	5
5.	pH	SNI 06-6989.11-2004	-	7,65	6-9
6.	Amonia	IK/KIM.29/05-18	mg/L	13,3	10
7.	Total Kolfom	IKM/5.4.87/MBS (MPN)	MPN /100 mL	180 x 10 ⁴	3000

Metode :

Perhatian :

- Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh diatas
- Hasil ini tidak boleh dipergunakan untuk keperluan hukum/keadilan
- Dilarang menggunakan dokumen ini tanpa izin pihak BBLK Surabaya



Moekhammad Feri Hadiyanto, S.Si
NIP.198302112009121004



Form 07-LHU ALD-31



KEMENTERIAN KESEHATAN RI

DIREKTORAT JENDERAL PELAYANAN KESEHATAN
BALAI BESAR LABORATORIUM KESEHATAN SURABAYA

Jalan Karangmenjangan No. 18 Surabaya - 60286
Telepon Pelayanan : (031) 5020306, TU : (031) 5021451, Faksimili : (031) 5020388
Website : bblksurabaya.com - Surat elektronik : bblksub@yahoo.co.id

HASIL PENGUJIAN CONTOH AIR LIMBAH

Nomor : L19003217 / 081 / AB / III / 2019
Dikirim oleh : YOGIE RANTETODING SUMULE
Alamat : Jl. Perumahan Semolowaru Indah II, Blok C, No. 10
Jenis contoh air : Air Limbah Kelurahan Pegirian (07.10 WIB)
Contoh diambil oleh : Yang bersangkutan
Tanggal pengambilan contoh : 11 Maret 2019
Tanggal diterima di BBLK : 11 Maret 2019
Tanggal dikerjakan : 11 Maret 2019 – 25 Maret 2019

NO.	PARAMETER	METODE	SATUAN	HASIL	BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK
					sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. 68 Tahun 2016
					Kadar Maksimum
1.	B O D ₅	IK/KIM.31/05-18	mg/L	238	30
2.	COD	IK/KIM.32/05-18	mg/L	457	100
3.	T S S	SNI 06-6989.3-2004	mg/L	272	30
4.	Minyak & Lemak	SNI 06 6989.10-2004	mg/L	30	5
5.	pH	SNI 06-6989.11-2004	-	7,81	6 - 9
6.	Amonia	IK/KIM.29/05-18	mg/L	11,22	10
7.	Total Koliform	IKM5.4.87/MBS (MPN)	MPN/100 mL	170 x 10 ⁶	3000

Perhatian :

- Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh diatas
- Hasil ini tidak boleh dipergunakan untuk keperluan lain (Iklan/Reklame)
- Dilarang menggandakan dokumen ini tanpa seijin pihak BBLK Surabaya



Form 07-LHU ALD-30

Tabel Lampiran 1 Perhitungan Dimensi Pipa

No.	Jalur Pipa	Jenis Pipa	n	D hitung		D apply		Qfull check	A full	Vfull cek	Q peak/Q full check	Q min/Q full	d min/D	V min/V full	V min	d min	
				(m)	(mm)	(mm)	(m)	(m³/s)	(m²)	(m/s)	(m³/s)			(m/s)	(mm)	(cm)	
1	a-M	Sekunder	0,013	0,29	290,83	280,00	0,28	0,03	0,06	0,41	1,08	0,08	0,41	0,64	0,3	114,80	11,48
2	b-O	Sekunder	0,013	0,33	325,04	315,00	0,32	0,03	0,08	0,45	1,06	0,08	0,41	0,64	0,3	129,15	12,92
3	c-Q	Sekunder	0,013	0,28	276,07	280,00	0,28	0,03	0,06	0,41	0,94	0,06	0,41	0,64	0,3	114,80	11,48
4	M-N	Primer	0,013	0,29	290,83	280,00	0,28	0,03	0,06	0,41	1,08	0,08	0,41	0,64	0,3	114,80	11,48
5	N-O	Primer	0,013	0,29	290,83	280,00	0,28	0,03	0,06	0,41	1,08	0,08	0,41	0,64	0,3	114,80	11,48
6	O-P	Primer	0,013	0,29	290,83	280,00	0,28	0,03	0,06	0,41	1,08	0,08	0,41	0,64	0,3	114,80	11,48
7	Q-P	Primer	0,013	0,28	276,07	280,00	0,28	0,03	0,06	0,41	0,94	0,06	0,41	0,64	0,3	114,80	11,48
8	P-I	Primer	0,013	0,37	367,79	355,00	0,36	0,05	0,10	0,48	1,07	0,07	0,41	0,64	0,3	145,55	14,56
9	N-H	Sekunder	0,013	0,36	364,20	355,00	0,36	0,05	0,10	0,48	1,04	0,06	0,41	0,64	0,3	145,55	14,56
10	f-L	Sekunder	0,013	0,31	306,60	315,00	0,32	0,03	0,08	0,45	0,91	0,05	0,41	0,64	0,3	129,15	12,92
11	e-i	Sekunder	0,013	0,21	213,19	280,00	0,28	0,03	0,06	0,41	0,47	0,02	0,41	0,64	0,3	114,80	11,48
12	H-I	Primer	0,013	0,36	364,20	315,00	0,32	0,03	0,08	0,45	1,44	0,08	0,41	0,64	0,3	129,15	12,92
13	I-J	Primer	0,013	0,47	474,65	400,00	0,40	0,07	0,13	0,52	1,54	0,09	0,41	0,64	0,3	164,00	16,40
14	J-K	Primer	0,013	0,47	474,65	400,00	0,40	0,07	0,13	0,52	1,54	0,09	0,41	0,64	0,3	164,00	16,40
15	K-L	Primer	0,013	0,47	474,65	400,00	0,40	0,07	0,13	0,52	1,54	0,09	0,41	0,64	0,3	164,00	16,40
16	L-D	Primer	0,013	0,53	525,50	450,00	0,45	0,09	0,16	0,57	1,47	0,09	0,41	0,64	0,4	184,50	18,45
17	k-G	Sekunder	0,013	0,30	299,65	400,00	0,40	0,05	0,13	0,41	0,45	0,02	0,41	0,64	0,3	164,00	16,40
18	J-F	Sekunder	0,013	0,25	250,45	400,00	0,40	0,05	0,13	0,41	0,28	0,01	0,41	0,64	0,3	164,00	16,40
19	K-E	Sekunder	0,013	0,17	166,34	280,00	0,28	0,03	0,06	0,41	0,24	0,01	0,41	0,64	0,3	114,80	11,48
20	G-F	Primer	0,013	0,24	239,10	280,00	0,28	0,04	0,06	0,58	0,64	0,03	0,41	0,64	0,4	114,80	11,48
21	F-E	Primer	0,013	0,33	326,26	315,00	0,32	0,03	0,08	0,45	1,07	0,05	0,41	0,64	0,3	129,15	12,92
22	E-D	Primer	0,013	0,39	393,56	450,00	0,45	0,06	0,16	0,40	0,68	0,03	0,41	0,64	0,3	184,50	18,45
23	D-C	Primer	0,013	0,58	584,33	500,00	0,50	0,12	0,20	0,61	1,48	0,09	0,41	0,64	0,4	205,00	20,50
24	j-B	Sekunder	0,013	0,33	329,21	450,00	0,45	0,06	0,16	0,40	0,42	0,02	0,41	0,64	0,3	184,50	18,45
25	G-I	Sekunder	0,013	0,24	244,09	280,00	0,28	0,03	0,06	0,41	0,68	0,03	0,41	0,64	0,3	114,80	11,48
26	I-C	Sekunder	0,013	0,19	191,83	280,00	0,28	0,03	0,06	0,41	0,36	0,02	0,41	0,64	0,3	114,80	11,48
27	C-B	Primer	0,013	0,60	595,39	500,00	0,50	0,12	0,20	0,61	1,55	0,09	0,41	0,64	0,4	205,00	20,50
28	B-A	Primer	0,013	0,63	626,54	500,00	0,50	0,12	0,20	0,61	1,78	0,10	0,41	0,64	0,4	205,00	20,50
29	A-IPAL	Primer	0,013	0,63	626,54	500,00	0,50	0,12	0,20	0,61	1,78	0,10	0,41	0,64	0,4	205,00	20,50

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel Lampiran 2 Perhitungan Kebutuhan Debit Gelontor

No.	Jalur Pipa	Jenis Pipa	n	D hitung		D apply		Qfull check (m³/s)	A full (m²)	Vfull cek (m/s)	Q peak/Q full check (m³/s)	Q min/Q full	d min/D	V min/V full	V min (m/s)	d min		Q Gelontor
				(m)	(mm)	(mm)	(m)									(mm)	(cm)	
1	a-M	Sekunder	0,013	0,291	291	280	0,28	0,025	0,062	0,413	1,079	0,075	0,41	0,64	0,3	114,8	11,48	3,0
2	b-O	Sekunder	0,013	0,325	325	315	0,315	0,035	0,078	0,447	1,060	0,084	0,41	0,64	0,3	129,15	12,915	2,8
3	c-Q	Sekunder	0,013	0,276	276	280	0,28	0,025	0,062	0,413	0,939	0,062	0,41	0,64	0,3	114,8	11,48	0
4	M-N	Primer	0,013	0,291	291	280	0,28	0,025	0,062	0,413	1,079	0,075	0,41	0,64	0,3	114,8	11,48	0
5	N-O	Primer	0,013	0,291	291	280	0,28	0,025	0,062	0,413	1,079	0,075	0,41	0,64	0,3	114,8	11,48	0
6	O-P	Primer	0,013	0,291	291	280	0,28	0,025	0,062	0,413	1,079	0,075	0,41	0,64	0,3	114,8	11,48	0
7	Q-P	Primer	0,013	0,276	276	280	0,28	0,025	0,062	0,413	0,939	0,062	0,41	0,64	0,3	114,8	11,48	1,3
8	P-I	Primer	0,013	0,368	368	355	0,355	0,048	0,099	0,484	1,072	0,073	0,41	0,64	0,3	145,55	14,555	4,3
9	N-H	Sekunder	0,013	0,364	364	355	0,355	0,048	0,099	0,484	1,044	0,057	0,41	0,64	0,3	145,55	14,555	4,6
10	f-L	Sekunder	0,013	0,307	307	315	0,315	0,035	0,078	0,447	0,907	0,054	0,41	0,64	0,3	129,15	12,915	3,4
11	e-i	Sekunder	0,013	0,213	213	280	0,28	0,025	0,062	0,413	0,471	0,021	0,41	0,64	0,3	114,8	11,48	2,6
12	H-I	Primer	0,013	0,364	364	315	0,315	0,035	0,078	0,447	1,436	0,079	0,41	0,64	0,3	129,15	12,915	1,1
13	I-J	Primer	0,013	0,475	475	400	0,4	0,066	0,126	0,524	1,539	0,095	0,41	0,64	0,3	164	16,4	0
14	J-K	Primer	0,013	0,475	475	400	0,4	0,066	0,126	0,524	1,539	0,095	0,41	0,64	0,3	164	16,4	1,8
15	K-L	Primer	0,013	0,475	475	400	0,4	0,066	0,126	0,524	1,539	0,095	0,41	0,64	0,3	164	16,4	0
16	L-D	Primer	0,013	0,525	525	450	0,45	0,090	0,159	0,567	1,474	0,090	0,41	0,64	0,4	184,5	18,45	5,0
17	k-G	Sekunder	0,013	0,300	300	400	0,4	0,051	0,126	0,406	0,451	0,024	0,41	0,64	0,3	164	16,4	4,9
18	J-F	Sekunder	0,013	0,250	250	400	0,4	0,051	0,126	0,406	0,280	0,013	0,41	0,64	0,3	164	16,4	4,3
19	K-E	Sekunder	0,013	0,166	166	280	0,28	0,025	0,062	0,413	0,243	0,010	0,41	0,64	0,3	114,8	11,48	2,0
20	G-F	Primer	0,013	0,239	239	280	0,28	0,036	0,062	0,585	0,640	0,034	0,41	0,64	0,4	114,8	11,48	0
21	F-E	Primer	0,013	0,326	326	315	0,315	0,035	0,078	0,447	1,071	0,054	0,41	0,64	0,3	129,15	12,915	0
22	E-D	Primer	0,013	0,394	394	450	0,45	0,064	0,159	0,401	0,682	0,034	0,41	0,64	0,3	184,5	18,45	1,0
23	D-C	Primer	0,013	0,584	584	500	0,5	0,119	0,196	0,608	1,477	0,086	0,41	0,64	0,4	205	20,5	3,9
24	j-B	Sekunder	0,013	0,329	329	450	0,45	0,064	0,159	0,401	0,424	0,024	0,41	0,64	0,3	184,5	18,45	10,7

No.	Jalur Pipa	Jenis Pipa	n	D hitung		D apply		Qfull check (m ³ /s)	A full (m ²)	Vfull cek (m/s)	Q peak/Q full check (m ³ /s)	Q min/Q full	d min/D	V min/V full	V min (m/s)	d min		Q Gelontor
				(m)	(mm)	(mm)	(m)									(mm)	(cm)	
25	G-I	Sekunder	0,013	0,244	244	280	0,28	0,025	0,062	0,413	0,676	0,033	0,41	0,64	0,3	114,8	11,48	1,0
26	I-C	Sekunder	0,013	0,192	192	280	0,28	0,025	0,062	0,413	0,356	0,015	0,41	0,64	0,3	114,8	11,48	1,7
27	C-B	Primer	0,013	0,595	595	500	0,5	0,119	0,196	0,608	1,553	0,089	0,41	0,64	0,4	205	20,5	1,6
28	B-A	Primer	0,013	0,627	627	500	0,5	0,119	0,196	0,608	1,779	0,102	0,41	0,64	0,4	205	20,5	7,7
29	A-IPAL	Primer	0,013	0,627	627	500	0,5	0,119	0,196	0,608	1,779	0,102	0,41	0,64	0,4	205	20,5	5,1

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel Lampiran 3 Perhitungan Penanaman Pipa

No.	Jalur Pipa	Jenis Pipa	L Pipa (m)	Elevasi Medan		Δh Slope Medan	Slope Medan	Slope Pipa	D apply (m)	Headloss (m)	Elevasi atas pipa (m)		Elevasi bawah pipa (m)		Pondasi Pasir Bawah Pipa (m)	Kedalaman Penanaman (m)		Kedalaman Pipa (m)
				awal	akhir						Awal	Akhir	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
1	a-M	Sekunder	491	4,3	4,25	0,05	0,0001	0,001	0,28	0,49	3,30	3,25	3,02	2,97	0,1	1,28	1,28	0,00
2	b-O	Sekunder	365	4,3	4,25	0,05	0,0001	0,001	0,315	0,37	3,30	2,99	2,99	2,71	0,1	1,32	1,54	0,23
3	c-Q	Sekunder	120	4,25	4,2	0,05	0,0004	0,001	0,28	0,12	3,25	3,25	2,97	2,85	0,1	1,28	1,35	0,07
4	M-N	Primer	91,5	4,25	4,25	0	0,0000	0,001	0,28	0,09	3,25	3,16	2,97	2,88	0,1	1,28	1,37	0,09
5	N-O	Primer	132	4,25	4,25	0	0,0000	0,001	0,28	0,13	3,16	2,99	2,88	2,71	0,1	1,37	1,54	0,17
6	O-P	Primer	127	4,25	4,2	0,05	0,0004	0,001	0,28	0,13	2,99	2,89	2,71	2,65	0,1	1,54	1,55	0,01
7	Q-P	Primer	213	4,25	4,2	0,05	0,0002	0,001	0,28	0,21	3,25	2,89	2,97	2,65	0,1	1,28	1,55	0,27
8	P-I	Primer	434	4,2	4,15	0,05	0,0001	0,001	0,355	0,43	2,89	2,80	2,65	2,60	0,1	1,55	1,55	0,00
9	N-H	Sekunder	468	4,25	4,15	0,1	0,0002	0,001	0,355	0,47	3,25	3,15	2,90	2,43	0,1	1,36	1,72	0,37
10	f-L	Sekunder	437	4,2	4,1	0,1	0,0002	0,001	0,315	0,44	3,20	2,76	2,89	2,45	0,1	1,32	1,65	0,34
11	e-i	Sekunder	430	4,2	4,1	0,1	0,0002	0,001	0,28	0,43	3,20	2,77	2,92	2,49	0,1	1,28	1,61	0,33
12	H-I	Primer	140	4,15	4,15	0	0,0000	0,001	0,315	0,14	3,15	2,80	2,84	2,60	0,1	1,32	1,55	0,24
13	I-J	Primer	65	4,15	4,13	0,02	0,0003	0,001	0,4	0,07	2,80	2,74	2,60	2,44	0,1	1,55	1,69	0,14
14	J-K	Primer	145	4,13	4,1	0,03	0,0002	0,001	0,4	0,15	2,74	2,70	2,44	2,40	0,1	1,69	1,70	0,01
15	K-L	Primer	32	4,1	4,1	0	0,0000	0,001	0,4	0,03	2,70	2,65	2,40	2,32	0,1	1,70	1,78	0,08
16	L-D	Primer	317	4,1	4	0,1	0,0003	0,001	0,45	0,32	2,65	2,57	2,32	2,21	0,1	1,78	1,79	0,01
17	k-G	Sekunder	391	4,15	4,13	0,02	0,0001	0,0006	0,4	0,23	3,15	2,92	2,75	2,52	0,1	1,40	1,61	0,21
18	J-F	Sekunder	346	4,13	4,1	0,03	0,0001	0,0006	0,4	0,21	3,13	2,92	2,73	2,52	0,1	1,40	1,58	0,18
19	K-E	Sekunder	331	4,1	4,05	0,05	0,0002	0,001	0,28	0,33	3,10	2,77	2,82	2,49	0,1	1,28	1,56	0,28
20	G-F	Primer	108	4,13	4,1	0,03	0,0003	0,002	0,28	0,22	3,13	3,13	2,85	2,82	0,1	1,28	1,29	0,00
21	F-E	Primer	120	4,13	4,05	0,08	0,0007	0,001	0,315	0,12	3,13	3,05	2,82	2,60	0,1	1,32	1,45	0,14
22	E-D	Primer	62	4,05	4	0,05	0,0008	0,0005	0,45	0,03	3,05	2,57	2,60	2,21	0,1	1,45	1,79	0,34
23	D-C	Primer	197	4	4	0	0,0000	0,001	0,5	0,20	2,57	2,47	2,21	2,11	0,1	1,79	1,89	0,10

No.	Jalur Pipa	Jenis Pipa	L Pipa (m)	Elevasi Medan		Δh Slope Medan	Slope Medan	Slope Pipa	D apply (m)	Headloss (m)	Elevasi atas pipa (m)		Elevasi bawah pipa (m)		Pondasi Pasir Bawah Pipa (m)	Kedalaman Penanaman (m)		Kedalaman Pipa (m)
				awal	akhir						Awal	Akhir	Awal	Akhir		Awal	Akhir	
24	j-B	Sekunder	673	4,1	4,01	0,09	0,0001	0,0005	0,45	0,34	3,10	2,76	2,65	2,31	0,1	1,45	1,70	0,25
25	G-I	Sekunder	167	4,13	4,03	0,1	0,0006	0,001	0,28	0,17	3,13	2,96	2,85	2,68	0,1	1,28	1,35	0,07
26	I-C	Sekunder	280	4,03	4,02	0,01	0,0000	0,001	0,28	0,28	3,03	2,75	2,75	2,47	0,1	1,28	1,55	0,27
27	C-B	Primer	80	4,02	4,01	0,01	0,0001	0,001	0,5	0,08	2,47	2,33	2,11	2,00	0,1	1,91	2,01	0,10
28	B-A	Primer	390	4,01	4	0,01	0,0000	0,001	0,5	0,39	2,33	2,21	2,00	1,73	0,1	2,01	2,27	0,26
29	A-IPAL	Primer	260	4	4	0	0,0000	0,001	0,5	0,26	2,21	2,01	1,73	1,56	0,1	2,27	2,44	0,17

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel Lampiran 4 Perhitungan Kebutuhan Manhole

No	Jalur Pipa	Jenis Pipa	Panjang Pipa	D terpakai	Jarak Antar Manhole	Manhole yang digunakan				Jumlah manhole
			(m)	(mm)	(m)	Lurus	Belokan	Pertigaan	Perempatan	
1	a-M	Sekunder	491	280	100	4	0	0	0	4
2	b-O	Sekunder	365	315	100	3	0	0	0	3
3	c-Q	Sekunder	120	280	100	2	0	0	0	2
4	M-N	Primer	91,5	280	100	2	0	1	0	3
5	N-O	Primer	132	280	100	2	0	1	0	3
6	O-P	Primer	127	280	100	2	0	1	0	3
7	Q-P	Primer	213	280	100	2	0	0	0	2
8	P-I	Primer	434	355	100	4	0	1	0	5
9	N-H	Sekunder	468	355	100	4	0	1	0	5
10	f-L	Sekunder	437	315	100	4	0	0	0	4
11	e-i	Sekunder	430	280	100	4	0	0	0	4
12	H-I	Primer	140	315	100	2	0	1	0	3
13	I-J	Primer	65	400	100	1	0	1	0	2
14	J-K	Primer	145	400	100	2	0	1	0	3
15	K-L	Primer	32	400	100	1	0	1	0	2
16	L-D	Primer	317	450	150	3	0	0	0	3
17	k-G	Sekunder	391	400	100	4	0	0	0	4
18	J-F	Sekunder	346	400	100	3	0	0	0	3
19	K-E	Sekunder	331	280	100	3	0	1	0	4
20	G-F	Primer	108	280	100	2	0	1	0	3
21	F-E	Primer	120	315	100	2	0	1	0	3
22	E-D	Primer	62	450	100	1	0	1	0	3
23	D-C	Primer	197	500	150	2	0	1	0	3
24	j-B	Sekunder	673	450	100	5	0	0	0	5

No	Jalur Pipa	Jenis Pipa	Panjang Pipa	D terpakai	Jarak Antar Manhole	Manhole yang digunakan				Jumlah manhole
			(m)	(mm)	(m)	Lurus	Belokan	Pertigaan	Perempatan	
25	G-I	Sekunder	167	280	100	2	0	0	0	2
26	I-C	Sekunder	280	280	100	3	2	0	0	5
27	C-B	Primer	80	500	150	2	0	1	0	3
28	B-A	Primer	390	500	150	4	0	0	0	4
29	A-IPAL	Primer	260	500	150	3	3	0	0	6

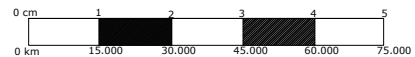
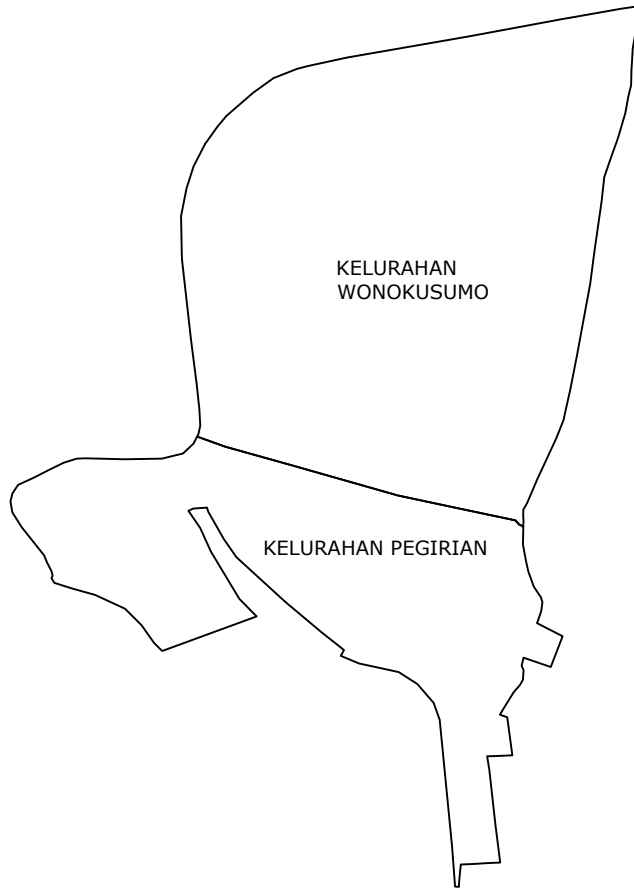
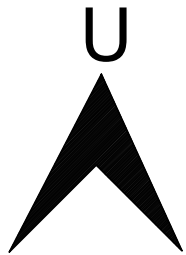
Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel Lampiran 5 Perhitungan Rincian RAB SPAL

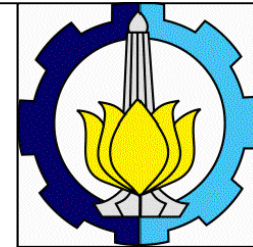
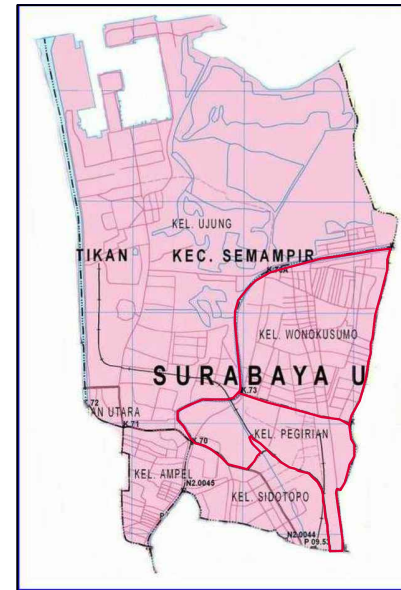
No	Uraian Pekerjaan	Acuan	Satuan	Harga per Satuan	Volume Kegiatan	Harga per Satuan
PEKERJAAN PERSIAPAN						
1	Pembersihan Lapangan "Ringan" dan Perataan	HSPK 2018 Nomor 24.01.01.03	m ²		7412,50	
	Upah Mandor		Orang Hari	Rp 3.000,00		Rp 22.237.500,00
	Upah Pembantu Tukang		Orang Hari	Rp 4.950,00		Rp 36.691.875,00
	Jumlah					
2	Uitzet dengan WaterPass / Theodolit	HSPK 2018 Nomor 24.01.01.05	m ²		7412,50	
	Sewa Theodolite		Hari	Rp 2.348,67		Rp 17.409.516,38
	Upah Tenaga Surveyor		Orang Hari	Rp 946,67		Rp 7.017.191,38
	Upah Pembantu Tukang		Orang Hari	Rp 1.320,00		Rp 9.784.500,00
	Jumlah					
PEKERJAAN TANAH						
3	Penggalian Tanah dengan Alat Berat	HSPK 2018 Nomor 24.01.02.12	m ³		10765,41	
	Sewa Escavator 6m3		jam	Rp 8.857,40		Rp 95.353.582,45
	Upah Mandor		Orang Hari	Rp 840,00		Rp 9.042.948,19
	Upah Pembantu Tukang		Orang Hari	Rp 22.374,00		Rp 240.865.384,16
	Jumlah					
4	Pengurugan Tanah Kembali	HSPK 2018 Nomor 24.01.02.13	m ³		6215,66	
	Upah Mandor		Orang Hari	Rp 2.280,00		Rp 14.171.711,08
	Upah Pembantu Tukang		Orang Hari	Rp 10.098,00		Rp 62.765.762,51

No	Uraian Pekerjaan	Acuan	Satuan	Harga per Satuan	Volume Kegiatan	Harga per Satuan	
	Jumlah					Rp	76.937.473,60
5	Pembongkaran Jalan Aspal	HSPK 2018 Nomor 24.03.01.32	m³		670,15		
	Upah Mandor		Orang Hari	Rp 48.000,00		Rp 32.166.960,00	
	Upah Pembantu Tukang		Orang Hari	Rp 396.000,00		Rp 265.377.420,00	
	Jumlah						Rp 297.544.380,00
6	Pengurugan Tanah dengan Pematatan	HSPK 2018 Nomor 24.01.02.14	m³		6215,66		
	Pasir		m ³	Rp 172.200,00		Rp 1.070.337.126,63	
	Sewa Peralatan		m ³	Rp 8.800,00		Rp 54.697.832,26	
	Upah Mandor		Orang Hari	Rp 1.200,00		Rp 7.458.795,31	
	Upah Pembantu Tukang		Orang Hari	Rp 29.700,00		Rp 184.605.183,86	
	Jumlah						Rp 1.317.098.938,05
PEKERJAAN KONSTRUKSI							
7	Pembuatan Manhole	HSPK 2018 Nomor 24.03.01.28	m³		72,32		
	Semen PC 40 kg		zak	Rp 529.200,00		Rp 38.270.050,56	
	Pasir Cor/Beton		m ³	Rp 125.334,00		Rp 9.063.753,81	
	Kerikil 1/2 cm		m ³	Rp 377.460,00		Rp 27.296.699,33	
	Besi Beton Polos		kg	Rp 2.520.000,00		Rp 182.238.336,00	
	Manhole Cover 1m x 1m		buah	Rp 900.000,00	64	Rp 57.600.000,00	
	Upah Mandor		Orang Hari	Rp 33.960,00		Rp 2.455.878,53	
	Upah Kepala Tukang		Orang Hari	Rp 33.530,00		Rp 2.424.782,30	
	Upah Tukang		Orang Hari	Rp 163.800,00		Rp 11.845.491,84	
	Upah Pembantu Tukang		Orang Hari	Rp 559.350,00		Rp 40.450.402,08	
Jumlah						Rp 371.645.394,45	
8	Pemasangan Pipa	HSPK 2018 Nomor 24.07.03.17	m		6216		
	Pipa PVC S10 30 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 18.800,00		Rp -	
	Pipa PVC S10 50 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 30.300,00		Rp -	
	Pipa PVC S10 63 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 51.500,00		Rp -	
	Pipa PVC S10 90 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 121.000,00		Rp -	
	Pipa PVC S10 110 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 149.500,00	95	Rp 14.202.500,00	
	Pipa PVC S10 125 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 170.000,00		Rp -	
	Pipa PVC S10 140 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 200.000,00		Rp -	

No	Uraian Pekerjaan	Acuan	Satuan	Harga per Satuan	Volume Kegiatan	Harga per Satuan
	Pipa PVC S10 200 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 250.000,00		Rp -
	Pipa PVC S10 280 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 315.000,00	624	Rp 196.560.000,00
	Pipa PVC S10 315 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 355.600,00	265	Rp 94.234.000,00
	Pipa PVC S10 355 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 553.900,00	226	Rp 125.181.400,00
	Pipa PVC S10 400 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 628.360,00	245	Rp 153.948.200,00
	Pipa PVC S10 450 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 854.900,00	263	Rp 224.838.700,00
	Pipa PVC S10 500 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 1.173.300,00	183	Rp 214.713.900,00
	Pipa PVC S10 550 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 1.742.100,00		Rp -
	Pipa PVC S10 600 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 2.206.300,00		Rp -
	Pipa PVC S10 650 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 3.381.000,00		Rp -
	Pipa PVC S10 700 mm pj. 4 mtr		buah	Rp 4.346.550,00		Rp -
	Upah Mandor		Orang Hari	Rp 492,00		Rp 3.058.106,08
	Upah Kepala Tukang		Orang Hari	Rp 1.485,00		Rp 9.230.259,19
	Upah Tukang		Orang Hari	Rp 14.175,00		Rp 88.107.019,57
	Upah Pembantu Tukang		Orang Hari	Rp 8.019,00		Rp 49.843.399,64
	Jumlah					Rp 1.173.917.484,48
PEKERJAAN AKHIR						
9	Pengaspalan Jalan Bekas Galian	HSPK 2018 Nomor 24.08.02.37	m2		6215,7	
	Lapis Perekat/Tack Coat		Liter	Rp 6.455,16		Rp 40.123.097,60
	Produksi ATB / ATBL / Lapis Beton untuk LPA		Ton	Rp 83.257,57		Rp 517.500.977,02
	Sewa Mesin Gilas		Jam	Rp 609,03		Rp 3.785.525,09
	Upah Mandor		Orang Hari	Rp 1.800,00		Rp 11.188.192,96
	Upah Pembantu Tukang		Orang Hari	Rp 14.850,00		Rp 92.302.591,93
	Jumlah					Rp 664.900.384,60
TOTAL						Rp 4.340.446.552,73



SKALA



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda

 Batas Kelurahan

Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

Dosen Pembimbing

Bieby Voijant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

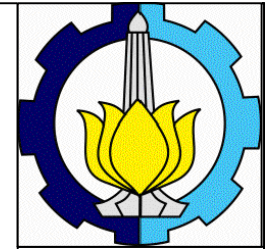
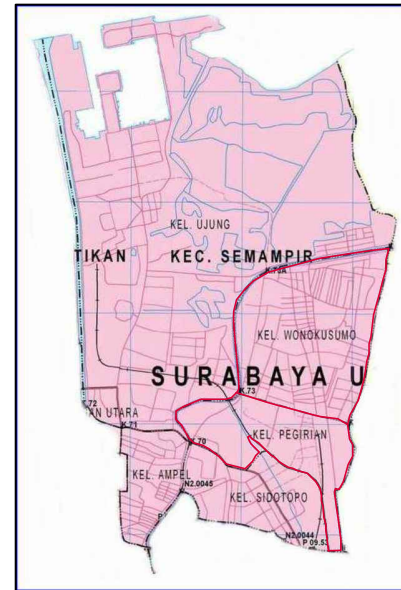
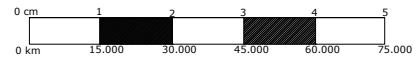
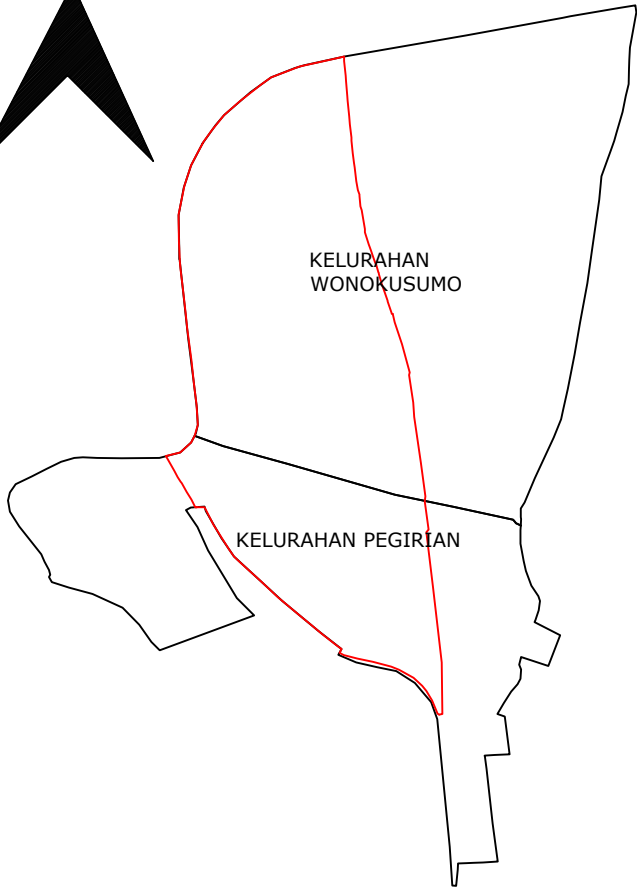
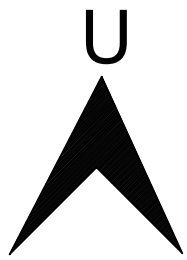
Judul Gambar

Peta Wilayah Perencanaan


Skala

No Gambar

01



Judul Tugas
Tugas Akhir
Perencanaan
Departemen
Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumiharan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

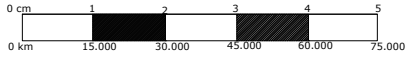
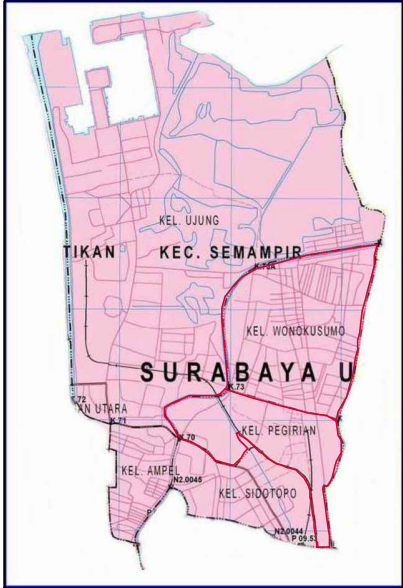
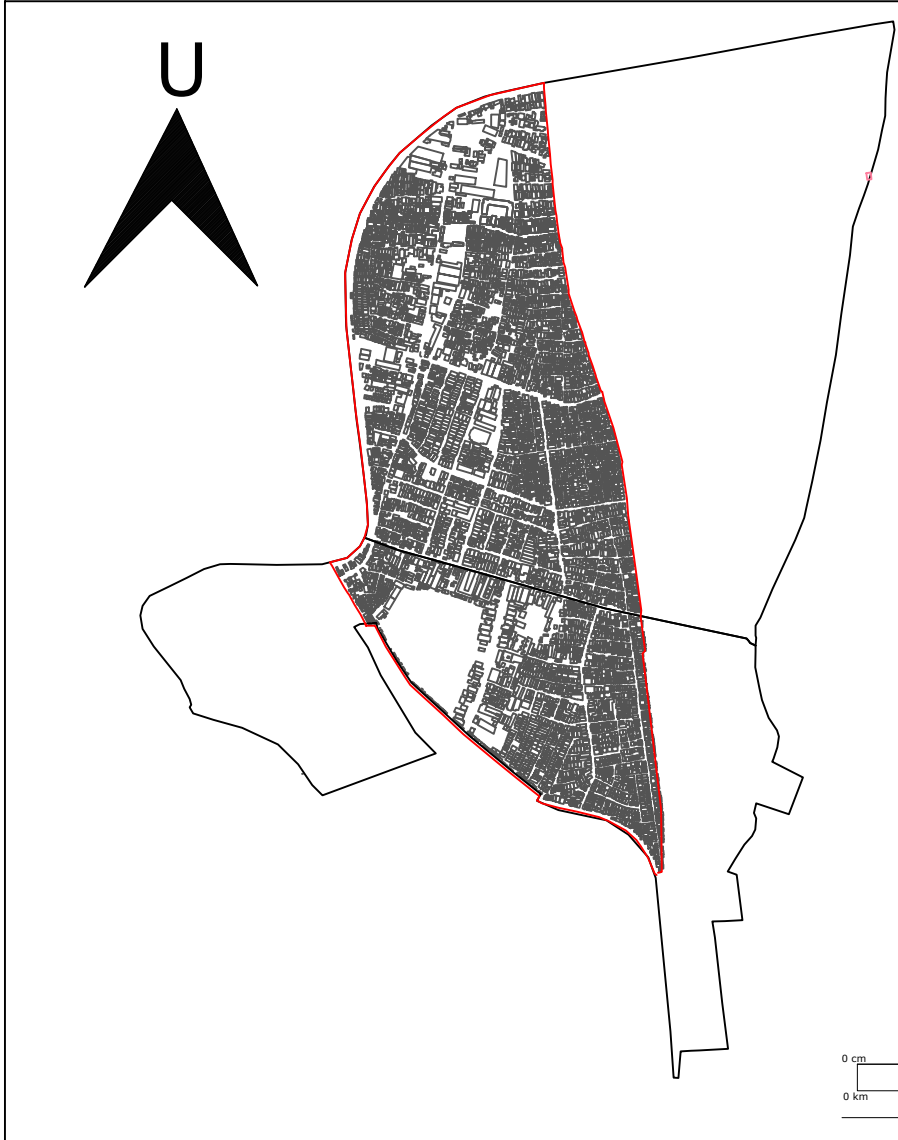
Legenda
 Batas Wilayah Perencanaan

Drafter
Yogie Rantetoding Sumule
03211440000051

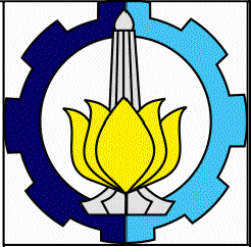
Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

Judul Gambar
Peta Batas Wilayah Perencanaan



Skala	No Gambar
	02



SKALA



Judul Tugas
Tugas Akhir
Perencanaan
Departemen
Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

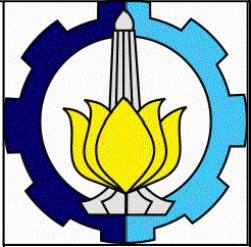
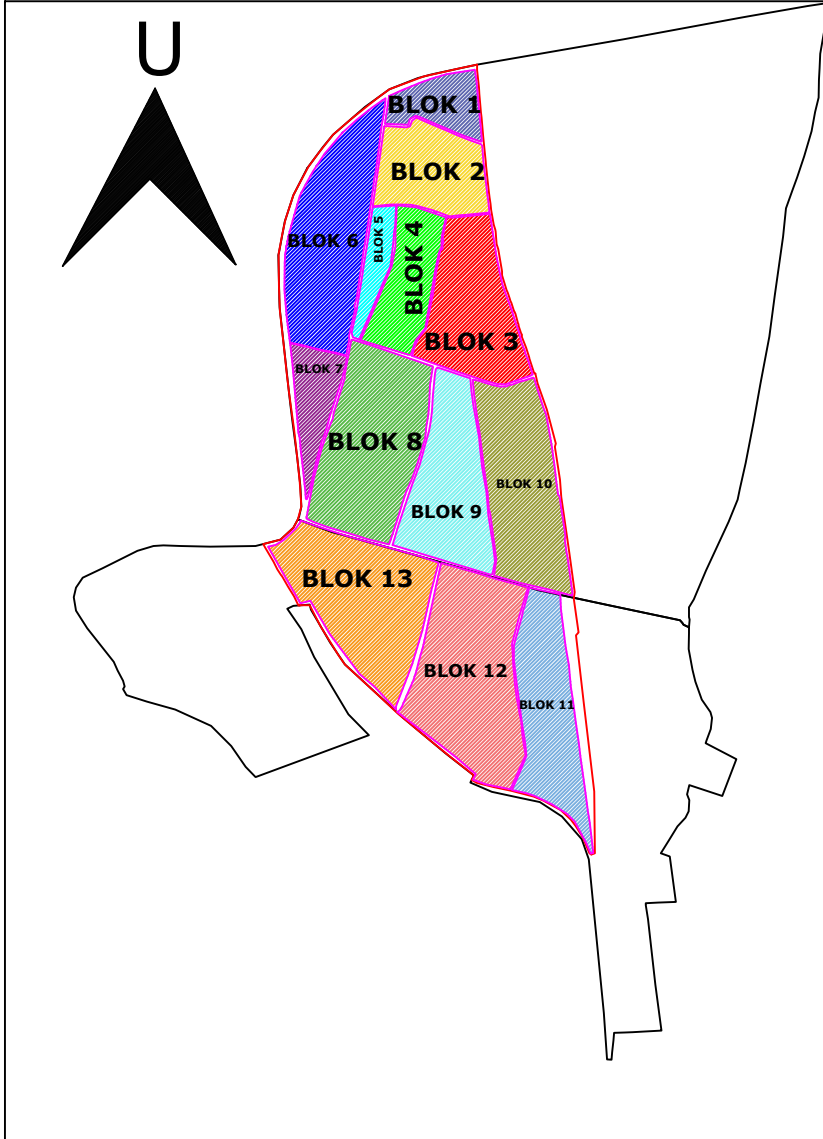
Legenda
 Batas Wilayah Perencanaan
 Batas Kelurahan

Drafter
Yogie Rantetoding Sumule
03211440000051

Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

Judul Gambar
Peta Kepadatan Penduduk

Skala	No Gambar
	03



Judul Tugas
 Tugas Akhir
 Perencanaan
 Departemen
 Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2019

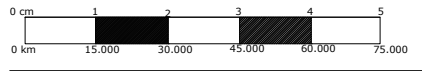
Legenda
 — Batas Wilayah Perencanaan
 — Batas Kelurahan

Drafter
 Yogie Rantetoding Sumule
 03211440000051
 Dosen Pembimbing
 Bieby Voijant Tangahu, ST.,
 MT., Ph.D.

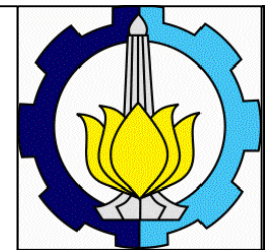
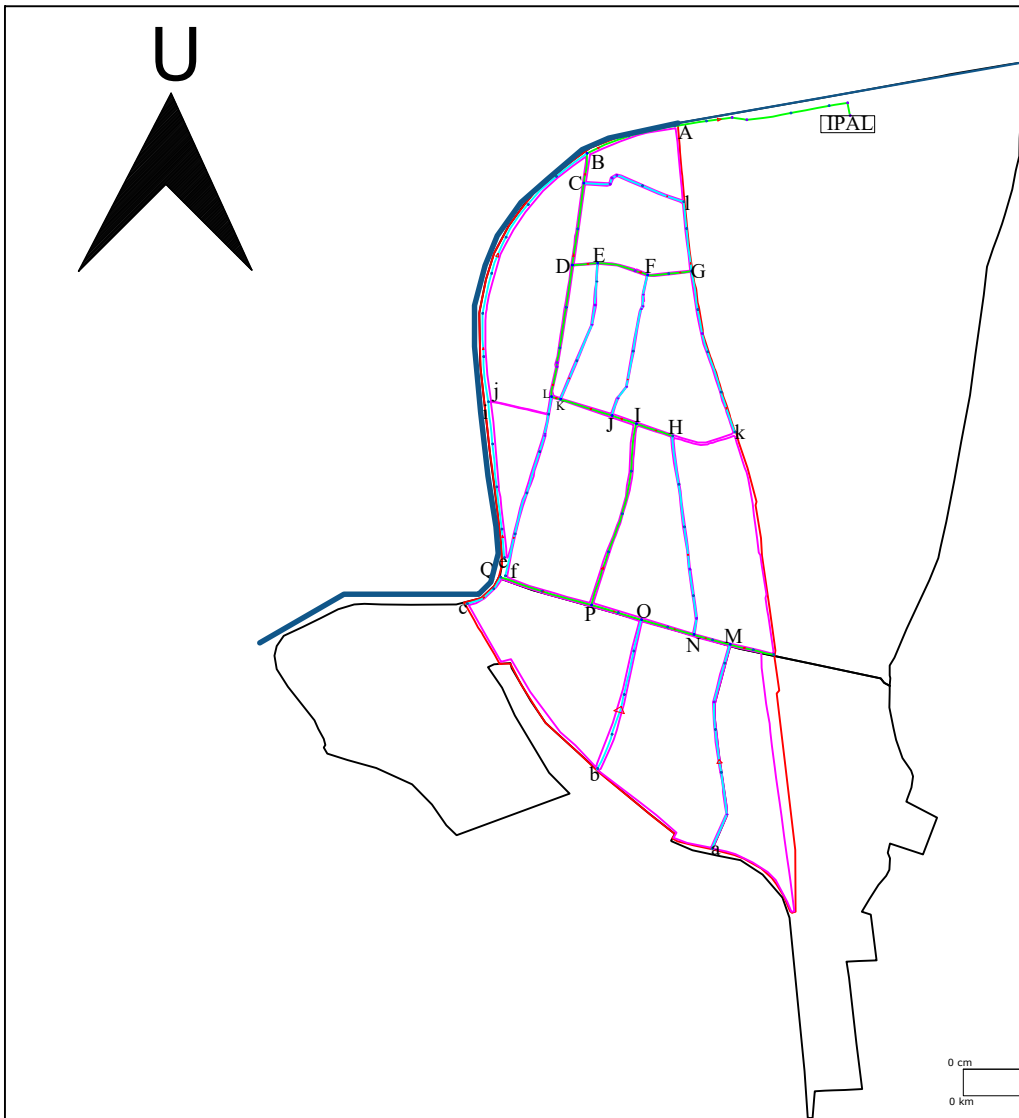
Judul Gambar

Zona Pelayanan

Skala	No Gambar
	04



SKALA



Judul Tugas
 Tugas Akhir
 Perencanaan
 Departemen
 Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2019

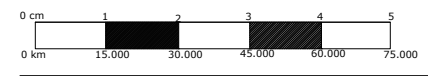
- Legenda
- Batas Wilayah Perencanaan
 - Batas Kelurahan Sungai
 - Pipa Primer
 - Pipa Sekunder
 - Manhole Pertigaan
 - Manhole Lurus
 - Manhole Belokan

Drafter
 Yogie Rantetoding Sumule
 0321144000051

Dosen Pembimbing
 Bieby Voijant Tangahu, ST.,
 MT., Ph.D.

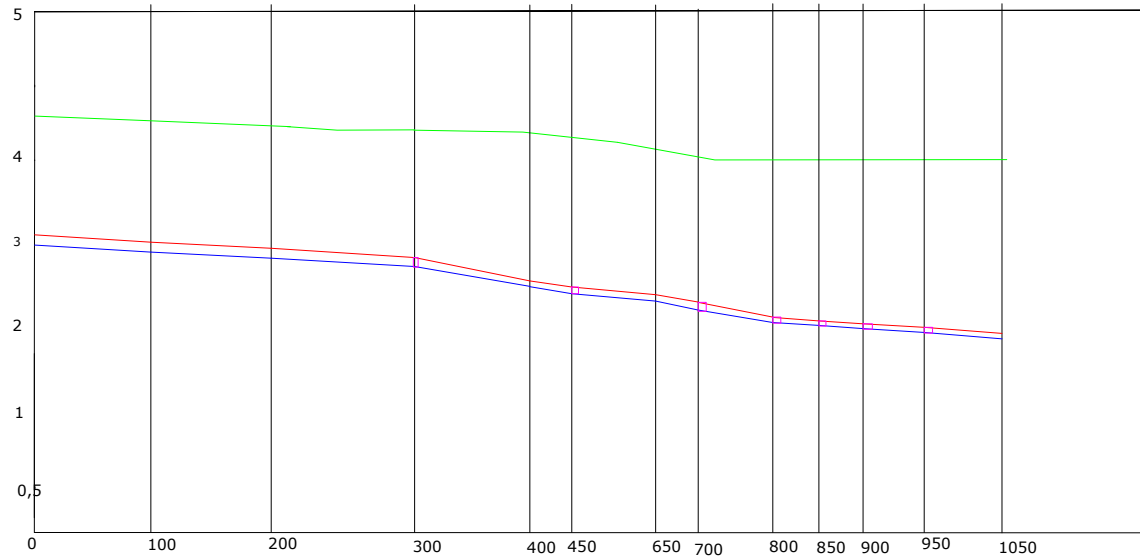
Judul Gambar
 SPAL dan Manhole

Skala	No Gambar
	05

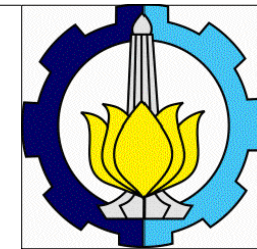


SKALA

Jalur M-IPAL



JALUR	M	N	O	P	I	J	K	L	D	C	B	A	IPAL
Panjang Pipa (m)	91,5	132	127	434	65	135	32	317	197	80	390	260	
Elevasi Muka Tanah (m)	4,3	4,25	4,25	4,15	4,1	4,03		4		4			1,88
Elevasi Atas Pipa (m)	3,25	3,07	2,99	2,89	2,80	2,74	2,70	2,65	2,57	2,47	2,33	2,21	2,01
Elevasi Bawah Pipa (m)	2,97	2,79	2,71	2,65	2,60	2,44	2,40	2,32	2,21	2,11	2,00	1,73	1,56
Diameter (mm)	280	280	280	355	400	400	400	450	500	500	500	500	500
Manhole Lurus (buah)	3	1	3	4	3	3	2	4				2	
Manhole Belokan (buah)	2						3					3	
Manhole Pertigaan(buah)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Manhole Perempatan													
Slope Pipa	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda

— Muka Tanah

— Pipa Bagian Atas

— Pipa Bagian Bawah

□ Titik Gelontor

Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

Dosen Pembimbing

Bieby Voijsant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

Judul Gambar

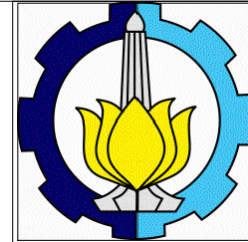
Profil Hidrolis Jalur SPAL

Skala

No Gambar

1:100

06



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda



Beton

Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

Dosen Pembimbing

Bieby Voiyant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

Judul Gambar

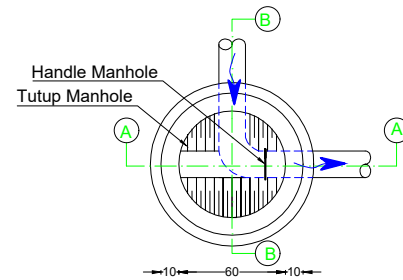
Manhole Belokan

Skala

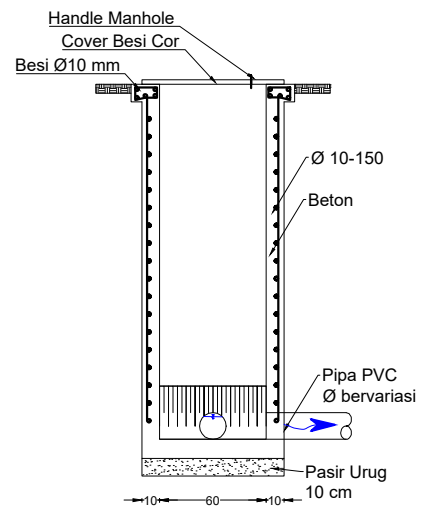
No Gambar

1 : 25

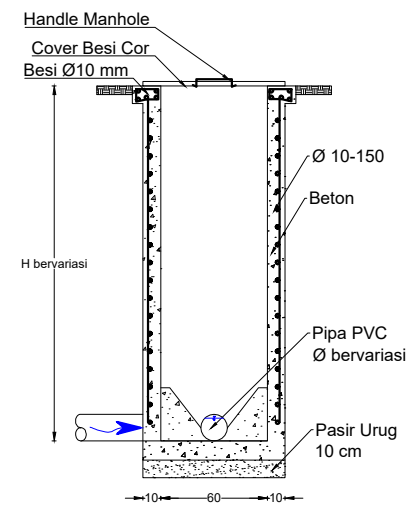
07



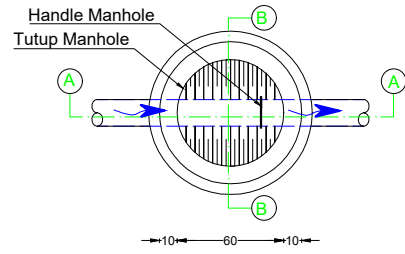
DENAH TIPIKAL MANHOLE (BELOKAN)



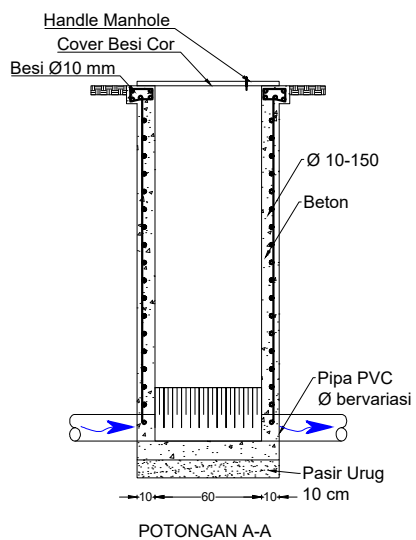
POTONGAN A-A



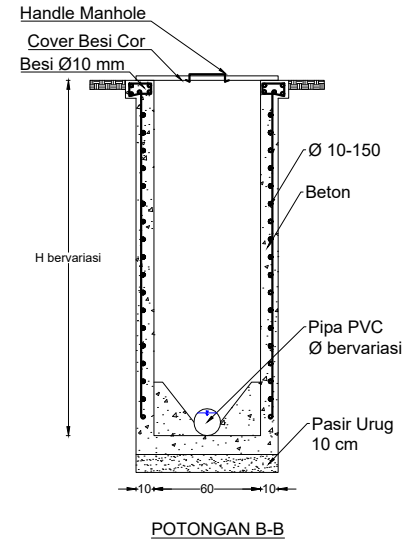
POTONGAN B-B



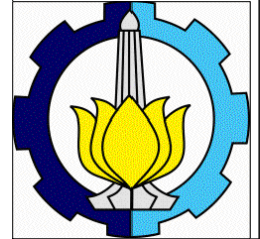
DENAH TIPIKAL MANHOLE (LURUS)




POTONGAN A-A



POTONGAN B-B



Judul Tugas
 Tugas Akhir
 Perencanaan
 Departemen
 Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2019
 Legenda

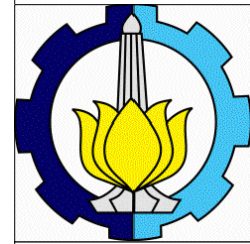
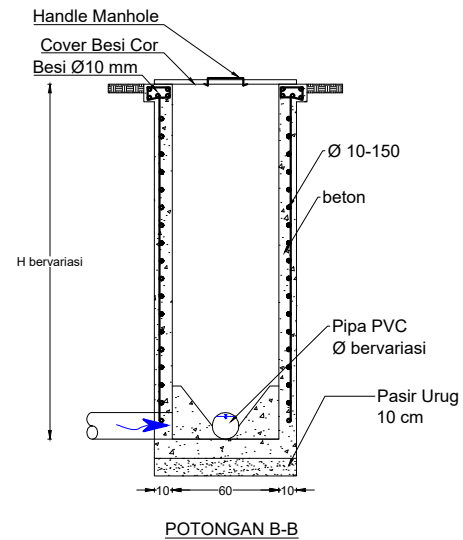
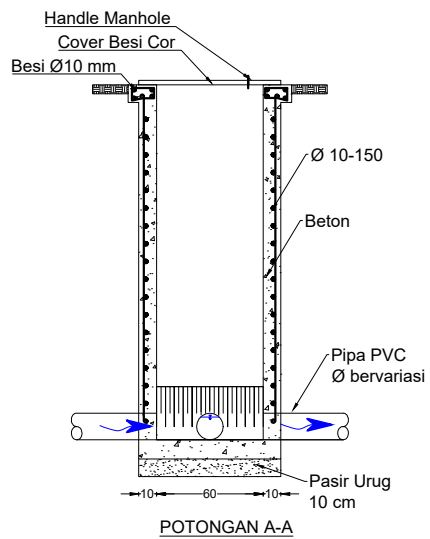
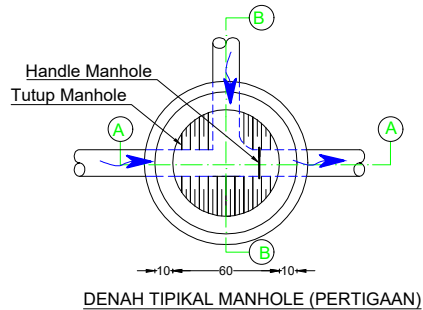
 Beton

Drafter
 Yogie Rantetoding Sumule
 0321144000051

Dosen Pembimbing
 Bieby Vojjant Tangahu, ST.,
 MT., Ph.D.

Judul Gambar
 Manhole Lurus

Skala	No Gambar
1 : 25	08



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda



Beton

Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

Dosen Pembimbing

Bieby Voijant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

Judul Gambar

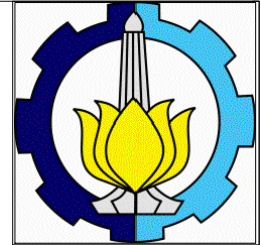
Manhole Pertigaan

Skala

No Gambar

1 : 25

09



Judul Tugas
 Tugas Akhir
 Perencanaan
 Departemen
 Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2019

Legenda

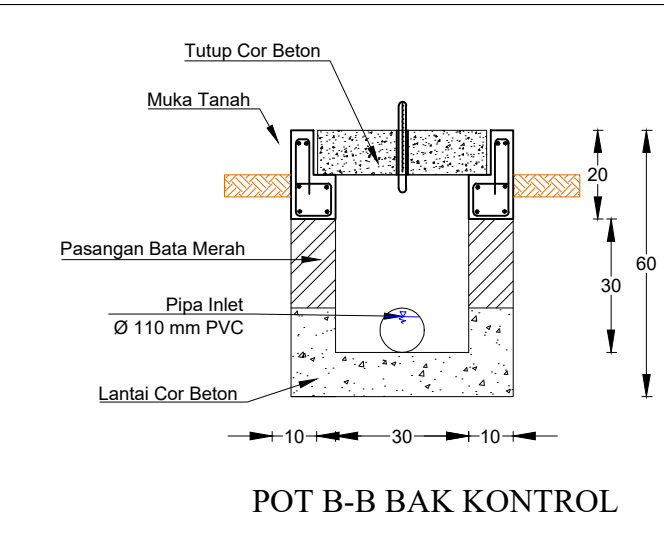
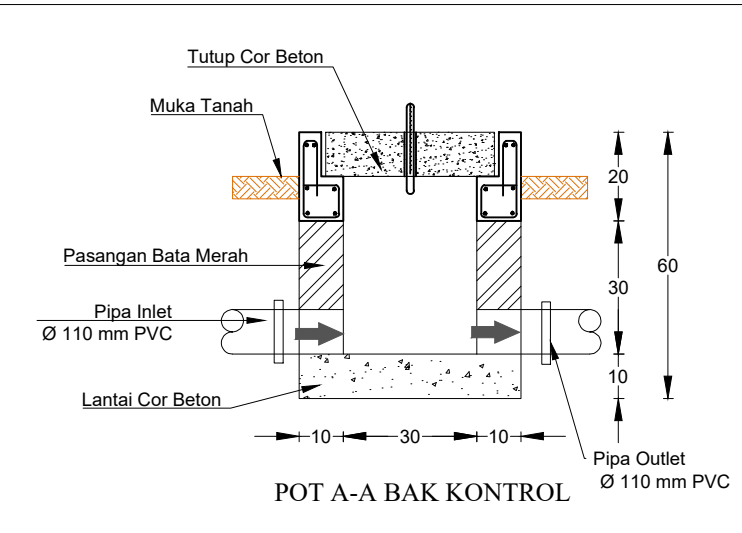
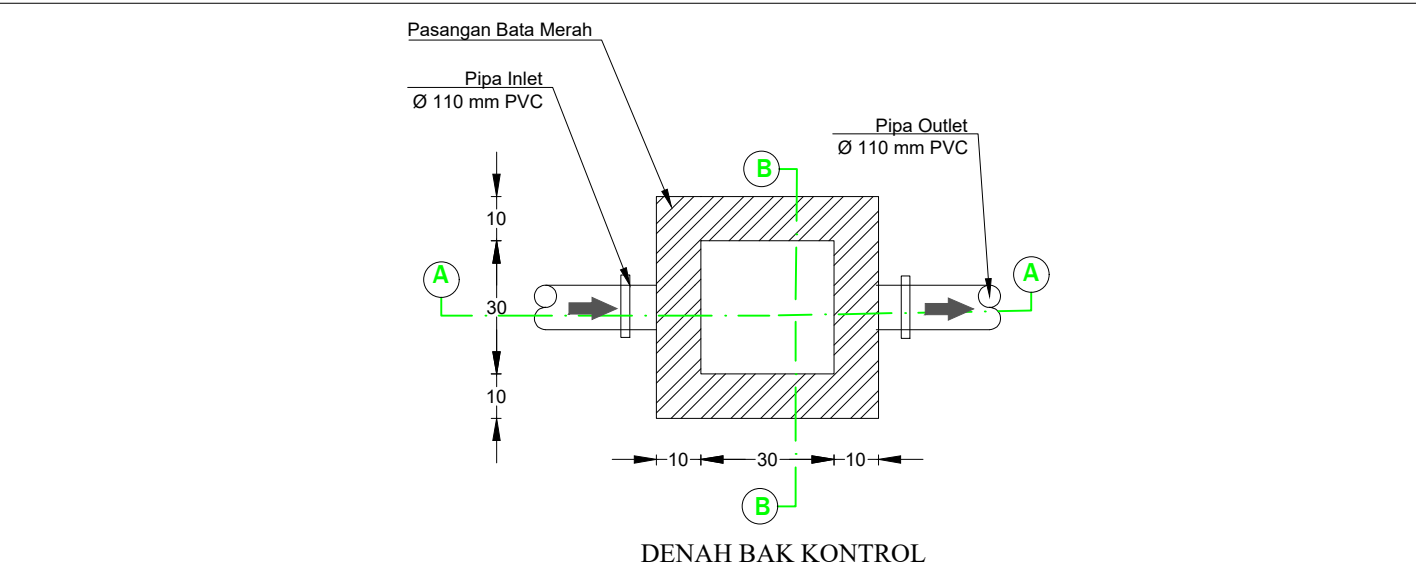
- Beton
- Pasangan Bata
- Tanah

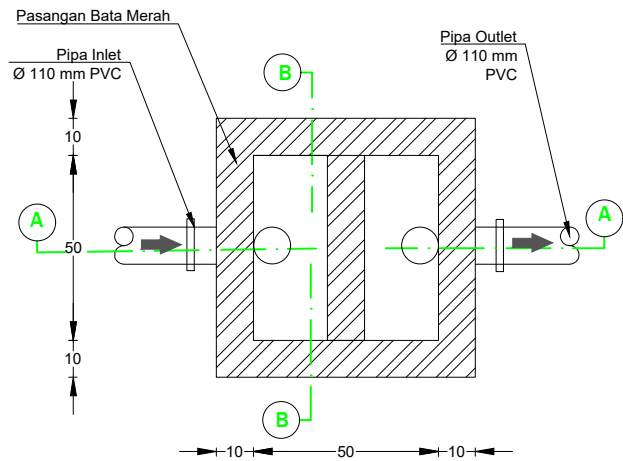
Drafter
 Yogie Rantetoding Sumule
 0321144000051

Dosen Pembimbing
 Bieby Voiyant Tangahu, ST.,
 MT., Ph.D.

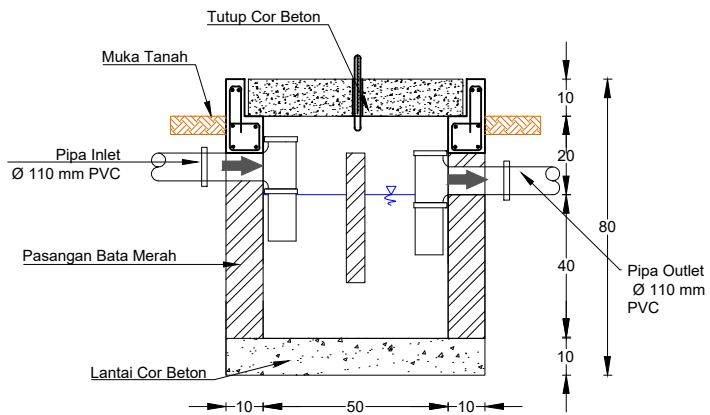
Judul Gambar
 Bak Kontrol

Skala	No Gambar
1 : 10	10

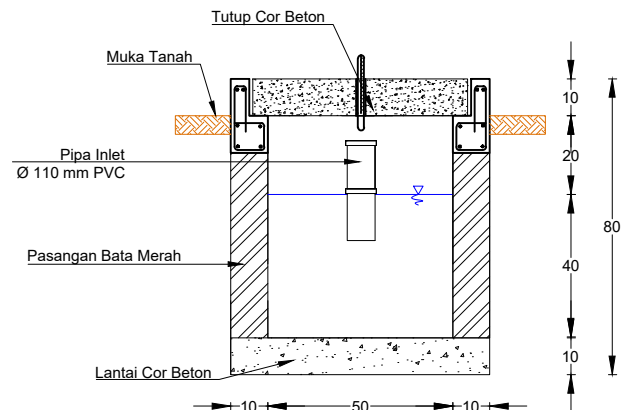




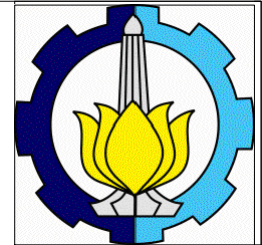
DENAH BAK PENANGKAP LEMAK



POT A-A BAK PENANGKAP LEMAK



POT B-B BAK PENANGKAP LEMAK



Judul Tugas
 Tugas Akhir
 Perencanaan
 Departemen
 Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2019
 Legenda

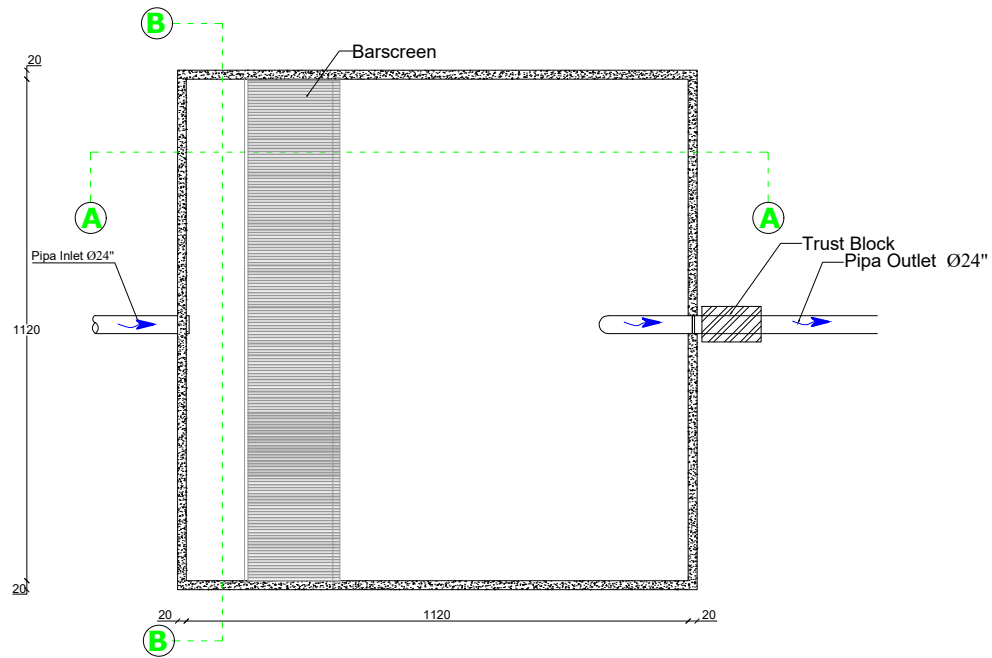
-  Beton
-  Pasangan Bata
-  Tanah

Drafter
 Yogie Rantetoding Sumule
 0321144000051

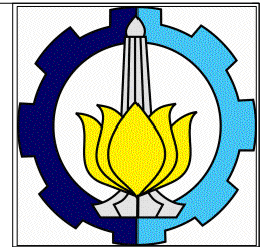
Dosen Pembimbing
 Bieby Vojiant Tangahu, ST.,
 MT., Ph.D.

Judul Gambar
 Bak Penangkap Lemak

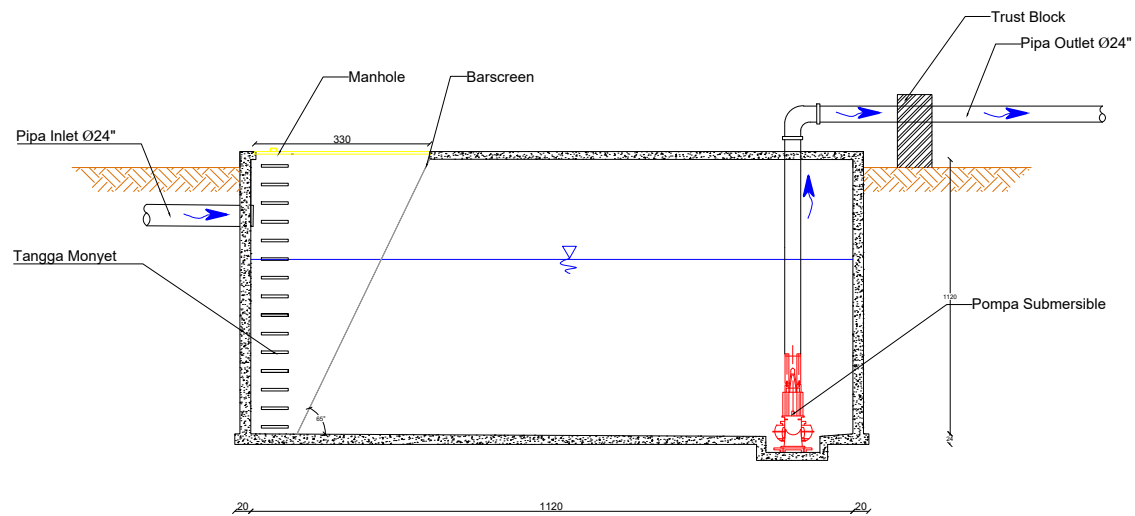
Skala	No Gambar
1 : 10	11



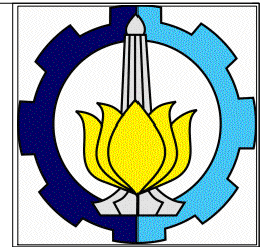
DENAH SUMUR PENGUMPUL



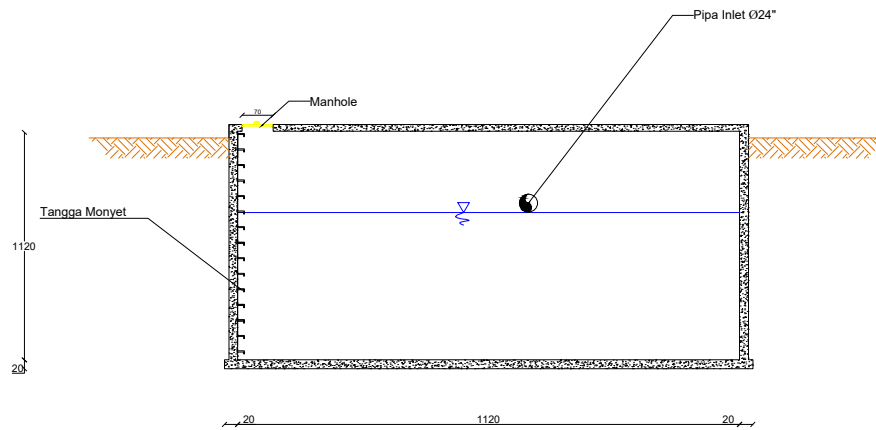
Judul Tugas	
Tugas Akhir Perencanaan	
Departemen	
Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2019	
Legenda	
 Beton	
Drafter	
Yogie Rantetoding Sumule 0321144000051	
Dosen Pembimbing	
Bieby Voiyant Tangahu, ST., MT., Ph.D.	
Judul Gambar	
Denah Sumur Pengumpul	
Skala	No Gambar
1 : 100	12



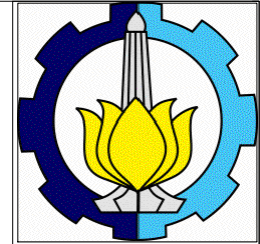
POTONGAN A-A SUMUR PENGUMPUL



Judul Tugas	
Tugas Akhir Perencanaan	
Departemen	
Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2019	
Legenda	
Beton	Tanah
Manhole	Permukaan Air
Drafter	
Yogie Rantetoding Sumule 0321144000051	
Dosen Pembimbing	
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D.	
Judul Gambar	
Detail Potongan A-A Sumur Pengumpul	
Skala	No Gambar
1 : 100	13



POTONGAN B-B SUMUR PENGUMPUL



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda



Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
03211440000051

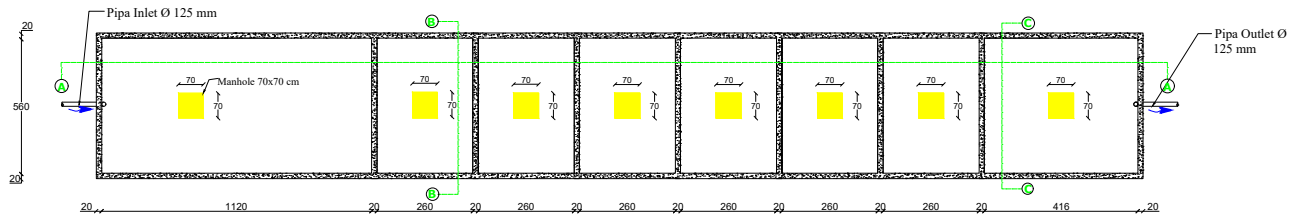
Dosen Pembimbing

Bieby Voijant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

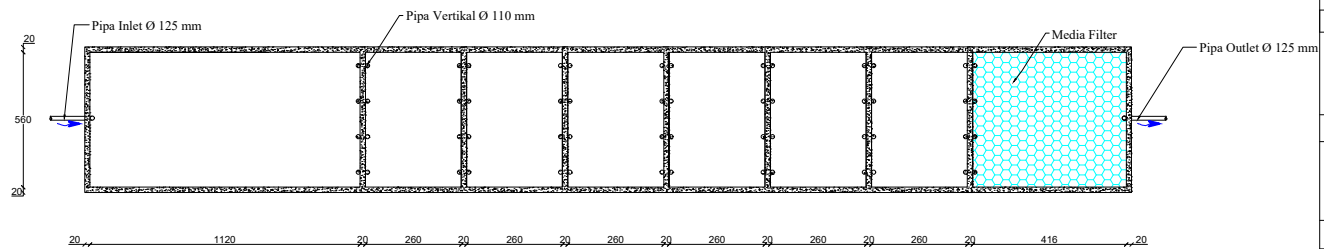
Judul Gambar

Detail Potongan B-B
Sumur Pengumpul

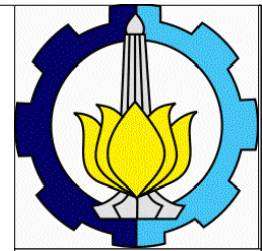
Skala	No Gambar
1 : 100	14



DENAH ABR & AF



DENAH ABR & AF TANPA TUTUP



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda



Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

Dosen Pembimbing

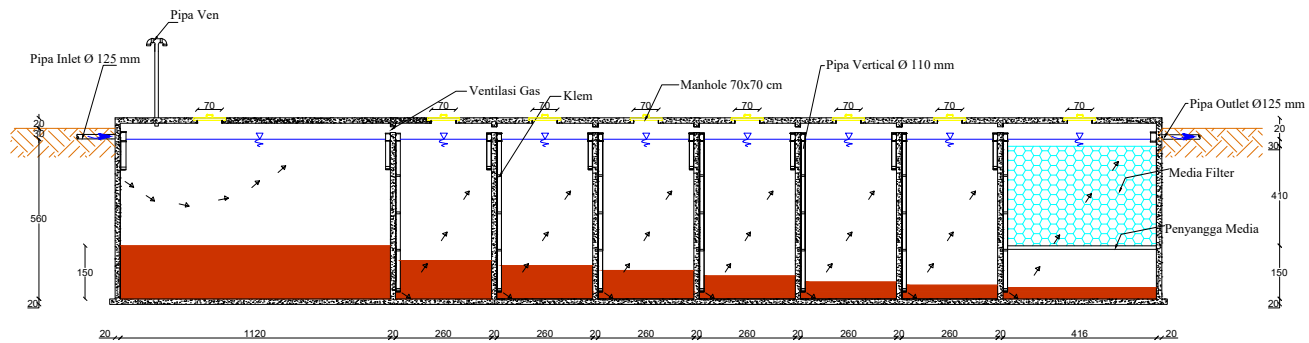
Bieby Vojant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

Judul Gambar

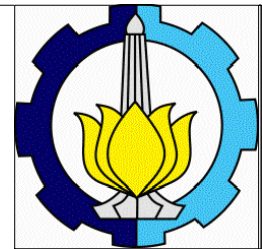
Denah ABR & AF

Skala	No Gambar
-------	-----------

1 : 100	15
---------	----



POTONGAN A-A ABR & AF



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumiharian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda



Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

Dosen Pembimbing

Bieby Voijant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

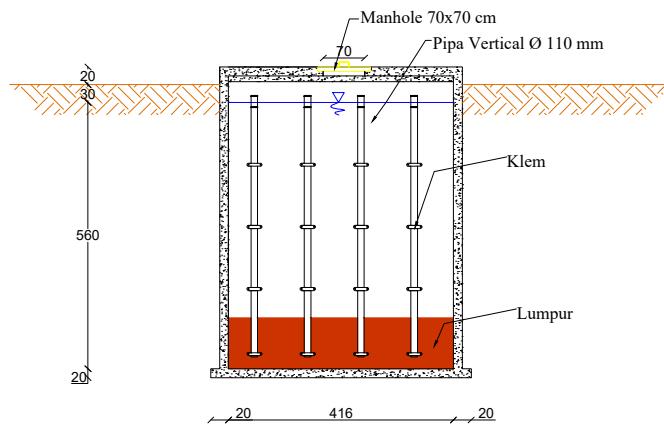
Judul Gambar

Detail Potongan A-A
ABR & AF

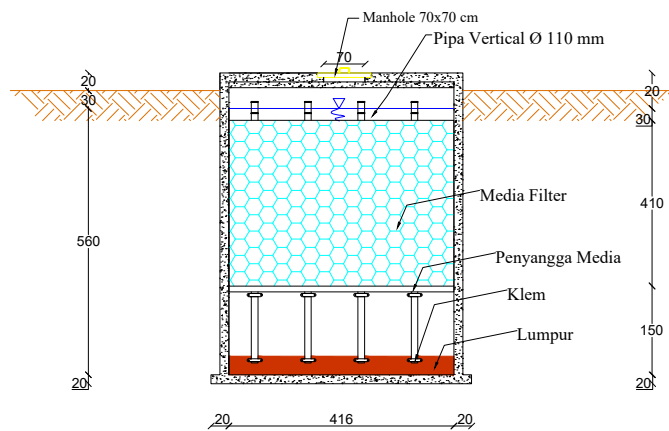
Skala No Gambar

1 : 100

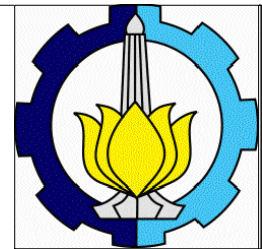
16



POTONGAN B-B ABR & AF



POTONGAN C-C ABR & AF



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda



Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

Dosen Pembimbing

Bieby Voiyant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

Judul Gambar

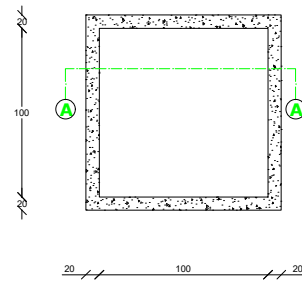
Detail Potongan B-B dan C-C
ABR & AF

Skala

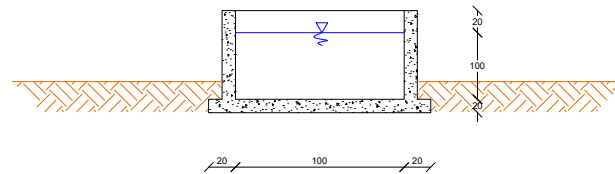
No Gambar

1 : 10

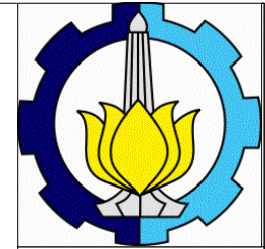
17



DENAH BAK PENYEDUH KAPORIT



POTONGAN A-A BAK PENYEDUH KAPORIT



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda



Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

Dosen Pembimbing

Bieby Vojant Tangahu, ST., MT.,
Ph.D.

Judul Gambar

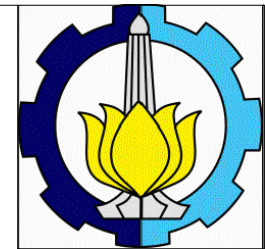
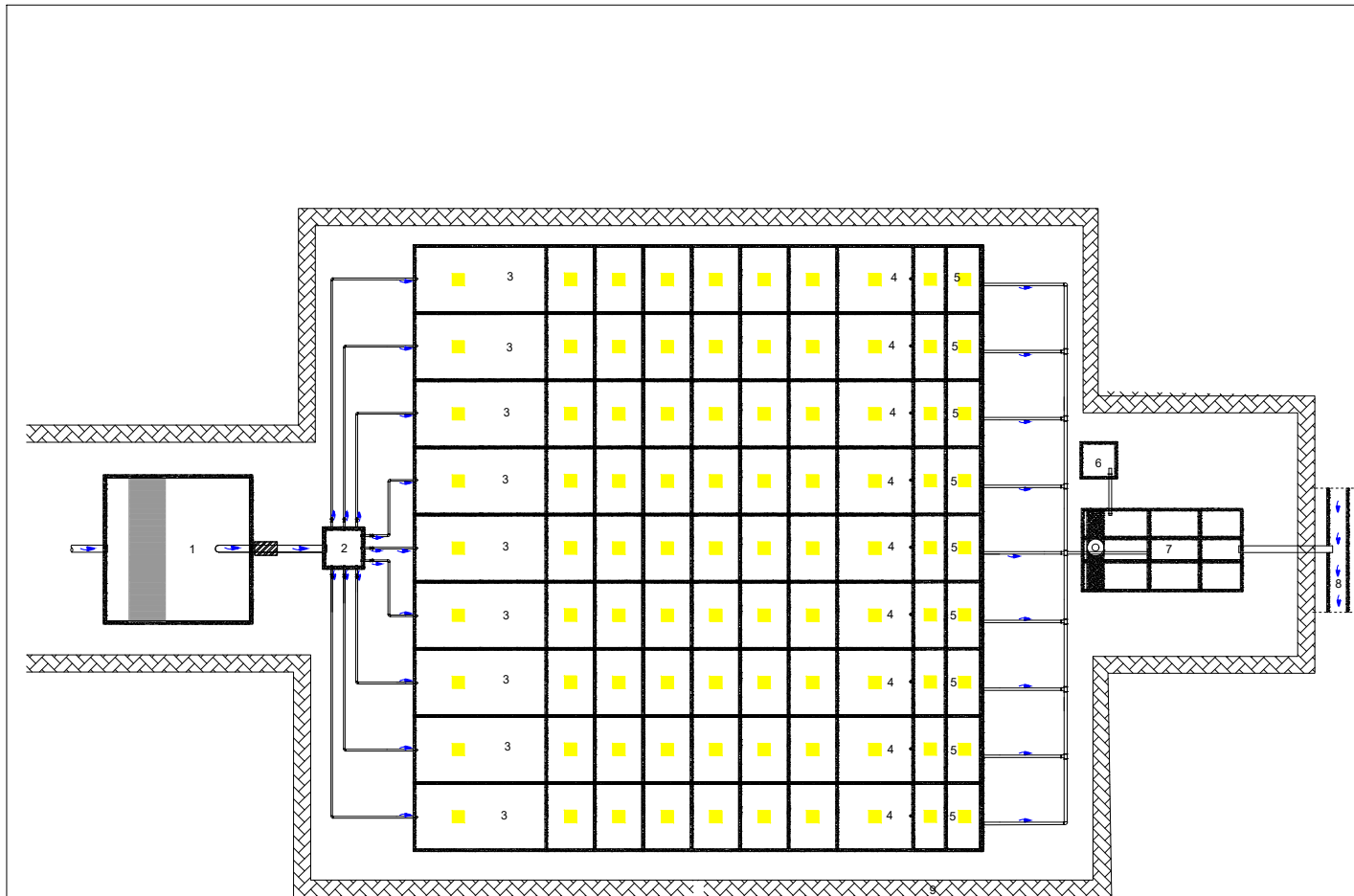
Denah dan Detail Potongan A-A
Bak Penyeduh Kaporit

Skala

1 : 10

No Gambar

18



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda

1. Sumur Pengumpul
2. Bak Distribusi
3. Anaerobic Baffled Reactor
4. Anaerobic Filter
5. Aerobic Biofilter
6. Bak Pembunuh Kaporit
7. Bak Kontak
8. Badan Air
9. Paving Block

Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

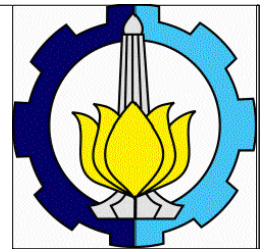
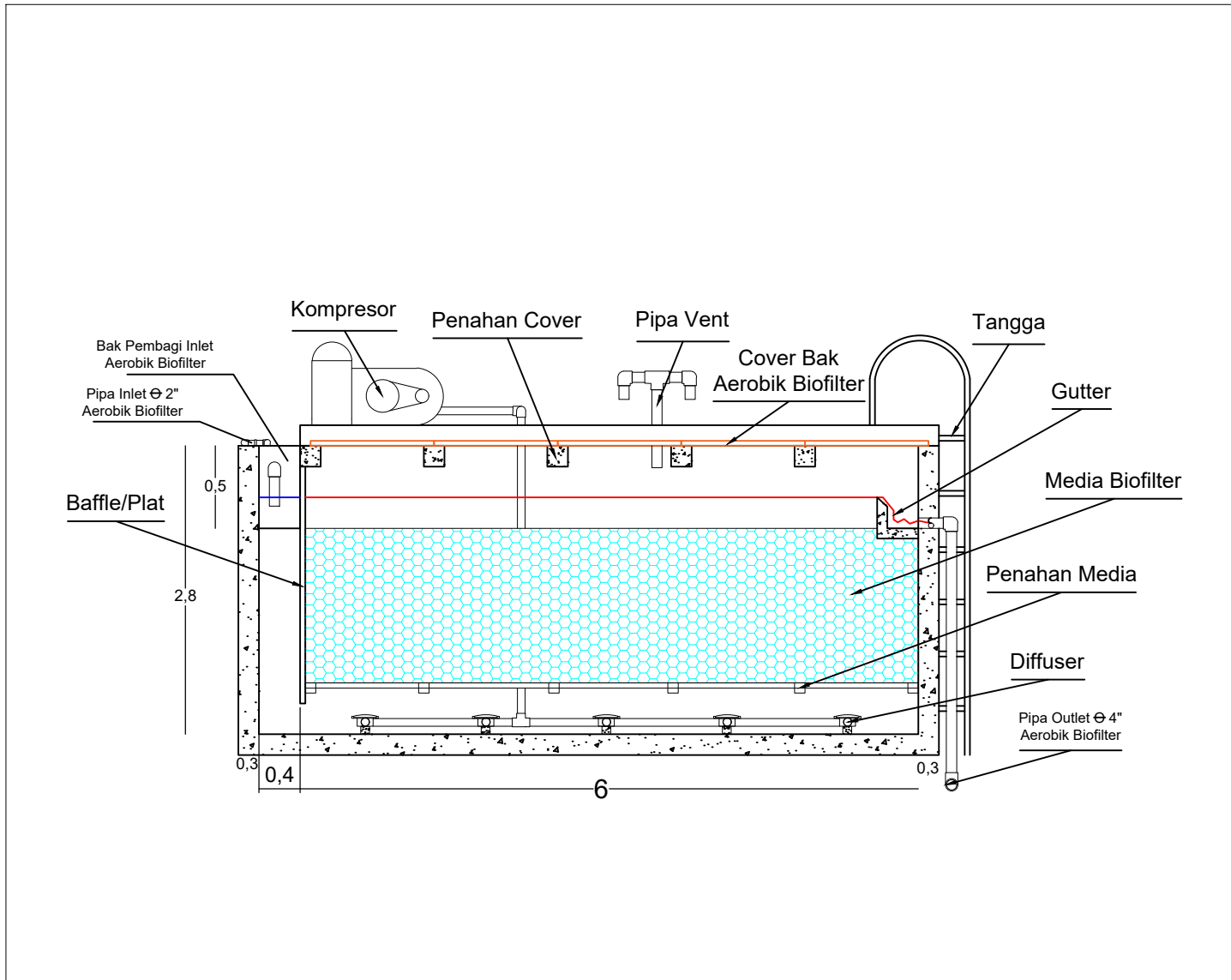
Dosen Pembimbing

Bieby Vojant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

Judul Gambar

Layout IPAL

Skala	No Gambar
1 : 100	19



Judul Tugas
 Tugas Akhir
 Perencanaan
 Departemen
 Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumiharan
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2019

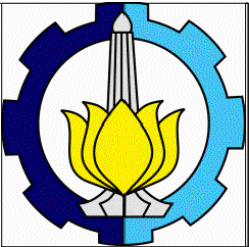
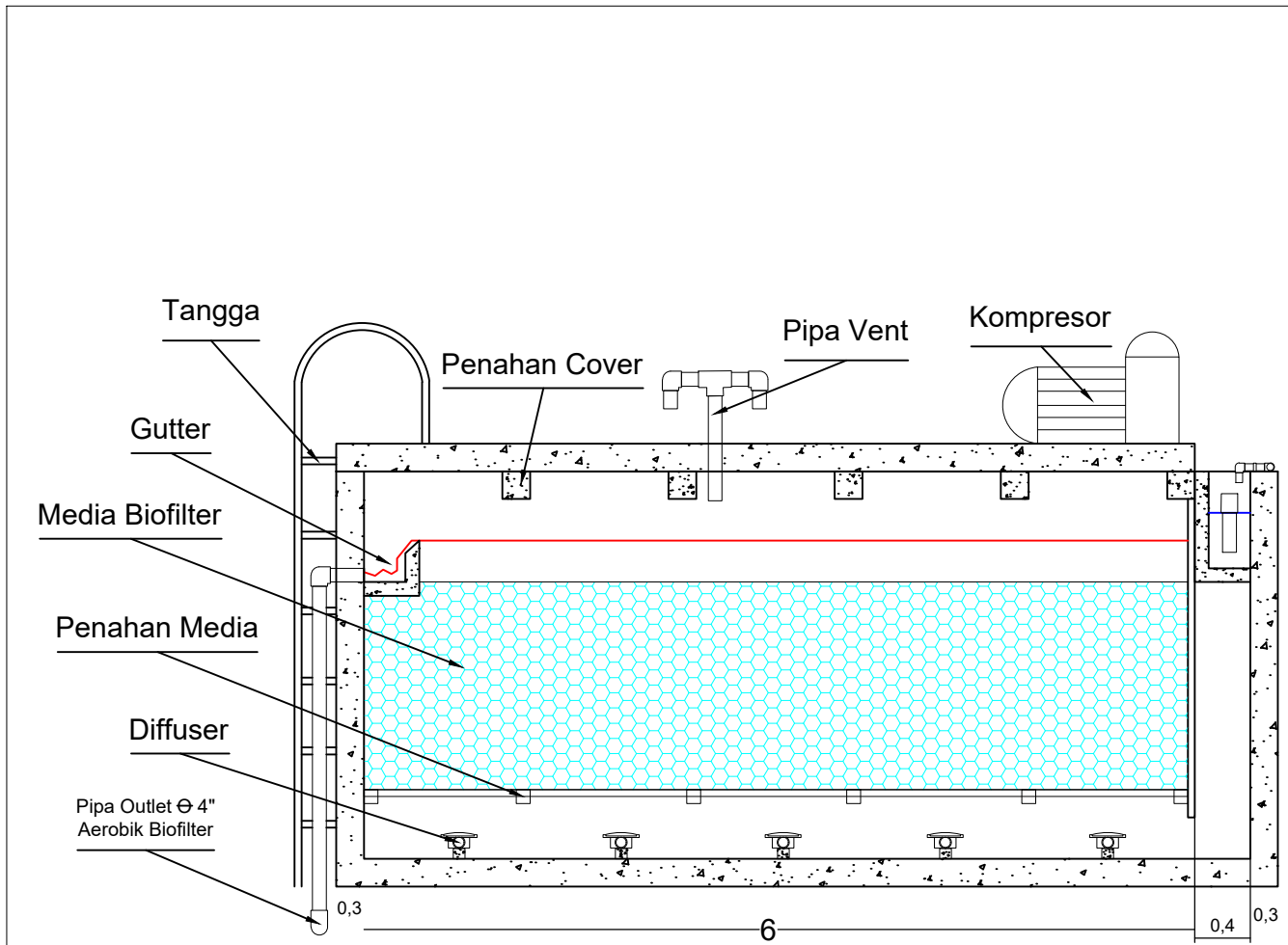
Legenda

	Beton		Tanah
	Manhole		Media Filter
	Permukaan Air		Lumpur

Drafter
 Yogie Rantetoding Sumule
 0321144000051
 Dosen Pembimbing
 Bieby Voijsant Tangahu, ST.,
 MT., Ph.D.

Judul Gambar
 Potongan A-A Aerobik Biofilter

Skala	No Gambar
1:100	21



Judul Tugas
 Tugas Akhir
 Perencanaan
 Departemen
 Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2019

Legenda

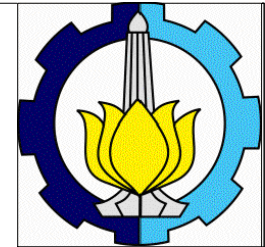
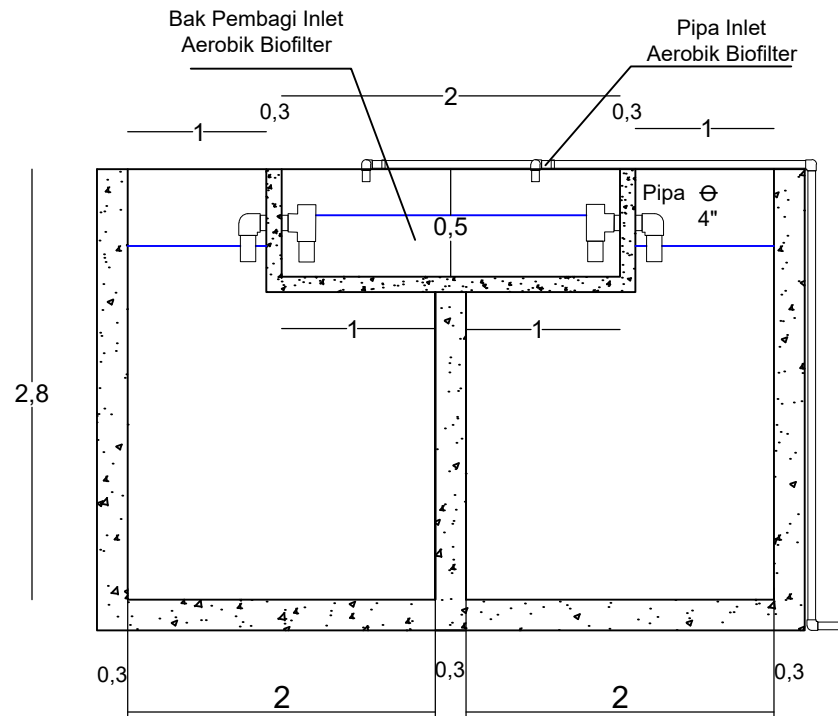
Beton	Tanah
Manhole	Media Filter
Permukaan Air	Lumpur

Drafter
 Yogie Rantetoding Sumule
 0321144000051

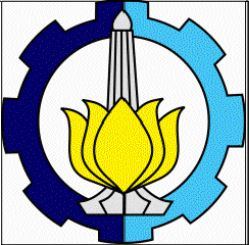
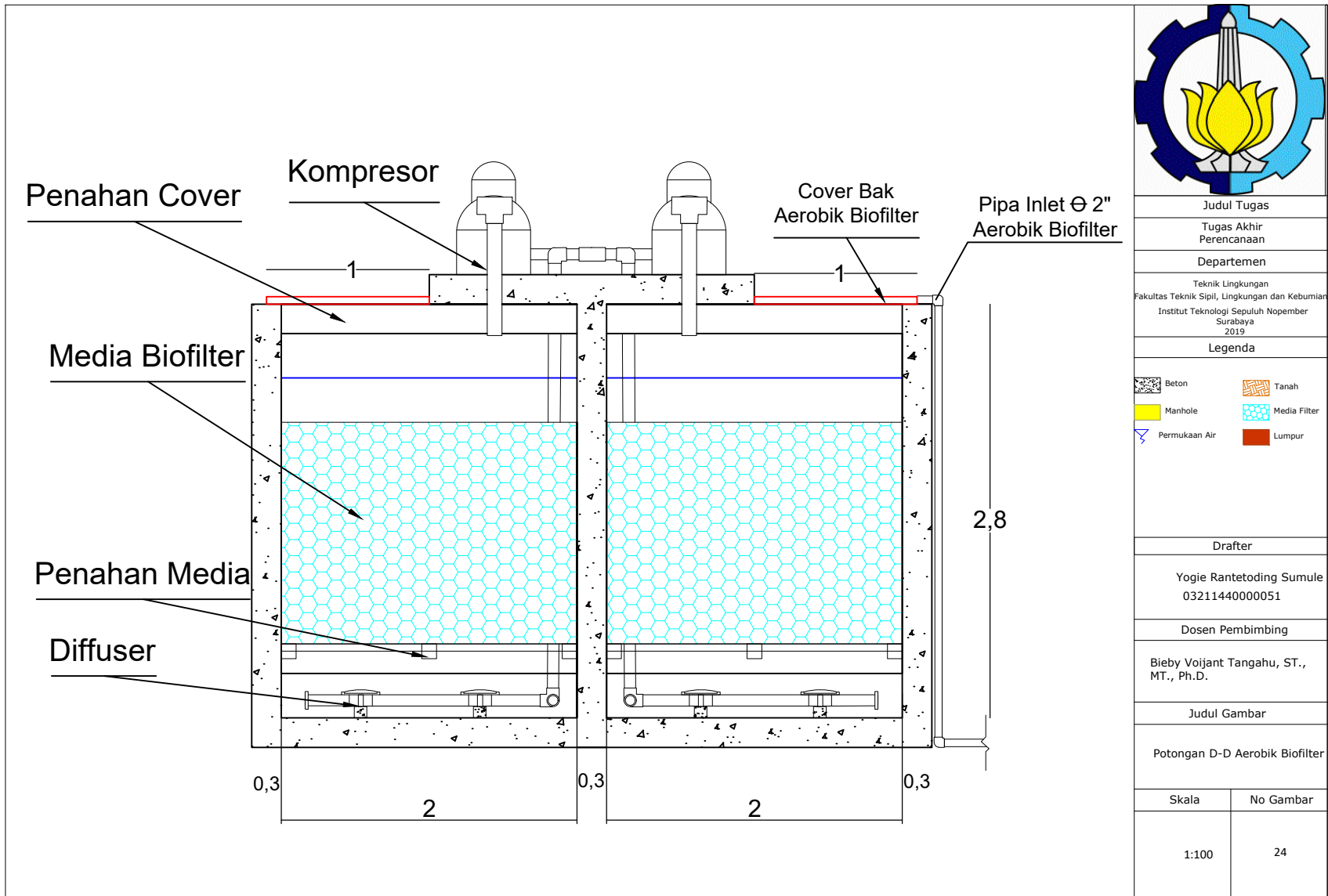
Dosen Pembimbing
 Bieby Vojant Tangahu, ST.,
 MT., Ph.D.

Judul Gambar
 Potongan B-B Aerobik Biofilter

Skala	No Gambar
1:100	22



Judul Tugas	
Tugas Akhir Perencanaan	
Departemen	
Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2019	
Legenda	
Beton	Tanah
Manhole	Media Filter
Permukaan Air	Lumpur
Drafter	
Yogie Rantetoding Sumule 0321144000051	
Dosen Pembimbing	
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D.	
Judul Gambar	
Potongan C-C Aerobik Biofilter	
Skala	No Gambar
1:100	23



Judul Tugas
 Tugas Akhir
 Perencanaan
 Departemen
 Teknik Lingkungan
 Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
 Institut Teknologi Sepuluh Nopember
 Surabaya
 2019

Legenda

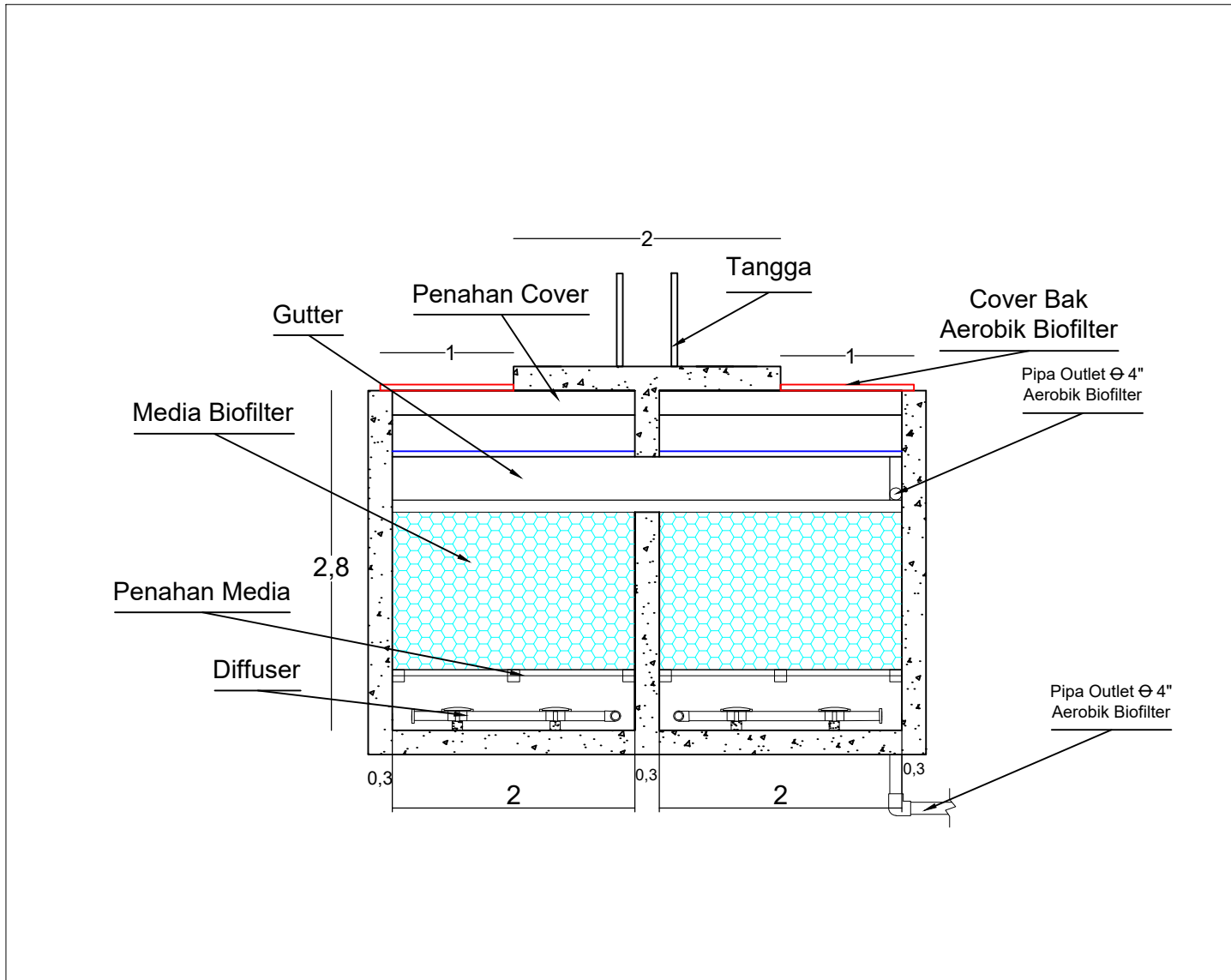
	Beton		Tanah
	Manhole		Media Filter
	Permukaan Air		Lumpur

Drafter
 Yogie Rantetoding Sumule
 0321144000051

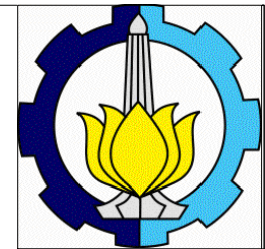
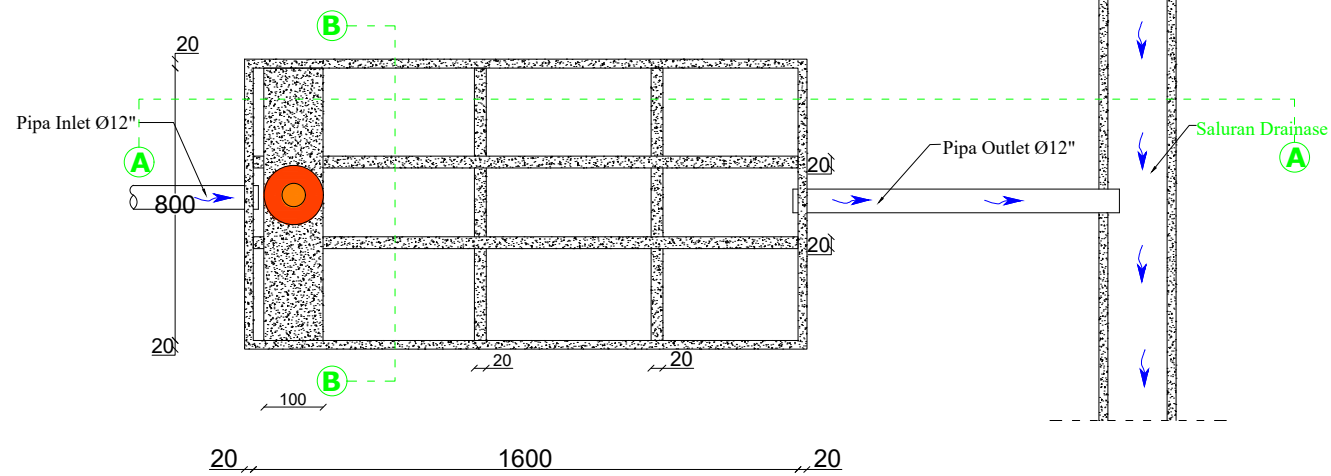
Dosen Pembimbing
 Bieby Voijsant Tangahu, ST.,
 MT., Ph.D.

Judul Gambar
 Potongan D-D Aerobik Biofilter

Skala	No Gambar
1:100	24



	
Judul Tugas	
Tugas Akhir Perencanaan	
Departemen	
Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2019	
Legenda	
 Beton	 Tanah
 Manhole	 Media Filter
 Permukaan Air	 Lumpur
Drafter	
Yogie Rantetoding Sumule 0321144000051	
Dosen Pembimbing	
Bieby Voiyant Tangahu, ST., MT., Ph.D.	
Judul Gambar	
Potongan E-E Aerobik Biofilter	
Skala	No Gambar
1:100	25



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda

 Beton

Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

Dosen Pembimbing

Bieby Voijant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

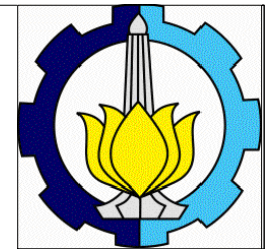
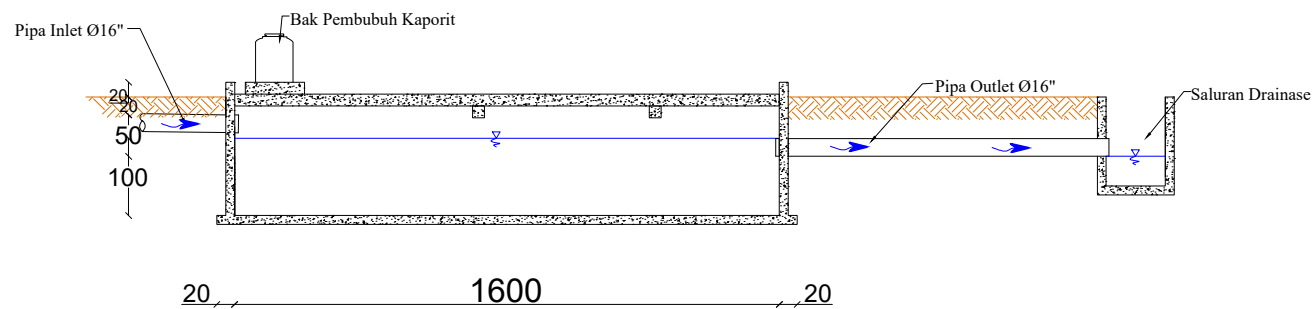
Judul Gambar

Denah Bak Kontak

Skala	No Gambar
-------	-----------

1 : 100

26



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda



Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

Dosen Pembimbing

Bieby Vojjant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

Judul Gambar

Detail Potongan A-A Bak Kontak

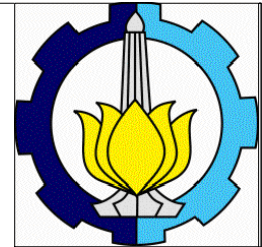
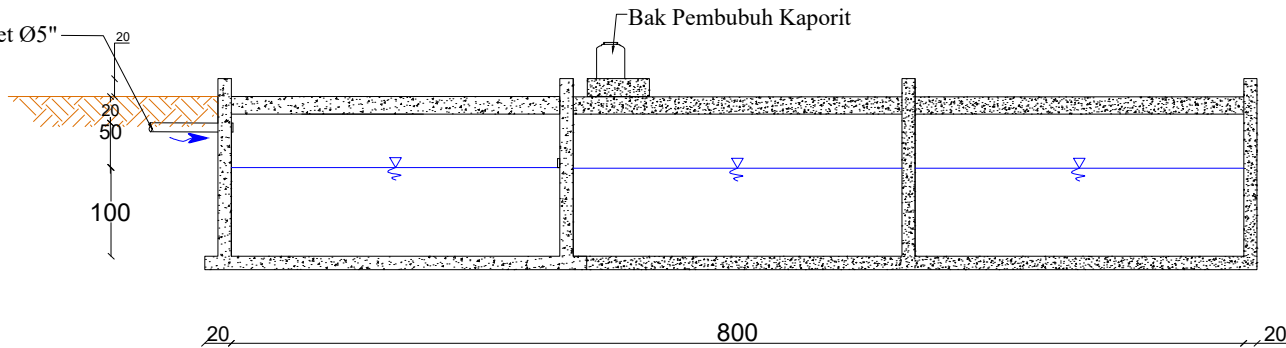
Skala

No Gambar

1 : 100

27

Pipa Inlet Ø5"



Judul Tugas

Tugas Akhir
Perencanaan

Departemen

Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumih
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019

Legenda



Beton



Tanah



Permukaan Air

Drafter

Yogie Rantetoding Sumule
0321144000051

Dosen Pembimbing

Bieby Voijant Tangahu, ST.,
MT., Ph.D.

Judul Gambar

Detail Potongan B-B Bak Kontak

Skala

No Gambar

1 : 100

28

