



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PERENCANAAN PENGELOLAAN  
AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN  
KARAH DAN SIWALANKERTO  
DI KAWASAN SURABAYA SELATAN**

OSTRY MEILISA PURBA  
0321134000039

DOSEN PEMBIMBING  
Welly Herumurti, ST., M.Sc.

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



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PERENCANAAN PENGELOLAAN  
AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN  
KARAH DAN SIWALANKERTO  
DI KAWASAN SURABAYA SELATAN**

**OSTRY MEILISA PURBA  
0321134000039**

**DOSEN PEMBIMBING  
Welly Herumurti, ST., M.Sc.**

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



**FINAL PROJECT - RE 141581**  
**DOMESTIC WASTEWATER MANAGEMENT OF**  
**KARAH AND SIWALANKERTO VILLAGE**  
**IN SOUTH SURABAYA AREA**

**OSTRY MEILISA PURBA**  
**0321134000039**

**SUPERVISOR**  
**Welly Herumurti, ST., M.Sc.**

**DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING**  
**Faculty of Civil Engineering, Environment, and Earth**  
**Institute of Technology Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2018**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

#### 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 :

**OSTRY MEILISA PURBA**  
NRP. 03211340000039

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Welly Herumurti, S.T., M.Sc.  
NIP. 19811223 200604 1 001



## RINGKASAN

Pada Kelurahan Karah dan Siwalankerto belum ada bangunan pengolahan air limbah atau IPAL komunal. Air limbah domestik berupa *black water* setelah masuk ke tangki septik langsung dibuang ke badan air, namun belum memenuhi standar baku mutu yang berlaku. Begitu pula dengan air limbah berupa *grey water* langsung dibuang ke saluran drainase tanpa adanya pengolahan khusus pada air limbah tersebut. Salah satu prioritas dari SDGs (*Sustainable Development Goals*) adalah mewujudkan sanitasi lingkungan yang baik dengan melakukan pengolahan air limbah domestik yang sesuai dengan standar nasional yang berlaku. Tujuan dari perencanaan ini adalah membuat desain SPAL dan IPAL dengan menggunakan kombinasi ABR dan *Aerobic Biofilter* di Kelurahan Karah dan Siwalankerto dimana Rusun Jambangan dan Siwalankerto juga masuk dalam pelayanan IPAL tersebut.

Tahapan perencanaan dimulai dari perizinan, survey lokasi, pengumpulan data, studi literatur, pengolahan data, pembahasan, serta penarikan kesimpulan. Data primer diperoleh dari observasi lapangan serta pengambilan sampel di IPAL Bendul Merisi Jaya Kecamatan Wonocolo. Data sekunder diperoleh dari PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah Kota Surabaya, Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya, Dinas PU Tata Ruang Kota Surabaya, Dinas Bina Marga dan Pematusan Kota Surabaya, Kantor Kelurahan Karah dan siwalankerto, serta Dinas Kesehatan Kota Surabaya.

Perencanaan SPAL dan IPAL dibagi menjadi 3 *cluster*. Dari aspek teknis diperoleh debit air limbah rata-rata *Cluster 1*, *Cluster 2*, dan *Cluster 3* berturut-turut sebesar 2659,6 m<sup>3</sup>/hari, 1126,4 m<sup>3</sup>/hari, dan 1699,7 m<sup>3</sup>/hari. IPAL untuk ketiga *cluster* menggunakan *Anaerobic Baffled Reactor (ABR)* dan *Aerobic Biofilter* sebagai pengolahan utama. Pada *Cluster 1* ABR terdiri atas 6 unit yang disusun secara paralel dengan dimensi yang

sama. Sedangkan pada *Cluster* 2 dan 3 berturut-turut terdiri atas 4 dan 5 unit paralel. Kualitas akhir pengolahan IPAL sudah memenuhi standar baku mutu Pergub Jatim No.72 Tahun 2013 dan Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Dari aspek finansial, total biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan SPAL dan IPAL secara berturut-turut pada *Cluster* 1, 2, dan 3 adalah Rp 25.900.000.000, Rp 16.590.000.000, dan Rp 17.890.000.000.

**Kata Kunci: Air Limbah Domestik, SPAL, IPAL, ABR, *Aerobic Biofilter*, Aspek Teknis, Aspek Finansial, Kelurahan Karah, Kelurahan Siwalankerto, Surabaya Selatan.**

**DOMESTIC WASTEWATER MANAGEMENT OF  
KARAH AND SIWALANKERTO VILLAGE  
IN SOUTH SURABAYA AREA**

Name : Ostry Meilisa Purba  
NRP : 0321134000039  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**SUMMARY**

At the Karah and Siwalankerto village, there is no building wastewater treatment or communal WWTP. Domestic wastewater in the form of blackwater after entering the septic tank directly discharged into the drainage channel, but not according to the quality standard. Similarly, the waste water in the form of greywater directly discharged into the drainage channel without special treatment on the waste water. One of the priorities of SDGs (Sustainable Development Goals) is to realize good environmental sanitation by conducting domestic wastewater treatment in accordance with applicable national standards. The purpose of this plan is to design collection waste water and WWTP by using combination of ABR and Aerobic Biofilter in Karah and Siwalankerto village.

Stages of planning starts from licensing, site survey, data collection, literature study, data processing, discussion, and conclusion. Primary data was obtained from field observation and sampling at Bendul Merisi Jaya WWTP, Wonocolo District. Secondary data is obtained from PDAM Surya Sembada Surabaya, Surabaya City Building Management and Land Agency, Surabaya City Environment Agency, Surabaya City Planning Agency, related agency namely Bina Marga dan Pematusan Surabaya City Office, Karah and Siwalankerto Village Office, and Surabaya City Health Office.

Waste water collection and WWTP planning are divided into 3 clusters. From the technical aspect, the average waste water discharge of Cluster 1, 2, and 3 is 2659,6 m<sup>3</sup>/day, 1126,4 m<sup>3</sup>/day and 1699,7 m<sup>3</sup>/day. WWTP for all three clusters using Anaerobic Baffled Reactor (ABR) and Aerobic Biofilter as the main treatment. In Cluster 1 the ABR consist of 6 units arranged in parallel with the same dimensions. While Cluster 2 and 3 consist of 4 and 5 parallel units. The final quality of WWTP processing has fulfilled the standard quality of East Java Governor's Regulation No.72 of 2013 and the Regulation of LHK No. 68 of 2016. From the financial aspects, the total costs required in the construction of waste water collection and WWTP in Cluster 1, 2, and 3 are 25.900.000.000, Rp 16.590.000.000, and Rp 17.890.000.000.

**Keywords: Domestic Wastewater, Collection Wastewater, WWTP, Anaerobic Baffled Reactor, Aerobic Biofilter, Technical Aspects, Financial Aspects, Karah Village, Siwalankerto Village, South Surabaya.**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmatNya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas akhir dengan judul **“Perencanaan Pengelolaan Air Limbah Domestik Kelurahan Karah dan Siwalankerto di Kawasan Surabaya Selatan”** dapat terselesaikan dengan baik. Banyak kendala yang dialami oleh penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Namun, dapat teratasi dengan segenap bantuan, arahan, motivasi, dan doa dari segenap pihak.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah menyempatkan waktu memberikan bimbingan, arahan, dan masukan dalam penyusunan laporan ini.
2. Ibu Dr.Ir. Ellina Pandebesie, M.T., Bapak Dr.Ir. Mohammad Razif, M.M., Bapak Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., Mphil., Ph.D., serta Ibu Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pengarah yang telah banyak memberi saran dan arahan dalam penyusunan laporan ini.
3. Orangtua, saudara, serta keluarga yang telah memberikan doa, semangat serta menjadi motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah Kota Surabaya, PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, Dinas Bina Marga dan Pematuan Kota Surabaya, Kelurahan Karah dan Siwalankerto, serta Dinas Kesehatan Kota Surabaya yang telah membantu penulis untuk memperoleh data yang diperlukan dalam penyusunan laporan ini.
5. Gresela Sitorus, Febe Panjaitan, Frans Simanjuntak, dan Gideon Siburian yang telah membantu penulis dalam melakukan survey lapangan serta memberikan semangat bagi penulis.

6. Teman-teman angkatan 2013 dan 2014 Teknik Lingkungan FTSLK ITS yang sudah memberikan masukan dan motivasi bagi penulis.
7. Pihak-pihak lain yang terkait yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi terkait perencanaan SPAL dan IPAL.

Surabaya, 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>RINGKASAN</b> .....	<b>i</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Ruang Lingkup .....	4
1.5 Manfaat.....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Air Limbah Domestik .....	7
2.1.1 Definisi Air Limbah Domestik.....	7
2.1.2 Karakteristik Air Limbah Domestik.....	7
2.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik .....	9
2.3 Debit Air Limbah .....	10
2.4 Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) .....	12
2.4.1 <i>Shallow Sewer</i> (Sistem Riol Dangkal).....	13
2.4.2 Ketentuan Teknis Sistem Penyaluran Air Limbah ...	14
2.4.3 Bangunan Pelengkap .....	16
2.5 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).....	17
2.5.1 Proses Pengolahan Secara Anaerobik .....	17
2.5.2 Proses Pengolahan Secara Aerobik .....	18
2.5.3 <i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i> .....	19
2.5.4 <i>Aerobic Biofilter (AF)</i> .....	25
<b>BAB 3 METODE PERENCANAAN</b> .....	<b>29</b>
3.1 Kerangka Perencanaan.....	29
3.2 Tahapan Perencanaan .....	31
3.2.1 Ide Perencanaan .....	31
3.2.2 Perizinan.....	32

3.2.3	Survey Lokasi .....	32
3.2.4	Pengumpulan Data Primer dan Sekunder.....	33
3.2.5	Studi Literatur .....	34
3.2.6	Pengolahan Data dan Pembahasan .....	35
2.2.7	Kesimpulan dan Saran .....	43
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>45</b>
4.1	Gambaran Umum Lokasi Perencanaan .....	45
4.1.1	Lokasi Perencanaan I.....	45
4.1.2	Lokasi Perencanaan II.....	47
4.1.3	Kondisi Sanitasi wilayah Perencanaan .....	48
4.1.4	Lokasi perencanaan IPAL .....	49
4.2	Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) .....	52
4.2.1	Daerah Pelayanan .....	52
4.2.2	Debit Pemakaian Air Bersih.....	54
4.2.3	Pembebanan Saluran Air Limbah.....	61
4.2.4	Dimensi Pipa Air Limbah .....	73
4.2.5	Penanaman Pipa Air Limbah.....	103
4.2.6	Bangunan Pelengkap .....	109
4.3	Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).....	115
4.3.1	Kuantitas Air Limbah .....	115
4.3.2	Karakteristik Air Limbah.....	116
4.4	Perhitungan IPAL <i>Cluster</i> 1 .....	117
4.4.1	<i>Grease Trap</i> .....	117
4.4.2	Sumur Pengumpul <i>Cluster</i> 1 .....	117
4.4.3	<i>Distribution Box Cluster</i> 1 .....	122
4.4.4	<i>ABR Cluster</i> 1 .....	123
4.4.5	<i>Aerobic Biofilter Cluster</i> 1 .....	141
4.4.6	Desinfeksi <i>Cluster</i> 1 .....	149
4.4.7	Profil Hidrolis IPAL <i>Cluster</i> 1 .....	152
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>165</b>
5.1	Kesimpulan .....	165
5.2	Saran .....	166
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>167</b>
<b>LAMPIRAN A .....</b>		<b>173</b>

4.5	Perhitungan IPAL <i>Cluster 2</i> .....	173
4.5.1	<i>Grease Trap</i> .....	173
4.5.2	Sumur Pengumpul <i>Cluster 2</i> .....	173
4.5.3	<i>Distribution Box Cluster 2</i> .....	178
4.5.4	<i>ABR Cluster 2</i> .....	179
4.5.5	<i>Aerobic Biofilter Cluster 2</i> .....	197
4.5.6	Desinfeksi <i>Cluster 2</i> .....	205
4.5.7	Profil Hidrolis IPAL <i>Cluster 2</i> .....	208
4.6	Perhitungan IPAL <i>Cluster 3</i> .....	217
4.6.1	<i>Grease Trap</i> .....	217
4.6.2	Sumur Pengumpul <i>Cluster 3</i> .....	218
4.6.3	<i>Distribution Box Cluster 3</i> .....	222
4.6.4	<i>ABR Cluster 3</i> .....	223
4.6.5	<i>Aerobic Biofilter Cluster 3</i> .....	241
4.6.6	Desinfeksi <i>Cluster 3</i> .....	249
4.6.7	Profil Hidrolis IPAL <i>Cluster 3</i> .....	253
<b>BIOGRAFI PENULIS .....</b>		<b>263</b>

**“Halaman Sengaja Dikosongkan”**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Average Infiltration Allowance</i> .....	11
Gambar 2.2 <i>Peak Infiltration Allowance</i> .....	12
Gambar 2.3 <i>Hydraulic Elements for Circular Sewer</i> .....	15
Gambar 2.4 <i>Anaerobic Baffled Reactor (ABR)</i> .....	20
Gambar 2.5 <i>Aerobic Biofilter</i> .....	25
Gambar 3.1 Kerangka Perencanaan.....	31
Gambar 4.1 Wilayah Kelurahan Karah.....	45
Gambar 4.2 Kondisi Jalan di Kelurahan Karah .....	46
Gambar 4.3 Bangunan Rusun Jambangan .....	46
Gambar 4.4 Wilayah Kelurahan Siwalankerto.....	47
Gambar 4.5 Kondisi Jalan di Kelurahan Siwalankerto .....	48
Gambar 4.6 Bangunan Rusun Siwalankerto .....	48
Gambar 4.7 Lokasi Perencanaan IPAL <i>Cluster 1</i> .....	49
Gambar 4.8 Lokasi Perencanaan IPAL <i>Cluster 2</i> .....	50
Gambar 4.9 Lokasi Perencanaan IPAL <i>Cluster 3</i> .....	50
Gambar 4.10 Kondisi Pipa.....	85
Gambar 4.11 Pompa <i>Submersible Ebara</i> .....	121
Gambar 4.12 Pompa <i>Submersible Ebara</i> .....	177
Gambar 4.13 Pompa <i>Submersible Ebara</i> .....	222

**“Halaman Sengaja Dikosongkan”**



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik .....	10
Tabel 2.2 Jarak antar <i>Manhole</i> .....	16
Tabel 2.3 Beban Volumetrik untuk <i>Biological Aerated Filters</i> .....	26
Tabel 3.1 Metode Analisis Sampel Air Limbah.....	34
Tabel 3.2 Efisiensi Removal ABR + <i>Aerobic Biofilter</i> .....	36
Tabel 3.3 Efisiensi Removal ABR + <i>constructed Wetland</i> .....	37
Tabel 3.4 Nilai a dan b untuk % Removal TSS dan BOD .....	40
Tabel 4.1 Hasil Uji Laboratorium IPAL Rusun Surabaya .....	51
Tabel 4.2 Jumlah Penduduk Terlayani.....	52
Tabel 4.3 Pembagian <i>Cluster</i> pada Lokasi Perencanaan.....	54
Tabel 4.4 Debit Pemakaian Air Bersih Kelurahan Karah .....	55
Tabel 4.5 Debit Pemakaian Air Bersih Kelurahan Siwalankerto .....	57
Tabel 4.6 Debit Pemakaian Air Bersih Rumah Susun .....	59
Tabel 4.7 Debit Air Limbah Rumah Susun .....	61
Tabel 4.8 Pembebanan Saluran <i>Cluster 1</i> .....	65
Tabel 4.9 Pembebanan Saluran <i>Cluster 2</i> .....	68
Tabel 4.10 Pembebanan Saluran <i>Cluster 3</i> .....	70
Tabel 4.11 Daftar Ukuran Pipa .....	75
Tabel 4.12 Diameter Pipa Air Limbah <i>Cluster 1</i> .....	77
Tabel 4.13 Diameter Pipa Air Limbah <i>Cluster 2</i> .....	80
Tabel 4.14 Diameter Pipa Air Limbah <i>Cluster 3</i> .....	82
Tabel 4.15 <i>Slope</i> Pipa Berdasarkan $V_{\text{minimum}}$ <i>Cluster 1</i> .....	87
Tabel 4.16 <i>Slope</i> Pipa Berdasarkan $V_{\text{minimum}}$ <i>Cluster 2</i> .....	88
Tabel 4.17 <i>Slope</i> Pipa Berdasarkan $V_{\text{minimum}}$ <i>Cluster 3</i> .....	89
Tabel 4.18 <i>Slope</i> Pipa Berdasarkan $V_{\text{peak}}$ <i>Cluster 1</i> .....	93
Tabel 4.19 <i>Slope</i> Pipa Berdasarkan $V_{\text{peak}}$ <i>Cluster 2</i> .....	94
Tabel 4.20 <i>Slope</i> Pipa Berdasarkan $V_{\text{peak}}$ <i>Cluster 3</i> .....	95
Tabel 4.21 Hasil Cek Kriteria Desain Pipa SPAL <i>Cluster 1</i> .....	99
Tabel 4.22 Hasil Cek Kriteria Desain Pipa SPAL <i>Cluster 2</i> .....	100
Tabel 4.23 Hasil Cek Kriteria Desain Pipa SPAL <i>Cluster 3</i> .....	101
Tabel 4.24 Penanaman Pipa Air Limbah <i>Cluster 1</i> .....	105
Tabel 4.25 Penanaman Pipa Air Limbah <i>Cluster 2</i> .....	106

Tabel 4.26 Penanaman Pipa Air Limbah <i>Cluster 3</i> .....	107
Tabel 4.27 <i>Manhole</i> pada Pipa Air Limbah <i>Cluster 1</i> .....	111
Tabel 4.28 <i>Manhole</i> pada Pipa Air Limbah <i>Cluster 2</i> .....	112
Tabel 4.29 <i>Manhole</i> pada Pipa Air Limbah <i>Cluster 3</i> .....	113
Tabel 4.30 Karakteristik Air Limbah .....	116
Tabel 4.31 Efisiensi Kompartemen I ABR <i>Cluster 1</i> .....	129
Tabel 4.32 Efisiensi ABR <i>Cluster 1</i> .....	137
Tabel 4.33 Efisiensi <i>Aerobic Biofilter Cluster 1</i> .....	145
Tabel 4.34 Profil Hidrolis IPAL <i>Cluster 1</i> .....	160
Tabel 4.35 Rangkuman Perhitungan SPAL dan IPAL .....	162
Tabel 4.36 Efisiensi Kompartemen I ABR <i>Cluster 2</i> .....	185
Tabel 4.37 Efisiensi ABR <i>Cluster 2</i> .....	193
Tabel 4.38 Efisiensi <i>Aerobic Biofilter Cluster 2</i> .....	201
Tabel 4.39 Profil Hidrolis IPAL <i>Cluster 2</i> .....	216
Tabel 4.40 Efisiensi Kompartemen I ABR <i>Cluster 3</i> .....	230
Tabel 4.41 Efisiensi ABR <i>Cluster 3</i> .....	238
Tabel 4.42 Efisiensi <i>Aerobic Biofilter Cluster 3</i> .....	245
Tabel 4.43 Profil Hidrolis IPAL <i>Cluster 3</i> .....	260

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Hampir seluruh rumah di kawasan Surabaya Selatan tepatnya di daerah Kelurahan Karah dan Siwalankerto telah memiliki jamban pribadi dan sudah dilengkapi dengan tangki septik. Hal tersebut dinyatakan oleh pihak Dinas Kesehatan Kota Surabaya. Namun, pada daerah ini belum ada bangunan pengolahan air limbah atau IPAL komunal. Air limbah domestik berupa *black water* setelah masuk ke tangki septik langsung dibuang ke badan air. Sedangkan air limbah berupa *grey water* langsung dibuang ke saluran drainase tanpa adanya pengolahan khusus pada air limbah tersebut.

Pembuangan air limbah tanpa proses pengolahan akan mengakibatkan pencemaran lingkungan baik air permukaan maupun air tanah. Sebagai gambaran, buangan air limbah dari permukiman disekitar bantaran Kali Surabaya memberikan kontribusi cukup tinggi sebesar 60 persen terhadap penurunan kualitas air di Kali Surabaya karena air limbah dibuang begitu saja tanpa didahului oleh pengolahan. Pencemaran yang terjadi di badan air ini dapat menimbulkan penyakit bawaan air (*water born diseases*) (Fatnasari dan Hermana, 2010).

Tidak hanya pada permukiman penduduk, masalah yang sama terjadi pada rumah susun di Kawasan Surabaya Selatan. Dalam perkembangannya rumah susun mengalami berbagai permasalahan, salah satu permasalahan tersebut adalah aspek sanitasi. Sanitasi yang tidak baik akan menyebabkan penurunan kualitas lingkungan yang ada di sekitar rusun. Menurut Tarigan (2017), permasalahan yang dapat terjadi pada aspek lingkungan adalah efluen air limbah yang dibuang ke lingkungan melebihi standar baku mutu air limbah.

Berdasarkan hasil wawancara dengan Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah Kota Surabaya Tahun 2018 serta observasi lapangan yang telah dilaksanakan, sudah ada pembangunan IPAL di beberapa rusun di Surabaya. Namun, masih terdapat rumah susun yang belum memiliki IPAL terutama rusun-rusun yang ada di kawasan Surabaya Selatan. Semua rumah susun yang ada di kawasan Surabaya Selatan hanya menggunakan tangki septik untuk mengolah air limbah berupa *black water* dan untuk *grey water* langsung dibuang ke badan air. Sedangkan, peraturan pemerintah mengenai air limbah domestik semakin ketat. Pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 dan Permen LHK No. 68 Tahun 2016, ambang batas untuk parameter-parameter air limbah seperti TSS, BOD, COD semakin rendah, selain itu terdapat parameter tambahan berupa  $\text{NH}_3$  (amoniak). Sehingga permukiman penduduk dan rumah susun di Kawasan Surabaya Selatan membutuhkan IPAL untuk mengolah lebih lanjut air limbah domestik yang dibuang hingga memenuhi baku mutu.

Hal diatas diperkuat oleh *Millenium Development Goals* (MDGs) yang telah resmi digantikan oleh *Sustainable Development Goals* (SDGs) yang berlaku pada tahun 2015-2030. Salah satu prioritas dari SDGs ini adalah mewujudkan sanitasi lingkungan yang baik dengan melakukan pengolahan air limbah domestik yang sesuai dengan standar nasional yang berlaku (Panduan SDGs, 2015). Program ini didukung oleh Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) tahun 2015-2019 yang memiliki target 100:0:100. Arti dari angka tersebut adalah 100% pelayanan air bersih, 0% kawasan kumuh, dan 100% sanitasi yang layak.

Salah satu cara mewujudkan sanitasi yang layak adalah dengan pengelolaan air limbah yang baik. Terdapat dua aspek penting dalam pengelolaan air limbah, yaitu sistem penyaluran air limbah (SPAL) dan instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Pembangunan IPAL bertujuan dalam mengolah air limbah domestik untuk menurunkan kadar pencemar organik maupun

non-organik sehingga dapat mencegah pencemaran lingkungan oleh limbah domestik (Soewondo dan Yulianto, 2008). Sistem penyaluran air limbah harus dirancang untuk mengumpulkan semua air limbah domestik yang dihasilkan dan menyalurkannya ke unit pengolahan air limbah yang beroperasi sebelum dibuang ke badan air (Drainage Services Department, 2013).

Pada perencanaan ini akan dihasilkan rekomendasi rancangan SPAL dan IPAL yang sesuai untuk diterapkan pada Kelurahan Karah dan Siwalankerto dimana Rusun Jambangan dan Siwalankerto masuk dalam pelayanan IPAL tersebut . Alternatif IPAL yang akan diterapkan disesuaikan dengan karakteristik serta baku mutu air limbah domestik yang berlaku. Menurut Mara (2004), hal-hal yang harus diperhatikan dalam memilih alternatif pengolahan air limbah adalah aspek finansial, biaya yang murah baik dalam pembangunan, operasi dan perawatan; kemudahan dalam operasi dan perawatan; energi yang dibutuhkan; kebutuhan akan bahan kimia; serta kebutuhan lahan yang tidak luas.

Perencanaan ini mengkaji dua aspek, yaitu aspek teknis dan aspek finansial. Dari aspek teknis, perencanaan ini akan menghasilkan perhitungan dan gambar *Detail Engineering Desain* (DED) SPAL dan IPAL untuk Kelurahan Karah dan Kelurahan Siwalankerto termasuk di dalamnya Rusun Jambangan dan Siwalankerto. Sedangkan dari aspek finansial, perencanaan ini akan menghasilkan perhitungan *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dalam pembangunan pengelolaan air limbah domestik tersebut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang dikaji meliputi:

1. Bagaimana desain SPAL untuk Kelurahan Karah dan Siwalankerto?
2. Bagaimana desain IPAL untuk kelurahan Karah dan Siwalankerto?

3. Bagaimana rancangan biaya dalam pembangunan SPAL dan IPAL yang dibutuhkan?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dari perencanaan ini meliputi:

1. Merencanakan SPAL untuk diterapkan di Kelurahan Karah dan Siwalankerto.
2. Merencanakan IPAL untuk diterapkan di Kelurahan Karah dan Siwalankerto.
3. Menghitung *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dalam pembangunan SPAL dan IPAL yang dibutuhkan.

### **1.4 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup yang dikaji meliputi:

1. Karakteristik air limbah yang digunakan meliputi TSS, BOD, COD, minyak dan lemak, Amoniak, serta *Total Coliform*.
2. Lokasi Perencanaan berada di Kelurahan Karah dan Siwalankerto. Rusun Jambangan berada di wilayah Kelurahan Karah dan masuk ke dalam pelayanan IPAL. Rusun Siwalankerto berada di wilayah Kelurahan Siwalankerto dan masuk dalam pelayanan IPAL. Air limbah yang diolah berupa *efluen tangki septik* dan *grey water* dengan asumsi 80% debit pemakaian rata-rata air minum dari PDAM.
3. Baku mutu air limbah domestik mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 Tahun 2013 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 68 Tahun 2016.
4. Aspek yang akan dikaji meliputi aspek teknis dan aspek finansial.

5. Rancangan berupa SPAL dan IPAL untuk Kelurahan Karah dan Siwalankerto dimana Rusun Jambangan dan Rusun Siwalankerto termasuk di dalamnya.
6. *Bill of Quantity* (BOQ) dan Rencana Anggaran Biaya (RAB) diperoleh dari hasil *Detail Engineering Design* (DED) perencanaan.

## **1.5 Manfaat**

Adapun manfaat dari perencanaan ini meliputi:

1. Memberikan rekomendasi desain SPAL dan IPAL untuk Kelurahan Karah dan Kelurahan Siwalankerto di Kawasan Surabaya Selatan.
2. Menghasilkan efluen air limbah domestik yang sesuai dengan baku mutu yang berlaku.
3. Menjaga kualitas air tanah dan sungai karena air limbah telah diolah sebelum dibuang ke badan air sehingga tidak memberikan dampak negatif kepada masyarakat, serta melindungi ekosistem lingkungan.

**“Halaman Sengaja Dikosongkan”**



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Air Limbah Domestik

##### 2.1.1 Definisi Air Limbah Domestik

Limbah cair domestik merupakan air sisa penggunaan untuk kegiatan di kamar mandi, tempat cuci, WC serta tempat memasak yang berasal dari rumah tangga atau permukiman (Sugiharto, 2008). Menurut Mara (2004), sifat air limbah domestik sangat kompleks sehingga sulit untuk analisis secara keseluruhan. Namun, karena relatif mudah untuk mengukur jumlah oksigen yang digunakan oleh bakteri untuk mengoksidasi air limbah, maka konsentrasi bahan organik di air limbah dapat dengan mudah dinyatakan dalam bentuk jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk oksidasi.

##### 2.1.2 Karakteristik Air Limbah Domestik

Kualitas air limbah dapat didefinisikan oleh karakteristik fisik, kimia, dan biologis. Karakteristik biologis dapat dilihat dari jumlah mikroorganisme *pathogen* di dalam air limbah. Karakteristik kimia air limbah umumnya dinyatakan dalam kandungan zat organik yang terdiri atas parameter DO, BOD, COD, dan pH. Sedangkan karakteristik fisik air limbah dinyatakan dalam parameter TSS, TDS dan suhu (Sari et al., 2015). Parameter kualitas air limbah yang diperlukan untuk perencanaan ini adalah pH, BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), TSS (*Total Suspended Solid*), minyak dan lemak, amoniak. Penjelasan masing-masing parameter tersebut adalah sebagai berikut.

#### 1. pH

pH adalah konsentrasi ion hidrogen dalam air. Air limbah dengan pH yang ekstrim sulit diolah secara biologis karena konsentrasi yang sesuai untuk kehidupan mikroorganisme adalah

6-9. Konsentrasi ion hidrogen di dalam air berhubungan dengan tingkat molekul air yang terdisosiasi. Berikut merupakan rumus kimia proses air terdisosiasi menjadi hidrogen dan ion hidroksil.



(Tchobanoglous at al., 2014).

## **2. Total Suspended Solid (TSS)**

TSS adalah padatan yang tidak larut dalam air atau padatan yang tersuspensi. Apabila air limbah tidak diolah sebelum dibuang ke badan air, kandungan TSS pada air limbah dapat menyebabkan endapan lumpur dan kondisi anaerobik di badan air. Analisis TSS pada air limbah bertujuan untuk menilai kinerja proses pengolahan (Tchobanoglous at al., 2014).

## **3. Biochemical Oxygen Demand (BOD)**

BOD menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi aerobik (Umaly and Cuvin, 1988). Menurut Haryadi (2004), prinsip pengukuran BOD pada dasarnya cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal ( $\text{DO}_i$ ) dari sampel segera setelah pengambilan contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada sampel yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap ( $20^\circ\text{C}$ ) yang sering disebut dengan  $\text{DO}_5$ . Selisih  $\text{DO}_i$  dan  $\text{DO}_5$  ( $\text{DO}_i - \text{DO}_5$ ) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L).

## **4. Chemical Oxygen Demand (COD)**

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990). COD diukur dengan penambahan sejumlah kaliumbikromat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) sebagai oksidator pada sampel (dengan volume diketahui) yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu, lalu dilakukan titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan

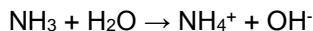
nilai COD dapat ditentukan. Kelemahannya, senyawa kompleks anorganik yang ada di air yang dapat teroksidasi juga ikut dalam reaksi (De Santo, 1978).

## **5. Minyak dan Lemak**

Sebagian besar minyak dan lemak akan mengapung dalam air, hal ini terjadi karena perbedaan berat jenis dan sebagian kecil mengendap pada lumpur. Minyak dan lemak di permukaan air akan membentuk lapisan tipis yang menghalangi difusi oksigen dari udara ke dalam air. Hal ini dapat mempengaruhi kehidupan makhluk hidup yang ada di dalam air (Sawyer dkk, 1994). Minyak dan lemak tidak mudah diuraikan oleh mikroba, hal ini dapat menghambat proses pengolahan air limbah oleh mikroba.

## **6. Amoniak**

Amoniak ( $\text{NH}_3$ ) adalah senyawa nitrogen yang menjadi  $\text{NH}_4^+$  pada pH rendah yang disebut dengan ammonium. Amoniak di air permukaan berasal dari air seni, tinja, air buangan industri, dan sebagainya. Amoniak dapat menyebabkan kondisi toksik bagi kehidupan perairan karena dapat mengurangi kapasitas oksigen di dalam air. Nitrogen amoniak berada di dalam air sebagai ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) berdasarkan reaksi kesetimbangan sebagai berikut.



Di dalam air limbah, senyawa amoniak ini dapat diolah secara biologis dengan cara aerasi melalui proses nitrifikasi hingga menjadi nitrit dan nitrat (Marsidi dan Herlambang, 2002)


## **2.2 Baku Mutu Air Limbah Domestik**

Baku mutu air limbah domestik yang digunakan berdasarkan pada Peraturan Gubernur Jawa Timur nomor 72 Tahun 2013 yang mengatur kualitas air limbah domestik (Permukiman) di area Provisinsi Jawa Timur serta mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 68 Tahun 2016. Dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut.

**Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Domestik**

Parameter	Baku Mutu (Pergub Jatim)	Baku Mutu (Permen LHK)	Satuan
pH	6-9	6-9	mg/L
BOD <sub>5</sub>	30	30	mg/L
COD	50	100	mg/L
TSS	50	30	mg/L
Minyak & Lemak	10	5	mg/L
Amoniak	-	10	mg/L
Total Coliform	-	3000	Jumlah/100mL

Sumber : Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013 dan Permen LHK No. 68 Tahun 2016

 Baku mutu yang digunakan

### 2.3 Debit Air Limbah

Air bersih yang digunakan diperkirakan bahwa 80-90% akan menjadi air limbah. Debit air limbah tidak selalu sama setiap saat, tergantung pada pola pemakaian dari masyarakat. Debit air limbah mencapai puncak ketika masyarakat akan melakukan aktivitas yang menggunakan banyak air seperti bekerja, sekolah, dan sebagainya. Namun ada kalanya debit air limbah mencapai nilai minimum, yaitu ketika masyarakat sedang tidak beraktivitas seperti tidur pada malam hari. Berikut ini adalah rumus-rumus untuk menghitung debit air limbah menurut Fair dan Geyer (1954).

- Debit rata-rata ( $Q_{ave}$ ) = (80-90%) x  $Q_w$ .....(2.1)

Dimana:

$Q_{ave}$  = debit rata-rata air limbah (liter/orang.hari)

$Q_w$  =debit rata-rata penggunaan air bersih (liter/orang.hari)

- Debit minimum ( $Q_{min}$ ) = 0,2 x ( $P$ )<sup>1/5</sup> x  $Q_{ave}$ .....(2.2)

Dimana:

$Q_{min}$  = debit minimum air limbah (L/detik)

P = jumlah penduduk

- Debit puncak ( $Q_{peak}$ ) =  $F_{peak} \times Q_{ave}$ .....(2.3)

Dimana:

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

$F_{peak}$  = faktor puncak

- $F_{peak}$  =  $[18+(P)^{0.5}] / [(4+P)^{0.5}]$ .....(2.4)

- $Q_{ave\ inf}$  =  $F_{inf} \times$  Luas area.....(2.5)

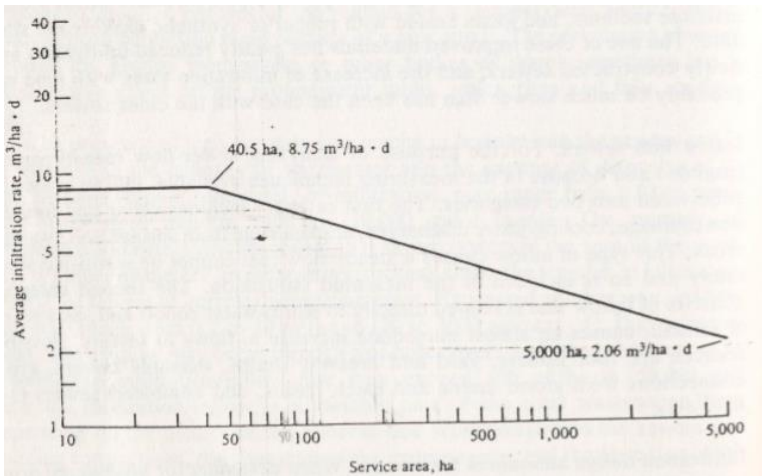
Dimana:

$Q_{ave\ inf}$  = debit rata-rata infiltrasi (L/detik)

$F_{inf}$  = faktor infiltrasi

Luas area = luas area pelayanan (Ha)

Besarnya faktor infiltrasi dapat diketahui dari grafik *Average Infiltration Allowance* berikut ini.



**Gambar 2.1 Average Infiltration Allowance**

(Sumber: Metcalf and Eddy, 1981)

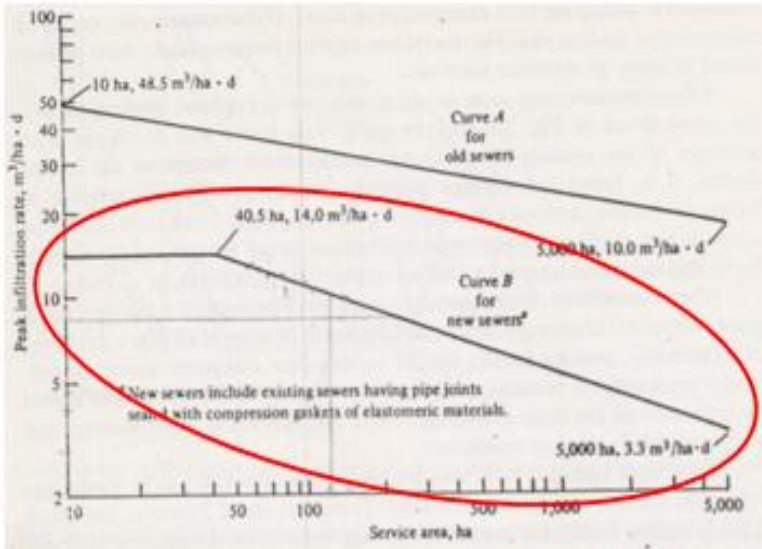
- $Q_{peak\ inf}$  =  $F_{peak\ inf} \times$  Luas area.....(2.6)

Dimana:

$Q_{peak\ inf}$  = debit puncak infiltrasi (L/detik)

$F_{peak\ inf}$  = faktor *peak* infiltrasi

Besarnya faktor puncak infiltrasi dapat diketahui dari grafik *Peak Infiltration Allowance* berikut ini.



**Gambar 2.2 Peak Infiltration Allowance**

(Sumber: Metcalf and Eddy, 1981)

Grafik yang dilingkari adalah grafik yang digunakan pada perencanaan ini. Grafik tersebut digunakan untuk perencanaan pipa sewer baru, sedangkan grafik yang ada di atasnya digunakan untuk pipa sewer yang lama atau sudah ada.

- Debit rata-rata total =  $Q_{ave} + Q_{ave\ inf}$ .....(2.7)
- Debit puncak total =  $Q_{peak} + Q_{peak\ inf}$ .....(2.8)

## 2.4 Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL)

Sistem penyaluran air limbah harus dirancang untuk mengumpulkan semua air limbah domestik yang dihasilkan dan menyalurkannya ke unit pengolahan air limbah yang beroperasi sebelum dibuang ke badan air (Drainage Services Department, 2013). Menurut Metcalf and Eddy (1981), sistem pengumpulan air limbah terbagi menjadi 3, yaitu sistem terpisah, sistem tercampur, dan sistem kombinasi. Sistem terpisah adalah sistem dimana air limbah dan air hujan disalurkan terpisah melalui dua saluran yang

berbeda. Sedangkan pada sistem saluran tercampur, air limbah dan air hujan disalurkan langsung melalui satu saluran yang sama. Sistem kombinasi adalah suatu sistem dimana air hujan dan air limbah disatukan hanya pada musim kemarau, sedangkan pada musim penghujan penyalurannya dipisahkan dengan alat pemisah (*interceptor*). Perencanaan ini hanya mencakup sistem penyaluran air limbah terpisah.

Berdasarkan pernyataan dari Dewiandratika (2002), terdapat 2 macam sistem pengolahan air limbah, yaitu sistem *on-site* dan *off-site*. Pada sistem *on-site* bangunan pengolahan dibangun pada setiap rumah, industri, dan sebagainya. Sedangkan pada sistem *off-site* air limbah disalurkan dari rumah-rumah penduduk atau dari sumber-sumber lainnya melalui suatu jaringan pipa menuju instalasi pengolahan air limbah. Pada perencanaan ini sistem yang akan digunakan adalah sistem *off-site*.

#### **2.4.1 Shallow Sewer (Sistem Riol Dangkal)**

Beberapa sistem pengaliran air limbah yang sering digunakan antara lain *conventional sewerage*, *shallow sewer*, dan *small bore sewer*. *Small bore sewer* diterapkan saat tanah tidak mampu menerima air rembesan dari sarana pengolahan air limbah domestik *on-site*, sehingga air rembesan tersebut dibuang ke sistem perpipaan *small bore sewer*. Untuk sistem *off-site*, sistem *shallow sewer* lebih cocok diterapkan. Sistem ini cocok diterapkan pada daerah-daerah yang padat serta masyarakat berpenghasilan rendah. *Shallow sewer* dirancang untuk menerima air limbah domestik yang akan dialirkan ke unit pengolahan. Sistem ini terdiri atas pipa-pipa berdiameter kecil yang diletakkan pada lokasi/daerah yang datar (PU Cipta Karya,2015).

Menurut Dewiandratika (2012), *shallow sewer* mengangkut air buangan dalam skala kecil dan pipa dipasang dengan slope lebih landai. Sistem ini cocok diterapkan di daerah dengan kepadatan tinggi baik pada perumahan tidak teratur maupun perumahan yang teratur.

## 2.4.2 Ketentuan Teknis Sistem Penyaluran Air Limbah

Berikut adalah beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan sistem penyaluran air limbah.

### a. Jaringan pipa

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum (2013), jaringan pipa air limbah terdiri atas:

- Pipa persil, merupakan pipa pengumpul air buangan langsung dari sumbernya.
- Pipa *service*, merupakan pipa pengumpul air limbah dari pipa persil menuju pipa lateral.
- Pipa lateral, merupakan pipa pengumpul air limbah dari pipa *service* menuju pipa utama, letaknya memanjang di depan rumah-rumah atau bangunan.
- Pipa utama, merupakan pipa penampung air limbah dari pipa lateral/kolektor menuju ke IPAL.

### b. Konstanta Manning ( $n$ ) = 0,009 (pipa PVC) (*Municipal Piping System, 2002*)

### c. Diameter pipa minimum = 100 mm dengan sistem gravitasi (Kementerian Pekerjaan Umum, 2013)

### d. Kecepatan minimum = tidak kurang dari 0,3 m/detik pada saat debit minimum (*Metcalf and Eddy, 1981*)

### e. Kecepatan maksimum = tidak melebihi 2,5 m/detik (*Metcalf and Eddy, 1981*)

### f. Tinggi renang minimum = 50 mm (*Metcalf and Eddy, 1981*)

### g. Tinggi renang maksimum = 60-80% dari diameter pipa (*Metcalf and Eddy, 1981*)

### h. Slope ( $s$ ) = $\Delta H / L$

Dimana:

$S$  = slope

$\Delta H$  = beda elevasi (m)

$L$  = panjang pipa (m)

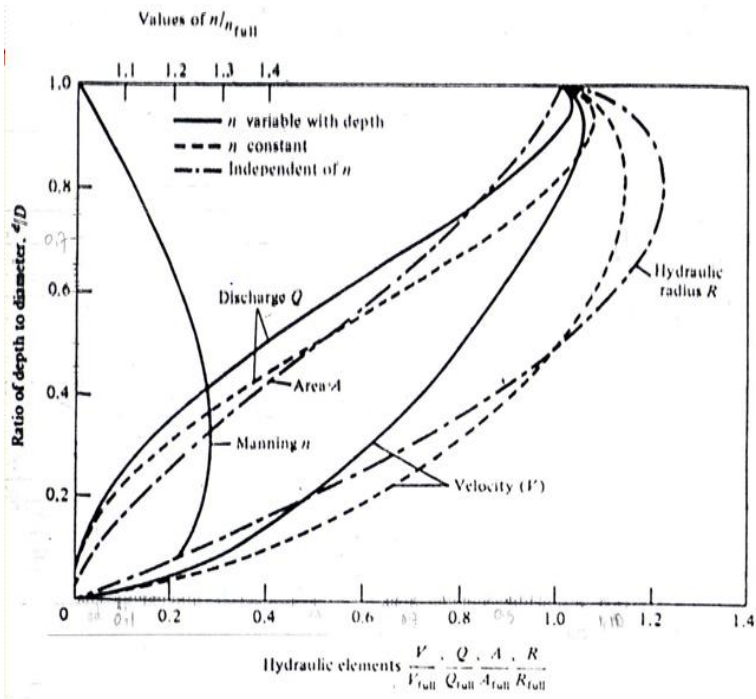
### i. Nilai $Q_{peak}/Q_{full}$ diperoleh dari grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer* seperti pada **Gambar 2.3**.

### j. Kedalaman pipa



Kedalaman penanaman setiap jenis pipa menurut Kementerian Pekerjaan Umum (2013) adalah sebagai berikut.

- Persil  $\geq 0,4$  meter (bila beban ringan) dan  $\geq 0,8$  meter (bila beban berat)
- Pipa service 0,75 meter
- Pipa lateral 1-1,2 meter
- Pipa induk  $\leq 7$  meter



**Gambar 2.3 Hydraulic Elements for Circular Sewer**

(Sumber: Metcalf and Eddy, 1981)

Persamaan debit penuh dari grafik di atas adalah sebagai berikut.

$$Q_{full} = 0,312/n \times D^{2,667} \times S^{0,5} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

$Q_{full}$  = debit pipa pada saat penuh ( $m^3/detik$ )

$N$  = kekasaran *manning*

D = diameter pipa

### 2.4.3 Bangunan Pelengkap

Menurut *Metcalf and Eddy* (1981), bangunan-bangunan penunjang pada sistem penyaluran air limbah sangat penting untuk melancarkan pengaliran dalam saluran, ataupun dalam hal pemeriksaan saluran. Bangunan pelengkap tersebut antara lain:

#### a. *Manhole*

*Manhole* merupakan lubang untuk memeriksa, memelihara, dan memperbaiki saluran. *Manhole* ditempatkan pada:

- Tempat dimana terjadi perubahan saluran
- Tempat terjadinya perubahan pipa
- Tempat terjadinya perubahan *slope* saluran
- Tempat belokan pipa
- Untuk saluran lurus, jarak penempatannya tergantung diameter pipa (**Tabel 2.2**).

**Tabel 2.2** Jarak antar *Manhole*

Diameter (mm)	Jarak antar <i>Manhole</i> (m)
D < 500	100 – 150
500 < D < 1000	150 – 175
1000 < D < 2000	175 - 200

Sumber: *Metcalf and Eddy*, 1981

Macam-macam *manhole*:

- *Manhole* lurus
- *Manhole* belokan
- *Manhole* pertigaan

#### b. Bangunan Penggelontor

Bila pada tempat tertentu kecepatan minimum dan tinggi renang dalam saluran tidak terpenuhi, maka dapat menimbulkan pengendapan. Penggelontoran adalah salah satu cara untuk mengatasinya. Air yang digunakan untuk menggelontor bersumber dari air sungai atau air hujan. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan ini adalah:

- Penggelontoran tidak boleh merusak saluran yang sudah ada (erosi, pengikisan, penggerusan terhadap dinding saluran).
- Tidak boleh mengotori saluran.
- Air yang digunakan harus mencukupi kuantitasnya dan tidak boleh berpasir atau berlumpur.
- Air penggelontor adalah air tawar dan netral.

### **c. Pompa**

Jarak yang cukup jauh ke tempat pengolahan menyebabkan terjadinya perbedaan tinggi yang cukup besar oleh karena pipa ditanam lebih dalam dari penanaman sebelumnya. Hal ini dapat menyebabkan besarnya biaya penanaman pipa di dalam tanah. Untuk menghindari hal tersebut, dibangunlah suatu pusat pemompaan untuk mengangkat air limbah sesuai dengan ketinggian yang akan dinaikkan dengan pompa penghisap.

## **2.5 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)**

### **2.5.1 Proses Pengolahan Secara Anaerobik**

Menurut Said and Firly (2005), pengolahan limbah secara anaerobik adalah suatu metabolisme tanpa menggunakan oksigen yang dilakukan oleh bakteri anaerobik. Pada pengolahan air limbah secara anaerobik dihasilkan produk samping berupa biogas. Biogas yang dihasilkan terdiri atas 50-70% gas metan, 25-45% gas karbondioksida dan sejumlah kecil nitrogen, hidrogen dan hidrogen sulfida (Sato, 2015).

Menurut Sasse (2009), mikroorganisme anaerobik menggunakan beban polutan untuk produksi massa bakteri jauh lebih besar dibandingkan mikroorganisme aerobik, dimana mikroorganisme anaerobik bisa menggunakan kandungan COD pada air limbah sampai 50% sedangkan mikroorganisme aerobik hanya menggunakan sekitar 5%. Hal ini menyebabkan lumpur hasil pengolahan secara anaerobik 90% lebih sedikit dibandingkan proses aerobik. Berikut adalah tahap-tahap proses anaerobik yang dijelaskan oleh Tchobanoglous *et al.*, (2014).

## 1. Hidrolisis

Merupakan tahap pertama, dimana material partikulat dikonversi menjadi senyawa terlarut yang kemudian dapat dihidrolisis menjadi monomer sederhana yang digunakan oleh bakteri dalam proses fermentasi.

## 2. Asidogenesis

Tahap kedua, yang dilakukan oleh bakteri asidogenesis (fermentasi) dan menghasilkan *volatile fatty acids* (VFAs), CO<sub>2</sub>, dan hidrogen. Dalam proses fermentasi, substrat bertindak sebagai donor elektron dan elektron akseptor. Hasil fermentasi dari gula dan asam amino adalah asetat, propionat, butirat, CO<sub>2</sub>, dan hidrogen. Fermentasi LCFAs menghasilkan asetat, CO<sub>2</sub>, dan hidrogen.

## 3. Asetogenesis

Merupakan fermentasi lanjutan oleh bakteri untuk mengkonversi produk setengah jadi dari asidogenesis (propionat dan butirat) agar menghasilkan asetat, CO<sub>2</sub>, dan hidrogen. Sehingga produk akhir dari fermentasi adalah asetat, CO<sub>2</sub>, dan hidrogen yang menjadi awal terbentuknya metana.

## 4. Metanogenesis

Dilakukan oleh kelompok organisme *Archaea* yang diketahui sebagai metanogen. Dua kelompok organisme metanogen terlibat dalam produksi metana. Kelompok pertama, disebut sebagai *acetoclastic methanogens*, memecah asetat menjadi karbon dan karbon dioksida. Kelompok kedua, disebut sebagai metanogen atau *hydrogenotrophic methanogenic* yang menggunakan hidrogen sebagai donor elektron dan CO<sub>2</sub> sebagai elektron akseptor untuk menghasilkan metana.

### 2.5.2 Proses Pengolahan Secara Aerobik

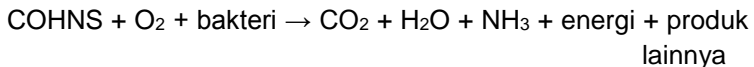
Menurut Utami (2017), mikroba aerob dengan menggunakan oksigen akan mengoksidasi senyawa organik membentuk sel-sel baru dan bentuk yang lebih stabil disamping menghasilkan CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, dan H<sub>2</sub>O.

Menurut Tchobanoglous *et al.*, (2014), proses pengolahan secara aerobik terdiri dari 3 tahap.

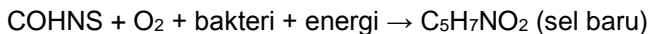
1. **Tahap Pertama**, terjadi oksidasi sebagian air limbah menghasilkan energi untuk kehidupan sel mikroorganisme dan sintesis jaringan sel baru.
2. **Tahap Kedua**, sebagian air limbah dikonversi menjadi jaringan sel baru menggunakan sebagian energi yang dilepaskan selama oksidasi. Pada akhirnya, saat zat organik telah digunakan, sehingga sel baru mulai mengkonsumsi jaringan sel mereka sendiri untuk memperoleh energi demi kehidupan sel.
3. **Tahap Ketiga**, disebut *endogenous respiration*. Menggunakan bentuk COHNS (yang merepresentasikan elemen karbon, oksigen, nitrogen, dan sulfur) untuk merepresentasikan limbah organik dan bentuk  $C_5H_7NO_2$ .

Berikut merupakan reaksi kimia dari ketiga proses tersebut:

*Energy reaction* (oksidasi)



*Synthesis reaction*



*Endogenous respiration*

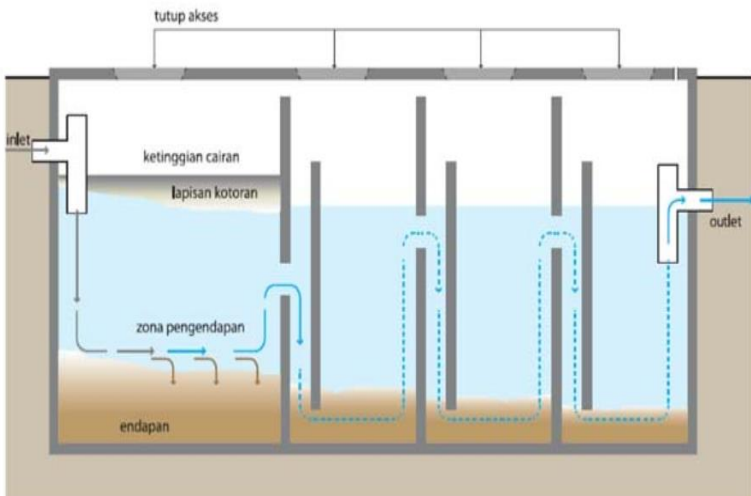


### 2.5.3 **Anaerobic Baffled Reactor (ABR)**

*Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) serupa dalam desain dan aplikasi dengan *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) namun ABR tidak memerlukan butiran granula untuk operasinya. ABR memiliki sekat yang menggantung dan berdiri tegak yang membagi ABR menjadi beberapa kompartemen. Aliran air limbah bergantian naik dan turun antar kompartemen, sedangkan lumpur akan terakumulasi di dasar kompartemen. Pada ABR terjadi kontak yang baik antara air limbah dan biomassa aktif (Foxon, 2006).

Berdasarkan Wang (2004), ruang sedimentasi pada ABR bertujuan untuk *pre-treatment* air limbah, sedangkan sekat atau

*baffle* bertujuan untuk menghasilkan turbulensi. Air limbah akan mengalami kontak dengan lumpur aktif setiap menuju kompartemen berikutnya. Laju pengolahan yang tinggi pada ABR disebabkan oleh adanya kontak langsung antara air limbah dengan mikroba serta *Solid Retention Time* (SRT) yang tinggi sehingga produksi lumpurnya rendah. Sedangkan menurut Tilley et al., (2008), ABR dirancang agar alirannya naik turun seperti terlihat pada **Gambar 2.4**. Aliran tersebut menyebabkan kontak antara air limbah yang masuk dengan biomassa lebih intensif sehingga akan meningkatkan kinerja pengolahan. Penurunan BOD pada ABR adalah sekitar 70-90% dimana penurunannya lebih tinggi dari pada tangki septik. Untuk operasi awal ABR perlu penstabilan biomassa selama 3 bulan.



**Gambar 2.4 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)**

(Sumber: Tilley et al., 2008)

Menurut Sasse (2009) ABR memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan, yaitu sebagai berikut.

**Kelebihan ABR:**

- Tahan terhadap beban kejutan hidrolis dan zat organik
- Tidak memerlukan energi listrik

- *Grey water* dapat dikelola secara bersamaan
- Dapat dibangun dan diperbaiki dengan material lokal yang tersedia
- Umur pelayanannya panjang
- Penurunan zat organik yang tinggi
- Biaya investasi dan operasi yang rendah

#### **Kekurangan ABR:**

- Memerlukan sumber air yang konstan
- Efluen memerlukan pengolahan sekunder sebelum dibuang ke badan air
- Penurunan bakteri *pathogen* yang rendah
- Pengolahan *pre-treatment* diperlukan untuk mencegah penyumbatan

Di bawah ini adalah kriteria desain dari unit ABR yang diperoleh dari Metcalf and Eddy (2003).

#### **Kriteria Desain:**

- Panjang *baffle* = 50-60% dari ketinggian
- *Upflow velocity* = < 2 m/jam
- Removal BOD = 70-95%
- Removal COD = 65-90%
- Removal TSS = 80%
- *Organic loading* = < 3 kg BOD/m<sup>3</sup>.hari
- HRT = 6-24 jam
- SRT = > 30 hari

Pada ABR terdapat aksesoris tambahan berupa pipa *vent*. Pipa *vent* ini bertujuan untuk mengalirkan atau mengeluarkan gas-gas yang dihasilkan dari proses anaerobik di ABR. Pipa *vent* adalah bagian penting dari sistem pembuangan pada ABR. Pipa *vent* ini akan mensirkulasikan udara dalam proses pembuangan, menjaga kedalaman air sesuai yang direncanakan, serta menjaga sekat dari efek tekanan.

Persamaan perhitungan desain ABR adalah sebagai berikut.

- Waktu Tinggal Hidrolik (HRT)

$$\text{HRT} = V / Q \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

HRT = Waktu tinggal hidrolis (hari)

V = volume (m<sup>3</sup>)

Q = Debit (m<sup>3</sup>/hari)

- *Organic Loading Rate (OLR)*

$$\text{OLR} = Q \times \text{So} / \text{volume} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

Q = debit (m<sup>3</sup>/hari)

So = Total COD inlet (mg/L)

- *Upflow Velocity (Vup)*

$$\text{Vup} = Q / (p \times l) \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

p = panjang satu kompartemen (m)

l = lebar satu kompartemen (m)

- *Headloss (Hf)*

$$\text{Hf} = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$f = 1,5 \times (0,01989) + \frac{0,0005078}{4R}$$

Dimana:

L = panjang ABR (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

V = kecepatan (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

Berikut adalah rumus-rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010) yang digunakan pada perhitungan ABR.

a. Removal COD pada ruang *settlers* berdasarkan waktu detensi (HRT):

- HRT < 1 jam:

$$\text{Faktor} = \text{HRT} \times 0,3$$

- HRT < 3 jam:

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

- HRT < 30 jam:



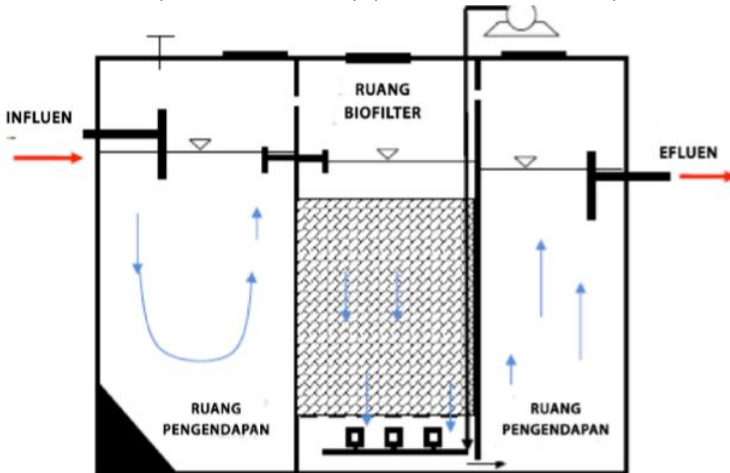
- Faktor =  $(\text{HRT} - 3) \times 0,15/27 + 0,4$
- HRT  $\geq$  30 jam:  
Faktor = 0,58
- b. Reduksi volume lumpur berdasarkan waktu pengurasan:
  - HRT < 36 bulan:  
Faktor =  $1 - (\text{HRT} \times 0,014)$
  - HRT < 120 bulan:  
Faktor =  $0,5 - (\text{HRT} - 36) \times 0,002$
  - HRT  $\geq$  120 bulan:  
Faktor = 1/3
- c. BOD removal pada ABR berdasarkan *organic loading*:
  - *Load* < 6 kg/m<sup>3</sup>.hari  
Faktor = 1
  - *Load*  $\geq$  6 kg/m<sup>3</sup>.hari  
Faktor =  $1 - (\text{load} - 6) \times 0,28/14$
- d. BOD removal pada ABR berdasarkan konsentrasi BOD influen:
  - BOD<sub>in</sub> < 150 mg/L:  
Faktor =  $\text{BOD}_{in} \times 0,37/150 + 0,4$
  - BOD<sub>in</sub> < 300 mg/L:  
Faktor =  $(\text{BOD}_{in} - 150) \times 0,1/150 + 0,77$
  - BOD<sub>in</sub> < 500 mg/L:  
Faktor =  $(\text{BOD}_{in} - 300) \times 0,08/200 + 0,87$
  - BOD<sub>in</sub> < 1000 mg/L:  
Faktor =  $(\text{BOD}_{in} - 500) \times 0,1/500 + 0,95$
  - BOD<sub>in</sub> < 3000 mg/L:  
Faktor =  $(\text{BOD}_{in} - 1000) \times 0,1/2000 + 1,05$
  - BOD<sub>in</sub>  $\geq$  3000 mg/L:  
Faktor = 1,15
- e. BOD removal pada ABR berdasarkan temperatur:
  - Temperatur < 15°C:  
Faktor =  $(\text{temp} - 10) \times 0,25/5 + 0,55$
  - Temperatur < 20°C:  
Faktor =  $(\text{temp} - 15) \times 0,11/5 + 0,8$

- Temperatur < 25°C:  
Faktor =  $(\text{temp} - 20) \times 0,09/5 + 0,91$
  - Temperatur < 30°C:  
Faktor =  $(\text{temp} - 25) \times 0,05/5 + 1$
  - Temperatur  $\geq 30^\circ\text{C}$ :  
Faktor =  $(\text{temp} - 30) \times 0,03/5 + 1,05$
- f. BOD removal pada ABR berdasarkan jumlah kompartemen ABR:
- Jumlah = 1:  
Faktor = 0,4
  - Jumlah = 2:  
Faktor = 0,7
  - Jumlah = 3:  
Faktor = 0,9
  - Jumlah > 3:  
Faktor =  $(\text{jumlah} - 3) \times 0,06 + 0,9$
- g. BOD removal pada ABR berdasarkan HRT:
- HRT < 5 jam:  
Faktor =  $\text{HRT} \times 0,51/5$
  - HRT < 10 jam:  
Faktor =  $(\text{HRT} - 5) \times 0,31/5 + 0,51$
  - HRT < 25 jam:  
Faktor =  $(\text{HRT} - 12) \times 0,18/15 + 0,82$
  - HRT  $\geq 25$  jam:  
Faktor = 1
- h. COD removal pada ABR berdasarkan BOD removal:
- $\text{BOD}_{\text{rem}} < 0,5$  (%):  
Faktor = 0,9434
  - $\text{BOD}_{\text{rem}} < 0,75$  (%):  
Faktor =  $0,9434 - (\text{BOD}_{\text{rem}} - 0,5) \times 0,0545/0,25$
  - $\text{BOD}_{\text{rem}} < 0,85$  (%):  
Faktor =  $(\text{BOD}_{\text{rem}} - 0,75) \times 0,0867/0,1 + 0,8889$
  - $\text{BOD}_{\text{rem}} \geq 0,85$  (%):

Faktor = 0,9756

## 2.5.4 *Aerobic Biofilter (AF)*

Mikroorganisme di dalam biofilter aerobik akan tumbuh dan menempel pada permukaan media. Mikroorganisme ini membutuhkan oksigen untuk dapat menguraikan zat organik pada air limbah sehingga diperlukan aerasi. Air limbah akan mengalami kontak dengan mikroorganisme yang tersuspensi di dalam air maupun yang menempel pada permukaan media. Hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi penguraian zat organik, deterjen, dan mempercepat proses nitrifikasi sehingga efisiensi penghilangan amoniak menjadi lebih besar. Proses ini dinamakan aerasi kontak (*contact aeration*) (Kemenkes RI, 2011).



**Gambar 2.5 *Aerobic Biofilter***

(Sumber: Permen PU, 2017)

Menurut Metcalf and Eddy (2003) dan Said (2000), *Aerobic Biofilter* memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan, yaitu sebagai berikut.

### **Kelebihan *Aerobic Biofilter*:**

- Membutuhkan lahan yang tidak terlalu besar

- Sangat efektif untuk menurunkan konsentrasi pencemar air limbah
- Pengoperasiannya sederhana karena tidak membutuhkan resirkulasi lumpur seperti pada *activated sludge*
- Dibandingkan dengan *activated sludge* lumpur yang dihasilkan lebih sedikit
- Dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan konsentrasi rendah maupun tinggi
- Tahan terhadap fluktuasi jumlah air limbah maupun fluktuasi konsentrasi
- Pengaruh penurunan suhu terhadap efisiensi pengolahan kecil

**Kekurangan *Aerobic Biofilter*:**

- Keterbatasan secara ekonomi untuk skala besar
- Rentan terhadap *headloss* yang tinggi jika *solid loadings* tinggi

Di bawah ini adalah kriteria desain dari unit *Aerobic Biofilter* yang diperoleh dari DEWATS *Praxis-oriented Training Manual* Tahun 2010.

**Kriteria Desain:**

- Luas permukaan spesifik media filter = 80-120 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>
- *Up-flow velocity* ( $V_{up}$ ) = < 2 m/jam
- HRT = 6-8 jam (Permen PU, 2017)
- *Organic Loading Rate* (OLR) diperoleh dari **Tabel 2.3**

**Tabel 2.3 Beban Volumetrik untuk *Biological Aerated Filters***

Proses Aplikasi	Satuan Loading	Range	Efisiensi Removal
BOD removal	kg BOD/m <sup>3</sup> .hari	3,5-5,5	≥ 85
BOD removal dan nitrifikasi	kg BOD/m <sup>3</sup> .hari	1,8-2,5	≥ 85
Nitrifikasi tersier	kg NH <sub>4</sub> -N/m <sup>3</sup> .hari	1-1,5	≥ 90

Sumber : Metcalf and Eddy, 2003 *Chapter* 9: 1032

OLR yang digunakan adalah merupakan OLR untuk proses BOD removal dan nitrifikasi, yaitu mempunyai rentang nilai 1,8 – 2,5 kgBOD/m<sup>3</sup>.hari.

Persamaan perhitungan desain *Aerobic Biofilter* adalah sebagai berikut.

- Volume media = Beban BOD / OLR.....(2.14)

Dimana:

Beban BOD = [BOD influen] x Debit (Q) (kg/hari)

OLR = *organic loading rate* (kg BOD/m<sup>3</sup>.hari)

- Waktu tinggal hidrolis (HRT) = volume total / Q.....(2.15)

Dimana:

Volume total = volume total *aerobic biofilter* (m<sup>3</sup>)

Q = debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

- *Upflow Velocity* (Vup)

Vup = Q / *Asurface media*..... (2.16)

Dimana :

Q = debit air limbah (m<sup>3</sup>/hari)

*Asurface* = *Asurface media* 1 kompartemen (m<sup>2</sup>)

Berikut adalah rumus-rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010) yang digunakan pada perhitungan *Aerobic Biofilter* (AF).

a. COD removal pada AF berdasarkan HRT:

- HRT < 12 jam:

Faktor = HRT x 0,16/12 + 0,44

- HRT < 24 jam:

Faktor = (HRT – 12) x 0,07/12 + 0,6

- HRT < 33 jam:

Faktor = (HRT – 24) x 0,03/9 + 0,67

- HRT < 100 jam:

Faktor = (HRT – 33) x 0,09/67 + 0,7

- HRT ≥ 100 jam:

Faktor = 0,78

b. BOD removal berdasarkan COD removal:

- $COD_{rem} < 0,5$ :  
Faktor = 1,06
- $COD_{rem} < 0,75$ :  
Faktor =  $(COD_{rem} - 0,5) \times 0,065/0,25 + 1,06$
- $COD_{rem} < 0,85$ :  
Faktor =  $1,125 - (COD_{rem} - 0,75) \times 0,1/0,1$
- $COD_{rem} \geq 0,85$ :  
Faktor = 1,025

Media biofilter secara umum dapat terbuat dari bahan material organik maupun anorganik. Untuk media biofilter dari bahan anorganik, apabila diameternya semakin kecil maka luas permukaan semakin besar, hal ini menyebabkan jumlah mikroorganisme yang tumbuh pada media juga menjadi besar, tetapi volume rongganya menjadi lebih kecil. Volume rongga yang kecil kemungkinan besar akan terjadi penyumbatan. Penyumbatan yang terjadi dapat menyebabkan aliran singkat (*short pass*) dan penurunan jumlah aliran. Hal ini mempengaruhi kapasitas pengolahan yang menurun drastis (Said dan Ruliasih, 2005).

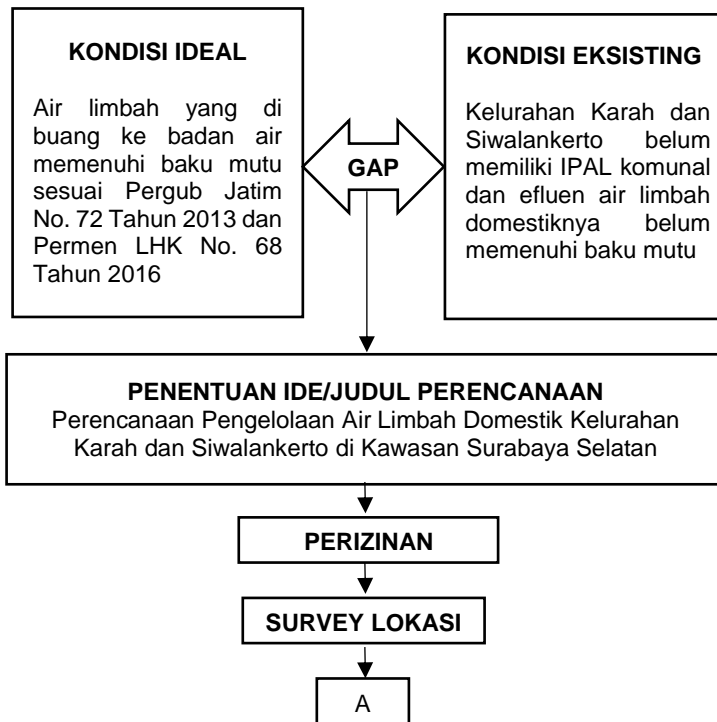
Menurut Kemenkes RI (2011), media biofilter dari bahan organik dapat dibuat dari bahan tahan karat dan ringan misalnya PVC. Media ini sebaiknya dibuat dengan luas permukaan spesifik yang besar dan volume rongga (porositas) yang besar pula, sehingga mikroorganisme yang melekat mempunyai jumlah yang besar dengan resiko kebuntuan yang sangat kecil. Hal ini memungkinkan untuk pengolahan air limbah dengan beban konsentrasi yang tinggi serta efisiensi pengolahan yang cukup besar.

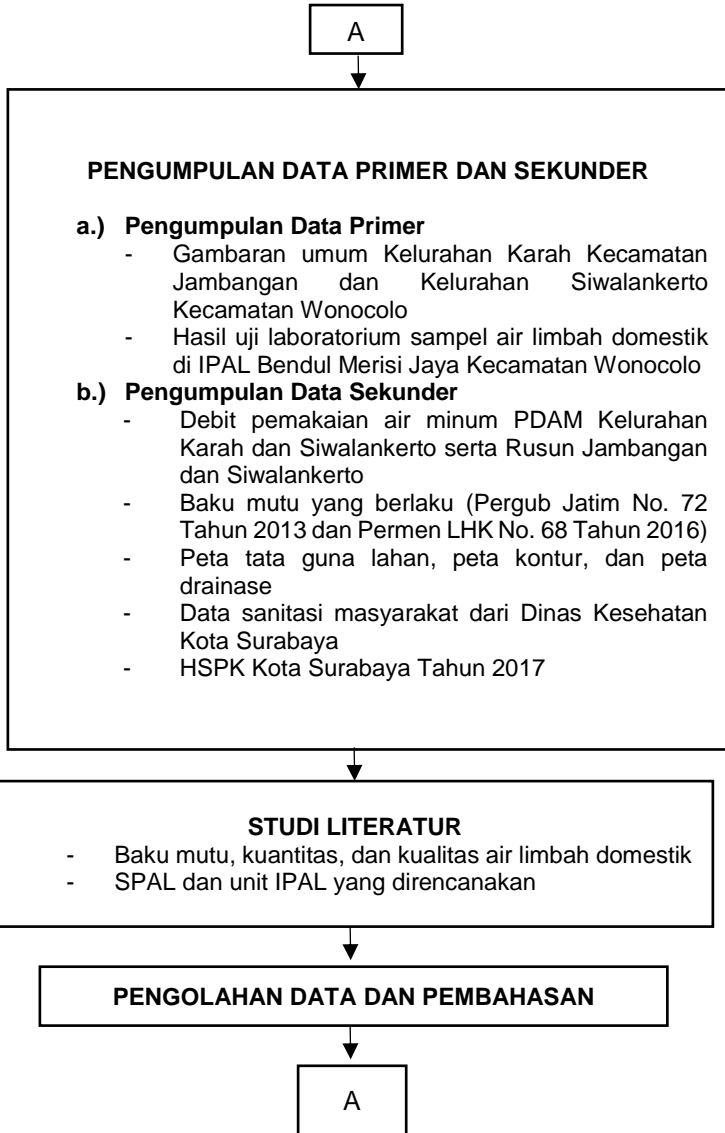
## BAB 3

### METODE PERENCANAAN

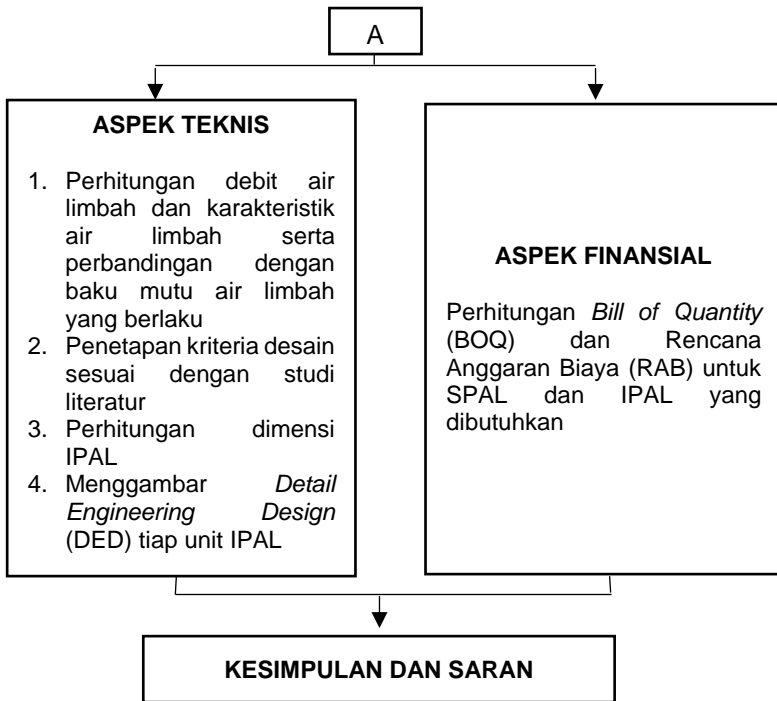
#### 3.1 Kerangka Perencanaan

Tujuan pembuatan kerangka perencanaan adalah memberikan gambaran awal mengenai alur perencanaan yang akan dilakukan. Di dalam kerangka perencanaan terdapat langkah-langkah kegiatan yang dilakukan dari awal hingga diperoleh hasil perencanaan. Kerangka perencanaan dibuat secara jelas dan sistematis untuk mempermudah proses perencanaan. Kerangka perencanaan dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.









**Gambar 3.1 Kerangka Perencanaan**

## **3.2 Tahapan Perencanaan**

Tahapan perencanaan menjabarkan secara detail tentang kerangka perencanaan. Penjelasan setiap tahapan yang ada pada kerangka perencanaan adalah sebagai berikut.

### **3.2.1 Ide Perencanaan**

Ide perencanaan diperoleh setelah adanya analisis gap antara kondisi eksisting dan kondisi ideal. Penurunan kualitas layanan sanitasi yang terjadi pada setiap rusun di Surabaya menyebabkan pencemaran pada lingkungan. Kelurahan Karah dan Siwalankerto belum memiliki IPAL komunal untuk mengolah lebih lanjut air limbah domestiknya, dan efluen air limbahnya yang di buang ke badan air masih belum memenuhi baku mutu yang

berlaku. Sehingga perencanaan ini akan memberikan rekomendasi desain SPAL dan IPAL untuk Kelurahan Karah dan Siwalankerto.

### **3.2.2 Perizinan**

Perizinan harus dilakukan untuk memperoleh akses dalam pengumpulan data primer dan sekunder yang dibutuhkan. Proses perizinan diawali dengan pembuatan proposal dan surat pengantar dari Departemen Teknik Lingkungan ITS. Proposal dan surat pengantar tersebut akan ditujukan kepada pihak terkait. Pihak tersebut adalah sebagai berikut.

- Badan Kesatuan Bangsa, Politik dan Perlindungan Masyarakat;
- Kelurahan Karah Kecamatan Jambangan dan Kelurahan Siwalankerto Kecamatan Wonocolo untuk memperoleh data kependudukan;
- Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah Kota Surabaya sebagai pengelola rumah susun di Kota Surabaya;
- Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya untuk memperoleh data hasil uji lab efluen air limbah rumah susun yang dibuang ke badan air;
- Dinas PU Tata Ruang Kota Surabaya dan Dinas Bina Marga dan Pematusan Kota Surabaya untuk memperoleh peta tata guna lahan, elevasi tanah dan peta drainase wilayah perencanaan;
- PDAM Kota Surabaya untuk memperoleh data pemakaian air minum di wilayah perencanaan; dan
- Dinas Kesehatan Kota Surabaya untuk mengetahui kondisi sanitasi di wilayah perencanaan.

### **3.2.3 Survey Lokasi**

Survey lokasi dilakukan untuk mendapatkan gambaran umum mengenai lokasi rusun dan kelurahan sekitarnya. Survey ini dilakukan dengan metode observasi lapangan dan wawancara terhadap lembaga terkait dan pengelola rusun. Observasi lapangan dilakukan dengan mengecek kondisi fisik wilayah studi. Sedangkan wawancara dilakukan pada pengelola rusun dan

kantor kelurahan wilayah perencanaan mengenai kependudukan, pengoperasian dan pemeliharaan fasilitas sanitasi, serta partisipasi masyarakat terkait sanitasi lingkungan khususnya di bidang air limbah domestik.

### **3.2.4 Pengumpulan Data Primer dan Sekunder**

Data yang dikumpulkan sesuai dengan kebutuhan perencanaan sehingga dapat diperoleh hasil, kesimpulan dan rekomendasi yang tepat.

#### **a. Data Primer**

Data primer yang dibutuhkan, yaitu:

1. Gambaran Umum Kelurahan Karah, Kelurahan Siwalankerto, Rusun Jambangan, dan Rusun Siwalankerto.

- Jumlah penghuni dan unit hunian:

Jumlah penghuni dan unit hunian kelurahan di sekitar rusun diperoleh dari data kantor kelurahan. Jumlah penghuni dan unit hunian rusun diperoleh dari Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah Kota Surabaya.

2. Kualitas Air Limbah Domestik.

Pengambilan sampel air limbah dilakukan dengan metode *grab sampling* yang mengacu pada SNI 6989-59-2008 mengenai metode pengambilan contoh air limbah. Titik sampling pengambilan air limbah adalah inlet IPAL di Bendul Merisi Jaya Kecamatan Wonocolo.

Kualitas sampel air limbah diuji sesuai parameter pada baku mutu air limbah berdasarkan Pergub. Jatim No. 72 Tahun 2013 dan Permen LHK No. 68 Tahun 2016, yaitu pH, BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, Amoniak, dan *Total Coliform*. Pengujian parameter-parameter tersebut dilakukan dengan menggunakan metode pada **Tabel 3.1**. Tahap ini akan dilakukan di Laboratorium Departemen Teknik Lingkungan FTSP ITS oleh laboran Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan.

**Tabel 3.1 Metode Analisis Sampel Air Limbah**

<b>Analisis</b>	<b>Metode</b>	<b>Standar</b>
pH	pH Meter	SNI 06-6989.11-2004
Total Suspended Solid (TSS)	Gravimetri	SNI 06-6989.3-2004
Biological Oxygen Demand (BOD <sub>5</sub> )	Metode Yodometri (Winkler)	SNI 6989.72:2009
Chemical Oxygend Demand	<i>Closed Reflux</i>	SNI 6989.73:2009
Minyak dan Lemak	Gravimetri	SNI 6989.10:2011
Amoniak	Spektrofotometri	SNI 06-6989.30-2005

**b. Data Sekunder**

Data sekunder yang dibutuhkan berupa:

- Debit pemakaian air minum PDAM Kelurahan Karah dan Siwalankerto yang diperoleh dari PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. Debit pemakaian air minum PDAM rusun diperoleh dari Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah Kota Surabaya.
- Baku mutu air limbah domestik yang berlaku (Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013 dan Permen LHK No. 68 Tahun 2016).
- Peta tata guna lahan, peta kontur, dan peta drainase yang diperoleh dari Dinas PU Tata Ruang Kota Surabaya dan Dinas Bina Marga dan Pematusan Kota Surabaya.
- Data sanitasi dari Dinas Kesehatan Lingkungan.
- Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya Tahun 2018.

**3.2.5 Studi Literatur**

Teori-teori yang dikaji pada saat melakukan studi literatur digunakan sebagai dasar dalam melakukan perencanaan SPAL dan IPAL. Teori yang digunakan diperoleh dari beberapa sumber, seperti jurnal ilmiah, peraturan, laporan tugas akhir, laporan tesis, *text book*.

### 3.2.6 Pengolahan Data dan Pembahasan

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya dilakukan pengolahan data dan pembahasan. Data diolah untuk menjawab rumusan masalah serta untuk mencapai tujuan. Data yang telah diperoleh dianalisis melalui dua aspek, yaitu aspek teknis dan aspek finansial.

#### a. Aspek Teknis

Aspek teknis pada perencanaan ini adalah perencanaan SPAL dan IPAL. Tahapannya dapat dilihat sebagai berikut.

#### 1. Pembagian daerah pelayanan dan perhitungan debit air limbahnya.

Perhitungan debit air limbah domestik menggunakan rumus 2.1-2.8 yang ada di Bab 2 Tinjauan Pustaka.

#### 2. Perhitungan pembebanan setiap jalur SPAL

Disesuaikan dengan pembagian daerah pelayanan yang ditetapkan.

#### 3. Perhitungan dimensi pipa SPAL

- Ditentukan nilai  $d/D$  dan dengan menggunakan grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer* (**Gambar 2.3**), didapatkan nilai  $Q_{peak}/Q_{full}$

- Menghitung  $Q_{full} = \frac{Q_{peak}}{Q_{peak}/Q_{full}}$

- Menghitung  $slope (S) = \frac{\Delta H}{L}$

- Menghitung diameter pipa dengan rumus:

$$Q_{full} = \frac{0,3117}{n} \times [D]^{8/3} \times [S]^{1/2}$$

$$\text{Menghitung } Q_{full} \text{ cek} = \frac{0,3117}{n} \times [D]^{8/3} \times [S]^{1/2}$$

- Menghitung  $Q_{peak}/Q_{full}$  dengan menggunakan  $Q_{full}$  cek
- Menghitung  $Q_{min}/Q_{full}$
- Menentukan nilai  $d/D$  dan  $V_{min}/V_{full}$  dengan menggunakan grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer* (**Gambar 2.3**)
- Menghitung  $V_{full} = 1/n \times \frac{1}{4} [D]^{0,667} \times [S]^{1/2}$

- Menghitung  $V_{min} = 1/n \times [R]^{0,667} \times [S]^{1/2}$

#### 4. Perhitungan penanaman pipa SPAL

##### - Elevasi Atas Pipa

Awal = elevasi tanah awal – kedalaman awal penanaman

Headloss = panjang pipa x *slope*

Akhir = elevasi atas pipa awal - *headloss*

##### - Elevasi Dasar Pipa

Awal = elevasi atas pipa awal – diameter pipa

Akhir = elevasi atas pipa akhir – diameter pipa

##### - Kedalaman Penanaman

Awal = elevasi tanah awal – elevasi dasar pipa awal

Akhir = elevasi tanah akhir – elevasi dasar pipa akhir

##### - Elevasi Muka Air

Awal = elevasi dasar pipa awal + Hair

Akhir = elevasi dasar pipa akhir + Hair

#### 5. Penentuan jumlah *manhole* yang dibutuhkan

#### 6. Pemilihan unit IPAL yang digunakan disesuaikan dengan perhitungan efisiensi removal yang memenuhi

Berikut adalah tabel perhitungan efisiensi removal dari 2 alternatif IPAL yang diajukan, dari kedua alternatif tersebut akan dipilih salah satu yang lebih efektif.

**Tabel 3.2 Efisiensi Removal ABR + *Aerobic Biofilter***

Parameter	*Konsentrasi Efluen Tangki Septik	**Persen Removal ABR	Hasil	***Persen Removal <i>Aerobic Biofilter</i>	Efluen	Baku Mutu	Keterangan
TSS	150	90	15	60	6.0	50	Memenuhi
BOD	180	80	36	65	12.6	30	Memenuhi
COD	400	80	80	65	28.0	30	Memenuhi
NH3-N	20	0	20	90	2.0	10	Memenuhi

Keterangan:

\* : Wang et al., 2009

\*\* : BORDA, 2008

\*\*\* : Widayat dan Nusa, 2005

**Tabel 3.3 Efisiensi Removal ABR + *constructed Wetland***

Parameter	*Konsentrasi Efluen Tangki Septik	**Persen Removal ABR	Hasil	****Persen Removal Constructred Wetland	Efluen	Baku Mutu	Keterangan
TSS	150	90	15	90	1.5	50	Memenuhi
BOD	180	80	36	80	7.2	30	Memenuhi
COD	400	80	80	80	16.0	30	Memenuhi
NH3-N	20	0	20	60	8.0	10	Memenuhi

Keterangan:

\*\*\*\* : Masturah, 2014

### **Estimasi Biaya Pembangunan, Operasi dan Pemeliharaan**

Lokasi perencanaan ada 2, yaitu di Kelurahan Karah Kecamatan Jambangan dan Kelurahan Siwalankerto Kecamatan Wonocolo. Untuk perhitungan awal ini diasumsikan jumlah penduduk yang dilayani dari setiap kecamatan adalah sebanyak 15.000 orang dengan asumsi tiap KK terdiri atas 5 orang sehingga totalnya adalah sebanyak 3000 KK. Total penduduk terlayani untuk kedua kecamatan adalah sebanyak 30.000 orang. Sehingga, akan direncanakan IPAL tipikal untuk kedua kecamatan dengan beban pengolahan sebesar 3000 KK.

#### **a. *Anaerobic Baffled Reactor + Aerobic Biofilter***

- **Biaya pembangunan:**

**ABR untuk 3000 KK:** Rp 150.000.000 (Siswanto dan Purwanti, 2016)

***Aerobic Filter*:** untuk tipikal debit 6 m<sup>3</sup>/hari biaya pembangunan *Aerobic Biofilter* adalah Rp 3.900.000 (Novitrianingsih dan Titah, 2016). Asumsi debit air limbah adalah 80 L/orang/hari, dengan jumlah orang sebanyak 15.000 dihasilkan air limbah sebanyak 120.000 L/hari atau 120 m<sup>3</sup>/hari sehingga total estimasi biaya pembangunan *Aerobic Biofilter* adalah Rp 78.000.000

**Total biaya pembangunan: Rp 228.000.000**

- **Biaya operasi dan pemeliharaan:**

**Listrik blower:** untuk debit 20 m<sup>3</sup>/hari dibutuhkan 16.000 kWh per tahun (Praptiwi, 2017). Untuk debit 120 m<sup>3</sup>/hari dibutuhkan 96.000 kWh per tahun dengan harga satuan Rp 1.467 dibutuhkan biaya listrik untuk blower sebesar Rp 140.832.000 per tahun.

**Pengurasan lumpur:** untuk debit 20 m<sup>3</sup>/hari dibutuhkan biaya pengurasan lumpur sebesar Rp 500.000 per tahun (Praptiwi, 2017). Untuk debit 120 m<sup>3</sup>/hari dibutuhkan biaya pengurasan lumpur sebesar Rp 3.000.000 per tahun.

**Pembersihan media filter:** untuk debit 20 m<sup>3</sup>/hari dibutuhkan biaya pembersihan media filter sebesar Rp 100.000 per tahun (Praptiwi, 2017). Untuk debit 120 m<sup>3</sup>/hari dibutuhkan biaya pembersihan media filter sebanyak Rp 600.000.

**Total biaya operasi dan pemeliharaan: Rp 144.432.000 per tahun atau Rp 12.036.000 per bulan. Rencana penarikan retribusi Rp 4.000/KK/bulan**

#### **b. Anaerobic Baffled Reactor + Constructed Wetland**

- **Biaya pembangunan:**

**ABR untuk 3000 KK:** Rp 150.000.000 (Siswanto dan Purwanti, 2016)

**Constructed Wetland:**

Untuk tipikal debit 1,5 m<sup>3</sup>/hari dibutuhkan biaya pembangunan *constructed wetland* sebesar Rp 6.500.000 (Hidayat dkk, 2014). Maka untuk debit air limbah sebesar 120 m<sup>3</sup>/hari dibutuhkan biaya sebesar Rp 520.000.000.

**Total biaya pembangunan: Rp 670.000.000**

- **Biaya operasi dan pemeliharaan:**

**Biaya pengurasan lumpur:** untuk debit 20 m<sup>3</sup>/hari dibutuhkan biaya pengurasan lumpur sebesar Rp 500.000 per tahun (Praptiwi, 2017). Untuk debit 120 m<sup>3</sup>/hari dibutuhkan biaya pengurasan lumpur sebesar Rp 3.000.000 per tahun.

Dari perhitungan efisiensi removal dan estimasi biaya dapat diketahui bahwa kedua alternatif dapat mengolah air limbah domestik hingga memenuhi baku mutu. Namun, **alternatif I yang**



menggunakan *Aerobic Biofilter* lebih baik dalam mengolah amoniak dengan efisiensi removal yang tinggi. Dalam pembangunannya alternatif I (*ABR+Aerobic Biofilter*) jauh lebih murah dibandingkan pembangunan kombinasi *ABR* dengan *Constructed Wetland*, namun dalam operasi dan pemeliharaan kombinasi *ABR* dengan *Constructed Wetland* jauh lebih murah. Kekurangan dari *Constructed Wetland* adalah dibutuhkannya lahan yang sangat luas sehingga lebih cocok digunakan dalam skala kecil seperti untuk rumah susun. Karena perencanaan ini juga mencakup kelurahan yang ada disekitar rumah susun maka beban pengolahannya cukup besar. Penggunaan *Constructed Wetland* akan membutuhkan lahan yang sangat luas untuk perencanaan ini, sedangkan lahan kosong yang tersedia cukup terbatas sehingga akan sulit untuk menyediakan lahan dalam pembangunan *Constructed Wetland*. Untuk itu, alternatif IPAL yang dipilih untuk perencanaan ini adalah kombinasi antara *Anaerobic Baffled Reactor* dengan *Aerobic Biofilter*.

7. Perhitungan *mass balance* unit IPAL yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan rumus yang telah ditetapkan

8. Perhitungan *preliminary sizing*

Perhitungan ini untuk memperkirakan luas lahan yang dibutuhkan. Hal ini diperlukan sehingga dapat diketahui apakah lahan kosong yang tersedia cukup atau tidak untuk pembangunan IPAL.

9. Perhitungan *Detail Engineering Desain (DED)* unit IPAL disesuaikan dengan kriteria desain.

Berikut adalah langkah-langkah dalam perhitungan *Anaerobic Baffled Reactor* dan *Aerobic Biofilter*.

• *Anaerobic Baffled Reactor*

1. Perhitungan persen removal kompartemen I:

- Menetapkan waktu detensi ( $T_d$ )

- Menghitung persen removal kompartemen I menggunakan rumus di bawah ini.

**Tabel 3.4 Nilai a dan b untuk % Removal TSS dan BOD**

Item	b	a
BOD	0,02	0,018
TSS	0,014	0,0075

Sumber: Metcalf and Eddy, 2003

$$\%R = \frac{td}{a + (b \times td)}$$

- Menghitung % removal COD menggunakan rumus hubungan antara HRT dengan % removal COD

## 2. Perhitungan Dimensi Kompartemen I

- Direncanakan waktu pengurasan

- Menghitung produksi lumpur

Produksi lumpur = removal TSS x waktu pengurasan

- Untuk stabilisasi lumpur, dihitung produksi lumpur dari rumus hubungan antara HRT dengan reduksi volume lumpur.

- Menghitung densitas lumpur

$$\text{Densitas} = \frac{(\% \text{ solid} \times \text{densitas solid}) + (\% \text{air} \times \text{densitas air})}{100\%}$$

- Menghitung volume lumpur

Volume lumpur = stabilisasi lumpur/densitas lumpur

## 3. Perhitungan Dimensi Ruang Lumpur dan Pengendapan

- Direncanakan h ruang lumpur = 1/3 h ABR dan lebar ABR

- Dimensi ruang lumpur

$$A \text{ ruang lumpur} = \frac{\text{Volume ruang lumpur}}{h \text{ ruang lumpur}}$$

$$\text{Panjang ruang lumpur} = \frac{A \text{ ruang lumpur}}{\text{lebar}}$$

- Dimensi bak pengendap

Volume bak pengendap = Q x Td

$$A \text{ bak pengendap} = \frac{\text{Volume bak pengendap}}{h \text{ bak pengendap}}$$

$$\text{Panjang bak pengendap} = \frac{A \text{ bak pengendap}}{\text{lebar}}$$

## 4. Menghitung Kompartemen II

- Direncanakan HLR
- $A_{surface} \text{ 1 ABR} = Q_{average} / HLR$
- Ditetapkan kedalaman (H) dan lebar ABR
- $\text{Volume 1 ABR} = A_{surface} \text{ 1 ABR} \times H$
- $HRT \text{ 1 ABR} = \text{Volume 1 ABR} / Q_{average}$
- Dihitung jumlah kompartemen
- Dihitung HRT total = HRT 1 ABR x jumlah kompartemen
- $\text{Volume total ABR} = \text{organic loading} / OLR$
- Ditetapkan kedalaman (H) dan lebar ABR
- Dihitung  $A_{surface} \text{ total} = \text{Volume total} / H$
- Dihitung panjang 1 ABR =  $A_{surface} \text{ 1 ABR} / \text{lebar}$
- $\text{Cek HLR} = Q_{average} / A_{surface} \text{ 1 ABR}$
- $\text{Cek HRT} = \text{Volume} / \text{Qrata-rata}$
- $\text{Cek Vup} = \text{Qrata-rata} / \text{luas (A)}$
- $\text{Cek OLR} = \text{Organic loading} / \text{volume total}$
- Menghitung produksi lumpur

$$Px = 0,08 \times \% \text{ removal} \times Q_{average} \times \text{BODin}$$

- Menghitung BOD efluen

$$\text{BOD ef} = (100\% - \% \text{ removal}) \times \text{BODin}$$

- **Aerobic Biofilter**

- Direncanakan efisiensi removal yang dibutuhkan
- Perhitungan kadar bahan organik
- Beban BOD =  $Q \times \text{BOD influen}$
- Beban COD =  $Q \times \text{COD influen}$
- Direncanakan OLR
- Perhitungan volume media biofilter
- Volume media =  $\text{Beban BOD} / OLR$
- Perhitungan volume bak biofilter berdasarkan persen efektif volume efektif
- Ditetapkan HRT
- Dihitung volume total =  $Q \times HRT$
- Dihitung jumlah kompartemen =  $\text{volume total} / \text{volume bak}$
- Ditetapkan kedalaman (H) dan lebar bak
- Hitung panjang bak

Panjang = Volume / (lebar x kedalaman)

- Hitung dimensi media

Panjang media = panjang bak

Lebar media = lebar bak

Tinggi media = volume media / (p x l)

- Cek Vup

Vup =  $Q / A_{surface}$  media

- Cek HRT = volume total / Q

- Hitung lumpur yang dihasilkan

$Px_{bio} = \{Q \cdot Y(S_o - S_e) / [1 + (K_d \cdot SRT)]\} + \{Q \cdot Y_n(NO_x) / [1 + (K_{dn} \cdot SRT)]\}$

- Hitung kebutuhan oksigen

$Ro = Q(S_o - S_e) - 1,42Px_{bio} + 4,33Q \cdot NO_x$

**10. Membuat gambar DED:**

- Gambar denah/tampak
- Gambar potongan
- Gambar detail
- Gambar profil hidrolis

### **b. Aspek Finansial**

Aspek finansial bertujuan untuk mengetahui biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan SPAL dan IPAL serta biaya operasi dan pemeliharaan IPAL. Dilakukan perhitungan sebagai berikut.

1. Perhitungan BOQ dan RAB disesuaikan dengan DED dan HSPK Kota Surabaya Tahun 2017.
2. Perhitungan biaya operasi dan pemeliharaan IPAL per tahun dan per bulan.

**Hasil dari perhitungan tersebut akan diolah menggunakan tabel dan pembahasan secara deskripsi.**

Untuk pembangunan direncanakan menggunakan biaya APBD yang telah disediakan oleh pemerintah untuk pembangunan IPAL-IPAL komunal serta investasi dari masyarakat. Sedangkan untuk biaya operasi dan pemeliharaan IPAL diperoleh dari anggaran

dana pengelola rumah susun dan penarikan retribusi dari masyarakat.

### **2.2.7 Kesimpulan dan Saran**

Pengambilan keputusan dan kesimpulan diperoleh dari hasil pengolahan data dan pembahasan dengan bimbingan dari dosen pembimbing untuk menjawab tujuan dari perencanaan ini. Tujuan perencanaan ini meliputi *Detail Engineering Design* (DED) SPAL dan IPAL Kelurahan Karah dan Siwalankerto, serta *Bill of Quantity* (BOQ); dan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Saran digunakan untuk mengevaluasi dan memberikan perbaikan terhadap perencanaan lebih lanjut.

**“Halaman Sengaja Dikosongkan”**



Kelurahan Karah memiliki kontur/elevasi antara 6-9 meter. Jalan perumahan di kelurahan ini memiliki lebar antara 5,5-6 m. Kelurahan ini memiliki luas sebesar 1,5 km<sup>2</sup>.



**Gambar 4.2 Kondisi Jalan di Kelurahan Karah**  
(Sumber: Hasil Survey, 2018)

#### **b. Rusun Jambangan**

Rusun yang dikelola oleh Pemerintah Kota Surabaya ini dibangun pada tahun 2011. Rusun ini terdiri atas 1 blok yang terdiri atas 5 lantai sehingga total unit yang ada di rusun ini adalah 49 unit dengan kondisi 48 unit terisi penghuni. Berdasarkan hasil uji laboratorium oleh Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya (BLH), efluen tangki septik air limbah domestik pada rusun ini masih belum memenuhi baku mutu yang dapat dilihat pada **Tabel 4.1**. Oleh karena itu, rusun ini masuk ke dalam pelayanan IPAL yang akan direncanakan. Rusun Jambangan akan menjadi lokasi pembangunan IPAL untuk Kelurahan Karah *Cluster 2*.



**Gambar 4.3 Bangunan Rusun Jambangan**  
(Sumber: Hasil Survey, 2018)



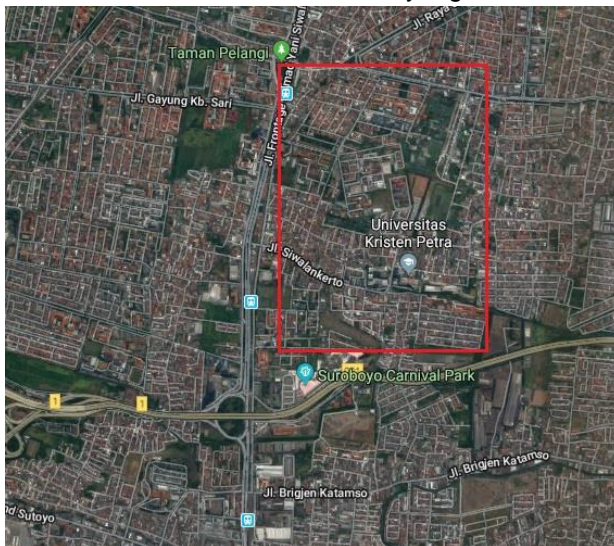
#### 4.1.2 Lokasi Perencanaan II

Wilayah perencanaan pembangunan IPAL yang kedua adalah Kelurahan Siwalankerto. Rusun Siwalankerto berada tepat di Kelurahan Siwalankerto dan rusun ini akan masuk dalam pelayanan IPAL yang akan direncanakan pada kelurahan tersebut.

##### a. Kelurahan Siwalankerto

Kelurahan Siwalankerto adalah salah satu kelurahan pada Kecamatan Wonocolo. Secara administratif, Kelurahan Siwalankerto memiliki batas-batas sebagai berikut:

- Sebelah Utara : Kelurahan Jemur Wonosari
- Sebelah Timur : Kecamatan Tenggilis Mejoyo
- Sebelah Selatan : Kecamatan Gayungan
- Sebelah Barat : Kecamatan Gayungan



**Gambar 4.4 Wilayah Kelurahan Siwalankerto**

Skala: 1:28.000

(Sumber: *Google Earth*)

Kelurahan Siwalankerto memiliki kontur/elevasi antara 5-6,5 meter. Jalan perumahan di kelurahan ini memiliki lebar antara 5,5-6 meter. Kelurahan ini memiliki luas sebesar 1,98 km<sup>2</sup>.



**Gambar 4.5 Kondisi Jalan di Kelurahan Siwalankerto**

(Sumber: Hasil Survey, 2018)

#### **b. Rusun Siwalankerto**

Rusun ini merupakan tipikal yang sama dengan Rusun Jambangan. Hanya saja rusun ini terdiri dari 2 blok sedangkan Rusun Jambangan hanya terdiri dari 1 blok saja. Setiap blok terdiri atas 5 lantai sehingga total unit yang ada di rusun ini adalah 99 unit dengan kondisi 98 unit terisi penghuni. Berdasarkan hasil uji laboratorium oleh Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya (BLH), efluen tangki septik air limbah domestik pada rusun ini masih belum memenuhi baku mutu yang dapat dilihat pada **Tabel 4.1**. Oleh karena itu, rusun ini masuk ke dalam pelayanan IPAL yang akan direncanakan. Rusun Siwalankerto akan menjadi lokasi pembangunan IPAL untuk Kelurahan Siwalankerto.



**Gambar 4.6 Bangunan Rusun Siwalankerto**

(Sumber: Hasil Survey, 2018)

#### **4.1.3 Kondisi Sanitasi wilayah Perencanaan**

Masyarakat di Kelurahan Karah dan Siwalankerto, hampir seluruhnya sudah terlayani air minum dari PDAM. Begitu juga dengan Rusun Jambangan dan Siwalankerto sudah terlayani air

minum dari PDAM. Pada kedua rusun tersebut, *black water* air limbah domestiknya diolah dengan tangki septik, sedangkan *grey water* langsung dibuang ke badan air. Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Kesehatan Kota Surabaya, Kelurahan Karah dan Siwalankerto sudah ODF (*Open Defecation Free*). ODF merupakan kondisi dimana masyarakat tidak buang air sembarangan. Dinas Kesehatan menyatakan bahwa kedua kelurahan tersebut ODF dengan kondisi sudah menggunakan tangki septik dalam mengolah air limbah domestik berupa *black water*. Sedangkan untuk *grey water* sama dengan rumah susun, langsung dibuang ke saluran drainase.

#### 4.1.4 Lokasi perencanaan IPAL

Pembangunan IPAL pada perencanaan ini dibagi menjadi 3 *cluster*, sehingga terdapat 3 titik lokasi yang akan dijadikan sebagai lokasi pembangunan IPAL, yaitu sebagai berikut.

- Lokasi IPAL *cluster* 1: Lapangan Taman Karah Indah I
- Lokasi IPAL *cluster* 2: Rusun Jambangan
- Lokasi IPAL *cluster* 3: Rusun Siwalankerto

Ketiga lokasi tersebut adalah lahan milik pemerintah, sehingga tidak perlu untuk membeli lahan untuk membangun IPAL. Berikut **Gambar 4.7-4.9** yang menunjukkan kondisi lahan kosong untuk lokasi ketiga IPAL yang akan dibangun.



**Gambar 4.7 Lokasi Perencanaan IPAL Cluster 1**

(Sumber: Hasil Survey, 2018)

Dimensi dari lahan kosong di *cluster* 1 adalah panjang 90 meter dan lebar 60 meter.



**Gambar 4.8 Lokasi Perencanaan IPAL *Cluster* 2**

(Sumber: Hasil Survey, 2018)

Dimensi dari lahan kosong di *cluster* 2 adalah panjang 70 meter dan lebar 35 m.



**Gambar 4.9 Lokasi Perencanaan IPAL *Cluster* 3**

(Sumber: Hasil Survey, 2018)

Dimensi dari lahan kosong di *cluster* 3 adalah panjang 50 meter dan lebar 40 m.


**Tabel 4.1 Hasil Uji Laboratorium IPAL Rusun Surabaya**


Lokasi IPAL	Jenis IPAL	Parameter									
		pH		BOD5 (mg/L)		COD (mg/L)		TSS (mg/L)		Minyak dan Lemak (mg/L)	
		Baku Mutu	Hasil Uji	Baku Mutu	Hasil Uji	Baku Mutu	Hasil Uji	Baku Mutu	Hasil Uji	Baku Mutu	Hasil Uji
Rusunawa Jambangan	Komunal	6 s/d 9	8	30	127	50	574	50	87	10	TD
Rusunawa Siwalankerto	Komunal	6 s/d 9	8	30	17	50	41	30	4	10	< 2.1
Rusunawa Tanah Merah 2 Blok A	Komunal	6 s/d 9	7	30	89	50	223	50	44	10	< 2.1
Rusunawa Tanah Merah 2 Blok B	Komunal	6 s/d 9	7	30	66	50	165	50	17	10	< 2.1
Rusunawa Warugunung	Komunal	6 s/d 9	7	30	79	50	112	50	31	10	TD

Sumber: Data Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2015

Keterangan:

TD= Tidak Diperiksa

 = Rusun di Surabaya Selatan

 = Di bawah baku mutu

## 4.2 Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL)

### 4.2.1 Daerah Pelayanan

Pada perencanaan ini, yang masuk dalam pelayanan sistem penyaluran air limbah adalah Kelurahan Karah dan sebagian Kelurahan Siwalankerto. Rusun Jambangan berada di wilayah Kelurahan Karah sehingga rusun ini masuk dalam pelayanan IPAL yang akan direncanakan. Lapangan Taman Karah Indah I dan Rusun Jambangan akan menjadi lokasi pembangunan IPAL di Kelurahan Karah. Kelurahan Siwalankerto merupakan lokasi dimana Rusun Siwalankerto berada. Rusun Siwalankerto masuk dalam pelayanan IPAL di Kelurahan Siwalankerto dan menjadi lokasi pembangunan IPAL. Berdasarkan data yang diperoleh dari Kelurahan Karah dan Siwalankerto, berikut adalah jumlah penduduk yang dilayani pada kedua kelurahan tersebut.

**Tabel 4.2 Jumlah Penduduk Terlayani**

Daerah Pelayanan	Jumlah Penduduk	Penduduk Terlayani	% Terlayani
Kelurahan Karah	21.470*	20.615	100%
Kelurahan Siwalankerto	18.475*	9.445	51%
Rusun Jambangan	240**	240	100%
Rusun Siwalankerto	490**	490	100%
<b>Total</b>		<b>30.790</b>	

Sumber: \*)Kelurahan Jambangan dan Siwalankerto, 2018

\*\*)Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah Kota Surabaya 2018

#### 4.2.1.1 Pembagian *Cluster* pada Lokasi Perencanaan

Pada kelurahan Karah penyaluran air limbahnya dibagi menjadi 2 *cluster*. Alasan pembagian wilayah di kelurahan ini disebabkan oleh kedua *cluster* tersebut dibatasi oleh sungai. Sehingga, untuk mempermudah penyaluran air limbahnya, penyaluran air limbah *cluster 1* dan 2 akan dipisah.

Pada kelurahan Siwalankerto, masyarakat yang dilayani hanya sebagian saja. Target penduduk yang dilayani untuk

kelurahan ini adalah 10.000 penduduk. Hal ini untuk meringankan beban IPAL yang masuk dikarenakan lahan yang tersedia di Rusun Siwalankerto terbatas. Perencanaan ini hanya melayani permukiman penduduk saja, maka daerah yang dilayani pada kelurahan ini merupakan daerah permukiman yang dekat dengan Rusun Siwalankerto. Daerah pelayanan pada Kelurahan Siwalankerto ini disebut sebagai *Cluster 3*.

➤ *Cluster 1*

Pada *Cluster 1* tidak terdapat proyeksi penduduk. Hal ini dikarenakan lahan yang tersedia untuk perumahan sudah penuh. Berdasarkan Peta Tata Guna Lahan dari Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman, Cipta Karya dan Tata Ruang Kota Surabaya, lahan kosong yang tersedia pada daerah ini diperuntukkan untuk kegunaan lain seperti makam, fasilitas umum, dan komersial.

➤ *Cluster 2*

Pada *Cluster 2* terdapat lahan kosong yang tersedia untuk perumahan, yaitu di daerah Ketintang Madya. Supaya pipa air limbah masih mampu menampung air limbah jika daerah tersebut sudah dilakukan pembangunan rumah, maka dilakukan proyeksi penduduk dengan cara mengasumsikan jumlah rumah yang dapat dibangun pada wilayah tersebut. Sehingga rumah-rumah yang diproyeksikan tersebut akan masuk ke dalam perhitungan penyaluran air limbah. Adapun total rumah yang diproyeksikan adalah sebanyak 188 rumah. Maka jumlah penduduk yang dilayani pada *Cluster 2* akan ditambah proyeksi penduduk sebanyak:

$$= 188 \text{ rumah} \times 5 \text{ orang/rumah} = 940 \text{ orang.}$$

Sedangkan lahan kosong yang lainnya pada *cluster* ini diperuntukkan untuk kegunaan lain seperti makam, fasilitas umum, dan komersial.

➤ *Cluster 3*

Pada *Cluster 3* tidak terdapat proyeksi penduduk. Hal ini dikarenakan lahan yang tersedia untuk perumahan sudah penuh. Berdasarkan Peta Tata Guna Lahan dari Dinas Perumahan Rakyat

dan Kawasan Permukiman, Cipta Karya dan Tata Ruang Kota Surabaya, lahan kosong yang tersedia pada daerah ini diperuntukkan untuk kegunaan lain seperti makam, fasilitas umum, dan komersial.

Pembagian ketiga *cluster* tersebut dapat dilihat pada **Tabel 4.3** berikut ini.

**Tabel 4.3 Pembagian *Cluster* pada Lokasi Perencanaan**

<i>Cluster</i>	Daerah Pelayanan	Jumlah Penduduk Dilayani	Lokasi Pembangunan IPAL
1	Kelurahan Karah bagian utara	16.230	Lapangan Taman Karah Indah I
2	Kelurahan Karah bagian selatan dan Rusun Jambangan	5.565	Rusun Jambangan
3	Kelurahan Siwalankerto bagian selatan dan Rusun Siwalankerto	9935	Rusun Siwakankerto
<b>Total</b>		<b>31.730</b>	

#### **4.2.2 Debit Pemakaian Air Bersih**

Debit air limbah diperoleh dari data penggunaan air bersih di Kelurahan Karah, Kelurahan Siwalankerto, serta penggunaan air bersih rusun. Data penggunaan air bersih diperoleh dari PDAM “Surya Sembada” Kota Surabaya dan Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah Kota Surabaya. Data yang digunakan merupakan data terbaru yaitu data tahun 2017 dan 2018. Data penggunaan air bersih yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 4.4, 4.5, 4.6** berikut ini.



**Tabel 4.4 Debit Pemakaian Air Bersih Kelurahan Karah**

No	No. Pelanggan	Nama	Alamat	MARET 2018 (m <sup>3</sup> )	FEBRUARI 2018 (m <sup>3</sup> )	JANUARI 2018 (m <sup>3</sup> )	Debit Rata-Rata Per Rumah (m <sup>3</sup> )
1	1013485	Abdul Mutholib	Karah Indah	20	20	20	20
2	1013486	Endro Sasongko	Karah Indah	18	30	46	31
3	1013487	Windarti Hidayat	Karah Indah	10	10	10	10
4	1013488	Sukaryono	Karah Indah	46	42	46	45
5	1013489	Sakri Wiyono	Karah Indah	12	25	16	18
6	1013490	Candra Nurhayati	Karah Indah	40	43	33	39
7	1013490	Ny. Diah Chusnul	Karah Indah	54	53	52	53
8	1013492	Ny. Mariati	Karah Indah	52	26	33	37
9	1013493	Hery Setiabudi	Karah Indah	10	10	10	10
10	1013494	Muizi	Karah Indah	34	25	34	31
11	1013495	Sardiyatmoko	Karah Indah	28	27	24	26
12	1013496	Haryono Widjaja	Karah Indah	10	12	10	11
13	1013497	Haryono Widjaja	Karah Indah	40	35	40	38
14	1013498	Harjono Widjaja	Karah Indah	10	10	10	10
15	1013499	Pipit Winarningsih	Karah Indah	15	15	18	16
16	1013500	Wahyono Woyono	Karah Indah	28	53	74	52
17	1013501	Nurguda	Karah Indah	17	222	14	84
18	1013502	Ngadelan	Karah Indah	10	10	11	10
19	1013503	Eddy Gunawan	Karah Indah	67	61	60	63
20	1013504	Miskan	Karah Indah	18	15	21	18
21	1013505	Aan Subandi	Karah Indah	69	40	40	50
22	1013506	Siti Wafiroh	Karah Indah	41	30	44	38
23	1013507	Gunawan Wibisono	Karah Indah	18	18	15	17
24	1013508	Hadi Wahyono	Karah Indah	12	11	14	12
25	1013509	Djoko Sungkono	Karah Indah	13	11	31	18
26	1013510	Mohamad Yasir	Karah Indah	63	51	61	58
27	1013511	Herry Sundjaja	Karah Indah	10	20	20	17
28	1013512	Sulistijowati	Karah Indah	15	14	18	16
29	1013513	Imam Agus Nugraha	Karah Indah	10	10	10	10
30	1013514	Achmad Sampurna	Karah Indah	27	33	31	30
31	1013515	Isnumari	Karah Indah	10	10	10	10
32	1013516	Suparmi	Karah Indah	10	22	20	17
33	1013517	Sito Pamilih	Karah Indah	49	44	41	45
34	1013518	Bambang Wicaksono	Karah Indah	26	24	18	23
35	1013519	Benny Multi	Karah Indah	22	25	26	24
36	1013520	Sudiro	Karah Indah	19	17	18	18
37	1013521	Abesito Nirnomo	Karah Indah	12	13	13	13
38	1013522	Djoko Poerwoto	Karah Indah	26	28	30	28
39	1013523	Wahyono Muwardi	Karah Indah	31	36	37	35
40	1013524	Agustin Kurniasari	Karah Indah	27	29	28	28
41	1013525	Tri Hardjono	Karah Indah	17	14	22	18
42	1013526	Soeharti suharmini	Karah Indah	30	24	30	28
43	1013527	Moenedji	Karah Indah	57	38	37	44

No	No. Pelanggan	Nama	Alamat	MARET 2018 (m <sup>3</sup> )	FEBRUARI 2018 (m <sup>3</sup> )	JANUARI 2018 (m <sup>3</sup> )	Debit Rata-Rata Per Rumah (m <sup>3</sup> )
44	1013528	Wilson Dwiwardjo	Karah Indah	20	20	20	20
45	1013529	Luky Ariani	Karah Indah	19	19	22	20
46	1013530	Wahyu Margiono	Karah Indah	27	27	29	28
47	1013531	Sosiawan	Karah Indah	26	25	17	23
48	1013532	Wibisono	Karah Indah	20	20	20	20
49	1013533	Hadi Sunarto	Karah Indah	10	12	12	11
50	1013534	Soedjoko	Karah Indah	30	30	35	32
51	1013535	Sri Mulyati	Karah Indah	24	24	26	25
52	1013537	Triyogo Suharsih	Karah Indah	16	15	16	16
53	1013538	Fathoer Rozsi	Karah Indah	18	13	25	19
54	1013539	Pitoyo	Karah Indah	21	20	16	19
55	1013540	Achmat Slamet	Karah Indah	31	30	30	30
56	1013541	Imam Widjaja	Karah Indah	17	16	23	19
57	1013542	Hhony Soedmajyo	Karah Indah	15	10	12	12
58	1013543	Iriyanto	Karah Indah	59	47	72	59
59	1013544	Eko Djoko Basuki	Karah Indah	10	10	10	10
60	1013545	Sapilin	Karah Indah	15	11	15	14
61	1013546	Lasimin	Karah Indah	15	15	15	15
62	1013547	Taklim Arijanto	Karah Indah	51	47	51	50
63	1013548	Sukendra	Karah Indah	27	26	34	29
64	1013549	Juwahir	Karah Indah	36	38	48	41
65	1013550	Ariek Pribadi	Karah Indah	22	28	30	27
66	1013551	Djuwahir	Karah Indah	23	23	24	23
67	1013552	Sunyoto	Karah Indah	12	16	19	16
68	1013553	Setiyo Wahyudi	Karah Indah	10	10	10	10
69	1013554	Masrawi	Karah Indah	14	15	16	15
70	1013555	Bambang Suprijadi	Karah Indah	19	17	24	20
71	1013556	Widiatmoko	Karah Indah	27	23	24	25
72	1013557	Abdul Gani	Karah Indah	68	88	16	57
73	1013558	Said Rahardjo	Karah Indah	25	25	25	25
74	1013559	Edy Anthoni	Karah Indah	10	12	10	11
75	1013560	Entin Suatiantini	Karah Indah	10	25	25	20
76	1013561	Nyoto Santoso	Karah Indah	14	13	14	14
77	1013562	Amin Suparno	Karah Indah	17	20	24	20
78	1013563	Tatik Sri Setyati	Karah Indah	10	10	14	11
79	1013564	Nur Hasin	Karah Indah	36	50	43	43
80	1013565	Mariana	Karah Indah	10	10	10	10
81	1013566	Heriansyah	Karah Indah	10	10	10	10
82	1013567	Budiono	Karah Indah	12	12	10	11
83	1013568	Masrawi	Karah Indah	10	10	24	15
84	1013569	Nurul Sanuri	Karah Indah	30	44	27	34
85	1013570	Bambang Hendry	Karah Indah	33	32	30	32
86	1013571	Rochmawati Indah	Karah Indah	22	23	20	22
87	1013572	Sura Sudiono	Karah Indah	26	25	29	27
88	1013573	Indarsih	Karah Indah	23	24	24	24
89	1013574	Dwi Mahanani	Karah Indah	10	10	10	10
90	1013575	Erfan Hadi	Karah Indah	16	16	16	16
91	1013577	Penny Wahyu	Karah Indah	30	28	34	31

No	No. Pelanggan	Nama	Alamat	MARET 2018 (m <sup>3</sup> )	FEBRUARI 2018 (m <sup>3</sup> )	JANUARI 2018 (m <sup>3</sup> )	Debit Rata-Rata Per Rumah (m <sup>3</sup> )
92	1013578	Walujo	Karah Indah	39	20	40	33
93	1013579	Subiyanto	Karah Indah	25	30	30	28
94	1013580	Pitoyo	Karah Indah	15	16	19	17
95	1013581	Arief Agustianto	Karah Indah	13	14	24	17
96	1013582	Udjang Pairin	Karah Indah	12	11	18	14
97	1013583	Yuniarso	Karah Indah	28	28	41	32
98	1013584	Marsiati	Karah Indah	27	31	27	28
99	1013585	Hardhani	Karah Indah	10	10	12	11
100	1013586	Fatimah	Karah Indah	21	19	24	21
<b>RATA-RATA PER BULAN/KK (m3)</b>				<b>23.99</b>	<b>25.79</b>	<b>25.41</b>	<b>25.06</b>
<b>RATA-RATA PER 3 BULAN/KK (m3)</b>				<b>25.06</b>			
<b>RATA-RATA PER HARI/KK (m3)</b>					<b>0.84</b>		
<b>RATA-RATA PER HARI/ORANG (m3/orang.hari)</b>					<b>0.167</b>		
<b>RATA-RATA PER HARI/ORANG (L/orang.hari)</b>					<b>167</b>		

Sumber: PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, 2018

**Tabel 4.5 Debit Pemakaian Air Bersih Kelurahan Siwalankerto**

No. Pelanggan	Nama	Alamat	MARET 2018 (m <sup>3</sup> )	FEBRUARI 2018 (m <sup>3</sup> )	JANUARI 2018 (m <sup>3</sup> )	Debit Rata-Rata Per Rumah (m <sup>3</sup> )
1105344	Mukhtar	Siwalanlerto	33	29	28	30
1105345	Hartono Chandra	Siwalanlerto	24	19	16	20
1105563	Nadiro	Siwalanlerto	22	21	19	21
1105564	Sulkan Fatony	Siwalanlerto	18	14	18	17
1105565	Kastari	Siwalanlerto	10	10	10	10
1105566	Sonthi Harsono	Siwalanlerto	35	37	36	36
1105567	Sumarno	Siwalanlerto	32	32	33	32
1105568	Rustiyaningsih	Siwalanlerto	22	18	18	19
1105569	Susmini	Siwalanlerto	63	65	61	63
1105570	Sulasminin	Siwalanlerto	15	13	10	13
1105571	Sutedjo Budiono	Siwalanlerto	20	15	28	21
1105572	Sumardi	Siwalanlerto	29	30	30	30
1105573	Liana	Siwalanlerto	10	10	10	10
1105574	Nurmiyati	Siwalanlerto	10	10	15	12
1105590	H. Marwah	Siwalanlerto	22	18	18	19
1105591	Sukardi	Siwalanlerto	18	18	16	17
1105592	Suliana	Siwalanlerto	24	25	24	24
1105593	Titin Mardiana	Siwalanlerto	28	36	40	35
1105594	Moh. Sarmari	Siwalanlerto	47	49	44	47
1105595	Sugijono	Siwalanlerto	47	37	46	43
1105596	Istiqomah	Siwalanlerto	46	46	43	45
1105597	Soehermi	Siwalanlerto	21	29	21	24
1105598	Fa'is Effendy	Siwalanlerto	37	29	27	31
1105599	Mustaqimah	Siwalanlerto	10	11	12	11
1105600	Soepardi	Siwalanlerto	17	11	19	16
1105601	Sriatun	Siwalanlerto	31	37	29	32
1105602	Sudjito Adi	Siwalanlerto	21	18	10	16
1105603	Sri Poncowati	Siwalanlerto	43	42	38	41
1105604	Sugiono	Siwalanlerto	14	11	15	13
1105605	Kusdarini	Siwalanlerto	10	10	10	10
1105606	Widi Utami	Siwalanlerto	57	52	46	52

No. Pelanggan	Nama	Alamat	MARET 2018 (m3)	FEBRUARI 2018 (m3)	JANUARI 2018 (m3)	Debit Rata-Rata Per Rumah (m3)
1105607	Anung Purwandoko	Siwalanlerto	10	10	11	10
1105608	Winarko	Siwalanlerto	53	54	47	51
1105609	Hariadi	Siwalanlerto	17	13	10	13
1105610	Soekardji	Siwalanlerto	10	10	10	10
1105611	Sutarti	Siwalanlerto	10	10	10	10
1105612	Budi Sutrisno	Siwalanlerto	63	71	72	69
1105613	Laminah	Siwalanlerto	27	21	24	24
1105721	Kasiamin	Siwalanlerto	28	38	36	34
1105722	Agus Suprianto	Siwalanlerto	11	19	13	14
1105723	Mufida Ariyani	Siwalanlerto	52	52	46	50
1105724	Moch Madenan	Siwalanlerto	10	10	10	10
1105725	Eko Adi	Siwalanlerto	34	35	33	34
1105726	Sukartningsih	Siwalanlerto	26	33	26	28
1105727	Suroto	Siwalanlerto	50	52	51	51
1105728	Sadiyo	Siwalanlerto	11	14	10	12
1105729	Mulata Rasiko	Siwalanlerto	35	25	26	29
1105730	Imam Mulia	Siwalanlerto	35	36	30	34
1105731	Irawan Dwi	Siwalanlerto	21	24	20	22
1105732	Prayitno	Siwalanlerto	29	30	27	29
1105774	Kusnadi	Siwalanlerto	35	40	30	35
1105775	Amin	Siwalanlerto	69	63	62	65
1105776	Puji Susilo	Siwalanlerto	47	43	36	42
1105777	Soeb Alibi	Siwalanlerto	33	23	33	30
1105778	Atip Koesari	Siwalanlerto	14	11	10	12
1105779	Haruno	Siwalanlerto	37	40	29	35
1105780	Hari Subagyo	Siwalanlerto	15	18	10	14
1105781	Totok Dwi	Siwalanlerto	23	22	21	22
1105786	Suhermanto	Siwalanlerto	11	11	10	11
1105787	Sarkum	Siwalanlerto	29	28	30	29
1105788	Winartningsih	Siwalanlerto	16	20	19	18
1105789	Nugroho	Siwalanlerto	35	26	21	27
1105790	Prabowo	Siwalanlerto	45	38	48	44
1105816	Djoko Warsito	Siwalanlerto	34	36	37	36
1105817	Rusdi	Siwalanlerto	49	47	62	53
1105818	Wahyu Lestari	Siwalanlerto	10	10	13	11
1105819	Ari Yuliati	Siwalanlerto	36	27	30	31
1105820	Rusdi	Siwalanlerto	56	51	57	55
1105821	Bambang Setyo	Siwalanlerto	26	28	26	27
1105822	Maryanto	Siwalanlerto	20	20	20	20
1105866	Heri Siswanto	Siwalanlerto	10	10	10	10
1105867	Nunuk Rofidah	Siwalanlerto	33	33	36	34
1105868	Mulyono	Siwalanlerto	16	10	10	12
1105869	Suroso	Siwalanlerto	29	21	21	24
1105870	Mohammad Joko	Siwalanlerto	17	14	15	15
1105871	Soehadi	Siwalanlerto	20	24	19	21
1105872	Sri Rahayu	Siwalanlerto	13	18	24	18
1105873	Soeparna	Siwalanlerto	26	30	28	28
1105874	Soekadji	Siwalanlerto	11	14	14	13
1105878	Mohammad Sholeh	Siwalanlerto	43	40	33	39
1105879	Moeljo Atim	Siwalanlerto	38	38	34	37

No. Pelanggan	Nama	Alamat	MARET 2018 (m3)	FEBRUARI 2018 (m3)	JANUARI 2018 (m3)	Debit Rata-Rata Per Rumah (m3)
1105880	Sudiby	Siwalanlerto	12	13	11	12
1105881	Wagiran	Siwalanlerto	26	30	33	30
1105882	Joggy Soepangat	Siwalanlerto	26	31	25	27
1105883	Sulkan	Siwalanlerto	19	18	18	18
1105884	Zainun Na'im	Siwalanlerto	27	29	28	28
1105885	Kasiono	Siwalanlerto	33	31	31	32
1105886	Hermawan	Siwalanlerto	29	29	30	29
1105887	Suni'ah	Siwalanlerto	42	43	37	41
1105888	Siti Komisah	Siwalanlerto	22	19	22	21
1105889	Agoes Kamto	Siwalanlerto	17	20	16	18
1105890	Sukirmanadi	Siwalanlerto	40	40	38	39
1105891	Suharto	Siwalanlerto	10	10	10	10
1105892	Joko Priyono	Siwalanlerto	26	25	22	24
1105893	Sianah Andari	Siwalanlerto	11	14	10	12
1105894	Mien Aminah	Siwalanlerto	20	20	16	19
1105895	Samiyo	Siwalanlerto	15	15	15	15
1105896	Suparno	Siwalanlerto	25	26	22	24
1105897	Muntabri	Siwalanlerto	14	12	12	13
1105898	Binti Roidah	Siwalanlerto	23	25	25	24
<b>RATA-RATA PER BULAN/KK (m3)</b>			<b>27.01</b>	<b>26.63</b>	<b>25.71</b>	<b>26.45</b>
<b>RATA-RATA PER 3 BULAN/KK (m3)</b>			<b>26.45</b>			
<b>RATA-RATA PER HARI/KK (m3)</b>			<b>0.88</b>			
<b>RATA-RATA PER HARI/ORANG (m3/orang/hari)</b>			<b>0.176</b>			
<b>RATA-RATA PER HARI/ORANG (L/orang/hari)</b>			<b>176</b>			

Sumber: PDAM Surya Sembada Kota Surabaya, 2018

**Tabel 4.6 Debit Pemakaian Air Bersih Rumah Susun**

Nama	Nomor Rumah	OKTOBER 2017 (m3)	NOPEMBER 2017 (m3)	DESEMBER 2017 (m3)	Debit Rata-Rata Per Rumah (m3)
Endun Erawati	2 / 01	10	11	8	10
Lasiran	2 / 02	15	11	6	11
M.Dianto	2 / 03	13	11	28	17
Kusmiati	2 / 04	10	9	10	10
Dody Soebijono	2 / 05	15	2	6	8
Siti Rahayu	2 / 06	22	18	10	17
Wahyudi	2 / 07	9	9	10	9
Dwiyati Purwandari	2 / 08	19	18	10	16
Mudjiyanto	2 / 09	16	13	14	14
Pangestu Rianto	2 / 10	4	7	2	4
Machmudiono	2 / 11	8	11	13	11
Sukadi	2 / 12	12	14	1	9
Totok Sugiarto	3 / 01	8	5	2	5
Kustutiati	3 / 02	15	9	17	14
Fery Verdian	3 / 03	13	12	4	10
Rujito	3 / 04	4	4	5	4
M. Iksan Suryanto	3 / 05	11	10	10	10
Dani Nur Alamsyah	3 / 06	18	16	11	15
Chamin Muchsan	3 / 07	19	15	6	13
Eko Basuki	3 / 08	18	18	3	13

Nama	Nomor Rumah	OKTOBER 2017 (m3)	NOPEMBER 2017 (m3)	DESEMBER 2017 (m3)	Debit Rata-Rata Per Rumah (m3)
Jamalludin	3 / 09	34	31	11	25
Nikensari P.H.	3 / 10	13	16	21	17
Samsul Afandi	3 / 11	28	19	2	16
Sudjai	3 / 12	9	8	3	7
Laksono	4 / 01	21	18	8	16
Dwi Anang	4 / 02	17	16	11	15
Nur Wachid	4 / 03	13	12	10	12
Tri Mulyati	4 / 04	9	9	10	9
Supiati	4 / 05	8	8	6	7
Andik Cahyo	4 / 06	20	16	13	16
Mamik Rahmawati	4 / 07	0	0	2	1
Herry Arifin	4 / 08	18	16	10	15
Sri Wahyuni	4 / 09	9	11	10	10
Endang Tri	4 / 10	11	13	10	11
Ahmad Soleh	4 / 11	16	10	8	11
Ismanto	4 / 12	9	7	8	8
Rendra Kurnianto	5 / 01	10	8	9	9
Agus Supriyono	5 / 02	27	26	8	20
Karyanto	5 / 03	10	5	11	9
Fudji Nurini	5 / 04	15	17	7	13
Ratmoko	5 / 05	0	0	22	7
Sukodiharjo	5 / 06	16	13	10	13
Mochamad Ibnu	5 / 07	0	0	6	2
Anugrah Prasetyo	5 / 08	12	11	0	8
Zainur R. Anwar	5 / 09	0	0	18	6
Nunik Woro	5 / 10	37	31	7	25
Aris Triono	5 / 11	30	34	10	25
Indra Varia	5 / 12	15	13	10	13
<b>RATA-RATA PER BULAN/KK (m3)</b>		<b>13.88</b>	<b>12.31</b>	<b>9.10</b>	<b>11.76</b>
<b>RATA-RATA PER 3 BULAN/KK (m3)</b>		<b>11.76</b>			
<b>RATA-RATA PER HARI/KK (m3)</b>		<b>0.392</b>			
<b>RATA-RATA PER HARI/ORANG (m3/orang.hari)</b>		<b>0.078</b>			
<b>RATA-RATA PER HARI/ORANG (L/orang.hari)</b>		<b>78</b>			

Sumber: Dinas Pengelolaan Bangunan dan Tanah Kota Surabaya, 2018

Debit air limbah dari permukiman penduduk *cluster* 1, 2 dan 3 dapat dilihat pada perhitungan pembebanan saluran air limbah. Sedangkan untuk debit air limbah rumah susun adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.7 Debit Air Limbah Rumah Susun**

Nama Rusun	Jumlah Penduduk	Kebutuhan Air Bersih (m <sup>3</sup> /orang.hari)	Debit Pemakaian Air Bersih (m <sup>3</sup> /hari)	Debit Air Limbah 80% (m <sup>3</sup> /hari)
Jambangan	240	0,078	18,72	14,98
Siwalankerto	490	0,078	38,22	30,58

Nama Rusun	Faktor <i>Peak</i>	Debit Air Limbah <i>Peak</i> (m <sup>3</sup> /hari)	Debit Minimum (m <sup>3</sup> /hari)
Jambangan	2,14	32	2,25
Siwalankerto	1,81	55	5,30

### 4.2.3 Pembebanan Saluran Air Limbah

Air limbah akan dialirkan melalui pipa menuju IPAL. Pipa yang digunakan ada 3 jenis, yaitu pipa tersier, sekunder, dan primer. Pipa tersier adalah pipa yang menerima air limbah langsung dari setiap rumah penduduk. Pipa sekunder berfungsi untuk mengumpulkan air limbah dari pipa tersier sebelum masuk ke pipa primer. Sedangkan pipa primer adalah pipa induk yang membawa air limbah menuju IPAL. Saluran pipa air limbah akan menerima beban debit yang berbeda-beda sesuai dengan jumlah rumah yang dilewati oleh pipa tersebut. Berikut adalah contoh perhitungan pembebanan saluran:

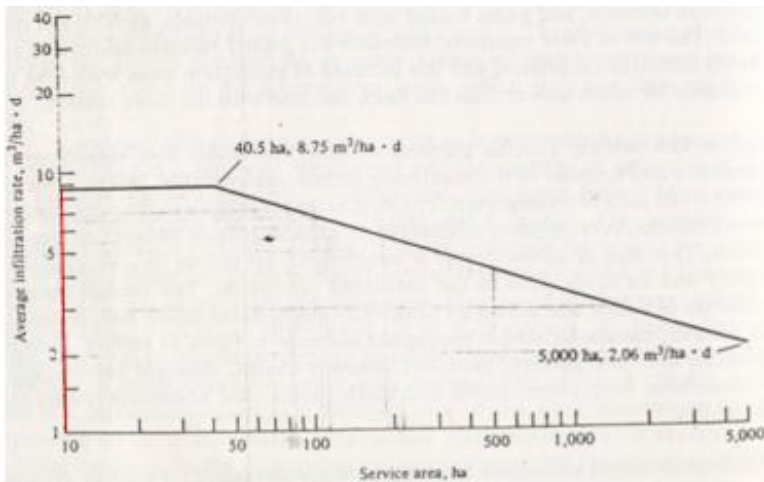
*Cluster* 1:

#### Saluran A1-B1

- Jumlah rumah dilayani = 131 unit
- Jumlah orang dilayani = jumlah unit rumah x 5 orang  
= 131 x 5 orang = 655 orang

- Debit pemakaian air bersih = 167 L/orang.hari  
= 0,167 m<sup>3</sup>/orang.hari
- $Q_{average}$  air limbah = (655 orang x 0,167 m<sup>3</sup>/orang.hari) x 80%  
= 87,5 m<sup>3</sup>/hari
- Faktor *peak* =  $[18+(\text{Jumlah orang})^{0,5}] / [(4+\text{Jumlah orang})^{0,5}]$   
=  $[18+(655)^{0,5}] / [(4+\text{jumlah orang})^{0,5}]$   
= 1,70
- $Q_{peak}$  = faktor *peak* x  $Q_{average}$   
= 1,70 x 87,51 m<sup>3</sup>/hari  
= 148,6 m<sup>3</sup>/hari
- Luas area = 2 Hektar
- Faktor infiltrasi

Dengan menggunakan Grafik *Average Infiltration Allowance* yang terdapat pada **Gambar 2.1** diperoleh faktor infiltrasi sebagai berikut.



Grafik menunjukkan garis datar pada luas area dari 10 Ha hingga 40,5 Ha. Hal ini menunjukkan bahwa nilai faktor infiltrasi adalah sama untuk rentang luas area tersebut. Karena faktor luas area terkecil adalah 10 Ha pada grafik, maka untuk luas area 2 Ha

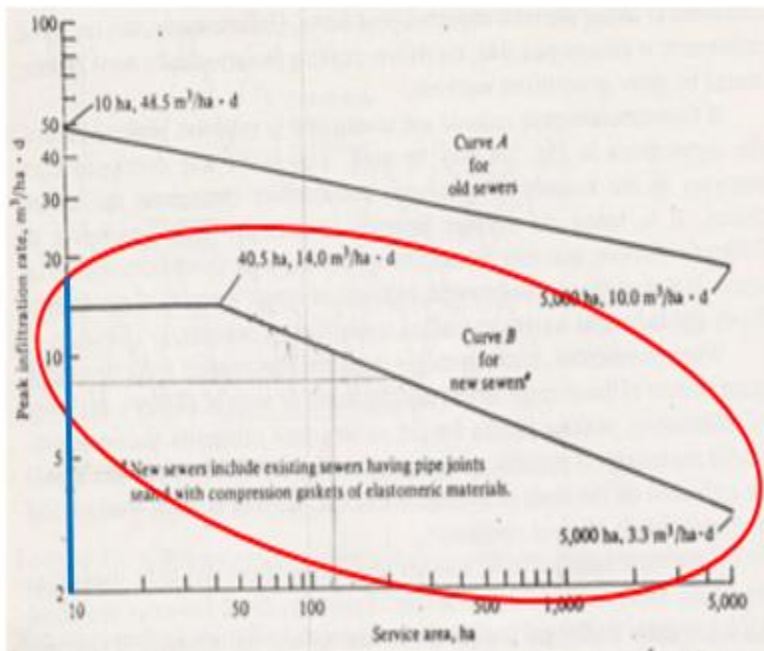


mengikuti faktor yang 10 Ha. Sehingga faktor infiltrasi yang digunakan adalah 8,75 m<sup>3</sup>/Ha.hari.

➤  $Q_{average}$  infiltrasi = Faktor infiltrasi x luas area  
= 8,75 m<sup>3</sup>/Ha.hari x 2 Ha  
= 17,5 m<sup>3</sup>/hari

➤ Faktor *peak* infiltrasi

Dengan menggunakan Grafik *Peak Infiltration Allowance* yang terdapat pada **Gambar 2.2** diperoleh faktor infiltrasi sebagai berikut.



Grafik yang digunakan adalah yang diberi tanda merah, yaitu grafik untuk SPAL baru. Grafik menunjukkan garis datar pada luas area dari 10 Ha hingga 40,5 Ha. Hal ini menunjukkan bahwa nilai faktor *peak* infiltrasi adalah sama untuk rentang luas area tersebut. Karena faktor luas area terkecil adalah 10 Ha pada grafik, maka

untuk luas area 2 Ha mengikuti faktor yang 10 Ha. Sehingga faktor infiltrasi yang digunakan adalah  $14 \text{ m}^3/\text{Ha.hari}$ .

$$\begin{aligned} \text{➤ } Q_{peak} \text{ infiltrasi} &= \text{Faktor } peak \text{ infiltrasi} \times \text{luas area} \\ &= 14 \text{ m}^3/\text{Ha.hari} \times 2 \text{ Ha} \\ &= 28 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Adapun debit air limbah yang dibawa oleh pipa *sewers* menuju instalasi pengolahan air limbah merupakan total antara debit air limbah yang berasal dari rumah-rumah warga ditambahkan dengan debit infiltrasi. Hasil perhitungan debit total tersebut adalah sebagai berikut. Penambahan debit infiltrasi ini dilakukan sebagai faktor keamanan apabila terjadi hujan sehingga masih terdapat ruang pada pipa *sewers* untuk menampung air hujan yang masuk melalui tutup *manhole* di sepanjang saluran pipa air limbah.

$$\begin{aligned} \text{➤ } Q_{average} \text{ total} &= Q_{average} + Q_{average} \text{ infiltrasi} \\ &= 87,5 + 17,5 = 105 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{➤ } Q_{peak} \text{ total} &= Q_{peak} + Q_{peak} \text{ infiltrasi} \\ &= 148,6 + 28 = 176,6 \text{ m}^3/\text{hari} \\ \text{➤ } Q_{minimum} &= 0,2 \times (\text{jumlah orang}/1000)^{1/5} \times Q_{average} \\ &= 0,2 \times (655/1000)^{1/5} \times 87,51 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 16,1 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan pembebanan pada saluran pipa air limbah di setiap wilayah pada *cluster* 1, 2, dan 3 dapat dilihat pada **Tabel 4.8, 4.9, dan 4.10**.

**Tabel 4.8 Pembebanan Saluran Cluster 1**

No	Jalur Pipa	Nama Jalan	Jenis Pipa	Beban Saluran (Rumah)	Total Beban	Jumlah Terlayani	Kebutuhan Air Bersih	
					(Rumah)	(Orang)	(L/orang.hari)	(m <sup>3</sup> /orang.hari)
1	A1-B1	Jl. Jambangan	Tersier	131	131	655	167	0.167
2	A2-B2	Jl. Karah	Tersier	95	95	475	167	0.167
3	A3-B5	Jl. Karah VD	Tersier	115	115	575	167	0.167
4	A4-B7	Jl. Karah IV dan Jl. Karah V	Tersier	296	296	1480	167	0.167
5	A5-A6	Jl. Karah I	Tersier	185	185	925	167	0.167
6	A7-B8	Jl. Karah II	Tersier	319	319	1595	167	0.167
7	A8-A9	Jl. Karah Agung XII	Tersier	71	71	355	167	0.167
8	A10-A11	Jl. Karah Agung XII	Tersier	(A8-A9)+234	305	1525	167	0.167
9	A11-A12	Jl. Karah Agung I	Tersier	(A10-A11)+318	623	3115	167	0.167
10	A13-B10	Jl. Karah Agung V	Tersier	33	33	165	167	0.167
11	A14-A15	Jl. Perum Karah Indah I	Tersier	34	34	170	167	0.167
12	A16-A17	Jl. Perum Karah Indah I	Tersier	(A14-A15)+41	75	375	167	0.167
13	A17-B10	Jl. Perum Karah Indah II	Tersier	(A16-A17)+33	108	540	167	0.167
14	A18-B11	Jl. Karah Tama Asri I	Tersier	75	75	375	167	0.167
15	A19-B12	Jl. Karah Tama	Tersier	50	50	250	167	0.167
16	A20-A21	Jl. Karah Indah V	Tersier	33	33	165	167	0.167
17	A22-A23	Jl. Karah Indah VI	Tersier	40	40	200	167	0.167
18	A24-A25	Jl. Karah Indah VII	Tersier	22	22	110	167	0.167
19	A25-A26	Jl. Karah Indah III	Tersier	(A20-A21)+(A22-A23)+(A24-A25)+32	127	635	167	0.167
20	A26-B9	Jl. Karah Indah I	Tersier	(A25-A26)+13	140	700	167	0.167
21	A27-A28	Jl. Ketintang Barat Indah	Tersier	79	79	395	167	0.167
22	A29-B13	Jl. Ketintang Barat II	Tersier	238	238	1190	167	0.167
23	A30-A31	Gang 2	Tersier	201	201	1005	167	0.167
24	B1-B2	Jl. Karah	Sekunder	(A1-B1)+(A2-B2)	226	1130	167	0.167
25	B2-B3	Jl. Karah	Sekunder	(B1-B2)+123	349	1745	167	0.167
26	B3-B4	Jl. Karah	Sekunder	(B2-B3)+80	429	2145	167	0.167
27	B4-C1	Jl. Karah	Sekunder	(B3-B4)+25	454	2270	167	0.167
28	B5-B6	Jl. Karah VD	Sekunder	(A3-B5)	115	575	167	0.167
29	B6-B7	Jl. Karah V	Sekunder	(B5-B6)+(A4-B7)+250	661	3305	167	0.167
30	B7-B8	Jl. Karah II	Sekunder	(B6-B7)+(A4-B7)	957	4785	167	0.167

No	Jalur Pipa	Nama Jalan	Jenis Pipa	Beban Saluran (Rumah)	Total Beban	Jumlah Terlayani	Kebutuhan Air Bersih	
					(Rumah)	(Orang)	(L/orang.hari)	(m <sup>3</sup> /orang.hari)
31	B8-B9	Jl. Karah II	Sekunder	(A7-B8)+(B7-B8)	1276	6380	167	0.167
32	B10-B11	Jl. Karah Agung	Sekunder	(A13-B10)+(A17-B10)	141	705	167	0.167
33	B11-B12	Jl. Karah Agung	Sekunder	(A18-B11)+(B10-B11)	216	1080	167	0.167
34	B12-C2	Jl. Karah Agung	Sekunder	(A11-A12)+(A19-B12)+(A26-B9)+(B8-B9)	2089	10445	167	0.167
35	B13-C3	Jl. Ketintang Barat III	Sekunder	(A29-B13)+(A27-A28)	317	1585	167	0.167
36	C1-C2	Jl. Karah Agung	Primer	(B4-C1)+(A5-A6)	639	3195	167	0.167
37	C2-C3	Jl. Karah Lap. Belakang	Primer	(C1-C2)+(B12-C2)+(A30-A31)+(B13-C3)	3246	16230	167	0.167
38	C3-IPAL	Jl. Karah Lap. Belakang	Primer	SP	3246	16230	167	0.167

No	Jalur Pipa	Debit Air Limbah										
		Qave 80%	Fpeak	Qpeak	Luas	Faktor Infiltrasi	Qave Infiltrasi	Fpeak Infiltrasi	Qpeak Infiltrasi	Qave Total	Qpeak Total	Qmin
		(m <sup>3</sup> /hari)		(m <sup>3</sup> /hari)			(Ha)	(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	
1	A1-B1	87.5	1.70	148.6	2.0	8.75	17.5	14.00	28.0	105.0	176.6	16.1
2	A2-B2	63.5	1.82	115.4	1.5	8.75	13.1	14.00	21.0	76.6	136.4	10.9
3	A3-B5	76.8	1.74	134.0	2.0	8.75	17.5	14.00	28.0	94.3	162.0	13.8
4	A4-B7	197.7	1.47	289.9	6.5	8.75	56.9	14.00	91.0	254.6	380.9	42.8
5	A5-A6	123.6	1.59	196.3	3.0	8.75	26.3	14.00	42.0	149.8	238.3	24.3
6	A7-B8	213.1	1.45	308.7	6.0	8.75	52.5	14.00	84.0	265.6	392.7	46.8
7	A8-A9	47.4	1.94	92.2	1.0	8.75	8.8	14.00	14.0	56.2	106.2	7.7
8	A10-A11	203.7	1.46	297.3	6.0	8.75	52.5	14.00	84.0	256.2	381.3	44.3
9	A11-A12	416.2	1.32	550.0	12.0	8.75	105.0	14.00	168.0	521.2	718.0	104.5
10	A13-B10	22.0	2.37	52.3	1.0	8.75	8.8	14.00	14.0	30.8	66.3	3.1
11	A14-A15	22.7	2.35	53.4	1.0	8.75	8.8	14.00	14.0	31.5	67.4	3.2
12	A16-A17	50.1	1.92	96.2	2.5	8.75	21.9	14.00	35.0	72.0	131.2	8.2
13	A17-B10	72.1	1.77	127.6	4.0	8.75	35.0	14.00	56.0	107.1	183.6	12.8
14	A18-B11	50.1	1.92	96.2	3.0	8.75	26.3	14.00	42.0	76.4	138.2	8.2
15	A19-B12	33.4	2.12	70.9	2.0	8.75	17.5	14.00	28.0	50.9	98.9	5.1
16	A20-A21	22.0	2.37	52.3	1.0	8.75	8.8	14.00	14.0	30.8	66.3	3.1
17	A22-A23	26.7	2.25	60.1	1.0	8.75	8.8	14.00	14.0	35.5	74.1	3.9
18	A24-A25	14.7	2.67	39.2	1.0	8.75	8.8	14.00	14.0	23.4	53.2	1.9

No	Jalur Pipa	Debit Air Limbah										
		Qave 80%	Fpeak	Qpeak	Luas	Faktor Infiltrasi	Qave Infiltrasi	Fpeak Infiltrasi	Qpeak Infiltrasi	Qave Total	Qpeak Total	Qmin
		(m <sup>3</sup> /hari)		(m <sup>3</sup> /hari)		(Ha)	(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /hari)
19	A25-A26	84.8	1.71	145.0	4.0	8.75	35.0	14.00	56.0	119.8	201.0	15.5
20	A26-B9	93.5	1.68	156.7	5.0	8.75	43.8	14.00	70.0	137.3	226.7	17.4
21	A27-A28	52.8	1.90	100.1	2.0	8.75	17.5	14.00	28.0	70.3	128.1	8.8
22	A29-B13	159.0	1.52	241.5	4.0	8.75	35.0	14.00	56.0	194.0	297.5	32.9
23	A30-A31	134.3	1.56	210.1	4.0	8.75	35.0	14.00	56.0	169.3	266.1	26.9
24	B1-B2	151.0	1.53	231.4	3.5	8.75	30.6	14.00	49.0	181.6	280.4	30.9
25	B2-B3	233.1	1.43	333.2	5.0	8.75	43.8	14.00	70.0	276.9	403.2	52.1
26	B3-B4	286.6	1.39	397.6	6.0	8.75	52.5	14.00	84.0	339.1	481.6	66.8
27	B4-C1	303.3	1.38	417.5	7.0	8.75	61.3	14.00	98.0	364.5	515.5	71.5
28	B5-B6	76.8	1.74	134.0	2.0	8.75	17.5	14.00	28.0	94.3	162.0	13.8
29	B6-B7	441.5	1.31	579.4	13.0	8.75	113.8	14.00	182.0	555.3	761.4	112.2
30	B7-B8	639.3	1.26	805.3	19.5	8.75	170.6	14.00	273.0	809.9	1078.3	174.9
31	B8-B9	852.4	1.22	1044.1	25.5	8.75	223.1	14.00	357.0	1075.5	1401.1	247.0
32	B10-B11	94.2	1.67	157.6	2.0	8.75	17.5	14.00	28.0	111.7	185.6	17.6
33	B11-B12	144.3	1.54	222.9	6.0	8.75	52.5	14.00	84.0	196.8	306.9	29.3
34	B12-C2	1395.5	1.18	1640.9	45.5	8.50	386.8	13.50	614.3	1782.2	2255.2	446.2
35	B13-C3	211.8	1.45	307.1	6.0	8.50	51.0	14.00	84.0	262.8	391.1	46.4
36	C1-C2	426.9	1.32	562.4	10.0	8.75	87.5	14.00	140.0	514.4	702.4	107.7
37	C2-C3	2168.3	1.14	2474.4	65.5	7.50	491.3	12.00	786.0	2659.6	3260.4	757.2
38	C3-IPAL	2168.3	1.14	2474.4	65.5	7.50	491.3	12.00	786.0	2659.6	3260.4	757.2

**Tabel 4.9 Pembebanan Saluran Cluster 2**

No	Jalur Pipa	Nama Jalan	Jenis Pipa	Beban Saluran (Rumah)	Total Beban	Jumlah Terlayani	Kebutuhan Air Bersih	
					(Rumah)	(Orang)	(L/orang.hari)	(m <sup>3</sup> /orang.hari)
1	D1-D2	Jl. Karah Agung VI	Tersier	33	33	165	167	0.167
2	D3-D4	Jl. Karah Agung VII	Tersier	22	22	110	167	0.167
3	D5-E2	Jl. Jambangan Baru I	Tersier	33	33	165	167	0.167
4	D6-D7	Jl. Jambangan Baru III	Tersier	25	25	125	167	0.167
5	D8-D9	Jl. Jambangan Baru IV	Tersier	25	25	125	167	0.167
6	D10-D11	Jl. Jambangan Baru V	Tersier	26	26	130	167	0.167
7	D12-D13	Jl. Ketintang Madya III	Tersier	56	56	280	167	0.167
8	D14-E3	Jl. Ketintang Madya II	Tersier	(D12-D13)+40	96	480	167	0.167
9	D15-D16	Jl. Ketintang Madya V	Tersier	72	72	360	167	0.167
10	D17-D18	Jl. Ketintang Sel. III	Tersier	32	32	160	167	0.167
11	D19-D20	Jl. Ketintang Sel. II	Tersier	(D17-D18)+76	108	540	167	0.167
12	D21-D22	Jl. Ketintang Sel. I-IV	Tersier	(D19-D20)+28	136	680	167	0.167
13	D23-E4	Jl. Ketintang Sel. VI	Tersier	39	39	195	167	0.167
14	D24-E4	Jl. Ketintang Sel. VII	Tersier	42	42	210	167	0.167
15	D25-D26	Jl. Ketintang Sel. XIII	Tersier	23	23	115	167	0.167
16	D27-D28	Jl. Ketintang Sel. XII	Tersier	16	16	80	167	0.167
17	D29-D30	Jl. Ketintang Sel. XI	Tersier	15	15	75	167	0.167
18	D31-D32	Jl. Ketintang Sel. X	Tersier	(D25-D26)+(D27-D28)+(D29-D30)+24	78	390	167	0.167
19	D33-D34	Jl. Ketintang Permai Blok BE-BC	Tersier	60	60	300	167	0.167
20	D35-D36	Jl. Ketintang Permai Blok BB	Tersier	(D33-D34)+38	98	490	167	0.167
21	D37-D38	Jl. Ketintang Sel. VIII	Tersier	26	26	130	167	0.167
22	D39-D40	Jl. Puri Jambangan Baru II	Tersier	50	50	250	167	0.167
23	D41-D42	Jl. Puri Jambangan Baru I	Tersier	37	37	185	167	0.167
24	D43-D44	Jl. Puri Jambangan Baru III	Tersier	39	39	195	167	0.167
25	D45-D46	(Jalan Proyeksi)	Tersier	38	38	190	167	0.167
26	D47-D48	(Jalan Proyeksi)	Tersier	60	60	300	167	0.167
27	D49-D50	(Jalan Proyeksi)	Tersier	58	58	290	167	0.167
28	D51-D52	(Jalan Proyeksi)	Tersier	32	32	160	167	0.167
29	E1-F2	Jl. Karah Agung	Sekunder	(D1-D2)+(D3-D4)	55	275	167	0.167
30	E2-F2	Jl. Ketintang Madya VI	Sekunder	(D5-E2)+(D6-D7)+(D8-D9)+(D10-D11) +(D47-D48)+(D49-D50)+(D51-D52)	259	1295	167	0.167
31	E3-F1	Jl. Ketintang Madya	Sekunder	(D14-E3)+(D15-D16)+(D21-D22) +(D45-D46)	342	1710	167	0.167
32	E4-F1	Jl. Ketintang Sel. IX	Sekunder	(D23-E4)+(D24-E4)+(D31-D32)+(D35-D36)+(D37-D38)	283	1415	167	0.167

No	Jalur Pipa	Nama Jalan	Jenis Pipa	Beban Saluran (Rumah)	Total Beban	Jumlah Terlayani	Kebutuhan Air Bersih	
					(Rumah)	(Orang)	(L/orang.hari)	(m <sup>3</sup> /orang.hari)
33	F1-F2	Jl. Ketintang Madya VII	Primer	(E3-F1)+(E4-F1)+(D39-D40)+(D41-D42)+(D43-D44)	751	3755	167	0.167
34	F2-F3	Jl. Jambangan Baru Selatan	Primer	(E1-F2)+(E2-F2)+(F1-F2)	1065	5325	167	0.167
35	F3-IPAL	Jl. Jambangan Baru Selatan	Primer	SP	1065	5325	167	0.167

No	Jalur Pipa	Debit Air Limbah										
		Qave 80%	F <sub>peak</sub>	Q <sub>peak</sub>	Luas	Faktor Infiltrasi	Qave Infiltrasi	F <sub>peak</sub> Infiltrasi	Q <sub>peak</sub> Infiltrasi	Qave Total	Q <sub>peak</sub> Total	Q <sub>min</sub>
		(m <sup>3</sup> /hari)		(m <sup>3</sup> /hari)	(Ha)	(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /hari)
1	D1-D2	22.0	2.37	52.3	1.50	8.75	13.1	14.00	21.0	35.2	73.3	3.1
2	D3-D4	14.7	2.67	39.2	1.00	8.75	8.8	14.00	14.0	23.4	53.2	1.9
3	D5-E2	22.0	2.37	52.3	1.00	8.75	8.8	14.00	14.0	30.8	66.3	3.1
4	D6-D7	16.7	2.57	42.9	1.00	8.75	8.8	14.00	14.0	25.5	56.9	2.2
5	D8-D9	16.7	2.57	42.9	1.00	8.75	8.8	14.00	14.0	25.5	56.9	2.2
6	D10-D11	17.4	2.54	44.1	1.00	8.75	8.8	14.00	14.0	26.1	58.1	2.3
7	D12-D13	37.4	2.06	77.1	2.50	8.75	21.9	14.00	35.0	59.3	112.1	5.8
8	D14-E3	64.1	1.81	116.3	5.00	8.75	43.8	14.00	70.0	107.9	186.3	11.1
9	D15-D16	48.1	1.94	93.2	3.00	8.75	26.3	14.00	42.0	74.3	135.2	7.8
10	D17-D18	21.4	2.39	51.2	2.00	8.75	17.5	14.00	28.0	38.9	79.2	3.0
11	D19-D20	72.1	1.77	127.6	5.00	8.75	43.8	14.00	70.0	115.9	197.6	12.8
12	D21-D22	90.8	1.69	153.1	6.00	8.75	52.5	14.00	84.0	143.3	237.1	16.8
13	D23-E4	26.1	2.27	59.0	2.00	8.75	17.5	14.00	28.0	43.6	87.0	3.8
14	D24-E4	28.1	2.22	62.3	2.00	8.75	17.5	14.00	28.0	45.6	90.3	4.1
15	D25-D26	15.4	2.63	40.5	1.00	8.75	8.8	14.00	14.0	24.1	54.5	2.0
16	D27-D28	10.7	2.94	31.4	1.00	8.75	8.8	14.00	14.0	19.4	45.4	1.3
17	D29-D30	10.0	3.00	30.1	1.50	8.75	13.1	14.00	21.0	23.1	51.1	1.2
18	D31-D32	52.1	1.90	99.1	5.00	8.75	43.8	14.00	70.0	95.9	169.1	8.6
19	D33-D34	40.1	2.03	81.2	2.00	8.75	17.5	14.00	28.0	57.6	109.2	6.3
20	D35-D36	65.5	1.81	118.2	4.50	8.75	39.4	14.00	63.0	104.8	181.2	11.4
21	D37-D38	17.4	2.54	44.1	1.50	8.75	13.1	14.00	21.0	30.5	65.1	2.3
22	D39-D40	33.4	2.12	70.9	2.50	8.75	21.9	14.00	35.0	55.3	105.9	5.1
23	D41-D42	24.7	2.30	56.8	2.00	8.75	17.5	14.00	28.0	42.2	84.8	3.5
24	D43-D44	26.1	2.27	59.0	2.00	8.75	17.5	14.00	28.0	43.6	87.0	3.8
25	D45-D46	25.4	2.28	57.9	1.50	8.75	13.1	14.00	21.0	38.5	78.9	3.6
26	D47-D48	40.1	2.03	81.2	2.50	8.75	21.9	14.00	35.0	62.0	116.2	6.3
27	D49-D50	38.7	2.04	79.2	2.50	8.75	21.9	14.00	35.0	60.6	114.2	6.0
28	D51-D52	21.4	2.39	51.2	1.50	8.75	13.1	14.00	21.0	34.5	72.2	3.0

No	Jalur Pipa	Debit Air Limbah										
		Qave 80%	F <sub>peak</sub>	Q <sub>peak</sub>	Luas	Faktor Infiltrasi	Qave Infiltrasi	F <sub>peak</sub> Infiltrasi	Q <sub>peak</sub> Infiltrasi	Qave Total	Q <sub>peak</sub> Total	Q <sub>min</sub>
		(m <sup>3</sup> /hari)		(m <sup>3</sup> /hari)			(Ha)	(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	(m <sup>3</sup> /hari)		(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	
29	E1-F2	36.7	2.07	76.1	2.50	8.75	21.9	14.00	35.0	58.6	111.1	5.7
30	E2-F2	173.0	1.50	259.2	10.50	8.75	91.9	14.00	147.0	264.9	406.2	36.4
31	E3-F1	228.5	1.43	327.5	15.50	8.75	135.6	14.00	217.0	364.1	544.5	50.9
32	E4-F1	189.0	1.48	279.1	15.00	8.75	131.3	14.00	210.0	320.3	489.1	40.5
33	F1-F2	501.7	1.29	648.7	37.00	8.75	323.8	14.00	518.0	825.4	1166.7	130.7
34	F2-F3	711.4	1.25	886.6	50.00	8.30	415.0	12.80	640.0	1126.4	1526.6	198.8
35	F3-IPAL	711.4	1.25	886.6	50.00	8.30	415.0	12.80	640.0	1126.4	1526.6	198.8

**Tabel 4.10 Pembebanan Saluran Cluster 3**

No	Jalur Pipa	Nama Jalan	Jenis Pipa	Beban Saluran (Rumah)	Total Beban	Jumlah Terlayani	Kebutuhan Air Bersih	
					(Rumah)	(Orang)	(L/orang.hari)	(m <sup>3</sup> /orang.hari)
1	A1-B1	Gang Nanas	Tersier	33	33	165	176	0.176
2	A2-C1	Jl. Siwalankerto	Tersier	122	122	610	176	0.176
3	A3-A4	Jl. Siwalankerto Timur I	Tersier	103	103	515	176	0.176
4	A5-A6	Jl. Siwalankerto Timur I	Tersier	94	94	470	176	0.176
5	A7-A8	Jl. Siwalankerto Timur I	Tersier	190	190	950	176	0.176
6	A9-B4	Gang Apel	Tersier	210	210	1050	176	0.176
7	A10-A11	Jl. Siwalankerto V	Tersier	170	170	850	176	0.176
8	A12-A13	Gang Pisang	Tersier	116	116	580	176	0.176
9	A14-B5	Gang Pisang	Tersier	(A12-A13)+35	151	755	176	0.176
10	A15-A17	Jl. Siwalankerto Permai II	Tersier	34	34	170	176	0.176
11	A16-A17	Jl. Siwalankerto Permai II	Tersier	31	31	155	176	0.176
12	A18-A20	Jl. Siwalankerto Permai III	Tersier	35	35	175	176	0.176
13	A19-A20	Jl. Siwalankerto Permai III	Tersier	46	46	230	176	0.176
14	A21-B6	Jl. Siwalankerto Permai IV	Tersier	49	49	245	176	0.176
15	A22-B6	Jl. Siwalankerto Permai IV	Tersier	38	38	190	176	0.176
16	A23-A24	Jl. Siwalankerto Sel. III dan I	Tersier	327	327	1635	176	0.176
17	B1-C1	Jl. Siwalankerto Timur II	Sekunder	(A1-B1)	33	165	176	0.176
18	B2-B3	Jl. Siwalankerto Timur I	Sekunder	(A3-A4)+(A5-A6)+(A7-A8)+92	479	2395	176	0.176
19	B4-B5	Jl. Siwalankerto	Sekunder	(A9-B4)+(A10-A11)+(A14-B5)	531	2655	176	0.176
20	B5-C2	Jl. Siwalankerto	Sekunder	(B4-B5)	531	2655	176	0.176



No	Jalur Pipa	Nama Jalan	Jenis Pipa	Beban Saluran (Rumah)	Total Beban	Jumlah Terlayani	Kebutuhan Air Bersih	
					(Rumah)	(Orang)	(L/orang.hari)	(m <sup>3</sup> /orang.hari)
21	B6-B7	Jl. Siwalankerto Permai	Sekunder	(A15-A17)+(A16-A17)+(A18-A20)+(A19-A20)+(A21-B6)+(A22-B6)	233	1165	176	0.176
22	B8-C3	Jl. Siwalankerto Permai I	Sekunder	(B6-B7)+55	288	1440	176	0.176
23	C1-C2	Jl. Siwalankerto	Primer	(B1-C1)+(B2-B3)+(A2-C1)+80	714	3570	176	0.176
24	C2-C3	Jl. Siwalankerto Selatan	Primer	(C1-C2)+(B5-C2)+29+(A23-A24)	1601	8005	176	0.176
25	C3-C4	Jl. Siwalankerto Sel. II dan IV	Primer	(C2-C3)+(B8-C3)	1889	9445	176	0.176
26	C4-C5	Jl. Siwalankerto Sel. IV	Primer	(C3-C4)	1889	9445	176	0.176
27	C5-IPAL	Jl. Siwalankerto Sel. IV	Primer	SP	1889	9445	176	0.176

No	Jalur Pipa	Debit Air Limbah										
		Qave 80%	Fpeak	Qpeak	Luas	Faktor Infiltrasi	Qave Infiltrasi	Fpeak Infiltrasi	Qpeak Infiltrasi	Qave Total	Qpeak Total	Qmin
		(m <sup>3</sup> /hari)		(m <sup>3</sup> /hari)	(Ha)	(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /hari)
1	A1-B1	23.2	2.37	55.1	1.00	8.75	8.8	14.00	14.0	32.0	69.1	3.2
2	A2-C1	85.9	1.72	148.0	4.00	8.75	35.0	14.00	56.0	120.9	204.0	15.6
3	A3-A4	72.5	1.79	129.5	3.00	8.75	26.3	14.00	42.0	98.8	171.5	12.7
4	A5-A6	66.2	1.82	120.6	2.00	8.75	17.5	14.00	28.0	83.7	148.6	11.4
5	A7-A8	133.8	1.58	211.4	5.00	8.75	43.8	14.00	70.0	177.5	281.4	26.5
6	A9-B4	147.8	1.55	229.5	4.00	8.75	35.0	14.00	56.0	182.8	285.5	29.9
7	A10-A11	119.7	1.61	193.1	3.50	8.75	30.6	14.00	49.0	150.3	242.1	23.2
8	A12-A13	81.7	1.74	142.2	2.00	8.75	17.5	14.00	28.0	99.2	170.2	14.6
9	A14-B5	106.3	1.65	175.5	3.50	8.75	30.6	14.00	49.0	136.9	224.5	20.1
10	A15-A17	23.9	2.35	56.3	1.00	8.75	8.8	14.00	14.0	32.7	70.3	3.4
11	A16-A17	21.8	2.41	52.7	1.50	8.75	13.1	14.00	21.0	34.9	73.7	3.0
12	A18-A20	24.6	2.33	57.5	1.00	8.75	8.8	14.00	14.0	33.4	71.5	3.5
13	A19-A20	32.4	2.17	70.2	2.00	8.75	17.5	14.00	28.0	49.9	98.2	4.8
14	A21-B6	34.5	2.13	73.6	1.50	8.75	13.1	14.00	21.0	47.6	94.6	5.2
15	A22-B6	26.8	2.28	61.0	1.50	8.75	13.1	14.00	21.0	39.9	82.0	3.8
16	A23-A24	230.2	1.44	332.3	4.50	8.75	39.4	14.00	63.0	269.6	395.3	50.8
17	B1-C1	23.2	2.37	55.1	5.00	8.75	43.8	14.00	70.0	67.0	125.1	3.2
18	B2-B3	337.2	1.37	460.9	10.00	8.75	87.5	14.00	140.0	424.7	600.9	80.3
19	B4-B5	373.8	1.35	504.0	11.00	8.75	96.3	14.00	154.0	470.1	658.0	90.9

No	Jalur Pipa	Debit Air Limbah										
		Qave 80%	Fpeak	Qpeak	Luas	Faktor Infiltrasi	Qave Infiltrasi	Fpeak Infiltrasi	Qpeak Infiltrasi	Qave Total	Qpeak Total	Qmin
		(m <sup>3</sup> /hari)		(m <sup>3</sup> /hari)		(Ha)	(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /Ha.hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /hari)	(m <sup>3</sup> /hari)
20	B5-C2	373.8	1.35	504.0	2.00	8.75	17.5	14.00	28.0	391.3	532.0	90.9
21	B6-B7	164.0	1.52	250.1	8.50	8.75	74.4	14.00	119.0	238.4	369.1	33.8
22	B8-C3	202.8	1.47	298.5	10.00	8.75	87.5	14.00	140.0	290.3	438.5	43.6
23	C1-C2	502.7	1.30	653.7	21.00	8.75	183.8	14.00	294.0	686.4	947.7	129.7
24	C2-C3	1127.1	1.20	1353.5	28.00	8.75	245.0	14.00	392.0	1372.1	1745.5	341.7
25	C3-C4	1329.9	1.18	1575.8	43.00	8.60	369.8	13.60	584.8	1699.7	2160.6	416.7
26	C4-C5	1329.9	1.18	1575.8	43.00	8.60	369.8	13.60	584.8	1699.7	2160.6	416.7
27	C5-IPAL	1329.9	1.18	1575.8	43.00	8.60	369.8	13.60	584.8	1699.7	2160.6	416.7

#### 4.2.4 Dimensi Pipa Air Limbah

Perhitungan dimensi pipa air limbah berdasarkan pada pembebanan air limbah di masing-masing pipa. Jenis pipa yang digunakan dalam perencanaan ini adalah pipa PVC dengan kekasaran *mannig* (*n*) sebesar 0,009 (*Municipal Piping System*, 2002). Keuntungan penggunaan pipa PVC adalah mudah dalam penyambungan, ringan, tahan korosi, tahan asam, fleksibel, dan karakteristik aliran sangat baik (Arsyad,2016). Hal yang harus diperhatikan dalam perhitungan dimensi pipa ini adalah kecepatan aliran. Kecepatan aliran air limbah di dalam pipa tidak boleh kurang dari 0,3 m/detik dan tidak boleh melebihi 2,5 m/detik. Berikut adalah contoh perhitungan dimensi pipa.

*Cluster 1:*

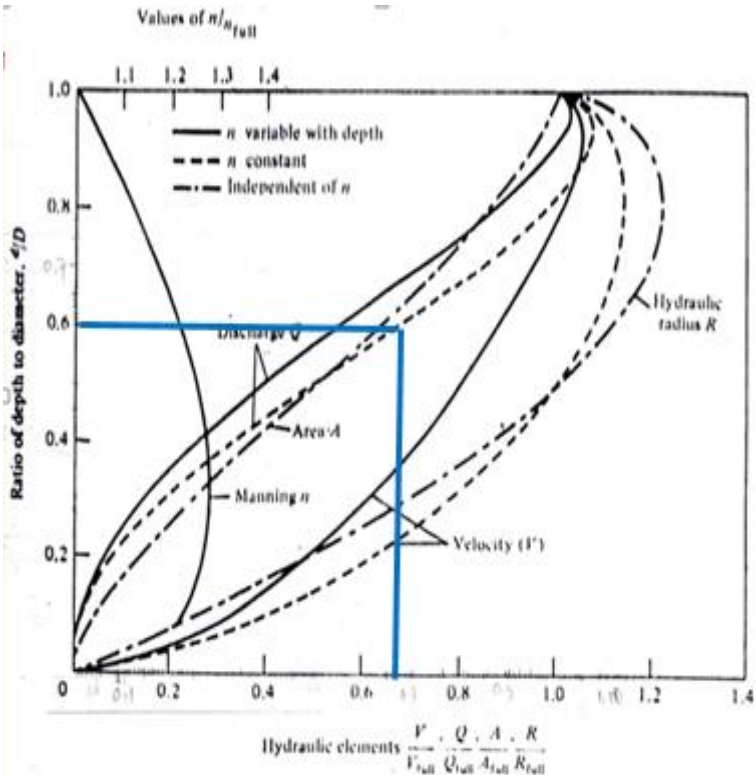
##### Saluran A1-B1

- Panjang pipa = 113,3 m
- $Q_{peak}$  = 0,002 m<sup>3</sup>/detik
- $Q_{minimum}$  = 0,00019 m<sup>3</sup>/detik
- Elevasi muka tanah awal = 8,50
- Elevasi muka tanah akhir = 7,50
- Slope medan = 0,0088

Direncanakan:

- Slope pipa rencana = slope medan = 0,0088
- Kekasaran pipa (*n*) = 0,009 (PVC)
- *d/D* = 0,6

Dengan menggunakan grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer* yang terdapat pada **Gambar 2.3** diperoleh nilai  $Q_{peak}/Q_{full}$  berdasarkan nilai *d/D* , yaitu sebagai berikut.



Nilai  $Q_{peak}/Q_{full}$  diperoleh sebesar 0,67.

- $Q_{full}$ 

$$= Q_{peak} / (Q_{peak}/Q_{full})$$

$$= (0,0017 \text{ m}^3/\text{detik}) / (0,67)$$

$$= 0,003 \text{ m}^3/\text{detik}$$
- Diameter (D)
$$= \left( \frac{Q_f \times n}{0,312 \times S^{0,5}} \right)^{0,375}$$

$$= \left( \frac{0,003 \times 0,009}{0,312 \times 0,0088^{0,5}} \right)^{0,375}$$

$$= 0,073 \text{ meter}$$

Dari hasil perhitungan diameter, dicari pipa yang yang sesuai. Pipa yang akan digunakan adalah pipa Wavin seri S 12,5 dengan daftar ukuran pipa dapat dilihat pada **Tabel 4.11** berikut.

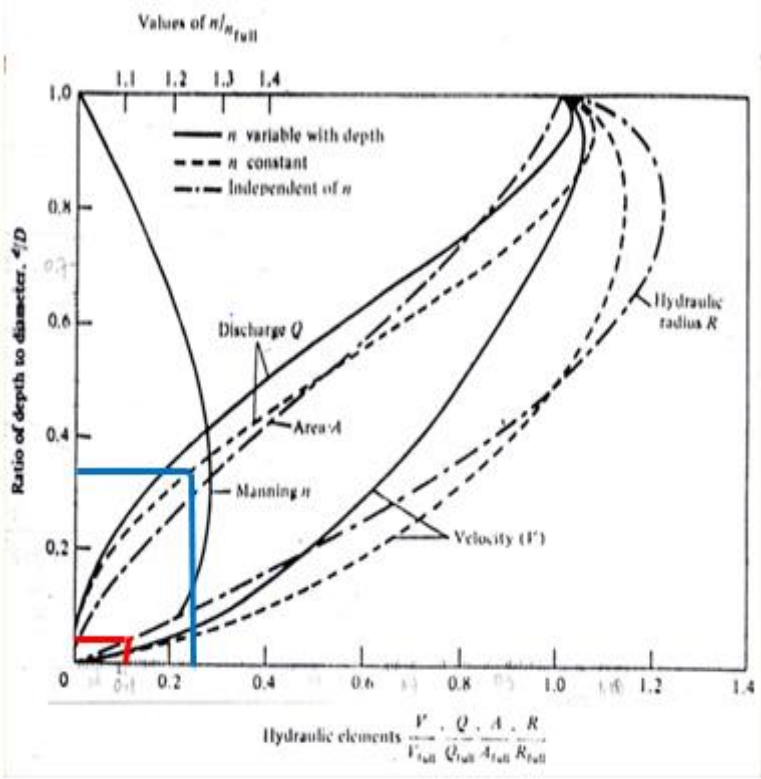
**Tabel 4.11 Daftar Ukuran Pipa**

Daftar Ukuran Pipa 12,5 (8-10 Bar)		
OD (Diameter Luar)	Tekanan	ID (Diameter Dalam)
63	10	58.2
90	10	83.0
110	10	101.6
160	10	147.6
200	10	184.6
250	10	230.8
315	10	290.8
400	10	369.4
500	10	461.8
630	10	581.8
50	8	46.0

Sumber: Brosur Pipa Wavin, 2018

- Diameter dipakai = 101,6 mm (diameter dalam)  
= 0,102 m  
= 110 mm (diameter luar)
- $Q_{full}$  cek =  $(0,312 \times D^{2,667} \times \sqrt{S}) / n$   
=  $(0,312 \times (0,102)^{2,667} \times \sqrt{0,0088}) / 0,009$   
= 0,0073 m<sup>3</sup>/detik
- $Q_{peak}/Q_{full}$  cek =  $(0,002 \text{ m}^3/\text{detik}) / (0,0073 \text{ m}^3/\text{detik})$   
= 0,280
- $Q_{min}/Q_{full}$  cek =  $(0,00019 \text{ m}^3/\text{detik}) / (0,0073 \text{ m}^3/\text{detik})$   
= 0,025

Berdasarkan nilai  $Q_{peak}/Q_{full}$  cek dan  $Q_{min}/Q_{full}$  cek dapat diperoleh nilai  $d_{peak}/D$  dan  $d_{min}/D$  dari grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer* pada **Gambar 2.3**. Pada grafik, garis warna biru menunjukkan nilai  $d_{peak}/D$ , sedangkan garis berwarna merah menunjukkan nilai  $d_{min}/D$ . Garis warna biru menunjukkan nilai sebesar 0,327. Garis warna merah menunjukkan nilai sebesar 0,106. Hasil tersebut dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini.



Hasil perhitungan diameter pipa air limbah untuk wilayah di *cluster* 1, 2, dan 3 dapat dilihat pada **Tabel 4.12, 4.13, 4.14**.

Tabel 4.12 Diameter Pipa Air Limbah Cluster 1

Saluran	Panjang Pipa (m)	Elevasi Medan		Slope Medan/Tanah	Slope Rencana	Q <sub>peak</sub> (m <sup>3</sup> /detik)	d/D	Q <sub>peak</sub> /Q <sub>full</sub>	Q <sub>full</sub> (m <sup>3</sup> /detik)	n	D Hitungan (m)	D Dipakai (D dalam) (mm)	D Dipakai (D dalam) (m)
		Awal (m)	Akhir (m)										
A1-B1	113.3	8.50	7.50	0.0088	0.0088	0.0020	0.6	0.67	0.003	0.009	0.073	101.6	0.102
A2-B2	123	8.50	8.00	0.0041	0.0041	0.0016	0.6	0.67	0.002	0.009	0.077	101.6	0.102
A3-B5	79.7	7.50	7.50	0.0000	0.0014	0.0019	0.6	0.67	0.003	0.009	0.100	101.6	0.102
A4-B7	373	7.50	7.50	0.0000	0.0010	0.0044	0.6	0.67	0.007	0.009	0.147	147.6	0.148
A5-A6	259.3	7.50	8.50	-0.0039	0.0010	0.0028	0.6	0.67	0.004	0.009	0.123	147.6	0.148
A7-B8	205.3	7.50	7.50	0.0000	0.0010	0.0045	0.6	0.67	0.007	0.009	0.149	147.6	0.148
A8-A9	186.3	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0012	0.6	0.67	0.002	0.009	0.091	101.6	0.102
A10-A11	301	7.50	7.00	0.0017	0.0017	0.0044	0.6	0.67	0.007	0.009	0.134	147.6	0.148
A11-A12	333	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0083	0.6	0.67	0.012	0.009	0.186	184.6	0.185
A13-B10	198	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0008	0.6	0.67	0.001	0.009	0.076	101.6	0.102
A14-A15	209.3	7.00	5.50	0.0072	0.0072	0.0008	0.6	0.67	0.001	0.009	0.053	101.6	0.102
A16-A17	218.5	5.50	5.50	0.0000	0.0010	0.0015	0.6	0.67	0.002	0.009	0.098	101.6	0.102
A17-B10	284	5.50	7.00	-0.0053	0.0010	0.0021	0.6	0.67	0.003	0.009	0.112	101.6	0.102
A18-B11	252	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0016	0.6	0.67	0.002	0.009	0.100	101.6	0.102
A19-B12	262	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0011	0.6	0.67	0.002	0.009	0.089	101.6	0.102
A20-A21	127.2	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0008	0.6	0.67	0.001	0.009	0.076	101.6	0.102
A22-A23	137.4	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0009	0.6	0.67	0.001	0.009	0.079	101.6	0.102
A24-A25	145.3	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0006	0.6	0.67	0.001	0.009	0.070	101.6	0.102
A25-A26	120	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0023	0.6	0.67	0.003	0.009	0.116	101.6	0.102
A26-B9	180	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0026	0.6	0.67	0.004	0.009	0.121	101.6	0.102
A27-A28	359.3	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0015	0.6	0.67	0.002	0.009	0.098	101.6	0.102
A29-B13	165	8.50	7.00	0.0091	0.0091	0.0034	0.6	0.67	0.005	0.009	0.088	101.6	0.102
A30-A31	151.5	8.50	7.00	0.0099	0.0099	0.0031	0.6	0.67	0.005	0.009	0.084	101.6	0.102
B1-B2	122.5	7.50	8.00	-0.0041	0.0010	0.0032	0.6	0.67	0.005	0.009	0.131	147.6	0.148
B2-B3	174.2	8.00	8.50	-0.0029	0.0010	0.0047	0.6	0.67	0.007	0.009	0.150	147.6	0.148
B3-B4	183.2	8.50	8.50	0.0000	0.0010	0.0056	0.6	0.67	0.008	0.009	0.160	147.6	0.148
B4-C1	233.5	8.50	8.50	0.0000	0.0010	0.0060	0.6	0.67	0.009	0.009	0.164	147.6	0.148
B5-B6	131.6	7.50	7.50	0.0000	0.0010	0.0019	0.6	0.67	0.003	0.009	0.107	101.6	0.102
B6-B7	278.3	7.50	7.50	0.0000	0.0010	0.0088	0.6	0.67	0.013	0.009	0.190	184.6	0.185
B7-B8	179	7.50	7.50	0.0000	0.0010	0.0125	0.6	0.67	0.019	0.009	0.217	230.8	0.231

Saluran	Panjang Pipa (m)	Elevasi Medan		Slope Medan/ Tanah	Slope Rencana	Q <sub>peak</sub> (m <sup>3</sup> /detik)	d/D	Q <sub>peak</sub> /Q <sub>full</sub>	Q <sub>full</sub> (m <sup>3</sup> /detik)	n	D Hitungan (m)	D Dipakai (D dalam) (mm)	D Dipakai (D dalam) (m)
		Awal (m)	Akhir (m)										
B8-B9	98.3	7.50	7.00	0.0051	0.0051	0.0162	0.6	0.67	0.024	0.009	0.176	184.6	0.185
B10-B11	143.2	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0021	0.6	0.67	0.003	0.009	0.112	101.6	0.102
B11-B12	76.9	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0036	0.6	0.67	0.005	0.009	0.135	147.6	0.148
B12-C2	116.7	7.00	7.50	-0.0043	0.0010	0.0261	0.6	0.67	0.039	0.009	0.286	290.8	0.291
B13-C3	127	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0045	0.6	0.67	0.007	0.009	0.148	147.6	0.148
C1-C2	157.3	8.50	7.50	0.0064	0.0064	0.0081	0.6	0.67	0.012	0.009	0.131	147.6	0.148
C2-C3	168	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0377	0.6	0.67	0.056	0.009	0.329	369.4	0.369
C3-IPAL	11	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0377	0.6	0.67	0.056	0.009	0.329	369.4	0.369

Saluran	Q <sub>full</sub> Cek (m <sup>3</sup> /detik)	Q <sub>peak</sub> /Q <sub>full</sub> Cek	d <sub>peak</sub> /D	Q <sub>min</sub> (m <sup>3</sup> /detik)	Q <sub>min</sub> / Q <sub>full</sub> Cek	d <sub>min</sub> /D
A1-B1	0.0073	0.280	0.327	0.00019	0.025	0.106
A2-B2	0.0050	0.318	0.354	0.00013	0.026	0.108
A3-B5	0.0029	0.643	0.589	0.00016	0.055	0.171
A4-B7	0.0067	0.662	0.502	0.00050	0.074	0.181
A5-A6	0.0067	0.414	0.402	0.00028	0.042	0.136
A7-B8	0.0067	0.683	0.523	0.00054	0.081	0.189
A8-A9	0.0025	0.500	0.46	0.00009	0.036	0.127
A10-A11	0.0086	0.514	0.44	0.00051	0.060	0.163
A11-A12	0.0121	0.687	0.617	0.00121	0.100	0.211
A13-B10	0.0025	0.312	0.336	0.00004	0.014	0.08
A14-A15	0.0066	0.119	0.204	0.00004	0.006	0.053
A16-A17	0.0025	0.617	0.472	0.00010	0.039	0.132
A17-B10	0.0025	0.864	0.562	0.00015	0.060	0.163
A18-B11	0.0025	0.650	0.472	0.00010	0.039	0.132
A19-B12	0.0025	0.465	0.396	0.00006	0.024	0.104
A20-A21	0.0025	0.312	0.336	0.00004	0.014	0.08
A22-A23	0.0025	0.349	0.362	0.00004	0.018	0.091



Saluran	Qfull Cek (m <sup>3</sup> /detik)	Qpeak/ Qfull Cek	dpeak/D	Qmin (m <sup>3</sup> /detik)	Qmin / Qfull Cek	dmin/D
A24-A25	0.0025	0.250	0.288	0.00002	0.009	0.065
A25-A26	0.0025	0.946	0.614	0.00018	0.073	0.179
A26-B9	0.0025	1.067	0.65	0.00020	0.082	0.19
A27-A28	0.0025	0.603	0.483	0.00010	0.041	0.135
A29-B13	0.0074	0.464	0.424	0.00038	0.051	0.15
A30-A31	0.0077	0.398	0.383	0.00031	0.040	0.134
B1-B2	0.0067	0.487	0.44	0.00036	0.054	0.155
B2-B3	0.0067	0.701	0.549	0.00060	0.091	0.201
B3-B4	0.0067	0.837	0.621	0.00077	0.116	0.227
B4-C1	0.0067	0.896	0.643	0.00083	0.124	0.235
B5-B6	0.0025	0.762	0.582	0.00016	0.065	0.17
B6-B7	0.0121	0.729	0.645	0.00130	0.107	0.217
B7-B8	0.0219	0.569	0.542	0.00202	0.092	0.202
B8-B9	0.0273	0.595	0.559	0.00286	0.105	0.216
B10-B11	0.0025	0.873	0.654	0.00020	0.083	0.191
B11-B12	0.0067	0.533	0.43	0.00034	0.051	0.15
B12-C2	0.0406	0.642	0.588	0.00516	0.127	0.238
B13-C3	0.0067	0.680	0.521	0.00054	0.081	0.189
C1-C2	0.0168	0.484	0.49	0.00125	0.074	0.18
C2-C3	0.0769	0.491	0.495	0.00876	0.114	0.225
C3-IPAL	0.0769	0.491	0.495	0.00876	0.114	0.225

Tabel 4.13 Diameter Pipa Air Limbah Cluster 2

Saluran	Panjang Pipa (m)	Elevasi Medan		Slope Medan/ Tanah	Slope Rencana	Q <sub>peak</sub> (m <sup>3</sup> /detik)	d/D	Q <sub>peak</sub> /Q <sub>full</sub>	Q <sub>full</sub> (m <sup>3</sup> /detik)	n	D Hitungan (m)	D Dipakai (D dalam) (mm)	D Dipakai (D dalam) (m)
		Awal (m)	Akhir (m)										
D1-D2	220	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0008	0.6	0.67	0.001	0.009	0.079	101.6	0.102
D3-D4	150	7.00	7.00	0.0000	0.0010	0.0006	0.6	0.67	0.001	0.009	0.070	101.6	0.102
D5-E2	185	7.00	6.00	0.0054	0.0054	0.0008	0.6	0.67	0.001	0.009	0.056	101.6	0.102
D6-D7	105.6	6.00	6.00	0.0000	0.0010	0.0007	0.6	0.67	0.001	0.009	0.072	101.6	0.102
D8-D9	95.2	6.00	6.00	0.0000	0.0010	0.0007	0.6	0.67	0.001	0.009	0.072	101.6	0.102
D10-D11	94.4	6.00	6.00	0.0000	0.0010	0.0007	0.6	0.67	0.001	0.009	0.073	101.6	0.102
D12-D13	329.3	6.00	5.50	0.0015	0.0015	0.0013	0.6	0.67	0.002	0.009	0.086	101.6	0.102
D14-E3	381.6	6.00	5.50	0.0013	0.0013	0.0022	0.6	0.67	0.003	0.009	0.107	101.6	0.102
D15-D16	288	6.00	5.50	0.0017	0.0017	0.0016	0.6	0.67	0.002	0.009	0.090	101.6	0.102
D17-D18	236	5.50	5.50	0.0000	0.0010	0.0009	0.6	0.67	0.001	0.009	0.081	101.6	0.102
D19-D20	379	5.50	5.50	0.0000	0.0010	0.0023	0.6	0.67	0.003	0.009	0.115	101.6	0.102
D21-D22	270.4	5.50	5.50	0.0000	0.0010	0.0027	0.6	0.67	0.004	0.009	0.123	101.6	0.102
D23-E4	202	6.00	6.00	0.0000	0.0010	0.0010	0.6	0.67	0.002	0.009	0.084	101.6	0.102
D24-E4	279	5.90	6.00	-0.0004	0.0010	0.0010	0.6	0.67	0.002	0.009	0.086	101.6	0.102
D25-D26	96.7	5.90	5.90	0.0000	0.0010	0.0006	0.6	0.67	0.001	0.009	0.071	101.6	0.102
D27-D28	115.7	5.90	5.90	0.0000	0.0010	0.0005	0.6	0.67	0.001	0.009	0.066	101.6	0.102
D29-D30	135.5	5.90	5.90	0.0000	0.0010	0.0006	0.6	0.67	0.001	0.009	0.069	101.6	0.102
D31-D32	275.6	5.90	6.00	-0.0004	0.0010	0.0020	0.6	0.67	0.003	0.009	0.108	101.6	0.102
D33-D34	184.5	6.00	6.00	0.0000	0.0010	0.0013	0.6	0.67	0.002	0.009	0.092	101.6	0.102
D35-D36	176.6	6.00	6.00	0.0000	0.0010	0.0021	0.6	0.67	0.003	0.009	0.111	101.6	0.102
D37-D38	179	6.00	6.00	0.0000	0.0010	0.0008	0.6	0.67	0.001	0.009	0.076	101.6	0.102
D39-D40	323	6.50	5.90	0.0019	0.0019	0.0012	0.6	0.67	0.002	0.009	0.081	101.6	0.102
D41-D42	332.3	6.50	5.90	0.0018	0.0018	0.0010	0.6	0.67	0.001	0.009	0.075	101.6	0.102
D43-D44	341	6.50	5.90	0.0018	0.0018	0.0010	0.6	0.67	0.002	0.009	0.076	101.6	0.102
D45-D46	296.5	6.00	5.50	0.0017	0.0017	0.0009	0.6	0.67	0.001	0.009	0.074	101.6	0.102
D47-D48	380.8	6.00	6.00	0.0000	0.0010	0.0013	0.6	0.67	0.002	0.009	0.094	101.6	0.102
D49-D50	358.8	6.00	6.00	0.0000	0.0010	0.0013	0.6	0.67	0.002	0.009	0.093	101.6	0.102
D51-D52	358	6.00	6.00	0.0000	0.0010	0.0008	0.6	0.67	0.001	0.009	0.079	101.6	0.102
E1-F2	580	7.00	5.90	0.0019	0.0019	0.0013	0.6	0.67	0.002	0.009	0.082	101.6	0.102
E2-F2	313	6.00	5.90	0.0003	0.0003	0.0047	0.6	0.67	0.007	0.009	0.186	184.6	0.185
E3-F1	325.6	5.50	5.90	-0.0012	0.0010	0.0063	0.6	0.67	0.009	0.009	0.168	184.6	0.185
E4-F1	219.3	6.00	5.90	0.0005	0.0005	0.0057	0.6	0.67	0.008	0.009	0.187	184.6	0.185
F1-F2	432.3	5.90	6.00	-0.0002	0.0010	0.0135	0.6	0.67	0.020	0.009	0.223	230.8	0.231
F2-F3	262	6.00	5.90	0.0004	0.0004	0.0177	0.6	0.67	0.026	0.009	0.296	290.8	0.291
F3-IPAL	20	5.90	5.90	0.0000	0.0004	0.0177	0.6	0.67	0.026	0.009	0.293	290.8	0.291

Saluran	Qfull Cek (m <sup>3</sup> /detik)	Qpeak/ Qfull Cek	dpeak/D	Qmin (m <sup>3</sup> /detik)	Qmin / Qfull Cek	dmin/D
D1-D2	0.0025	0.345	0.334	0.00004	0.014	0.08
D3-D4	0.0025	0.250	0.288	0.00002	0.009	0.065
D5-E2	0.0057	0.134	0.217	0.00004	0.006	0.053
D6-D7	0.0025	0.268	0.302	0.00003	0.010	0.068
D8-D9	0.0025	0.268	0.302	0.00003	0.010	0.068
D10-D11	0.0025	0.274	0.306	0.00003	0.011	0.071
D12-D13	0.0030	0.428	0.369	0.00007	0.022	0.1
D14-E3	0.0028	0.766	0.486	0.00013	0.046	0.142
D15-D16	0.0032	0.483	0.396	0.00009	0.028	0.112
D17-D18	0.0025	0.373	0.332	0.00003	0.014	0.08
D19-D20	0.0025	0.930	0.562	0.00015	0.060	0.163
D21-D22	0.0025	1.116	0.641	0.00019	0.079	0.187
D23-E4	0.0025	0.410	0.357	0.00004	0.018	0.091
D24-E4	0.0025	0.425	0.369	0.00005	0.019	0.093
D25-D26	0.0025	0.256	0.293	0.00002	0.009	0.065
D27-D28	0.0025	0.214	0.258	0.00001	0.006	0.053
D29-D30	0.0025	0.240	0.251	0.00001	0.006	0.053
D31-D32	0.0025	0.796	0.479	0.00010	0.041	0.135
D33-D34	0.0025	0.514	0.427	0.00007	0.030	0.116
D35-D36	0.0025	0.853	0.534	0.00013	0.053	0.152
D37-D38	0.0025	0.306	0.306	0.00003	0.011	0.071
D39-D40	0.0034	0.366	0.334	0.00006	0.017	0.088
D41-D42	0.0033	0.297	0.3	0.00004	0.012	0.074
D43-D44	0.0033	0.309	0.308	0.00004	0.013	0.077
D45-D46	0.0032	0.286	0.309	0.00004	0.013	0.077
D47-D48	0.0025	0.547	0.427	0.00007	0.030	0.116
D49-D50	0.0025	0.537	0.422	0.00007	0.028	0.112
D51-D52	0.0025	0.340	0.332	0.00003	0.014	0.08
E1-F2	0.0034	0.380	0.346	0.00007	0.019	0.093
E2-F2	0.0068	0.688	0.617	0.00042	0.062	0.165
E3-F1	0.0121	0.521	0.513	0.00059	0.049	0.148
E4-F1	0.0082	0.693	0.622	0.00047	0.057	0.158
F1-F2	0.0219	0.616	0.571	0.00151	0.069	0.175
F2-F3	0.0251	0.704	0.628	0.00230	0.092	0.202
F3-IPAL	0.0257	0.688	0.617	0.00230	0.090	0.2

Tabel 4.14 Diameter Pipa Air Limbah Cluster 3

Saluran	Panjang Pipa (m)	Elevasi Medan		Slope Medan/Tanah	Slope Rencana	Q <sub>peak</sub> (m <sup>3</sup> /detik)	d/D	Q <sub>peak</sub> /Q <sub>full</sub>	Q <sub>full</sub> (m <sup>3</sup> /detik)	n	D Hitungan (m)	D Dipakai (D dalam) (mm)	D Dipakai (D dalam) (m)
		Awal (m)	Akhir (m)										
A1-B1	90	5.10	5.00	0.0011	0.0011	0.0008	0.6	0.67	0.001	0.009	0.076	101.6	0.102
A2-C1	131.4	5.10	5.00	0.0008	0.0008	0.0024	0.6	0.67	0.004	0.009	0.122	101.6	0.102
A3-A4	158	5.00	5.00	0.0000	0.0016	0.0020	0.6	0.67	0.003	0.009	0.100	101.6	0.102
A5-A6	178	5.00	5.00	0.0000	0.0012	0.0017	0.6	0.67	0.003	0.009	0.100	101.6	0.102
A7-A8	173	5.10	5.00	0.0006	0.0006	0.0033	0.6	0.67	0.005	0.009	0.145	147.6	0.148
A9-B4	209	5.50	5.50	0.0000	0.0020	0.0033	0.6	0.67	0.005	0.009	0.116	101.6	0.102
A10-A11	228	5.50	5.50	0.0000	0.0020	0.0028	0.6	0.67	0.004	0.009	0.109	101.6	0.102
A12-A13	119	5.50	5.50	0.0000	0.0010	0.0020	0.6	0.67	0.003	0.009	0.109	101.6	0.102
A14-B5	253	5.00	5.19	-0.0008	0.0020	0.0026	0.6	0.67	0.004	0.009	0.106	101.6	0.102
A15-A17	168	4.40	4.40	0.0000	0.0003	0.0008	0.6	0.67	0.001	0.009	0.100	101.6	0.102
A16-A17	231	4.40	4.40	0.0000	0.0003	0.0009	0.6	0.67	0.001	0.009	0.100	101.6	0.148
A18-A20	165	4.40	4.40	0.0000	0.0003	0.0008	0.6	0.67	0.001	0.009	0.100	101.6	0.102
A19-A20	230.4	4.40	4.40	0.0000	0.0005	0.0011	0.6	0.67	0.002	0.009	0.100	101.6	0.102
A21-B6	159	4.40	4.40	0.0000	0.0005	0.0011	0.6	0.67	0.002	0.009	0.100	101.6	0.102
A22-B6	167	4.40	4.40	0.0000	0.0004	0.0009	0.6	0.67	0.001	0.009	0.100	101.6	0.102
A23-A24	460	5.26	4.40	0.0019	0.0019	0.0046	0.6	0.67	0.007	0.009	0.132	147.6	0.148
B1-C1	265	5.00	5.00	0.0000	0.0008	0.0014	0.6	0.67	0.002	0.009	0.100	101.6	0.102
B2-B3	462	5.19	5.00	0.0004	0.0004	0.0070	0.6	0.67	0.010	0.009	0.206	184.6	0.185
B4-B5	320	5.50	5.19	0.0010	0.0010	0.0076	0.6	0.67	0.011	0.009	0.181	184.6	0.185
B5-C2	129	5.19	4.40	0.0061	0.0061	0.0062	0.6	0.67	0.009	0.009	0.119	147.6	0.148
B6-B7	138	4.40	4.40	0.0000	0.0010	0.0043	0.6	0.67	0.006	0.009	0.145	147.6	0.148
B8-C3	537	4.40	4.40	0.0000	0.0010	0.0051	0.6	0.67	0.008	0.009	0.155	147.6	0.148
C1-C2	231	5.00	4.40	0.0026	0.0026	0.0110	0.6	0.67	0.016	0.009	0.173	184.6	0.185
C2-C3	195	4.40	4.40	0.0000	0.0010	0.0202	0.6	0.67	0.030	0.009	0.260	290.8	0.291
C3-C4	490	4.40	5.26	-0.0018	0.0010	0.0250	0.6	0.67	0.037	0.009	0.282	290.8	0.291
C4-C5	191	5.26	4.26	0.0052	0.0052	0.0250	0.6	0.67	0.037	0.009	0.206	290.8	0.291
C5-IPAL	124.5	4.26	4.26	0.0000	0.0010	0.0250	0.6	0.67	0.037	0.009	0.282	290.8	0.291

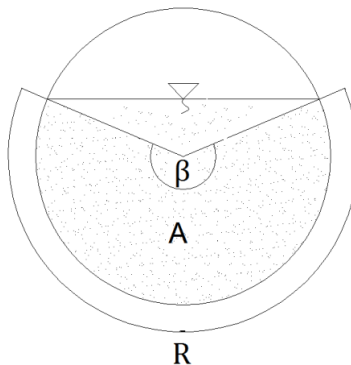
Saluran	Qfull Cek (m <sup>3</sup> /detik)	Qpeak/ Qfull Cek	dpeak/D	Qmin (m <sup>3</sup> /detik)	Qmin / Qfull Cek	dmin/D
A1-B1	0.0026	0.3086	0.334	0.00004	0.014	0.08
A2-C1	0.0021	1.1004	0.694	0.00018	0.084	0.193
A3-A4	0.0031	0.6428	0.589	0.00015	0.048	0.166
A5-A6	0.0027	0.6428	0.589	0.00013	0.049	0.164
A7-A8	0.0051	0.6433	0.490	0.00031	0.061	0.164
A9-B4	0.0035	0.9500	0.669	0.00035	0.099	0.21
A10-A11	0.0035	0.8056	0.589	0.00027	0.077	0.184
A12-A13	0.0025	0.8009	0.605	0.00017	0.069	0.175
A14-B5	0.0035	0.7469	0.552	0.00023	0.067	0.172
A15-A17	0.0013	0.6428	0.589	0.00004	0.031	0.13
A16-A17	0.0013	0.6428	0.589	0.00003	0.026	0.129
A18-A20	0.0013	0.6428	0.589	0.00004	0.031	0.132
A19-A20	0.0018	0.6428	0.589	0.00006	0.032	0.14
A21-B6	0.0017	0.6428	0.589	0.00006	0.035	0.142
A22-B6	0.0015	0.6428	0.589	0.00004	0.030	0.134
A23-A24	0.0091	0.5024	0.452	0.00059	0.065	0.17
B1-C1	0.0023	0.6428	0.589	0.00004	0.017	0.13
B2-B3	0.0078	0.8967	0.783	0.00093	0.120	0.231
B4-B5	0.0119	0.6399	0.587	0.00105	0.088	0.197
B5-C2	0.0165	0.3736	0.409	0.00105	0.064	0.169
B6-B7	0.0067	0.6415	0.461	0.00039	0.059	0.162
B8-C3	0.0067	0.7621	0.668	0.00050	0.076	0.183
C1-C2	0.0195	0.5628	0.539	0.00150	0.077	0.184
C2-C3	0.0406	0.4972	0.498	0.00396	0.097	0.207
C3-C4	0.0406	0.6154	0.571	0.00482	0.119	0.23
C4-C5	0.0930	0.2690	0.353	0.00482	0.052	0.151
C5-IPAL	0.0406	0.6154	0.571	0.00482	0.119	0.23

**“Halaman Sengaja Dikosongkan”**

Supaya diperoleh hasil yang memenuhi kriteria, maka perlu dicari slope dengan menetapkan  $V_{\text{minimum}}$  sebesar 0,3 m/detik dan  $V_{\text{peak}}$  sebesar 0,6 m/detik. Dengan cara menetapkan kecepatan air limbah sesuai dengan kriteria desain pada perhitungan *slope* ini, maka kecepatan minimum maupun maksimum pada setiap saluran pipa air limbah akan memenuhi. Hal ini akan menyebabkan tidak terjadi pengendapan padatan maupun penggerusan pada pipa air limbah. Slope diperoleh dengan menggunakan perhitungan jari-jari hidrolis penampang basah saluran, yaitu sebagai berikut.

Perhitungan *slope* berdasarkan  $V_{\text{min}}$ :

- Diameter = 0,102 m
- $d_{\text{min}}/D$  = 0,106
- $\frac{1}{2} D$  =  $\frac{1}{2} \times 0,102 = 0,051$  m
- $d_{\text{min}}$  =  $d_{\text{min}}/D \times D = 0,106 \times 0,102 = 0,011$  m
- $d_{\text{min}} - \frac{1}{2} D$  =  $0,011 - 0,051 = -0,040$  m
- $\alpha$  =  $2 \times a \cos \frac{d_{\text{min}} - \frac{1}{2} D}{\frac{1}{2} D}$   
 $= 2 \times a \cos \frac{-0,040}{0,051}$   
 $= 283,9^\circ$
- $\beta$  =  $360^\circ - \alpha$   
 $= 360^\circ - 283,9^\circ$   
 $= 76,1^\circ$



**Gambar 4.10 Kondisi Pipa**

- Luas segitiga =  $\frac{1}{2} \times 2 \times \sqrt{(\frac{1}{2} D)^2 - (d_{\min} - \frac{1}{2} D)^2} \times (d_{\min} - \frac{1}{2} D)$   
 =  $\frac{1}{2} \times 2 \times \sqrt{(0,051)^2 - (-0,040)^2} \times (-0,040)$   
 =  $-0,0013 \text{ m}^2$
- Luas juring =  $\frac{\beta}{360} \times \pi / 4 \times D^2$   
 =  $(76,11/360) \times (3,14/4) \times (0,102)^2$   
 =  $0,002 \text{ m}^2$
- Luas total (A) = Luas segitiga + Luas juring  
 =  $0,0004 \text{ m}^2$
- Keliling basah (P) =  $\frac{\beta}{360} \times \pi \times D$   
 =  $(76,11/360) \times 3,14 \times 0,102$   
 =  $0,068 \text{ m}$
- Jari-jari basah (R) =  $A/P$   
 =  $0,0004/0,068$   
 =  $0,006 \text{ m}$
- $V_{\text{minimum}}$  asumsi =  $0,3 \text{ m/detik}$
- *Slope* =  $[(V_{\text{minimum}}/n) / (R^{0,667})]^2$   
 =  $[(0,3/0,009) / (0,006)^{0,667}]^2$   
 =  $0,0067$

Hasil perhitungan *slope* berdasarkan  $V_{\text{minimum}}$  di setiap saluran pipa air limbah pada *cluster* 1, 2, dan 3 dapat dilihat pada **Tabel 4.15, 4.16, 4.17.**



**Tabel 4.15 Slope Pipa Berdasarkan  $V_{\text{minimum}}$  Cluster 1**

Saluran	D (m)	dmin/D	1/2 D (m)	dmin (m)	d-0.5D (m)	$\alpha$ (°)	B (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	Vmin Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat Vmin
A1-B1	0.102	0.106	0.051	0.011	-0.040	283.9	76.1	0.002	-0.0013	0.0004	0.068	0.006	0.3	0.009	0.0067
A2-B2	0.102	0.108	0.051	0.011	-0.040	283.2	76.8	0.002	-0.0013	0.0004	0.068	0.006	0.3	0.009	0.0067
A3-B5	0.102	0.171	0.051	0.017	-0.033	262.2	97.8	0.002	-0.0013	0.0009	0.087	0.010	0.3	0.009	0.0034
A4-B7	0.148	0.181	0.074	0.027	-0.047	259.3	100.7	0.005	-0.0027	0.0021	0.130	0.016	0.3	0.009	0.0018
A5-A6	0.148	0.136	0.074	0.020	-0.054	273.4	86.6	0.004	-0.0027	0.0014	0.112	0.013	0.3	0.009	0.0024
A7-B8	0.148	0.189	0.074	0.028	-0.046	256.9	103.1	0.005	-0.0027	0.0022	0.133	0.017	0.3	0.009	0.0017
A8-A9	0.102	0.127	0.051	0.013	-0.038	276.5	83.5	0.002	-0.0013	0.0006	0.074	0.008	0.3	0.009	0.0046
A10-A11	0.148	0.163	0.074	0.024	-0.050	264.7	95.3	0.005	-0.0027	0.0018	0.123	0.015	0.3	0.009	0.0020
A11-A12	0.185	0.211	0.092	0.039	-0.053	250.5	109.5	0.008	-0.0040	0.0041	0.176	0.023	0.3	0.009	0.0011
A13-B10	0.102	0.080	0.051	0.008	-0.043	294.4	65.6	0.002	-0.0012	0.0003	0.058	0.005	0.3	0.009	0.0086
A14-A15	0.102	0.053	0.051	0.005	-0.045	306.7	53.3	0.001	-0.0010	0.0002	0.047	0.004	0.3	0.009	0.0115
A16-A17	0.102	0.132	0.051	0.013	-0.037	274.8	85.2	0.002	-0.0013	0.0006	0.076	0.008	0.3	0.009	0.0046
A17-B10	0.102	0.163	0.051	0.017	-0.034	264.6	95.4	0.002	-0.0013	0.0008	0.085	0.009	0.3	0.009	0.0039
A18-B11	0.102	0.132	0.051	0.013	-0.037	274.8	85.2	0.002	-0.0013	0.0006	0.076	0.008	0.3	0.009	0.0046
A19-B12	0.102	0.104	0.051	0.011	-0.040	284.6	75.4	0.002	-0.0012	0.0005	0.067	0.007	0.3	0.009	0.0055
A20-A21	0.102	0.080	0.051	0.008	-0.043	294.4	65.6	0.002	-0.0012	0.0003	0.058	0.005	0.3	0.009	0.0086
A22-A23	0.102	0.091	0.051	0.009	-0.042	289.9	70.1	0.002	-0.0012	0.0004	0.062	0.006	0.3	0.009	0.0067
A24-A25	0.102	0.065	0.051	0.007	-0.044	300.9	59.1	0.001	-0.0011	0.0002	0.052	0.004	0.3	0.009	0.0115
A25-A26	0.102	0.179	0.051	0.018	-0.033	259.8	100.2	0.002	-0.0013	0.0010	0.089	0.011	0.3	0.009	0.0030
A26-B9	0.102	0.190	0.051	0.019	-0.032	256.6	103.4	0.002	-0.0013	0.0010	0.092	0.011	0.3	0.009	0.0030
A27-A28	0.102	0.135	0.051	0.014	-0.037	273.8	86.2	0.002	-0.0013	0.0006	0.076	0.008	0.3	0.009	0.0046
A29-B13	0.102	0.150	0.051	0.015	-0.036	269.0	91.0	0.002	-0.0013	0.0007	0.081	0.009	0.3	0.009	0.0039
A30-A31	0.102	0.134	0.051	0.014	-0.037	274.2	85.8	0.002	-0.0013	0.0006	0.076	0.008	0.3	0.009	0.0046
B1-B2	0.148	0.155	0.074	0.023	-0.051	267.2	92.8	0.004	-0.0027	0.0017	0.120	0.014	0.3	0.009	0.0022
B2-B3	0.148	0.201	0.074	0.030	-0.044	253.4	106.6	0.005	-0.0026	0.0025	0.137	0.018	0.3	0.009	0.0015
B3-B4	0.148	0.227	0.074	0.034	-0.040	246.2	113.8	0.005	-0.0025	0.0029	0.147	0.020	0.3	0.009	0.0013
B4-C1	0.148	0.235	0.074	0.035	-0.039	244.0	116.0	0.006	-0.0024	0.0031	0.149	0.021	0.3	0.009	0.0013
B5-B6	0.102	0.170	0.051	0.017	-0.034	262.5	97.5	0.002	-0.0013	0.0009	0.086	0.010	0.3	0.009	0.0034
B6-B7	0.185	0.217	0.092	0.040	-0.052	248.9	111.1	0.008	-0.0040	0.0043	0.179	0.024	0.3	0.009	0.0011
B7-B8	0.231	0.202	0.115	0.047	-0.069	253.2	106.8	0.012	-0.0064	0.0060	0.215	0.028	0.3	0.009	0.0009
B8-B9	0.185	0.216	0.092	0.040	-0.052	249.2	110.8	0.008	-0.0040	0.0042	0.179	0.024	0.3	0.009	0.0011
B10-B11	0.102	0.191	0.051	0.019	-0.031	256.4	103.6	0.002	-0.0013	0.0010	0.092	0.011	0.3	0.009	0.0030

Saluran	D (m)	dmin/ D	1/2 D (m)	dmin (m)	d-0.5D (m)	$\alpha$ (°)	B (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	Vmin Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat Vmin
B11-B12	0.148	0.150	0.074	0.022	-0.052	268.9	91.1	0.004	-0.0027	0.0016	0.117	0.014	0.3	0.009	0.0022
B12-C2	0.291	0.238	0.145	0.069	-0.076	243.2	116.8	0.022	-0.0094	0.0121	0.296	0.041	0.3	0.009	0.0005
B13-C3	0.148	0.189	0.074	0.028	-0.046	256.9	103.1	0.005	-0.0027	0.0022	0.133	0.017	0.3	0.009	0.0017
C1-C2	0.148	0.180	0.074	0.027	-0.047	259.5	100.5	0.005	-0.0027	0.0021	0.129	0.016	0.3	0.009	0.0018
C2-C3	0.369	0.225	0.185	0.083	-0.102	246.7	113.3	0.034	-0.0157	0.0180	0.365	0.049	0.3	0.009	0.0004
C3-IPAL	0.369	0.225	0.185	0.083	-0.102	246.7	113.3	0.034	-0.0157	0.0180	0.365	0.049	0.3	0.009	0.0004

Tabel 4.16 Slope Pipa Berdasarkan  $V_{\text{minimum}}$  Cluster 2

Saluran	D (m)	dmin/ D	1/2 D (m)	dmin (m)	d-0.5D (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	Vmin Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat Vmin
D1-D2	0.102	0.080	0.051	0.008	-0.043	294.4	65.6	0.002	-0.0012	0.0003	0.058	0.005	0.3	0.009	0.0086
D3-D4	0.102	0.065	0.051	0.007	-0.044	300.9	59.1	0.001	-0.0011	0.0002	0.052	0.004	0.3	0.009	0.0115
D5-E2	0.102	0.053	0.051	0.005	-0.045	306.7	53.3	0.001	-0.0010	0.0002	0.047	0.004	0.3	0.009	0.0115
D6-D7	0.102	0.068	0.051	0.007	-0.044	299.6	60.4	0.001	-0.0011	0.0003	0.054	0.006	0.3	0.009	0.0067
D8-D9	0.102	0.068	0.051	0.007	-0.044	299.6	60.4	0.001	-0.0011	0.0003	0.054	0.006	0.3	0.009	0.0067
D10-D11	0.102	0.071	0.051	0.007	-0.044	298.2	61.8	0.001	-0.0011	0.0003	0.055	0.005	0.3	0.009	0.0086
D12-D13	0.102	0.100	0.051	0.010	-0.041	286.1	73.9	0.002	-0.0012	0.0005	0.066	0.008	0.3	0.009	0.0046
D14-E3	0.102	0.142	0.051	0.014	-0.036	271.5	88.5	0.002	-0.0013	0.0007	0.078	0.009	0.3	0.009	0.0039
D15-D16	0.102	0.112	0.051	0.011	-0.039	281.7	78.3	0.002	-0.0013	0.0005	0.069	0.007	0.3	0.009	0.0055
D17-D18	0.102	0.080	0.051	0.008	-0.043	294.4	65.6	0.002	-0.0012	0.0003	0.058	0.005	0.3	0.009	0.0086
D19-D20	0.102	0.163	0.051	0.017	-0.034	264.6	95.4	0.002	-0.0013	0.0008	0.085	0.009	0.3	0.009	0.0039
D21-D22	0.102	0.187	0.051	0.019	-0.032	257.5	102.5	0.002	-0.0013	0.0010	0.091	0.011	0.3	0.009	0.0030
D23-E4	0.102	0.091	0.051	0.009	-0.042	289.9	70.1	0.002	-0.0012	0.0004	0.062	0.006	0.3	0.009	0.0067
D24-E4	0.102	0.257	0.051	0.026	-0.025	238.2	121.8	0.003	-0.0011	0.0016	0.108	0.015	0.3	0.009	0.0020
D25-D26	0.102	0.065	0.051	0.007	-0.044	300.9	59.1	0.001	-0.0011	0.0002	0.052	0.004	0.3	0.009	0.0115
D27-D28	0.102	0.053	0.051	0.005	-0.045	306.7	53.3	0.001	-0.0010	0.0002	0.047	0.004	0.3	0.009	0.0115
D29-D30	0.102	0.053	0.051	0.005	-0.045	306.7	53.3	0.001	-0.0010	0.0002	0.047	0.004	0.3	0.009	0.0115
D31-D32	0.102	0.135	0.051	0.014	-0.037	273.8	86.2	0.002	-0.0013	0.0006	0.076	0.008	0.3	0.009	0.0046
D33-D34	0.102	0.116	0.051	0.012	-0.039	280.3	79.7	0.002	-0.0013	0.0005	0.071	0.007	0.3	0.009	0.0055
D35-D36	0.102	0.152	0.051	0.015	-0.035	268.4	91.7	0.002	-0.0013	0.0008	0.081	0.010	0.3	0.009	0.0034
D37-D38	0.102	0.071	0.051	0.007	-0.044	298.2	61.8	0.001	-0.0011	0.0003	0.055	0.005	0.3	0.009	0.0086
D39-D40	0.102	0.088	0.051	0.009	-0.042	291.1	68.9	0.002	-0.0012	0.0004	0.061	0.007	0.3	0.009	0.0055

Saluran	D (m)	dmin/ D	1/2 D (m)	dmin (m)	d-0.5D (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	Vmin Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat Vmin
D41-D42	0.102	0.074	0.051	0.008	-0.043	296.9	63.1	0.001	-0.0012	0.0002	0.056	0.004	0.3	0.009	0.0115
D43-D44	0.102	0.077	0.051	0.008	-0.043	295.7	64.3	0.001	-0.0012	0.0002	0.057	0.004	0.3	0.009	0.0115
D45-D46	0.102	0.077	0.051	0.008	-0.043	295.7	64.3	0.001	-0.0012	0.0002	0.057	0.004	0.3	0.009	0.0115
D47-D48	0.102	0.116	0.051	0.012	-0.039	280.3	79.7	0.002	-0.0013	0.0005	0.071	0.007	0.3	0.009	0.0055
D49-D50	0.102	0.112	0.051	0.011	-0.039	281.7	78.3	0.002	-0.0013	0.0005	0.069	0.007	0.3	0.009	0.0055
D51-D52	0.102	0.080	0.051	0.008	-0.043	294.4	65.6	0.002	-0.0012	0.0003	0.058	0.005	0.3	0.009	0.0086
E1-F2	0.102	0.093	0.051	0.009	-0.041	289.2	70.8	0.002	-0.0012	0.0004	0.063	0.006	0.3	0.009	0.0067
E2-F2	0.185	0.165	0.092	0.031	-0.062	264.1	95.9	0.007	-0.0042	0.0029	0.155	0.019	0.3	0.009	0.0014
E3-F1	0.185	0.148	0.092	0.027	-0.065	269.5	90.5	0.007	-0.0043	0.0024	0.146	0.016	0.3	0.009	0.0018
E4-F1	0.185	0.158	0.092	0.029	-0.063	266.3	93.7	0.007	-0.0043	0.0027	0.151	0.018	0.3	0.009	0.0015
F1-F2	0.231	0.175	0.115	0.040	-0.075	261.1	98.9	0.012	-0.0066	0.0049	0.199	0.025	0.3	0.009	0.0010
F2-F3	0.291	0.202	0.145	0.059	-0.087	253.2	106.8	0.020	-0.0101	0.0096	0.271	0.035	0.3	0.009	0.0006
F3-IPAL	0.291	0.200	0.145	0.058	-0.087	253.70	106.30	0.020	-0.0101	0.0095	0.270	0.035	0.3	0.009	0.0006

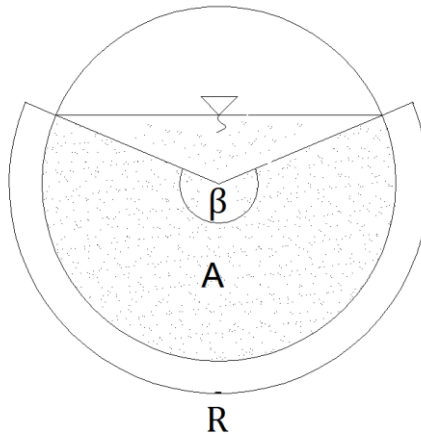
Tabel 4.17 Slope Pipa Berdasarkan  $V_{\text{minimum}}$  Cluster 3

Saluran	D (m)	dmin/ D	1/2 D (m)	dmin (m)	d-0.5D (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	Vmin Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat Vmin
A1-B1	0.102	0.080	0.051	0.008	-0.043	294.4	65.6	0.002	-0.0012	0.0003	0.058	0.005	0.3	0.009	0.0086
A2-C1	0.102	0.193	0.051	0.020	-0.031	255.8	104.2	0.002	-0.0013	0.0010	0.092	0.011	0.3	0.009	0.0030
A3-A4	0.102	0.166	0.051	0.017	-0.034	263.7	96.3	0.002	-0.0013	0.0009	0.085	0.011	0.3	0.009	0.0030
A5-A6	0.102	0.164	0.051	0.017	-0.034	264.3	95.7	0.002	-0.0013	0.0009	0.085	0.011	0.3	0.009	0.0030
A7-A8	0.148	0.164	0.074	0.024	-0.050	264.5	95.5	0.005	-0.0027	0.0018	0.123	0.015	0.3	0.009	0.0020
A9-B4	0.102	0.210	0.051	0.021	-0.030	251.0	109.0	0.003	-0.0012	0.0013	0.097	0.013	0.3	0.009	0.0024
A10-A11	0.102	0.184	0.051	0.019	-0.032	258.4	101.6	0.002	-0.0013	0.0010	0.090	0.011	0.3	0.009	0.0030
A12-A13	0.102	0.175	0.051	0.018	-0.033	261.0	99.0	0.002	-0.0013	0.0009	0.088	0.010	0.3	0.009	0.0034
A14-B5	0.102	0.172	0.051	0.018	-0.033	261.9	98.1	0.002	-0.0013	0.0009	0.087	0.010	0.3	0.009	0.0034
A15-A17	0.102	0.130	0.051	0.013	-0.038	275.5	84.5	0.002	-0.0013	0.0006	0.075	0.008	0.3	0.009	0.0046
A16-A17	0.148	0.129	0.074	0.019	-0.055	275.8	84.2	0.004	-0.0027	0.0013	0.109	0.012	0.3	0.009	0.0027
A18-A20	0.102	0.132	0.051	0.013	-0.037	274.8	85.2	0.002	-0.0013	0.0006	0.076	0.008	0.3	0.009	0.0046
A19-A20	0.102	0.140	0.051	0.014	-0.037	272.2	87.8	0.002	-0.0013	0.0007	0.078	0.009	0.3	0.009	0.0039
A21-B6	0.102	0.142	0.051	0.014	-0.036	271.5	88.5	0.002	-0.0013	0.0007	0.078	0.009	0.3	0.009	0.0039
A22-B6	0.102	0.134	0.051	0.014	-0.037	274.2	85.8	0.002	-0.0013	0.0006	0.076	0.008	0.3	0.009	0.0046

Saluran	D (m)	dmin/ D	1/2 D (m)	dmin (m)	d-0.5D (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	Vmin Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat Vmin
A23-A24	0.148	0.170	0.074	0.025	-0.049	262.6	97.4	0.005	-0.0027	0.0019	0.126	0.015	0.3	0.009	0.0020
B1-C1	0.102	0.130	0.051	0.013	-0.038	275.5	84.5	0.002	-0.0013	0.0006	0.075	0.008	0.3	0.009	0.0046
B2-B3	0.185	0.231	0.092	0.043	-0.050	245.2	114.8	0.009	-0.0039	0.0046	0.185	0.025	0.3	0.009	0.0010
B4-B5	0.185	0.197	0.092	0.036	-0.056	254.5	105.5	0.008	-0.0041	0.0037	0.170	0.022	0.3	0.009	0.0012
B5-C2	0.148	0.169	0.074	0.025	-0.049	263.0	97.0	0.005	-0.0027	0.0019	0.125	0.015	0.3	0.009	0.0020
B6-B7	0.148	0.162	0.074	0.024	-0.050	265.1	94.9	0.005	-0.0027	0.0018	0.122	0.015	0.3	0.009	0.0020
B8-C3	0.148	0.183	0.074	0.027	-0.047	258.7	101.3	0.005	-0.0027	0.0021	0.130	0.016	0.3	0.009	0.0018
C1-C2	0.185	0.184	0.092	0.034	-0.058	258.3	101.7	0.008	-0.0042	0.0034	0.164	0.021	0.3	0.009	0.0013
C2-C3	0.291	0.207	0.145	0.060	-0.085	251.7	108.3	0.020	-0.0100	0.0100	0.275	0.036	0.3	0.009	0.0006
C3-C4	0.291	0.230	0.145	0.067	-0.079	245.4	114.6	0.021	-0.0096	0.0115	0.291	0.040	0.3	0.009	0.0005
C4-C5	0.291	0.151	0.145	0.044	-0.102	268.5	91.5	0.017	-0.0106	0.0063	0.232	0.027	0.3	0.009	0.0009
C5-IPAL	0.291	0.230	0.145	0.067	-0.079	245.4	114.6	0.021	-0.0096	0.0115	0.291	0.040	0.3	0.009	0.0005

Perhitungan *slope* berdasarkan  $V_{peak}$ :

- Diameter = 0,102 m
- $d_{peak}/D$  = 0,327
- $\frac{1}{2} D$  =  $\frac{1}{2} \times 0,102 = 0,051$  m
- $d_{peak}$  =  $d_{peak}/D \times D = 0,327 \times 0,102 = 0,033$
- $d_{peak} - \frac{1}{2} D$  =  $0,033 - 0,051 = -0,018$
- $\alpha$  =  $2 \times a \cos \frac{d_{peak} - \frac{1}{2} D}{\frac{1}{2} D}$   
 =  $2 \times a \cos \frac{-0,0176}{0,051}$   
 =  $220,5^\circ$
- $\beta$  =  $360^\circ - \alpha$   
 =  $360^\circ - 220,5^\circ$   
 =  $139,5^\circ$



**Gambar 4.10 Kondisi Pipa**

- Luas segitiga =  $\frac{1}{2} \times 2 \times \sqrt{(\frac{1}{2} D)^2 - (d_{peak} - \frac{1}{2} D)^2} \times (d_{peak} - \frac{1}{2} D)$   
 =  $\frac{1}{2} \times 2 \times \sqrt{(0,051)^2 - (-0,018)^2} \times (-0,018)$   
 = -0,0008
- Luas juring =  $\frac{\beta}{360} \times \frac{\pi}{4} \times D^2$   
 =  $(139,5/360) \times (3,14/4) \times (0,102)^2$

$$\begin{aligned}
 &= 0,003 \\
 \text{➤ Luas total (A)} &= \text{Luas segitiga} + \text{Luas juring} \\
 &= 0,002 \\
 \text{➤ Keliling basah (P)} &= \frac{\beta}{360} \times \pi \times D \\
 &= (139,5/360) \times 3,14 \times 0,102 \\
 &= 0,124 \\
 \text{➤ Jari-jari basah (R)} &= A/P \\
 &= 0,002/0,124 \\
 &= 0,019 \\
 \text{➤ } V_{peak} \text{ asumsi} &= 0,6 \\
 \text{➤ Slope} &= [(V_{peak}/n) / (R^{0,667})]^2 \\
 &= [(0,6/0,009) / (0,019)^{0,667}]^2 \\
 &= 0,0059
 \end{aligned}$$

Dengan cara menetapkan kecepatan air limbah sesuai dengan kriteria desain pada perhitungan *slope* ini, maka kecepatan maksimum pada setiap saluran pipa air limbah akan memenuhi. Hal ini akan menyebabkan tidak terjadi penggerusan pada pipa air limbah. Penggerusan dapat menyebabkan penipisan pada pipa air limbah yang menjadi salah satu penyebab kerusakan pada pipa sehingga hal tersebut perlu dihindari.

Hasil perhitungan *slope* pipa air limbah berdasarkan kriteria  $V_{peak}$  pada setiap saluran pipa air limbah pada *cluster* 1, 2, dan 3 dapat dilihat pada **Tabel 4.18, 4.19, 4.20** berikut ini.

**Tabel 4.18 Slope Pipa Berdasarkan  $V_{peak}$  Cluster 1**

Saluran	D (m)	$d_{peak}/D_{full}$	1/2 D (m)	$d_{peak}$ (m)	$d-0.5D$ (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	$V_{peak}$ Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat $V_{peak}$
A1-B1	0.102	0.327	0.051	0.033	-0.018	220.5	139.5	0.003	-0.0008	0.002	0.124	0.019	0.6	0.009	0.0059
A2-B2	0.102	0.354	0.051	0.036	-0.015	214.0	146.0	0.003	-0.0007	0.003	0.129	0.020	0.6	0.009	0.0054
A3-B5	0.102	0.589	0.051	0.060	0.009	159.5	200.5	0.005	0.0005	0.005	0.178	0.028	0.6	0.009	0.0034
A4-B7	0.148	0.502	0.074	0.074	0.000	179.5	180.5	0.009	0.0000	0.009	0.232	0.037	0.6	0.009	0.0024
A5-A6	0.148	0.402	0.074	0.059	-0.014	202.6	157.4	0.007	-0.0010	0.006	0.203	0.032	0.6	0.009	0.0029
A7-B8	0.148	0.523	0.074	0.077	0.003	174.7	185.3	0.009	0.0003	0.009	0.239	0.038	0.6	0.009	0.0023
A8-A9	0.102	0.46	0.051	0.047	-0.004	189.2	170.8	0.004	-0.0002	0.004	0.151	0.024	0.6	0.009	0.0042
A10-A11	0.148	0.44	0.074	0.065	-0.009	193.8	166.2	0.008	-0.0006	0.007	0.214	0.034	0.6	0.009	0.0027
A11-A12	0.185	0.617	0.092	0.114	0.022	152.9	207.1	0.015	0.0019	0.017	0.333	0.052	0.6	0.009	0.0015
A13-B10	0.102	0.336	0.051	0.034	-0.017	218.3	141.7	0.003	-0.0008	0.002	0.126	0.019	0.6	0.009	0.0058
A14-A15	0.102	0.204	0.051	0.021	-0.030	252.6	107.4	0.002	-0.0012	0.001	0.095	0.012	0.6	0.009	0.0101
A16-A17	0.102	0.472	0.051	0.048	-0.003	186.4	173.6	0.004	-0.0001	0.004	0.154	0.024	0.6	0.009	0.0041
A17-B10	0.102	0.562	0.051	0.057	0.006	165.8	194.2	0.004	0.0003	0.005	0.172	0.027	0.6	0.009	0.0036
A18-B11	0.102	0.472	0.051	0.048	-0.003	186.4	173.6	0.004	-0.0001	0.004	0.154	0.024	0.6	0.009	0.0041
A19-B12	0.102	0.396	0.051	0.040	-0.011	204.0	156.0	0.004	-0.0005	0.003	0.138	0.022	0.6	0.009	0.0049
A20-A21	0.102	0.336	0.051	0.034	-0.017	218.3	141.7	0.003	-0.0008	0.002	0.126	0.019	0.6	0.009	0.0058
A22-A23	0.102	0.362	0.051	0.037	-0.014	212.0	148.0	0.003	-0.0007	0.003	0.131	0.020	0.6	0.009	0.0053
A24-A25	0.102	0.288	0.051	0.029	-0.022	230.2	129.8	0.003	-0.0010	0.002	0.115	0.017	0.6	0.009	0.0068
A25-A26	0.102	0.614	0.051	0.062	0.012	153.6	206.4	0.005	0.0006	0.005	0.183	0.029	0.6	0.009	0.0034
A26-B9	0.102	0.65	0.051	0.066	0.015	145.1	214.9	0.005	0.0007	0.006	0.190	0.029	0.6	0.009	0.0032
A27-A28	0.102	0.483	0.051	0.049	-0.002	183.9	176.1	0.004	-0.0001	0.004	0.156	0.025	0.6	0.009	0.0040
A29-B13	0.102	0.424	0.051	0.043	-0.008	197.5	162.5	0.004	-0.0004	0.003	0.144	0.023	0.6	0.009	0.0045
A30-A31	0.102	0.383	0.051	0.039	-0.012	207.1	152.9	0.003	-0.0006	0.003	0.136	0.021	0.6	0.009	0.0050
B1-B2	0.148	0.44	0.074	0.065	-0.009	193.8	166.2	0.008	-0.0006	0.007	0.214	0.034	0.6	0.009	0.0027
B2-B3	0.148	0.549	0.074	0.081	0.007	168.8	191.2	0.009	0.0005	0.010	0.246	0.039	0.6	0.009	0.0022
B3-B4	0.148	0.621	0.074	0.092	0.018	152.0	208.0	0.010	0.0013	0.011	0.268	0.042	0.6	0.009	0.0020
B4-C1	0.148	0.643	0.074	0.095	0.021	146.8	213.2	0.010	0.0015	0.012	0.275	0.042	0.6	0.009	0.0020
B5-B6	0.102	0.582	0.051	0.059	0.008	161.1	198.9	0.004	0.0004	0.005	0.176	0.028	0.6	0.009	0.0035
B6-B7	0.185	0.645	0.092	0.119	0.027	146.3	213.7	0.016	0.0024	0.018	0.344	0.053	0.6	0.009	0.0015
B7-B8	0.231	0.542	0.115	0.125	0.010	170.4	189.6	0.022	0.0011	0.023	0.382	0.061	0.6	0.009	0.0012
B8-B9	0.185	0.559	0.092	0.103	0.011	166.4	193.6	0.014	0.0010	0.015	0.312	0.049	0.6	0.009	0.0016
B10-B11	0.102	0.654	0.051	0.066	0.016	144.1	215.9	0.005	0.0008	0.006	0.191	0.029	0.6	0.009	0.0032

Saluran	D (m)	$d_{peak}/D_{full}$	1/2 D (m)	$d_{peak}$ (m)	d-0.5D (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V <sub>peak</sub> Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat V <sub>peak</sub>
B11-B12	0.148	0.43	0.074	0.063	-0.010	196.1	163.9	0.008	-0.0008	0.007	0.211	0.033	0.6	0.009	0.0027
B12-C2	0.291	0.588	0.145	0.171	0.026	159.7	200.3	0.037	0.0037	0.041	0.508	0.080	0.6	0.009	0.0008
B13-C3	0.148	0.521	0.074	0.077	0.003	175.2	184.8	0.009	0.0002	0.009	0.238	0.038	0.6	0.009	0.0023
C1-C2	0.148	0.49	0.074	0.072	-0.001	182.3	177.7	0.008	-0.0001	0.008	0.229	0.036	0.6	0.009	0.0024
C2-C3	0.369	0.495	0.185	0.183	-0.002	181.1	178.9	0.053	-0.0003	0.053	0.576	0.092	0.6	0.009	0.0007
C3-IPAL	0.369	0.495	0.185	0.183	-0.002	181.1	178.9	0.053	-0.0003	0.053	0.576	0.092	0.6	0.009	0.0007

Tabel 4.19 Slope Pipa Berdasarkan V<sub>peak</sub> Cluster 2

Saluran	D (m)	$d_{peak}/D_{full}$	1/2 D (m)	$d_{peak}$ (m)	d-0.5D (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V <sub>peak</sub> Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat V <sub>peak</sub>
D1-D2	0.102	0.334	0.051	0.034	-0.017	218.8	141.2	0.003	-0.0008	0.002	0.125	0.019	0.6	0.009	0.0058
D3-D4	0.102	0.288	0.051	0.029	-0.022	230.2	129.8	0.003	-0.0010	0.002	0.115	0.017	0.6	0.009	0.0068
D5-E2	0.102	0.217	0.051	0.022	-0.029	248.9	111.1	0.002	-0.0012	0.001	0.098	0.013	0.6	0.009	0.0094
D6-D7	0.102	0.302	0.051	0.031	-0.020	226.7	133.3	0.003	-0.0009	0.002	0.118	0.017	0.6	0.009	0.0065
D8-D9	0.102	0.302	0.051	0.031	-0.020	226.7	133.3	0.003	-0.0009	0.002	0.118	0.017	0.6	0.009	0.0065
D10-D11	0.102	0.306	0.051	0.031	-0.020	225.7	134.3	0.003	-0.0009	0.002	0.119	0.018	0.6	0.009	0.0064
D12-D13	0.102	0.369	0.051	0.037	-0.013	210.4	149.6	0.003	-0.0007	0.003	0.133	0.020	0.6	0.009	0.0052
D14-E3	0.102	0.486	0.051	0.049	-0.001	183.2	176.8	0.004	-0.0001	0.004	0.157	0.025	0.6	0.009	0.0040
D15-D16	0.102	0.396	0.051	0.040	-0.011	204.0	156.0	0.004	-0.0005	0.003	0.138	0.022	0.6	0.009	0.0049
D17-D18	0.102	0.332	0.051	0.034	-0.017	219.3	140.7	0.003	-0.0008	0.002	0.125	0.019	0.6	0.009	0.0058
D19-D20	0.102	0.562	0.051	0.057	0.006	165.8	194.2	0.004	0.0003	0.005	0.172	0.027	0.6	0.009	0.0036
D21-D22	0.102	0.641	0.051	0.065	0.014	147.2	212.8	0.005	0.0007	0.005	0.189	0.029	0.6	0.009	0.0033
D23-E4	0.102	0.357	0.051	0.036	-0.015	213.2	146.8	0.003	-0.0007	0.003	0.130	0.020	0.6	0.009	0.0054
D24-E4	0.102	0.369	0.051	0.037	-0.013	210.4	149.6	0.003	-0.0007	0.003	0.133	0.020	0.6	0.009	0.0052
D25-D26	0.102	0.293	0.051	0.030	-0.021	228.9	131.1	0.003	-0.0010	0.002	0.116	0.017	0.6	0.009	0.0067
D27-D28	0.102	0.258	0.051	0.026	-0.025	237.9	122.1	0.003	-0.0011	0.002	0.108	0.015	0.6	0.009	0.0077
D29-D30	0.102	0.251	0.051	0.026	-0.025	239.7	120.3	0.003	-0.0011	0.002	0.107	0.015	0.6	0.009	0.0079
D31-D32	0.102	0.479	0.051	0.049	-0.002	184.8	175.2	0.004	-0.0001	0.004	0.155	0.025	0.6	0.009	0.0041
D33-D34	0.102	0.427	0.051	0.043	-0.007	196.8	163.2	0.004	-0.0004	0.003	0.145	0.023	0.6	0.009	0.0045
D35-D36	0.102	0.534	0.051	0.054	0.003	172.2	187.8	0.004	0.0002	0.004	0.166	0.026	0.6	0.009	0.0037
D37-D38	0.102	0.306	0.051	0.031	-0.020	225.7	134.3	0.003	-0.0009	0.002	0.119	0.018	0.6	0.009	0.0064
D39-D40	0.102	0.334	0.051	0.034	-0.017	218.8	141.2	0.003	-0.0008	0.002	0.125	0.019	0.6	0.009	0.0058



Saluran	D (m)	d <sub>peak</sub> /D <sub>full</sub>	1/2 D (m)	d <sub>peak</sub> (m)	d-0.5D (m)	α (°)	β (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V <sub>peak</sub> Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat V <sub>peak</sub>
D41-D42	0.102	0.3	0.051	0.030	-0.020	227.2	132.8	0.003	-0.0009	0.002	0.118	0.017	0.6	0.009	0.0065
D43-D44	0.102	0.308	0.051	0.031	-0.020	225.2	134.8	0.003	-0.0009	0.002	0.119	0.018	0.6	0.009	0.0063
D45-D46	0.102	0.309	0.051	0.031	-0.019	224.9	135.1	0.003	-0.0009	0.002	0.120	0.018	0.6	0.009	0.0063
D47-D48	0.102	0.427	0.051	0.043	-0.007	196.8	163.2	0.004	-0.0004	0.003	0.145	0.023	0.6	0.009	0.0045
D49-D50	0.102	0.422	0.051	0.043	-0.008	197.9	162.1	0.004	-0.0004	0.003	0.144	0.023	0.6	0.009	0.0046
D51-D52	0.102	0.332	0.051	0.034	-0.017	219.3	140.7	0.003	-0.0008	0.002	0.125	0.019	0.6	0.009	0.0058
E1-F2	0.102	0.346	0.051	0.035	-0.016	215.9	144.1	0.003	-0.0008	0.002	0.128	0.019	0.6	0.009	0.0056
E2-F2	0.185	0.617	0.092	0.114	0.022	152.9	207.1	0.015	0.0019	0.017	0.333	0.052	0.6	0.009	0.0015
E3-F1	0.185	0.513	0.092	0.095	0.002	177.0	183.0	0.014	0.0002	0.014	0.295	0.047	0.6	0.009	0.0017
E4-F1	0.185	0.622	0.092	0.115	0.023	151.8	208.2	0.015	0.0020	0.017	0.335	0.052	0.6	0.009	0.0015
F1-F2	0.231	0.571	0.115	0.132	0.016	163.7	196.3	0.023	0.0019	0.025	0.395	0.062	0.6	0.009	0.0012
F2-F3	0.291	0.628	0.145	0.183	0.037	150.3	209.7	0.039	0.0052	0.044	0.532	0.083	0.6	0.009	0.0008
F3-IPAL	0.291	0.617	0.145	0.179	0.034	152.9	207.1	0.038	0.0048	0.043	0.525	0.082	0.6	0.009	0.0008

Tabel 4.20 Slope Pipa Berdasarkan V<sub>peak</sub> Cluster 3

Saluran	D (m)	d <sub>peak</sub> /D <sub>full</sub>	1/2 D (m)	d <sub>peak</sub> (m)	d-0.5D (m)	α (°)	β (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V <sub>peak</sub> Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat V <sub>peak</sub>
A1-B1	0.102	0.334	0.051	0.034	-0.017	218.8	141.2	0.003	-0.0008	0.002	0.125	0.019	0.6	0.009	0.0058
A2-C1	0.102	0.694	0.051	0.071	0.020	134.3	225.7	0.005	0.0009	0.006	0.200	0.030	0.6	0.009	0.0031
A3-A4	0.102	0.589	0.051	0.060	0.009	159.5	200.5	0.005	0.0005	0.005	0.178	0.028	0.6	0.009	0.0034
A5-A6	0.102	0.589	0.051	0.060	0.009	159.5	200.5	0.005	0.0005	0.005	0.178	0.028	0.6	0.009	0.0034
A7-A8	0.148	0.49	0.074	0.072	-0.001	182.3	177.7	0.008	-0.0001	0.008	0.229	0.036	0.6	0.009	0.0024
A9-B4	0.102	0.669	0.051	0.068	0.017	140.5	219.5	0.005	0.0008	0.006	0.195	0.030	0.6	0.009	0.0032
A10-A11	0.102	0.589	0.051	0.060	0.009	159.5	200.5	0.005	0.0005	0.005	0.178	0.028	0.6	0.009	0.0034
A12-A13	0.102	0.605	0.051	0.061	0.011	155.8	204.2	0.005	0.0005	0.005	0.181	0.028	0.6	0.009	0.0034
A14-B5	0.102	0.552	0.051	0.056	0.005	168.1	191.9	0.004	0.0003	0.005	0.170	0.027	0.6	0.009	0.0036
A15-A17	0.102	0.589	0.051	0.060	0.009	159.5	200.5	0.005	0.0005	0.005	0.178	0.028	0.6	0.009	0.0034
A16-A17	0.148	0.589	0.074	0.087	0.013	159.5	200.5	0.010	0.0010	0.011	0.259	0.041	0.6	0.009	0.0021
A18-A20	0.102	0.589	0.051	0.060	0.009	159.5	200.5	0.005	0.0005	0.005	0.178	0.028	0.6	0.009	0.0034
A19-A20	0.102	0.589	0.051	0.060	0.009	159.5	200.5	0.005	0.0005	0.005	0.178	0.028	0.6	0.009	0.0034
A21-B6	0.102	0.589	0.051	0.060	0.009	159.5	200.5	0.005	0.0005	0.005	0.178	0.028	0.6	0.009	0.0034
A22-B6	0.102	0.589	0.051	0.060	0.009	159.5	200.5	0.005	0.0005	0.005	0.178	0.028	0.6	0.009	0.0034

Saluran	D (m)	$d_{peak}/D_{full}$	1/2 D (m)	$d_{peak}$ (m)	d-0.5D (m)	$\alpha$ (°)	$\beta$ (°)	L Juring (m <sup>2</sup> )	L Segitiga (m <sup>2</sup> )	L Total (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V <sub>peak</sub> Asumsi (m/detik)	n	Slope Manning saat V <sub>peak</sub>
A23-A24	0.148	0.452	0.074	0.067	-0.007	191.0	169.0	0.008	-0.0005	0.008	0.218	0.035	0.6	0.009	0.0026
B1-C1	0.102	0.589	0.051	0.060	0.009	159.5	200.5	0.005	0.0005	0.005	0.178	0.028	0.6	0.009	0.0034
B2-B3	0.185	0.783	0.092	0.145	0.052	111.1	248.9	0.018	0.0040	0.022	0.401	0.056	0.6	0.009	0.0014
B4-B5	0.185	0.587	0.092	0.108	0.016	160.0	200.0	0.015	0.0015	0.016	0.322	0.051	0.6	0.009	0.0016
B5-C2	0.148	0.409	0.074	0.060	-0.013	201.0	159.0	0.008	-0.0010	0.007	0.205	0.032	0.6	0.009	0.0029
B6-B7	0.148	0.461	0.074	0.068	-0.006	188.9	171.1	0.008	-0.0004	0.008	0.220	0.035	0.6	0.009	0.0026
B8-C3	0.148	0.668	0.074	0.099	0.025	140.7	219.3	0.010	0.0017	0.012	0.282	0.043	0.6	0.009	0.0019
C1-C2	0.185	0.539	0.092	0.099	0.007	171.1	188.9	0.014	0.0007	0.015	0.304	0.048	0.6	0.009	0.0017
C2-C3	0.291	0.498	0.145	0.145	-0.001	180.5	179.5	0.033	-0.0001	0.033	0.455	0.073	0.6	0.009	0.0010
C3-C4	0.291	0.571	0.145	0.166	0.021	163.7	196.3	0.036	0.0030	0.039	0.498	0.079	0.6	0.009	0.0009
C4-C5	0.291	0.353	0.145	0.103	-0.043	214.2	145.8	0.027	-0.0059	0.021	0.370	0.057	0.6	0.009	0.0013
C5-IPAL	0.291	0.571	0.145	0.166	0.021	163.7	196.3	0.036	0.0030	0.039	0.498	0.079	0.6	0.009	0.0009

Diperoleh 3 nilai slope, yaitu:

- *Slope* rencana/medan = 0,0088
- *Slope*  $V_{\text{minimum}}$  = 0,0067
- *Slope*  $V_{\text{peak}}$  = 0,0059

Dari ketiga *slope* tersebut digunakan *slope* dengan hasil cek kecepatan aliran dalam pipa sudah memenuhi kriteria desain, yaitu 0,0088.

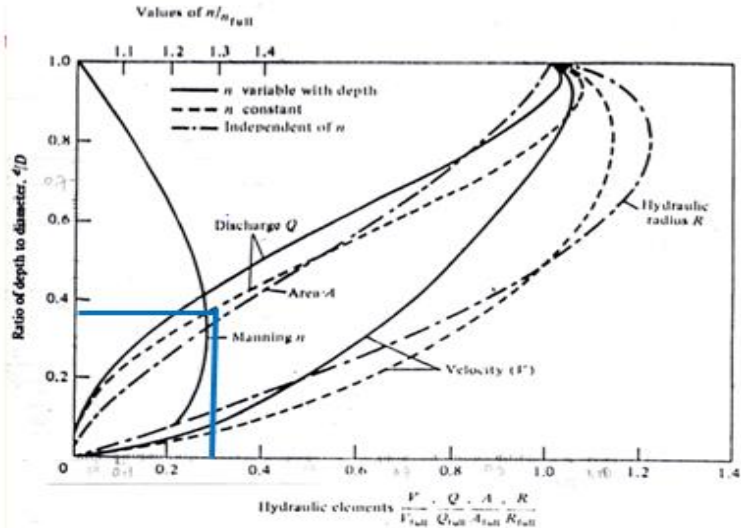
- $Q_{\text{full cek}} = (0,312 \times D^{2,667} \times \sqrt{S}) / n$   
 $= (0,312 \times (0,102)^{2,667} \times \sqrt{0,0088}) / 0,009$   
 $= 0,0073 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $Q_{\text{peak}} = 0,0020 \text{ m}^3/\text{detik}$   
 $(Q_{\text{full cek}} > Q_{\text{peak}}, \text{ BENAR})$
- $V_{\text{full cek}} = 1/n \times (D/4)^{0,67} \times \text{Slope}^{0,5}$   
 $= (1/0,009) \times (0,102/4)^{0,67} \times (0,0088)^{0,5}$   
 $= 0,9 \text{ m/detik}$
- $V_{\text{minimum cek}} = 1/n \times (R_{\text{minimum}}/4)^{0,67} \times \text{Slope}^{0,5}$   
 $= (1/0,009) \times (0,01/4)^{0,67} \times (0,0088)^{0,5}$   
 $= 0,3 \text{ m/detik}$   
 (tidak kurang dari 0,3 m/detik, BENAR)
- $V_{\text{peak cek}} = 1/n \times (R_{\text{peak}}/4)^{0,67} \times \text{Slope}^{0,5}$   
 $= (1/0,009) \times (0,019/4)^{0,67} \times (0,0088)^{0,5}$   
 $= 0,7 \text{ m/detik}$   
 (tidak lebih dari 2,5 m/detik, BENAR)

Selain melakukan pengecekan kecepatan pada pipa, dilakukan pengecekan pada tinggi renang air limbah di dalam pipa. Tinggi renang minimum menurut Metcalf and Eddy (1981) adalah 50 mm.

$$Q/Q_{\text{full cek}} = 0,002 \text{ m}^3/\text{detik} / 0,0073 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$= 0,280$$

Berdasarkan nilai  $Q/Q_{\text{full cek}}$ , diperoleh nilai  $d/D$  cek dengan menggunakan grafik *Hydraulic Elements for Circular Sewer* pada **Gambar 2.3**, yaitu sebagai berikut.



- $d/D \text{ cek} = 0,360$
- $H \text{ renang} = d/D \text{ cek} \times D \text{ (diameter dalam dalam mm)}$   
 $= 0,360 \times 101,6 \text{ mm} = 36,6 \text{ mm} (< 50\text{mm})$

Pada sistem *shallow sewer*, debit aliran akan berfluktuasi yaitu ada debit minimum dan ada debit maksimum. Saat debit minimum terdapat endapan pada dasar pipa akibat tinggi renang yang tidak memenuhi. Namun, pada saat debit maksimum terjadi penggelontoran endapan pada pipa. Mekanisme yang terjadi silih berganti, yaitu pengendapan – transportasi – pengendapan – transportasi. Dengan  $V_{peak}$  (kecepatan aliran maksimum) yang memenuhi, maka endapan akan tergelontor sendirinya pada saat debit maksimum setiap harinya.

Pada hasil perhitungan, kecepatan maksimum pada setiap saluran pipa air limbah memenuhi standar yaitu 0,6 m/detik sehingga cukup untuk melakukan penggelontoran pada pipa. Oleh karena hal tersebut, tidak diperlukan tambahan penggelontoran.

**Tabel 4.21, 4.22, 4.23** adalah hasil perhitungan cek  $Q_{full}$ ,  $V_{full}$ ,  $V_{minimum}$ , dan  $V_{peak}$ , serta  $H_{renang}$ .

Tabel 4.21 Hasil Cek Kriteria Desain Pipa SPAL Cluster 1

Saluran	Slope Rencana (Medan)	Slope Manning saat Vmin	Slope Manning saat Vpeak	Slope digunakan	Qfull Cek (m <sup>3</sup> /detik)	Qpeak/Qfull Cek	Qmin (m <sup>3</sup> /detik)	Qmin/Qfull Cek	Vfull Cek (m/detik)	Vmin Cek (m/detik)	Vpeak Cek (m/detik)	dpeak/D Cek	Tinggi Renang	
													(mm)	(cm)
A1-B1	0.0088	0.0067	0.0059	0.0088	0.0073	0.280	0.00019	0.025	0.9	0.3	0.7	0.360	36.6	3.7
A2-B2	0.0041	0.0067	0.0054	0.0067	0.0064	0.248	0.00013	0.020	0.8	0.3	0.7	0.336	34.1	3.4
A3-B5	0.0014	0.0034	0.0034	0.0034	0.0045	0.414	0.00016	0.035	0.6	0.3	0.6	0.447	45.4	4.5
A4-B7	0.0010	0.0018	0.0024	0.0024	0.0103	0.430	0.00050	0.048	0.6	0.3	0.6	0.495	73.1	7.3
A5-A6	0.0010	0.0024	0.0029	0.0029	0.0114	0.243	0.00028	0.025	0.7	0.3	0.6	0.350	51.7	5.2
A7-B8	0.0010	0.0017	0.0023	0.0023	0.0101	0.451	0.00054	0.054	0.6	0.4	0.6	0.516	76.2	7.6
A8-A9	0.0010	0.0046	0.0042	0.0046	0.0053	0.234	0.00009	0.017	0.6	0.3	0.6	0.326	33.1	3.3
A10-A11	0.0017	0.0020	0.0027	0.0027	0.0109	0.406	0.00051	0.047	0.6	0.4	0.6	0.483	71.3	7.1
A11-A12	0.0010	0.0011	0.0015	0.0015	0.0148	0.560	0.00121	0.081	0.5	0.4	0.6	0.594	109.7	11.0
A13-B10	0.0010	0.0086	0.0058	0.0086	0.0072	0.107	0.00004	0.005	0.9	0.3	0.7	0.218	22.1	2.2
A14-A15	0.0072	0.0115	0.0101	0.0115	0.0083	0.093	0.00004	0.004	1.0	0.3	0.6	0.203	20.6	2.1
A16-A17	0.0010	0.0046	0.0041	0.0046	0.0053	0.289	0.00010	0.018	0.6	0.3	0.6	0.366	37.2	3.7
A17-B10	0.0010	0.0039	0.0036	0.0039	0.0049	0.437	0.00015	0.030	0.6	0.3	0.6	0.462	46.9	4.7
A18-B11	0.0010	0.0046	0.0041	0.0046	0.0053	0.304	0.00010	0.018	0.6	0.3	0.6	0.376	38.2	3.8
A19-B12	0.0010	0.0055	0.0049	0.0055	0.0057	0.199	0.00006	0.010	0.7	0.3	0.6	0.300	30.5	3.0
A20-A21	0.0010	0.0086	0.0058	0.0086	0.0072	0.107	0.00004	0.005	0.9	0.3	0.7	0.218	22.1	2.2
A22-A23	0.0010	0.0067	0.0053	0.0067	0.0064	0.135	0.00004	0.007	0.8	0.3	0.7	0.245	24.9	2.5
A24-A25	0.0010	0.0115	0.0068	0.0115	0.0083	0.074	0.00002	0.003	1.0	0.3	0.8	0.181	18.4	1.8
A25-A26	0.0010	0.0030	0.0034	0.0030	0.0043	0.547	0.00018	0.042	0.5	0.3	0.6	0.529	53.7	5.4
A26-B9	0.0010	0.0030	0.0032	0.0030	0.0043	0.617	0.00020	0.047	0.5	0.3	0.6	0.572	58.1	5.8
A27-A28	0.0010	0.0046	0.0040	0.0046	0.0053	0.282	0.00010	0.019	0.6	0.3	0.6	0.361	36.7	3.7
A29-B13	0.0091	0.0039	0.0045	0.0091	0.0074	0.464	0.00038	0.051	0.9	0.5	0.8	0.478	48.6	4.9
A30-A31	0.0099	0.0046	0.0050	0.0099	0.0077	0.398	0.00031	0.040	0.9	0.4	0.8	0.437	44.4	4.4
B1-B2	0.0010	0.0022	0.0027	0.0027	0.0109	0.298	0.00036	0.033	0.6	0.3	0.6	0.495	73.1	7.3
B2-B3	0.0010	0.0015	0.0022	0.0022	0.0099	0.472	0.00060	0.061	0.6	0.4	0.6	0.539	79.6	8.0
B3-B4	0.0010	0.0013	0.0020	0.0020	0.0095	0.589	0.00077	0.082	0.5	0.4	0.6	0.641	94.6	9.5
B4-C1	0.0010	0.0013	0.0020	0.0020	0.0094	0.637	0.00083	0.088	0.5	0.4	0.6	0.415	61.3	6.1
B5-B6	0.0010	0.0034	0.0035	0.0034	0.0045	0.414	0.00016	0.035	0.6	0.3	0.6	0.447	45.4	4.5
B6-B7	0.0010	0.0011	0.0015	0.0015	0.0146	0.602	0.00130	0.089	0.5	0.4	0.6	0.632	116.7	11.7
B7-B8	0.0010	0.0009	0.0012	0.0012	0.0243	0.514	0.00202	0.083	0.6	0.4	0.6	0.570	131.6	13.2
B8-B9	0.0051	0.0011	0.0016	0.0051	0.0273	0.595	0.00286	0.105	1.0	0.7	1.1	0.559	103.2	10.3
B10-B11	0.0010	0.0030	0.0032	0.0030	0.0043	0.505	0.00020	0.048	0.5	0.3	0.6	0.503	51.1	5.1
B11-B12	0.0010	0.0022	0.0027	0.0027	0.0110	0.323	0.00034	0.031	0.6	0.3	0.6	0.415	61.3	6.1
B12-C2	0.0010	0.0005	0.0008	0.0008	0.0374	0.697	0.00516	0.138	0.6	0.4	0.6	0.780	226.8	22.7
B13-C3	0.0010	0.0017	0.0023	0.0023	0.0101	0.448	0.00054	0.053	0.6	0.4	0.6	0.515	76.0	7.6
C1-C2	0.0064	0.0018	0.0024	0.0024	0.0104	0.785	0.00125	0.120	0.6	0.4	0.6	0.793	117.0	11.7

Saluran	Slope Rencana (Medan)	Slope Manning saat Vmin	Slope Manning saat Vpeak	Slope digunakan	Qfull Cek (m <sup>3</sup> /detik)	Qpeak/Qfull Cek	Qmin (m <sup>3</sup> /detik)	Qmin/Qfull Cek	Vfull Cek (m/detik)	Vmin Cek (m/detik)	Vpeak Cek (m/detik)	dpeak/D Cek	Tinggi Renang	
													(mm)	(cm)
C2-C3	0.0010	0.0004	0.0007	0.0007	0.0646	0.584	0.00876	0.136	0.6	0.4	0.6	0.674	249.0	24.9
C3-IPAL	0.0010	0.0004	0.0007	0.0007	0.0646	0.584	0.00876	0.136	0.6	0.4	0.6	0.674	249.0	24.9

Tabel 4.22 Hasil Cek Kriteria Desain Pipa SPAL Cluster 2

Saluran	Slope Rencana (Medan)	Slope Manning saat Vmin	Slope Manning saat Vpeak	Slope digunakan	Qfull Cek (m <sup>3</sup> /detik)	Qpeak/Qfull Cek	Qmin (m <sup>3</sup> /detik)	Qmin/Qfull Cek	Vfull Cek (m/detik)	Vmin Cek (m/detik)	Vpeak Cek (m/detik)	dpeak/D Cek	Tinggi Renang	
													(mm)	(cm)
D1-D2	0.0010	0.0086	0.0058	0.0086	0.0072	0.118	0.00004	0.005	0.9	0.3	0.7	0.229	23.3	2.3
D3-D4	0.0010	0.0115	0.0068	0.0115	0.0083	0.074	0.00002	0.003	1.0	0.3	0.8	0.181	18.4	1.8
D5-E2	0.0054	0.0115	0.0094	0.0115	0.0083	0.092	0.00004	0.004	1.0	0.3	0.7	0.202	20.5	2.1
D6-D7	0.0010	0.0067	0.0065	0.0067	0.0064	0.103	0.00003	0.004	0.8	0.3	0.6	0.214	21.7	2.2
D8-D9	0.0010	0.0067	0.0065	0.0067	0.0064	0.103	0.00003	0.004	0.8	0.3	0.6	0.214	21.7	2.2
D10-D11	0.0010	0.0086	0.0064	0.0086	0.0072	0.093	0.00003	0.004	0.9	0.3	0.7	0.203	20.6	2.1
D12-D13	0.0015	0.0046	0.0052	0.0046	0.0053	0.247	0.00007	0.013	0.6	0.3	0.6	0.335	34.0	3.4
D14-E3	0.0013	0.0039	0.0040	0.0039	0.0049	0.444	0.00013	0.026	0.6	0.3	0.6	0.466	47.3	4.7
D15-D16	0.0017	0.0055	0.0049	0.0055	0.0057	0.272	0.00009	0.016	0.7	0.3	0.6	0.354	36.0	3.6
D17-D18	0.0010	0.0086	0.0058	0.0086	0.0072	0.127	0.00003	0.005	0.9	0.3	0.7	0.239	24.3	2.4
D19-D20	0.0010	0.0039	0.0036	0.0039	0.0049	0.470	0.00015	0.030	0.6	0.3	0.6	0.482	49.0	4.9
D21-D22	0.0010	0.0030	0.0033	0.0030	0.0043	0.645	0.00019	0.046	0.5	0.3	0.6	0.590	59.9	6.0
D23-E4	0.0010	0.0067	0.0054	0.0067	0.0064	0.158	0.00004	0.007	0.8	0.3	0.7	0.266	27.0	2.7
D24-E4	0.0010	0.0020	0.0052	0.0052	0.0056	0.186	0.00005	0.008	0.7	0.5	0.6	0.375	38.1	3.8
D25-D26	0.0010	0.0115	0.0067	0.0115	0.0083	0.075	0.00002	0.003	1.0	0.3	0.8	0.182	18.5	1.8
D27-D28	0.0010	0.0115	0.0077	0.0115	0.0083	0.063	0.00001	0.002	1.0	0.3	0.7	0.166	16.9	1.7
D29-D30	0.0010	0.0115	0.0079	0.0115	0.0083	0.071	0.00001	0.002	1.0	0.3	0.7	0.177	18.0	1.8
D31-D32	0.0010	0.0046	0.0041	0.0046	0.0053	0.372	0.00010	0.019	0.6	0.3	0.6	0.421	42.8	4.3
D33-D34	0.0010	0.0055	0.0045	0.0055	0.0057	0.220	0.00007	0.013	0.7	0.3	0.7	0.316	32.1	3.2
D35-D36	0.0010	0.0034	0.0037	0.0034	0.0045	0.463	0.00013	0.029	0.6	0.3	0.6	0.478	48.6	4.9
D37-D38	0.0010	0.0086	0.0064	0.0086	0.0072	0.105	0.00003	0.004	0.9	0.3	0.7	0.216	21.9	2.2
D39-D40	0.0019	0.0055	0.0058	0.0055	0.0057	0.213	0.00006	0.010	0.7	0.3	0.6	0.311	31.6	3.2
D41-D42	0.0018	0.0115	0.0065	0.0115	0.0083	0.118	0.00004	0.005	1.0	0.3	0.8	0.229	23.3	2.3
D43-D44	0.0018	0.0115	0.0063	0.0115	0.0083	0.121	0.00004	0.005	1.0	0.3	0.8	0.234	23.8	2.4
D45-D46	0.0017	0.0115	0.0063	0.0115	0.0083	0.109	0.00004	0.005	1.0	0.3	0.8	0.220	22.4	2.2
D47-D48	0.0010	0.0055	0.0045	0.0055	0.0057	0.234	0.00007	0.013	0.7	0.3	0.7	0.326	33.1	3.3
D49-D50	0.0010	0.0055	0.0046	0.0055	0.0057	0.230	0.00007	0.012	0.7	0.3	0.7	0.324	32.9	3.3
D51-D52	0.0010	0.0086	0.0058	0.0086	0.0072	0.116	0.00003	0.005	0.9	0.3	0.7	0.227	23.1	2.3
E1-F2	0.0019	0.0067	0.0056	0.0067	0.0064	0.202	0.00007	0.010	0.8	0.3	0.7	0.302	30.7	3.1

Saluran	Slope Rencana (Medan)	Slope Manning saat Vmin	Slope Manning saat Vpeak	Slope digunakan	Qfull Cek (m <sup>3</sup> /detik)	Qpeak/Qfull Cek	Qmin (m <sup>3</sup> /detik)	Qmin/Qfull Cek	Vfull Cek (m/detik)	Vmin Cek (m/detik)	Vpeak Cek (m/detik)	dpeak/D Cek	Tinggi Renang	
													(mm)	(cm)
E2-F2	0.0003	0.0014	0.0015	0.0014	0.0145	0.324	0.00042	0.029	0.5	0.3	0.6	0.389	71.8	7.2
E3-F1	0.0010	0.0018	0.0017	0.0018	0.0163	0.387	0.00059	0.036	0.6	0.3	0.6	0.430	79.4	7.9
E4-F1	0.0005	0.0015	0.0015	0.0015	0.0151	0.376	0.00047	0.031	0.6	0.3	0.6	0.423	78.1	7.8
F1-F2	0.0010	0.0010	0.0012	0.0010	0.0219	0.616	0.00151	0.069	0.5	0.3	0.6	0.571	131.8	13.2
F2-F3	0.0004	0.0006	0.0008	0.0008	0.0366	0.482	0.00230	0.063	0.5	0.3	0.6	0.527	153.3	15.3
F3-IPAL	0.0004	0.0006	0.0008	0.0008	0.0368	0.480	0.00230	0.062	0.6	0.3	0.6	0.527	153.3	15.3

Tabel 4.23 Hasil Cek Kriteria Desain Pipa SPAL Cluster 3

Saluran	Slope Rencana (Medan)	Slope Manning saat Vmin	Slope Manning saat Vpeak	Slope digunakan	Qfull Cek (m <sup>3</sup> /detik)	Qpeak/Qfull Cek	Qmin (m <sup>3</sup> /detik)	Qmin/Qfull Cek	Vfull Cek (m/detik)	Vmin Cek (m/detik)	Vpeak Cek (m/detik)	dpeak/D Cek	Tinggi Renang	
													(mm)	(cm)
A1-B1	0.0011	0.0086	0.0058	0.0086	0.0072	0.111	0.00004	0.005	0.9	0.3	0.7	0.222	22.6	2.3
A2-C1	0.0008	0.0030	0.0031	0.0030	0.0043	0.555	0.00018	0.042	0.5	0.3	0.6	0.534	54.3	5.4
A3-A4	0.0016	0.0030	0.0034	0.0030	0.0043	0.467	0.00015	0.035	0.5	0.3	0.6	0.480	48.8	4.9
A5-A6	0.0012	0.0030	0.0034	0.0030	0.0043	0.404	0.00013	0.031	0.5	0.3	0.6	0.441	44.8	4.5
A7-A8	0.0006	0.0020	0.0024	0.0024	0.0104	0.314	0.00031	0.030	0.6	0.3	0.6	0.405	59.8	6.0
A9-B4	0.0020	0.0024	0.0032	0.0032	0.0044	0.752	0.00035	0.079	0.5	0.4	0.6	0.755	76.7	7.7
A10-A11	0.0020	0.0030	0.0034	0.0030	0.0043	0.659	0.00027	0.063	0.5	0.3	0.6	0.599	60.9	6.1
A12-A13	0.0010	0.0034	0.0034	0.0034	0.0045	0.435	0.00017	0.037	0.6	0.3	0.6	0.461	46.8	4.7
A14-B5	0.0020	0.0034	0.0036	0.0034	0.0045	0.573	0.00023	0.051	0.6	0.3	0.6	0.545	55.4	5.5
A15-A17	0.0003	0.0046	0.0034	0.0046	0.0053	0.155	0.00004	0.007	0.6	0.3	0.7	0.263	26.7	2.7
A16-A17	0.0003	0.0027	0.0021	0.0027	0.0040	0.213	0.00003	0.009	0.6	0.3	0.7	0.311	31.6	3.2
A18-A20	0.0003	0.0046	0.0034	0.0046	0.0053	0.157	0.00004	0.008	0.6	0.3	0.7	0.265	26.9	2.7
A19-A20	0.0005	0.0039	0.0034	0.0039	0.0049	0.234	0.00006	0.011	0.6	0.3	0.6	0.326	33.1	3.3
A21-B6	0.0005	0.0039	0.0034	0.0039	0.0049	0.225	0.00006	0.012	0.6	0.3	0.6	0.319	32.4	3.2
A22-B6	0.0004	0.0046	0.0034	0.0046	0.0053	0.181	0.00004	0.008	0.6	0.3	0.7	0.286	29.1	2.9
A23-A24	0.0019	0.0020	0.0026	0.0026	0.0107	0.426	0.00059	0.055	0.6	0.3	0.6	0.493	72.8	7.3
B1-C1	0.0008	0.0046	0.0034	0.0046	0.0053	0.275	0.00004	0.007	0.6	0.3	0.7	0.358	36.4	3.6
B2-B3	0.0004	0.0010	0.0014	0.0014	0.0141	0.493	0.00093	0.066	0.5	0.4	0.6	0.546	100.8	10.1
B4-B5	0.0010	0.0012	0.0016	0.0016	0.0151	0.505	0.00105	0.070	0.6	0.3	0.6	0.547	101.0	10.1
B5-C2	0.0061	0.0020	0.0029	0.0029	0.0113	0.547	0.00105	0.093	0.7	0.4	0.6	0.598	88.3	8.8
B6-B7	0.0010	0.0020	0.0026	0.0026	0.0106	0.401	0.00039	0.037	0.6	0.3	0.6	0.473	69.8	7.0
B8-C3	0.0010	0.0018	0.0019	0.0018	0.0090	0.566	0.00050	0.056	0.5	0.3	0.6	0.540	79.7	8.0
C1-C2	0.0026	0.0013	0.0017	0.0017	0.0156	0.704	0.00150	0.096	0.6	0.4	0.6	0.703	129.8	13.0
C2-C3	0.0010	0.0006	0.0010	0.0010	0.0399	0.506	0.00396	0.099	0.6	0.4	0.6	0.583	169.5	17.0
C3-C4	0.0010	0.0005	0.0009	0.0009	0.0378	0.661	0.00482	0.128	0.6	0.4	0.6	0.731	212.6	21.3

Saluran	Slope Rencana (Medan)	Slope Manning saat Vmin	Slope Manning saat Vpeak	Slope digunakan	Qfull Cek (m <sup>3</sup> /detik)	Qpeak/Qfull Cek	Qmin (m <sup>3</sup> /detik)	Qmin/Qfull Cek	Vfull Cek (m/detik)	Vmin Cek (m/detik)	Vpeak Cek (m/detik)	dpeak/D Cek	Tinggi Renang	
													(mm)	(cm)
C4-C5	0.0052	0.0009	0.0013	0.0052	0.0930	0.269	0.00482	0.052	1.4	0.7	1.2	0.354	102.9	10.3
C5-IPAL	0.0010	0.0005	0.0009	0.0009	0.0378	0.661	0.00482	0.128	0.6	0.4	0.6	0.731	212.6	21.3



#### 4.2.5 Penanaman Pipa Air Limbah

Penanaman pipa mengikuti *slope* pipa yang telah ditetapkan sebelumnya. *Slope* tersebut diusahakan sedapat mungkin mengikuti *slope* medan dan diusahakan sedemikian rupa sehingga pemompaan tidak diperlukan. Pompa digunakan apabila penanaman pipa telah mencapai 7 meter. Penanaman pipa minimum adalah 0,6 meter dari permukaan tanah untuk pipa tersier dan 1 meter untuk pipa sekunder dan primer. Maksimum kedalaman penanaman adalah 7 meter dari muka tanah. Berikut adalah contoh perhitungan penanaman pipa.

*Cluster 1:*

##### Saluran A1-B1

- Diameter pipa = 101,6 mm (diameter dalam)  
= 110 mm (diameter luar)  
= 0,11 m
- Panjang pipa = 113 m
- *Slope* medan = 0,0088
- *Slope* pipa = 0,0088
- *Headloss* pipa = 1 m
- Elevasi Muka Tanah
  - Elevasi tanah awal = 8,5 m
  - Elevasi tanah akhir = 7,5 m
- Keadaan Awal Pipa
  - Elevasi atas pipa = elevasi tanah awal – kedalaman penanaman  
= 8,5 m – 0,6 m  
= 7,9 m
  - Elevasi bawah pipa = elevasi atas pipa – diameter pipa  
= 7,9 m – 0,11 m  
= 7,79 m
- Keadaan Akhir Pipa
  - Elevasi atas pipa = elevasi atas awal pipa – *headloss*  
= 7,9 m – 1 m  
= 6,9 m

$$\begin{aligned}\text{Elevasi bawah pipa} &= \text{elevasi atas akhir pipa} - \text{diameter pipa} \\ &= 6,9 \text{ m} - 0,11 \text{ m} \\ &= 6,79 \text{ m}\end{aligned}$$

➤ Kedalaman Penanaman

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman penanaman awal} &= \text{elevasi tanah awal} - \text{elevasi} \\ &\quad \text{bawah pipa awal} \\ &= 8,5 \text{ m} - 7,79 \text{ m} \\ &= 0,71 \text{ m dari muka tanah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman penanaman akhir} &= \text{elevasi tanah akhir} - \text{elevasi} \\ &\quad \text{bawah pipa akhir} \\ &= 7,5 \text{ m} - 6,79 \text{ m} \\ &= 0,71 \text{ m dari muka tanah}\end{aligned}$$

➤ Kedalaman punggung pipa

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman punggung pipa awal} &= \text{elevasi tanah awal} - \text{elevasi} \\ &\quad \text{atas pipa awal} \\ &= 8,5 \text{ m} - 7,9 \text{ m} \\ &= 0,6 \text{ m dari muka tanah}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman punggung pipa akhir} &= \text{elevasi tanah akhir} - \text{elevasi} \\ &\quad \text{atas pipa akhir} \\ &= 7,5 \text{ m} - 6,9 \text{ m} \\ &= 0,6 \text{ m dari muka tanah}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan penanaman pipa untuk *Cluster* 1, 2, dan 3 dapat dilihat pada **Tabel 4.24, 4.25, 4.26**.

Tabel 4.24 Penanaman Pipa Air Limbah Cluster 1

No	Pipa	Jenis Pipa	Lpipa (m)	Elevasi Medan (m)		Slope Medan	Slope Pipa	Diameter Luar		Headloss (m)	Elevasi Pipa Awal (m)		Elevasi Pipa Akhir (m)		Kedalaman Penanaman (m)		Kedalaman Punggung Pipa (m)	
				Awal	Akhir			mm	m		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Awal	Akhir	Awal	Akhir
1	A1-B1	Tersier	113	8.50	7.50	0.0088	0.0088	110	0.110	1.000	7.90	7.79	6.90	6.79	0.71	0.71	0.60	0.60
2	A2-B2	Tersier	123	8.50	8.00	0.0041	0.0067	110	0.110	0.825	7.90	7.79	7.07	6.96	0.71	1.04	0.60	0.93
3	A3-B5	Tersier	80	7.50	7.50	0.0000	0.0034	110	0.110	0.271	6.90	6.79	6.63	6.52	0.71	0.98	0.60	0.87
4	A4-B7	Tersier	373	7.50	7.50	0.0000	0.0024	160	0.160	0.884	6.90	6.74	6.02	5.86	0.76	1.64	0.60	1.48
5	A5-A6	Tersier	259	7.50	8.50	-0.0039	0.0029	160	0.160	0.754	6.90	6.74	6.15	5.99	0.76	2.51	0.60	2.35
6	A7-B8	Tersier	205	7.50	7.50	0.0000	0.0023	160	0.160	0.470	6.90	6.74	6.43	6.27	0.76	1.23	0.60	1.07
7	A8-A9	Tersier	186	7.00	7.00	0.0000	0.0046	110	0.110	0.852	6.40	6.29	5.55	5.44	0.71	1.56	0.60	1.45
8	A10-A11	Tersier	301	7.50	7.00	0.0017	0.0027	160	0.160	0.803	5.55	5.39	4.75	4.59	2.11	2.41	1.95	2.25
9	A11-A12	Tersier	333	7.00	7.00	0.0000	0.0015	200	0.200	0.502	4.75	4.55	4.24	4.04	2.45	2.96	2.25	2.76
10	A13-B10	Tersier	198	7.00	7.00	0.0000	0.0086	110	0.110	1.694	6.40	6.29	4.71	4.60	0.71	2.40	0.60	2.29
11	A14-A15	Tersier	209	7.00	5.50	0.0072	0.0115	110	0.110	2.412	6.40	6.29	3.99	3.88	0.71	1.62	0.60	1.51
12	A16-A17	Tersier	219	5.50	5.50	0.0000	0.0046	110	0.110	0.999	4.90	4.79	3.90	3.79	0.71	1.71	0.60	1.60
13	A17-B10	Tersier	284	5.50	7.00	-0.0053	0.0039	110	0.110	1.109	3.90	3.79	2.79	2.68	1.71	4.32	1.60	4.21
14	A18-B11	Tersier	252	7.00	7.00	0.0000	0.0046	110	0.110	1.152	6.40	6.29	5.25	5.14	0.71	1.86	0.60	1.75
15	A19-B12	Tersier	262	7.00	7.00	0.0000	0.0055	110	0.110	1.431	6.40	6.29	4.97	4.86	0.71	2.14	0.60	2.03
16	A20-A21	Tersier	127	7.00	7.00	0.0000	0.0086	110	0.110	1.088	6.40	6.29	5.31	5.20	0.71	1.80	0.60	1.69
17	A22-A23	Tersier	137	7.00	7.00	0.0000	0.0067	110	0.110	0.922	6.40	6.29	5.48	5.37	0.71	1.63	0.60	1.52
18	A24-A25	Tersier	145	7.00	7.00	0.0000	0.0115	110	0.110	1.674	6.40	6.29	4.73	4.62	0.71	2.38	0.60	2.27
19	A25-A26	Tersier	120	7.00	7.00	0.0000	0.0030	110	0.110	0.359	4.73	4.62	4.37	4.26	2.38	2.74	2.27	2.63
20	A26-B9	Tersier	180	7.00	7.00	0.0000	0.0030	110	0.110	0.538	4.37	4.26	3.83	3.72	2.74	3.28	2.63	3.17
21	A27-A28	Tersier	359	7.00	7.00	0.0000	0.0046	110	0.110	1.642	6.40	6.29	4.76	4.65	0.71	2.35	0.60	2.24
22	A29-B13	Tersier	165	8.50	7.00	0.0091	0.0091	110	0.110	1.500	7.90	7.79	6.40	6.29	0.71	0.71	0.60	0.60
23	A30-A31	Tersier	152	8.50	7.00	0.0099	0.0099	110	0.110	1.500	7.90	7.79	6.40	6.29	0.71	0.71	0.60	0.60
24	B1-B2	Sekunder	123	7.50	8.00	-0.0041	0.0027	160	0.160	0.327	6.90	6.74	6.57	6.41	0.76	1.59	0.60	1.43
25	B2-B3	Sekunder	174	8.00	8.50	-0.0029	0.0022	160	0.160	0.384	6.57	6.41	6.19	6.03	1.59	2.47	1.43	2.31
26	B3-B4	Sekunder	183	8.50	8.50	0.0000	0.0020	160	0.160	0.371	6.19	6.03	5.82	5.66	2.47	2.84	2.31	2.68
27	B4-C1	Sekunder	234	8.50	8.50	0.0000	0.0020	160	0.160	0.462	5.82	5.66	5.36	5.20	2.84	3.30	2.68	3.14
28	B5-B6	Sekunder	132	7.50	7.50	0.0000	0.0034	110	0.110	0.447	6.63	6.52	6.18	6.07	0.98	1.43	0.87	1.32
29	B6-B7	Sekunder	278	7.50	7.50	0.0000	0.0015	200	0.200	0.408	6.18	5.98	5.77	5.57	1.52	1.93	1.32	1.73
30	B7-B8	Sekunder	179	7.50	7.50	0.0000	0.0012	250	0.250	0.220	5.77	5.52	5.56	5.31	1.98	2.19	1.73	1.94
31	B8-B9	Sekunder	98	7.50	7.00	0.0051	0.0051	200	0.200	0.500	5.56	5.36	5.06	4.86	2.14	2.14	1.94	1.94
32	B10-B11	Sekunder	143	7.00	7.00	0.0000	0.0030	110	0.110	0.428	2.79	2.68	2.36	2.25	4.32	4.75	4.21	4.64
33	B11-B12	Sekunder	77	7.00	7.00	0.0000	0.0027	160	0.160	0.210	2.36	2.20	2.15	1.99	4.80	5.01	4.64	4.85
34	B12-C2	Sekunder	117	7.00	7.50	-0.0043	0.0008	315	0.315	0.099	2.15	1.84	2.06	1.74	5.16	5.76	4.85	5.44
35	B13-C3	Sekunder	127	7.00	7.00	0.0000	0.0023	160	0.160	0.292	6.40	6.24	6.11	5.95	0.76	1.05	0.60	0.89
36	C1-C2	Primer	157	8.50	7.50	0.0064	0.0024	160	0.160	0.381	5.36	5.20	4.98	4.82	3.30	2.68	3.14	2.52

No	Pipa	Jenis Pipa	Lpipa (m)	Elevasi Medan (m)		Slope Medan	Slope Pipa	Diameter Luar		Headloss (m)	Elevasi Pipa Awal (m)		Elevasi Pipa Akhir (m)		Kedalaman Penanaman (m)		Kedalaman Punggung Pipa (m)	
				Awal	Akhir			mm	m		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Awal	Akhir	Awal	Akhir
37	C2-C3	Primer	168	7.00	7.00	0.0000	0.0007	400	0.400	0.119	2.06	1.66	1.94	1.54	5.34	5.46	4.94	5.06
38	C3-IPAL	Primer	11	7.00	7.00	0.0000	0.0007	400	0.400	0.008	1.94	1.54	1.93	1.53	5.46	5.47	5.06	5.07

Tabel 4.25 Penanaman Pipa Air Limbah Cluster 2

No	Pipa	Jenis Pipa	Lpipa (m)	Elevasi Medan (m)		Slope Medan	Slope Pipa	Diameter Luar		Headloss (m)	Elevasi Pipa Awal (m)		Elevasi Pipa Akhir (m)		Kedalaman Penanaman (m)		Kedalaman Punggung Pipa (m)	
				Awal	Akhir			mm	m		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Awal	Akhir	Awal	Akhir
1	D1-D2	Tersier	220	7.00	7.00	0.0000	0.009	110	0.110	1.88	6.40	6.29	4.52	4.41	0.71	2.59	0.60	2.48
2	D3-D4	Tersier	150	7.00	7.00	0.0000	0.012	110	0.110	1.73	6.40	6.29	4.67	4.56	0.71	2.44	0.60	2.33
3	D5-E2	Tersier	185	7.00	6.00	0.0054	0.012	110	0.110	2.13	6.40	6.29	4.27	4.16	0.71	1.84	0.60	1.73
4	D6-D7	Tersier	106	6.00	6.00	0.0000	0.007	110	0.110	0.71	5.40	5.29	4.69	4.58	0.71	1.42	0.60	1.31
5	D8-D9	Tersier	95	6.00	6.00	0.0000	0.007	110	0.110	0.64	5.40	5.29	4.76	4.65	0.71	1.35	0.60	1.24
6	D10-D11	Tersier	94	6.00	6.00	0.0000	0.009	110	0.110	0.81	5.40	5.29	4.59	4.48	0.71	1.52	0.60	1.41
7	D12-D13	Tersier	329	6.00	5.50	0.0015	0.005	110	0.110	1.51	5.40	5.29	3.89	3.78	0.71	1.72	0.60	1.61
8	D14-E3	Tersier	382	6.00	5.50	0.0013	0.004	110	0.110	1.49	4.00	3.89	2.51	2.40	2.11	3.10	2.00	2.99
9	D15-D16	Tersier	288	6.00	5.50	0.0017	0.005	110	0.110	1.57	5.40	5.29	3.83	3.72	0.71	1.78	0.60	1.67
10	D17-D18	Tersier	236	5.50	5.50	0.0000	0.009	110	0.110	2.02	4.90	4.79	2.88	2.77	0.71	2.73	0.60	2.62
11	D19-D20	Tersier	379	5.50	5.50	0.0000	0.004	110	0.110	1.48	3.50	3.39	2.02	1.91	2.11	3.59	2.00	3.48
12	D21-D22	Tersier	270	5.50	5.50	0.0000	0.003	110	0.110	0.81	2.50	2.39	1.69	1.58	3.11	3.92	3.00	3.81
13	D23-E4	Tersier	202	6.00	6.00	0.0000	0.007	110	0.110	1.36	5.40	5.29	4.04	3.93	0.71	2.07	0.60	1.96
14	D24-E4	Tersier	279	5.90	6.00	-0.0004	0.005	110	0.110	1.46	5.30	5.19	3.84	3.73	0.71	2.27	0.60	2.16
15	D25-D26	Tersier	97	5.90	5.90	0.0000	0.012	110	0.110	1.11	5.30	5.19	4.19	4.08	0.71	1.82	0.60	1.71
16	D27-D28	Tersier	116	5.90	5.90	0.0000	0.012	110	0.110	1.33	5.30	5.19	3.97	3.86	0.71	2.04	0.60	1.93
17	D29-D30	Tersier	136	5.90	5.90	0.0000	0.012	110	0.110	1.56	5.30	5.19	3.74	3.63	0.71	2.27	0.60	2.16
18	D31-D32	Tersier	276	5.90	6.00	-0.0004	0.005	110	0.110	1.26	3.90	3.79	2.64	2.53	2.11	3.47	2.00	3.36
19	D33-D34	Tersier	185	6.00	6.00	0.0000	0.005	110	0.110	1.01	5.40	5.29	4.39	4.28	0.71	1.72	0.60	1.61
20	D35-D36	Tersier	177	6.00	6.00	0.0000	0.003	110	0.110	0.60	4.50	4.39	3.90	3.79	1.61	2.21	1.50	2.10
21	D37-D38	Tersier	179	6.00	6.00	0.0000	0.009	110	0.110	1.53	5.40	5.29	3.87	3.76	0.71	2.24	0.60	2.13
22	D39-D40	Tersier	323	6.50	5.90	0.0019	0.005	110	0.110	1.76	5.90	5.79	4.14	4.03	0.71	1.87	0.60	1.76
23	D41-D42	Tersier	332	6.50	5.90	0.0018	0.012	110	0.110	3.83	5.90	5.79	2.07	1.96	0.71	3.94	0.60	3.83
24	D43-D44	Tersier	341	6.50	5.90	0.0018	0.012	110	0.110	3.93	5.90	5.79	1.97	1.86	0.71	4.04	0.60	3.93
25	D45-D46	Tersier	297	6.00	5.50	0.0017	0.012	110	0.110	3.42	5.40	5.29	1.98	1.87	0.71	3.63	0.60	3.52
26	D47-D48	Tersier	381	6.00	6.00	0.0000	0.005	110	0.110	2.08	5.40	5.29	3.32	3.21	0.71	2.79	0.60	2.68
27	D49-D50	Tersier	359	6.00	6.00	0.0000	0.005	110	0.110	1.96	5.40	5.29	3.44	3.33	0.71	2.67	0.60	2.56
28	D51-D52	Tersier	358	6.00	6.00	0.0000	0.009	110	0.110	3.06	5.40	5.29	2.34	2.23	0.71	3.77	0.60	3.66
29	E1-F2	Sekunder	580	7.00	5.90	0.0019	0.007	110	0.110	3.89	4.50	4.39	0.61	0.50	2.61	5.40	2.50	5.29

No	Pipa	Jenis Pipa	Lpipa (m)	Elevasi Medan (m)		Slope Medan	Slope Pipa	Diameter Luar		Headloss (m)	Elevasi Pipa Awal (m)		Elevasi Pipa Akhir (m)		Kedalaman Penanaman (m)		Kedalaman Punggung Pipa (m)	
				Awal	Akhir			mm	m		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Awal	Akhir	Awal	Akhir
				30	E2-F2			Sekunder	313		6.00	5.90	0.0003	0.001	200	0.200	0.45	4.27
31	E3-F1	Sekunder	326	5.50	5.90	-0.0012	0.002	200	0.200	0.59	2.51	2.31	1.92	1.72	3.19	4.18	2.99	3.98
32	E4-F1	Sekunder	219	6.00	5.90	0.0005	0.002	200	0.200	0.34	2.64	2.44	2.30	2.10	3.56	3.80	3.36	3.60
33	F1-F2	Primer	432	5.90	6.00	-0.0002	0.001	250	0.250	0.43	1.92	1.67	1.49	1.24	4.23	4.76	3.98	4.51
34	F2-F3	Primer	262	6.00	5.90	0.0004	0.001	315	0.315	0.21	0.61	0.29	0.40	0.08	5.71	5.82	5.39	5.50
35	F3-IPAL	Primer	20	5.90	5.90	0.0000	0.001	315	0.315	0.02	0.40	0.08	0.38	0.06	5.82	5.84	5.50	5.52

Tabel 4.26 Penanaman Pipa Air Limbah Cluster 3

No	Pipa	Jenis Pipa	Lpipa (m)	Elevasi Medan (m)		Slope Medan	Slope Pipa	Diameter Luar		Headloss (m)	Elevasi Pipa Awal (m)		Elevasi Pipa Akhir (m)		Kedalaman Penanaman (m)		Kedalaman Punggung Pipa (m)	
				Awal	Akhir			mm	m		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Awal	Akhir	Awal	Akhir
				1	A1-B1			Tersier	90		5.10	5.00	0.0011	0.0086	110	0.110	0.77	4.50
2	A2-C1	Tersier	131	5.10	5.00	0.0008	0.0030	110	0.110	0.39	4.50	4.39	2.52	2.41	0.71	2.59	0.60	2.48
3	A3-A4	Tersier	158	5.00	5.00	0.0000	0.0030	110	0.110	0.47	4.40	4.29	3.93	3.82	0.71	1.18	0.60	1.07
4	A5-A6	Tersier	178	5.00	5.00	0.0000	0.0030	110	0.110	0.53	4.40	4.29	3.87	3.76	0.71	1.24	0.60	1.13
5	A7-A8	Tersier	173	5.10	5.00	0.0006	0.0024	160	0.160	0.42	4.50	4.34	4.08	3.92	0.76	1.08	0.60	0.92
6	A9-B4	Tersier	209	5.50	5.50	0.0000	0.0032	110	0.110	0.67	4.90	4.79	4.23	4.12	0.71	1.38	0.60	1.27
7	A10-A11	Tersier	228	5.50	5.50	0.0000	0.0030	110	0.110	0.68	4.90	4.79	4.22	4.11	0.71	1.39	0.60	1.28
8	A12-A13	Tersier	119	5.50	5.50	0.0000	0.0034	110	0.110	0.40	4.90	4.79	4.50	4.39	0.71	1.11	0.60	1.00
9	A14-B5	Tersier	253	5.00	5.19	-0.0008	0.0034	110	0.110	0.86	4.40	4.29	3.54	3.43	0.71	1.76	0.60	1.65
10	A15-A17	Tersier	168	4.40	4.40	0.0000	0.0046	110	0.110	0.77	3.80	3.69	3.03	2.92	0.71	1.48	0.60	1.37
11	A16-A17	Tersier	231	4.40	4.40	0.0000	0.0027	110	0.110	0.61	3.80	3.69	3.03	2.92	0.71	1.48	0.60	1.37
12	A18-A20	Tersier	165	4.40	4.40	0.0000	0.0046	110	0.110	0.75	3.80	3.69	2.90	2.79	0.71	1.61	0.60	1.50
13	A19-A20	Tersier	230	4.40	4.40	0.0000	0.0039	110	0.110	0.90	3.80	3.69	2.90	2.79	0.71	1.61	0.60	1.50
14	A21-B6	Tersier	159	4.40	4.40	0.0000	0.0039	110	0.110	0.62	3.80	3.69	3.04	2.93	0.71	1.47	0.60	1.36
15	A22-B6	Tersier	167	4.40	4.40	0.0000	0.0046	110	0.110	0.76	3.80	3.69	3.04	2.93	0.71	1.47	0.60	1.36
16	A23-A24	Tersier	460	5.26	4.40	0.0019	0.0026	160	0.160	1.20	4.66	4.50	3.46	3.30	0.76	1.10	0.60	0.94
17	B1-C1	Sekunder	265	5.00	5.00	0.0000	0.0046	110	0.110	1.21	3.73	3.62	2.52	2.41	1.38	2.59	1.27	2.48
18	B2-B3	Sekunder	462	5.19	5.00	0.0004	0.0014	200	0.200	0.63	3.93	3.73	3.30	3.10	1.46	1.90	1.26	1.70
19	B4-B5	Sekunder	320	5.50	5.19	0.0010	0.0016	200	0.200	0.50	4.23	4.03	3.54	3.34	1.47	1.85	1.27	1.65
20	B5-C2	Sekunder	129	5.19	4.40	0.0061	0.0029	160	0.160	0.37	3.54	3.38	2.14	1.98	1.81	2.42	1.65	2.26
21	B6-B7	Sekunder	138	4.40	4.40	0.0000	0.0026	160	0.160	0.35	3.04	2.88	2.68	2.52	1.52	1.88	1.36	1.72
22	B8-C3	Sekunder	537	4.40	4.40	0.0000	0.0018	160	0.160	0.97	2.90	2.74	1.93	1.77	1.66	2.63	1.50	2.47
23	C1-C2	Primer	231	5.00	4.40	0.0026	0.0017	200	0.200	0.38	2.52	2.32	2.14	1.94	2.68	2.46	2.48	2.26
24	C2-C3	Primer	195	4.40	4.40	0.0000	0.0010	315	0.315	0.19	2.14	1.82	1.95	1.63	2.58	2.77	2.26	2.45
25	C3-C4	Primer	490	4.40	5.26	-0.0018	0.0009	315	0.315	0.42	1.93	1.61	1.50	1.19	2.79	4.07	2.47	3.76

No	Pipa	Jenis Pipa	Lpipa (m)	Elevasi Medan (m)		Slope Medan	Slope Pipa	Diameter Luar		Headloss (m)	Elevasi Pipa Awal (m)		Elevasi Pipa Akhir (m)		Kedalaman Penanaman (m)		Kedalaman Punggung Pipa (m)	
				Awal	Akhir			mm	m		Atas	Bawah	Atas	Bawah	Awal	Akhir	Awal	Akhir
26	C4-C5	Primer	191	5.26	4.26	0.0052	0.0052	315	0.315	1.00	1.50	1.19	0.50	0.19	4.07	4.07	3.76	3.76
27	C5-IPAL	Primer	125	4.26	4.26	0.0000	0.0009	315	0.315	0.11	0.50	0.19	0.39	0.08	4.07	4.18	3.76	3.87

## 4.2.6 Bangunan Pelengkap

Pada perencanaan sistem jaringan pipa air limbah untuk *Cluster* 1, 2 dan 3 dibutuhkan bangunan pelengkap berupa *manhole*.

### 4.2.6.1 *Manhole*

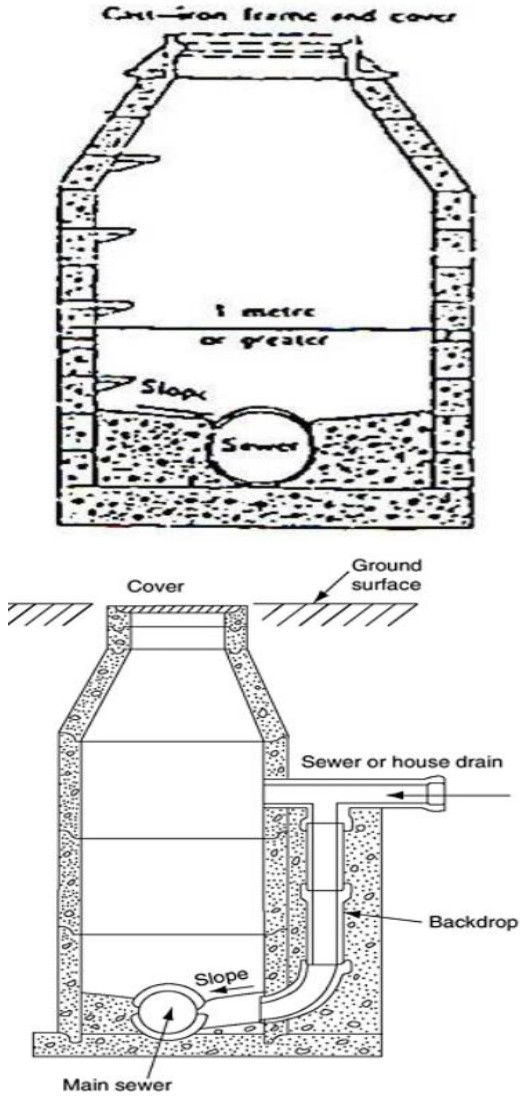
Bangunan *manhole* digunakan sebagai jalan masuknya petugas untuk mengontrol saluran pipa. *Manhole* terbuat dari beton bertulang yang dicetak di pabrik dengan ketebalan dinding 10 cm dan tutup lubangnya berdiameter 80 cm. Pada perencanaan ini, *manhole* diletakkan setiap jarak 100 meter pada pipa yang disebut sebagai *manhole* lurus. Jarak antar *manhole* dapat dilihat pada **Tabel 2.2** bagian **Bab II**. Selain *manhole* lurus, *manhole* diletakkan juga disetiap belokan, pertigaan, dan perempatan. Berikut adalah contoh perhitungan jumlah *manhole* yang dibutuhkan.

*Cluster* 1:

#### Saluran A1-B1

- Panjang saluran = 113 m
- Diameter terpasang = 110 mm
- Jarak antar *manhole* = 100 m
- Jumlah *manhole* =  $(113/100) + 1 = 2$  buah
- Jenis *manhole*:
  - *Manhole* lurus = 2 buah
  - *Drop Manhole* = 1 buah

*Drop manhole* digunakan apabila saluran yang datang memasuki *manhole* pada titik dengan ketinggian lebih dari 2 ft atau 0,6 m di atas saluran selanjutnya. Tujuan digunakannya *drop manhole* adalah untuk menghindari penceburan atau *splashing* air limbah yang dapat merusak saluran akibat penggerusan dan pelepasan H<sub>2</sub>S. Berikut adalah contoh sketsa gambar *manhole* tipikal dan *drop manhole*.



Perhitungan jumlah *manhole* dan jenis *manhole* pada setiap pipa air limbah dapat dilihat pada **Tabel 4.27, 4.28, 4.29.**



Tabel 4.27 Manhole pada Pipa Air Limbah Cluster 1

No	Jalur Pipa	Jenis Pipa	D Dipakai (Diameter Luar)		L m	Jarak antar Manhole m	Jumlah Manhole					Total
			mm	m			Lurus	Belokan	Drop Pertigaan	Drop Perempatan	Drop	
1	A1-B1	Tersier	110	0.11	113	100	2	-	-	-	1	3
2	A2-B2	Tersier	110	0.11	123	100	2	-	1	-	-	3
3	A3-B5	Tersier	110	0.11	80	100	1	1	-	-	1	3
4	A4-B7	Tersier	160	0.16	373	100	4	1	1	-	-	6
5	A5-A6	Tersier	160	0.16	259	100	2	2	-	-	-	4
6	A7-B8	Tersier	160	0.16	205	100	2	1	1	-	-	4
7	A8-A9	Tersier	110	0.11	186	100	2	-	-	-	-	2
8	A10-A11	Tersier	160	0.16	301	100	2	1	1	-	-	4
9	A11-A12	Tersier	200	0.20	333	100	3	-	-	-	-	3
10	A13-B10	Tersier	110	0.11	198	100	2	-	-	-	-	2
11	A14-A15	Tersier	110	0.11	209	100	2	-	-	-	-	2
12	A16-A17	Tersier	110	0.11	219	100	2	1	1	-	-	4
13	A17-B10	Tersier	110	0.11	284	100	2	-	-	-	-	2
14	A18-B11	Tersier	110	0.11	252	100	3	-	1	-	-	4
15	A19-B12	Tersier	110	0.11	262	100	3	-	1	-	-	4
16	A20-A21	Tersier	110	0.11	127	100	2	-	-	-	-	2
17	A22-A23	Tersier	110	0.11	137	100	2	-	-	-	-	2
18	A24-A25	Tersier	110	0.11	145	100	2	1	-	-	-	3
19	A25-A26	Tersier	110	0.11	120	100	-	1	2	-	-	3
20	A26-B9	Tersier	110	0.11	180	100	1	-	-	-	-	1
21	A27-A28	Tersier	110	0.11	359	100	4	1	-	-	-	5
22	A29-B13	Tersier	110	0.11	165	100	2	-	-	-	1	3
23	A30-A31	Tersier	110	0.11	152	100	2	-	-	-	-	2
24	B1-B2	Sekunder	160	0.16	123	100	1	-	-	-	-	1
25	B2-B3	Sekunder	160	0.16	174	100	2	-	-	-	-	2
26	B3-B4	Sekunder	160	0.16	183	100	2	-	-	-	-	2
27	B4-C1	Sekunder	160	0.16	234	100	2	1	-	-	-	3
28	B5-B6	Sekunder	110	0.11	132	100	1	2	-	-	-	3
29	B6-B7	Sekunder	200	0.20	278	100	2	1	-	-	-	3
30	B7-B8	Sekunder	250	0.25	179	100	1	2	-	-	-	3
31	B8-B9	Sekunder	200	0.20	98	100	-	-	-	-	-	0
32	B10-B11	Sekunder	110	0.11	143	100	1	-	1	-	-	2
33	B11-B12	Sekunder	160	0.16	77	100	-	-	-	-	-	0
34	B12-C2	Sekunder	315	0.32	117	100	-	-	2	1	-	3
35	B13-C3	Sekunder	160	0.16	127	100	-	2	1	-	-	3

No	Jalur Pipa	Jenis Pipa	D Dipakai (Diameter Luar)		L m	Jarak antar Manhole m	Jumlah Manhole					Total
			mm	m			Lurus	Belokan	Drop Pertigaan	Drop Perempatan	Drop	
36	C1-C2	Primer	160	0.16	157	100	-	-	1	-	-	1
37	C2-C3	Primer	400	0.40	168	100	-	2	2	-	-	4
38	C3-IPAL	Primer	400	0.40	11	100	-	-	-	-	-	0
<b>Total Manhole per Jenisnya</b>							<b>61</b>	<b>20</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>101</b>

Tabel 4.28 Manhole pada Pipa Air Limbah Cluster 2

No	Jalur Pipa	Jenis Pipa	D Dipakai (Diameter Luar)		L m	Jarak antar Manhole m	Jumlah Manhole					Total
			mm	m			Lurus	Belokan	Drop Pertigaan	Drop Perempatan	Drop	
1	D1-D2	Tersier	110	0.11	220	100	3	-	-	-	-	3
2	D3-D4	Tersier	110	0.11	150	100	2	-	-	-	-	2
3	D5-E2	Tersier	110	0.11	185	100	2	-	-	-	1	3
4	D6-D7	Tersier	110	0.11	106	100	1	-	-	-	-	1
5	D8-D9	Tersier	110	0.11	95	100	1	-	-	-	-	1
6	D10-D11	Tersier	110	0.11	94	100	1	-	-	-	-	1
7	D12-D13	Tersier	110	0.11	329	100	3	1	-	-	-	4
8	D14-E3	Tersier	110	0.11	382	100	3	-	1	-	1	5
9	D15-D16	Tersier	110	0.11	288	100	3	-	-	-	-	3
10	D17-D18	Tersier	110	0.11	236	100	3	-	-	-	-	3
11	D19-D20	Tersier	110	0.11	379	100	3	1	1	-	-	5
12	D21-D22	Tersier	110	0.11	270	100	2	-	1	-	-	3
13	D23-E4	Tersier	110	0.11	202	100	2	-	-	-	-	2
14	D24-E4	Tersier	110	0.11	279	100	3	-	-	-	-	3
15	D25-D26	Tersier	110	0.11	97	100	1	-	-	-	-	1
16	D27-D28	Tersier	110	0.11	116	100	2	-	-	-	-	2
17	D29-D30	Tersier	110	0.11	136	100	2	-	-	-	-	2
18	D31-D32	Tersier	110	0.11	276	100	1	2	3	-	-	6
19	D33-D34	Tersier	110	0.11	185	100	2	1	-	-	-	3
20	D35-D36	Tersier	110	0.11	177	100	2	-	1	-	-	3
21	D37-D38	Tersier	110	0.11	179	100	2	-	-	-	-	2
22	D39-D40	Tersier	110	0.11	323	100	3	-	-	-	-	3
23	D41-D42	Tersier	110	0.11	332	100	3	-	-	-	-	3
24	D43-D44	Tersier	110	0.11	341	100	3	-	-	-	-	3
25	D45-D46	Tersier	110	0.11	297	100	3	-	-	-	-	3

No	Jalur Pipa	Jenis Pipa	D Dipakai (Diameter Luar)		L	Jarak antar Manhole	Jumlah Manhole					Total
			mm	m			m	m	Lurus	Belokan	Drop Pertigaan	
26	D47-D48	Tersier	110	0.11	381	100	4	-	-	-	-	4
27	D49-D50	Tersier	110	0.11	359	100	4	-	-	-	-	4
28	D51-D52	Tersier	110	0.11	358	100	4	-	-	-	-	4
29	E1-F2	Sekunder	110	0.11	580	100	5	1	2	-	-	8
30	E2-F2	Sekunder	200	0.20	313	100	-	-	6	-	-	6
31	E3-F1	Sekunder	200	0.20	326	100	2	-	3	-	-	5
32	E4-F1	Sekunder	200	0.20	219	100	-	-	5	-	-	5
33	F1-F2	Primer	250	0.25	432	100	1	-	3	-	-	4
34	F2-F3	Primer	315	0.32	262	100	2	-	-	1	-	3
35	F3-IPAL	Primer	315	0.32	20	100	-	1	-	-	-	1
<b>Total Manhole per Jenisnya</b>							<b>78</b>	<b>7</b>	<b>26</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>114</b>

Tabel 4.29 Manhole pada Pipa Air Limbah Cluster 3

No	Jalur Pipa	Jenis Pipa	D Dipakai (Diameter Luar)		L	Jarak antar Manhole	Jumlah Manhole					Total
			mm	m			m	m	Lurus	Belokan	Drop Pertigaan	
1	A1-B1	Tersier	110	0.11	90	100	1	-	-	-	1	2
2	A2-C1	Tersier	110	0.11	131	100	2	-	-	-	-	2
3	A3-A4	Tersier	110	0.11	158	100	1	1	-	-	-	2
4	A5-A6	Tersier	110	0.11	178	100	2	-	-	-	-	2
5	A7-A8	Tersier	160	0.16	173	100	2	-	-	-	-	2
6	A9-B4	Tersier	110	0.11	209	100	3	-	-	-	1	4
7	A10-A11	Tersier	110	0.11	228	100	2	1	-	-	-	3
8	A12-A13	Tersier	110	0.11	119	100	2	-	-	-	-	2
9	A14-B5	Tersier	110	0.11	253	100	3	-	2	-	-	5
10	A15-A17	Tersier	110	0.11	168	100	2	-	-	-	-	2
11	A16-A17	Tersier	110	0.11	231	100	3	-	-	-	-	3
12	A18-A20	Tersier	110	0.11	165	100	2	-	-	-	-	2
13	A19-A20	Tersier	110	0.11	230	100	3	-	-	-	-	3
14	A21-B6	Tersier	110	0.11	159	100	2	-	-	-	-	2
15	A22-B6	Tersier	110	0.11	167	100	2	-	-	-	-	2

No	Jalur Pipa	Jenis Pipa	D Dipakai (Diameter Luar)		L m	Jarak antar <i>Manhole</i> m	Jumlah <i>Manhole</i>					Total
			mm	m			Lurus	Belokan	Drop Pertigaan	Drop Perempatan	Drop	
16	A23-A24	Tersier	160	0.16	460	100	5	-	-	-	-	5
17	B1-C1	Sekunder	110	0.11	265	100	1	2	1	-	-	4
18	B2-B3	Sekunder	200	0.20	462	100	2	-	3	-	-	5
19	B4-B5	Sekunder	200	0.20	320	100	2	-	1	-	-	3
20	B5-C2	Sekunder	160	0.16	129	100	1	-	-	-	-	1
21	B6-B7	Sekunder	160	0.16	138	100	-	-	1	2	-	3
22	B8-C3	Sekunder	160	0.16	537	100	4	2	2	-	-	8
23	C1-C2	Primer	200	0.20	231	100	1	-	2	-	-	3
24	C2-C3	Primer	315	0.32	195	100	-	1	1	-	-	2
25	C3-C4	Primer	315	0.32	490	100	3	3	-	-	-	6
26	C4-C5	Primer	315	0.32	191	100	-	2	-	-	-	2
27	C5-IPAL	Primer	315	0.32	125	100	-	1	-	-	-	1
<b>Total <i>Manhole</i> per Jenisnya</b>							<b>51</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>81</b>

### 4.3 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Pada perencanaan ini direncanakan pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan pengolahan utamanya menggunakan kombinasi antara *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dengan *Aerobic Biofilter* (AF). Pembangunan IPAL direncanakan untuk penduduk di wilayah *Cluster 1*, *Cluster 2* (ditambahkan debit dari Rusun Jambangan), serta *Cluster 3* (ditambahkan debit dari Rusun Siwalankerto). Pada wilayah tersebut masyarakat sudah mempunyai tangki septik untuk mengolah *black water* namun belum memenuhi standar baku mutu air limbah domestik. Sedangkan untuk *grey water* yang dihasilkan langsung dibuang ke saluran drainase. Maka air limbah yang akan diolah di IPAL adalah berupa efluen tangki septik dan *grey water*.

#### 4.3.1 Kuantitas Air Limbah

Kuantitas air limbah yang diperoleh pada setiap *cluster* akan diolah di IPAL hingga menghasilkan efluen yang memenuhi standar baku mutu yang berlaku. Berikut adalah hasil perhitungan kuantitas air limbah pada setiap *cluster*.

➤ *Cluster 1*:

Air limbah yang masuk ke IPAL *cluster 1* berupa air limbah yang dibawa oleh pipa *sewer* dari wilayah permukiman di *cluster 1*.

Debitnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{average} &= 2.659,6 \text{ m}^3/\text{hari} &= 0,031 \text{ m}^3/\text{detik} \\ Q_{peak} &= 3.260,4 \text{ m}^3/\text{hari} &= 0,038 \text{ m}^3/\text{detik} \\ Q_{min} &= 757,2 \text{ m}^3/\text{hari} &= 0,0088 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

➤ *Cluster 2*:

Air limbah yang masuk ke IPAL *cluster 2* berupa air limbah yang dibawa oleh pipa *sewer* dari wilayah permukiman di *cluster 2* ditambah debit air limbah Rusun Jambangan. Debitnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{average} &= 1.141,4 \text{ m}^3/\text{hari} &= 0,013 \text{ m}^3/\text{detik} \\ Q_{peak} &= 1.558,6 \text{ m}^3/\text{hari} &= 0,018 \text{ m}^3/\text{detik} \\ Q_{min} &= 201,1 \text{ m}^3/\text{hari} &= 0,0023 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

➤ *Cluster 3:*

Air limbah yang masuk ke IPAL *cluster 3* berupa air limbah yang dibawa oleh pipa sewer dari wilayah permukiman di *cluster 3* ditambah debit air limbah Rusun Siwalankerto. Debitnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{average} &= 1.730,2 \text{ m}^3/\text{hari} && = 0,020 \text{ m}^3/\text{detik} \\ Q_{peak} &= 2.215,6 \text{ m}^3/\text{hari} && = 0,026 \text{ m}^3/\text{detik} \\ Q_{min} &= 422 \text{ m}^3/\text{hari} && = 0,005 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

### 4.3.2 Karakteristik Air Limbah

Data primer diambil dari pipa inlet air limbah domestik di IPAL Bendul Merisi Jaya Kecamatan Wonocolo. Air limbah ini bersumber dari efluen tangki septik warga Bendul Merisi Jaya. Pengujian *sampling* dilakukan di laboratorium Teknik Lingkungan oleh laboran laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan Departemen Teknik Lingkungan. Hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 4.30** berikut.

**Tabel 4.30** Karakteristik Air Limbah

Parameter	Satuan	Konsentrasi*	Baku Mutu**
pH	-	7,5	6 – 9
TSS	mg/L	186	30
COD	mg/L	398	50
BOD	mg/L	234	30
Rasio BOD/COD	-	0,6	-
Minyak & lemak	mg/L	20	5
Amoniak	mg/L	50***	10
Total Koliform	MPN/100 mL	$17 \times 10^8$	3.000

Sumber:

\* Hasil Analisa Laboratorium Teknologi Pengolahan Air Teknik Lingkungan ITS

\*\* Keputusan Permen Lingkungan Hidup & Kehutanan No. 68 tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik

\*\*\* Khaq dan Slamet, 2017

Berdasarkan baku mutu air limbah domestik yang berlaku, diketahui bahwa karakteristik air limbah pada tugas perencanaan ini telah melebihi baku mutu. Oleh karena itu, air limbah perlu diolah agar memenuhi baku mutu yang berlaku.

## **4.4 Perhitungan IPAL *Cluster* 1**

### **4.4.1 *Grease Trap***

Pada setiap sambungan rumah akan dipasang *grease trap* pada bak kontrol. *Grease trap* ini berfungsi untuk memisahkan air limbah dari minyak dan lemak sehingga tidak akan mengganggu proses pengolahan biologis di IPAL utama. Menurut Wongthanate, et al. (2014), *grease trap* mampu meremoval minyak dan lemak hingga 95%. Berikut adalah perhitungan konsentrasi minyak dan lemak pada air limbah.

Konsentrasi awal	= 20 mg/L
Persen removal	= 95%
Konsentrasi akhir	= (100-95)% x 20 mg/L
	= 1 mg/L (memenuhi baku mutu)

### **4.4.2 Sumur Pengumpul *Cluster* 1**

Sumur pengumpul diletakkan sebelum masuk IPAL. Sumur pengumpul akan menerima air limbah domestik secara langsung dari pipa *sewer*. Air limbah domestik dari sumur pengumpul akan dipompa menuju bangunan pengolahan air limbah. Selain sebagai tempat penampungan sementara air limbah, sumur pengumpul juga berfungsi untuk menstabilkan variasi debit dan konsentrasi air limbah. Hal ini dapat menghindari terjadinya *shock loading* di bangunan pengolahan.

#### **a. Sumur Pengumpul**

Direncanakan:

- Bak berbentuk segiempat
- Jumlah Bak =1
- Waktu Detensi/ td (<10 menit) = 5 menit = 300 detik
- Diameter pipa sewer terakhir 400 mm

- Kedalaman pipa sewer terakhir = 5,47 m
- Tinggi sumur = 1,5 m
- P:L = 1 : 1
- $Q_{\text{peak}} = 0,038 \text{ m}^3/\text{detik} = 3.260,4 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $Q_{\text{ave}} = 0,031 \text{ m}^3/\text{detik} = 2.659,6 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $Q_{\text{min}} = 0,0088 \text{ m}^3/\text{detik} = 757,2 \text{ m}^3/\text{hari}$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Volume (V)} &= Q_{\text{peak}} \times Td = (0,038 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 5 \text{ menit} \\ &= 11,32 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$A_{\text{surface}} (As) = \frac{V}{h} = \frac{11,32}{1,5} = 7,55 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang} = \text{Lebar} = \sqrt{As} = \sqrt{7,55} = 2,7 \text{ m}$$

$$\text{Cek Td} = \frac{V}{Q_{\text{peak}}} = \frac{11,32 \text{ m}^3}{0,038 \text{ m}^3/\text{detik}} = 300 \text{ detik} \rightarrow \text{OK}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{\text{ave}} &= Q_{\text{ave}} \times Td/As \\ &= 0,031 \text{ m}^3/\text{detik} \times (60 \times 5 \text{ menit} / 7,55 \text{ m}^2) \\ &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{\text{min}} &= Q_{\text{min}} \times Td/As \\ &= 0,0088 \text{ m}^3/\text{detik} \times (60 \times 5 \text{ menit} / 7,55 \text{ m}^2) \\ &= 0,35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{\text{peak}} &= Q_{\text{peak}} \times Td/As \\ &= 0,038 \text{ m}^3/\text{detik} \times (60 \times 5 \text{ menit} / 7,55 \text{ m}^2) \\ &= 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga, diperoleh dimensi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Panjang (P)} &= 2,7 \text{ m} \\ \text{Lebar (l)} &= 2,7 \text{ m} \\ \text{Kedalaman (H)} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Freeboard (Fb)} &= 0,3 \text{ m} \\ \text{Total H} &= 1,5 + 0,3 + 5,47 \text{ m} \\ &= 7,27 \text{ m} \end{aligned}$$

#### b. **Bar Screen**

*Bar Screen* digunakan untuk menyaring air limbah dari partikel-partikel atau sampah yang berukuran besar. *Bar Screen*



diletakkan sebelum pompa pada sumur pengumpul. Hal ini untuk mencegah kemungkinan terjadinya kerusakan pada pompa akibat penyumbatan oleh sampah yang ada di dalam air limbah.

Direncanakan :

- Pembersihan *bar screen* dilakukan secara manual
- Kemiringan batang secara vertikal sebesar  $65^\circ$
- Jarak antar batang sebesar  $50 \text{ mm} = 0,05 \text{ m}$
- Lebar batang sebesar  $15 \text{ mm} = 0,015 \text{ m}$

Lebar total screen = lebar sumur pengumpul =  $2,7 \text{ m}$

Sehingga jumlah batang yang diperlukan :

$$\begin{aligned} \text{Lebar total} &= (\text{jarak antar batang} \times n) + (\text{lebar batang} \times (n-1)) \\ 2,7 \text{ m} &= (0,05 \times n) + (0,015 \times (n-1)) \\ 2,7 \text{ m} &= 0,05 n + 0,015 n - 0,015 \\ 2,685 \text{ m} &= 0,065 n \\ n &= 41,3 \text{ batang} = 41 \text{ batang} \end{aligned}$$

Cek jarak antar batang:

$$\begin{aligned} 2,7 \text{ m} &= (\text{jarak antar batang} \times 41) + (0,015 \times (41-1)) \\ 2,7 \text{ m} &= (\text{jarak antar batang} \times 41) + 0,615 - 0,015 \\ 2,1 \text{ m} &= (\text{jarak antar batang} \times 41) \end{aligned}$$

Jarak antar batang =  $0,051 \text{ m}$

### c. Pompa

Pompa berfungsi untuk mengalirkan air limbah domestik dari sumur pengumpul menuju unit IPAL. Pompa yang digunakan adalah pompa tipe submersible non clogging.

Direncanakan :

- $V_{\text{asumsi}} = 1 \text{ m/detik}$
- $Q_{\text{ave}} = 0,031 \text{ m}^3/\text{detik} = 2.659,6 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $L_{\text{discharge}} = 7,7 \text{ m}$
- Head Statik ( $H_s$ ) =  $5,17 \text{ m}$
- Koefisien kekasaran ( $C$ ) =  $130$

Perhitungan:

$$A_{\text{pipa}} = \frac{Q_{\text{average}}}{V} = \frac{0,031}{1} = 0,031 \text{ m}^2$$

Diameter *discharge* pada pompa:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{3,14}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,031}{3,14}} = 0,198 \text{ m} = 0,2 \text{ m} / 200 \text{ mm (D pasaran)}$$

$$A_{\text{pipa cek}} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,2^2 = 0,031 \text{ m}^2$$

Diperoleh kecepatan aliran pompa;

$$V_{\text{cek}} = \frac{Q}{A} = \frac{0,031}{0,031} = 1 \text{ m/detik}$$

Head Mayor

$$hf_{\text{ discharge}} = \left[ \frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L$$

$$hf_{\text{ discharge}} = \left[ \frac{30,78 \text{ L/detik}}{0,00155 (130) (2 \text{ cm})^{2,63}} \right]^{1,85} \times 7,7 \text{ m}$$

$$hf_{\text{ discharge}} = 0,0394 \text{ m}$$

Head Minor

*Head minor* adalah berbagai kerugian *head* akibat katup, belokan, sambungan, dan lain-lain.

-*Head minor* akibat belokan 90°

Head minor akibat belokan 90° terjadi sebanyak sekali, nilai k pada belokan 90° yaitu 0,25. (Ningrum, 2008)

$$hf = n \left[ k \frac{v^2}{2g} \right]$$

$$hf = 1 \times \left[ 0,25 \frac{1^2}{2(9,81)} \right]$$

$$hf = 0,0127 \text{ m}$$

Hf kecepatan

$$Hf_{\text{ kecepatan}} = \frac{v^2}{2g} = \frac{1^2}{2 \times 9,81} = 0,05 \text{ m}$$

Perhitungan Head Total Pompa

$$H = H_s + H_{\text{major}} + H_{\text{minor}} + Hf_{\text{ kecepatan}}$$

$$H = 5,17 + 0,0394 + 0,0127 + 0,05$$

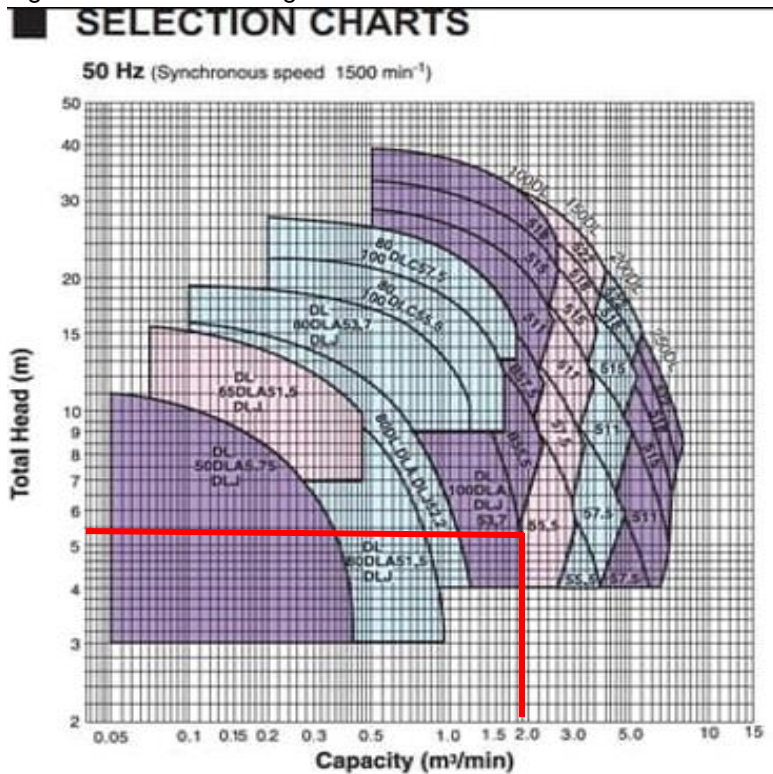
$$H = 5,27 \text{ m}$$

Perhitungan daya pompa

Perhitungan daya pompa menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Power pompa} &= \frac{\gamma \times H_{\text{tot}} \times Q}{\eta} \\ &= \frac{9,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 5,27 \text{ m} \times 0,031 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,75 \text{ kw.kN m/detik}} = 2,12 \text{ kw} \end{aligned}$$

Berdasarkan grafik Pompa Submersible Ebara, maka pompa yang digunakan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.11 Pompa Submersible Ebara  
(Sumber: www.ebara.com)

Pompa yang dipilih adalah tipe 150 DL 55.5 dengan diameter pipa *discharge* adalah 150 mm dan *motor output* sebesar 5,5 kw.

#### 4.4.3 *Distribution Box Cluster 1*

*Distribution box* berfungsi sebagai bak penampung air sebelum didistribusikan menuju unit pengolahan selanjutnya. *Distribution Box* digunakan ketika terdapat lebih dari satu bangunan sehingga debit yang masuk ke setiap bangunan merata. Dalam mendesain *distribution box* waktu tinggal air dibuat sesingkat mungkin dan dimensinya tidak terlalu besar. Hal ini bertujuan supaya tidak terjadi pengendapan di bak tersebut.

Direncanakan:

- Berbentuk segiempat
- Waktu detensi ( $t_d$ ) < 3 menit untuk menghindari terjadinya pengendapan lumpur
- $T_d$  = 1 menit = 60 detik
- $Q_{average}$  = 0,031 m<sup>3</sup>/detik
- Kedalaman *box* direncanakan = 1 m
- Tebal dinding = 0,15 m = 15 cm
- Freeboard = 0,3 m = 30 cm

Perhitungan:

- Volume *box* =  $Q_{average} \times T_d$   
 = 0,031 m<sup>3</sup>/detik x 60 detik  
 = 1,85 m<sup>3</sup>
- $A_{surface}$  =  $\frac{Volume}{Kedalaman} = \frac{1,85 \text{ m}^3}{1 \text{ m}}$   
 = 1,85 m<sup>2</sup>
- P:L = 1:1
- Lebar =  $(A_{surface})^{1/2} = (1,85)^{1/2}$   
 = 1,36 m ~ 1,4 m
- Panjang *box* = Lebar = 1,4 m
- Cek volume =  $p \times l \times h$   
 = 1,4 m x 1,4 m x 1 m  
 = 1,96 m<sup>3</sup>

$$\text{➤ Cek } td = \frac{\text{volume}}{Q_{\text{average}}} = \frac{1,96 \text{ m}^3}{0,031 \text{ m}^3/\text{detik}} = 64 \text{ detik (OK)}$$

Hasil dimensi *Distribution Box*:

- Luas Area = 1,96 m<sup>2</sup>
- Panjang = 1,4 m
- Lebar = 1,4 m
- kedalaman = 1 + 0,3 = 1,3 m

#### 4.4.4 ABR Cluster 1

Pengolahan air limbah domestik yang hanya menggunakan proses anaerob maka hasil olahan hanya dapat menurunkan konsentrasi polutan minyak atau lemak, organik (BOD, COD), serta total padatan tersuspensi (TSS). Sedangkan untuk amoniak dan *total coliform* tidak bisa karena membutuhkan kondisi aerobik dalam pengolahannya.

$$Q_{\text{average}} = 2.659,6 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,031 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{TSS influen} = 186 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD influen} = 398 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD influen} = 234 \text{ mg/L}$$

$$\text{NH}_3 \text{ influen} = 50 \text{ mg/L}$$

##### a. Kompartemen I (Ruang Settling)

Direncanakan waktu detensi (Td):

$$\text{Kriteria desain} = 2-6 \text{ jam (Metcalf and Eddy, 2003)}$$

$$\text{Td rencana} = 3 \text{ jam}$$

Item	b	a
BOD	0,02	0,018
TSS	0,014	0,0075

Sumber: Metcalf and Eddy, 2003

$$\%R = \frac{td}{a+(b \times td)}$$

Berdasarkan rumus dari Metcalf and Eddy, diperoleh persen removal sebagai berikut.

$$\text{➤ \%Removal TSS} = \frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,0075+(0,014 \times 3)} = 61\%$$

$$\text{➤ \%Removal BOD} = \frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,018+(0,02 \times 3)} = 38\%$$

Karena  $T_d$  adalah 3 jam ( $< 30$  jam), maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen removal COD dengan rumus:

$$= (t_d - 3) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= (3 - 1) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= 0,4 \times 100\% = 40\%$$

➤ **Konsentrasi Efluen Kompartemen I**

$$\begin{aligned} [\text{TSS efluen}] &= (100 - 61) \% \times 186 \text{ mg/L} \\ &= 72,54 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{TSS tersisihkan}] &= [\text{TSS influen}] - [\text{TSS efluen}] \\ &= 186 - 72,54 = 113,46 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD efluen}] &= (100 - 40) \% \times 398 \text{ mg/L} \\ &= 238,8 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD influen}] - [\text{COD efluen}] \\ &= 398 - 238,8 = 159,2 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD efluen}] &= (100 - 38) \% \times 234 \text{ mg/L} \\ &= 145,08 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}] \\ &= 234 - 145,08 = 88,92 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Pada kompartemen I tidak terjadi penyisihan amoniak karena proses yang terjadi adalah proses fisik.

➤ **Produksi Lumpur selama 2 tahun (SNI)**

$$\begin{aligned} \text{Massa lumpur dihasilkan} &= \text{Lumpur TSS} \times \text{durasi pengurasan} \\ &= 301,76 \text{ kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari} \\ &= 220.283,5 \text{ kg/2 tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan durasi pengurasan 2 tahun atau 24 bulan, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen reduksi volume lumpur di bak pengendapan sebagai berikut.

$$= \text{HRT} < 36 \text{ bulan}$$

$$= 1 - \text{HRT} \times 0,014$$

$$= 1 - 24 \times 0,014$$

$$= 0,664 \times 100\%$$

$$= 66,4\%$$

$$\begin{aligned} \text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= 66,4\% \times \text{produksi lumpur} \\ &= 66,4\% \times 220.283,5 \text{ kg/2 tahun} \\ &= 146.268,2 \text{ kg/2 tahun} \end{aligned}$$

➤ **Densitas Lumpur**

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi lumpur} &= 5\% ; \\ \text{Densitas lumpur} &= 2,65 \text{ kg/L} ; \\ \text{Konsentrasi air} &= 95\% \\ \text{Densitas air} &= 1 \text{ kg/L} \\ \text{densitas lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%} \\ &= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100} \\ &= 1,0825 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

➤ **Volume Lumpur pada *settling zone***

Waktu stabilisasi lumpur = 2 tahun (SNI)

$$\begin{aligned} \text{Volume lumpur} &= \text{stabilisasi lumpur 2 tahun} / \rho \text{ Lumpur} \\ &= \frac{146.268,2 \text{ kg}}{1,0825 \text{ kg/L}} \\ &= 135.120,8 \text{ L} \\ &= 135,12 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

➤ **Dimensi Ruang Lumpur dan Kompartemen I**

$$\begin{aligned} \text{Kemampuan gali} &= 4,5 \text{ m} \\ \text{Free board} &= 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m} \\ \text{Ketinggian ABR rencana (H)} &= 3 \text{ m} \\ \text{h ruang lumpur} &= 30\% \times \text{h ABR} \\ &= 30\% \times 3 \text{ m} \\ &= 0,9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas ruang lumpur} &= \text{Volume lumpur} / \text{h ruang lumpur} \\ &= 135,12 \text{ m}^3 / 0,9 \text{ m} \\ &= 150,13 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume kompartemen I} &= Q_{\text{average}} \times t_d \\ &= 2.659,6 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3 \text{ jam} \times \frac{1}{24} \text{ hari/jam} \\ &= 332,45 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Luas kompartemen I} = \text{Volume} / \text{h kompartemen}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{332,45 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} \\
 &= 135,9 \text{ m}^2 \\
 P : L &= 2 : 1 \\
 \text{Lebar ruang lumpur} &= (\text{Luas ruang lumpur} / 2)^{0,5} \\
 &= (150,13 / 2)^{0,5} \\
 &= 8,7 \text{ m} \\
 \text{Lebar kompartemen I} &= (\text{Luas kompartemen I} / 2)^{0,5} \\
 &= (110,8 / 2)^{0,5} \\
 &= 7,4 \text{ m} \\
 \text{Panjang ruang lumpur} &= \text{Lebar ruang lumpur} \times 2 \\
 &= 8,7 \text{ m}^2 \times 2 \\
 &= 17,4 \text{ m} \\
 \text{Panjang kompartemen I} &= \text{Lebar kompartemen I} \times 2 \\
 &= 7,4 \text{ m}^2 \times 2 \\
 &= 14,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Panjang dan lebar yang digunakan adalah yang memiliki nilai terbesar yaitu 17,4 dan 8,7 m untuk keamanan bangunan. Sehingga kedalaman pada bangunan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Cek Kedalaman (h)} &= \frac{\text{Volume kompartemen I}}{\text{panjang} \times \text{lebar}} \\
 &= \frac{332,45 \text{ m}^3}{17,4 \text{ m} \times 8,7 \text{ m}} \\
 &= 2,2 \text{ m (kriteria desain} < 4 \text{ m)}
 \end{aligned}$$

#### **b. Kompartemen II (ABR)**

$$\begin{aligned}
 \text{Rentang HLR} &= (16,8 - 38,4) \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \\
 \text{HRT} &= 6-24 \text{ jam} \\
 \text{OLR} &= < 3 \text{ kg BOD}/\text{m}^3.\text{hari} \\
 \text{Direncanakan:} & \\
 \text{HLR} &= 25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \\
 [\text{BOD efluen}] &= 30 \text{ mg}/\text{L} \text{ (**Baku Mutu**)} \\
 [\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}] \\
 &= 145,08 - 30 = 115,08 \text{ mg}/\text{L} \\
 \text{BOD removal} &= (\text{BOD tersisihkan} / \text{BOD influen}) \times 100\%
 \end{aligned}$$



$$= (115,08/145,08) \times 100\% = 79,3\%$$

Berdasarkan persen removal BOD, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh HRT sebagai berikut.

HRT	= < 10 jam
Faktor	= (HRT-5) x 0,31/5 + 0,51
0,793	= (HRT-5) x 0,31/5 + 0,51
HRT	= [(0,793-0,51) x 5/0,31] + 5
	= 9,57 jam ~ 9,6 jam
H total	= HLR x HRT
	= (25 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari)/24 jam/hari x 9,6 jam
	= 10 m
H ABR	= H kompartemen I
	= 2,2 m
Jumlah kompartemen	= H total / H ABR
	= 10 m / 2,2 m
	= 4,5 ~ 5 kompartemen
Volume total	= $Q_{average} \times HRT$
	= (2.659,6 m <sup>3</sup> /hari)/24 jam/hari x 9,6 jam
	= 1063,84 m <sup>3</sup>
$A_{surface}$ total	= Volume total / H ABR
	= 1063,84 m <sup>3</sup> / 2,2 m
	= 480,43 m <sup>2</sup>
$A_{surface}$ 1 ABR	= $A_{surface}$ total / jumlah kompartemen
	= 480,43 m <sup>2</sup> / 5
	= 96,09 m <sup>2</sup>
Lebar	= Lebar kompartemen I
	= 8,7 m
Panjang 1 ABR	= $A_{surface}$ 1 ABR / lebar
	= 96,09 m <sup>2</sup> / 8,7 m
	= 11,1 m ( <b>Terlalu Panjang</b> )

ABR dengan panjang yang berlebihan akan menyebabkan aliran yang tidak seragam atau terjadinya *dead zone*. Untuk menghindari hal tersebut maka debit yang masuk harus dikurangi dengan cara

membagi ABR menjadi beberapa unit. Perhitungan jumlah ABR adalah sebagai berikut.

Panjang ABR rencana = 2 m

Jumlah ABR = Panjang 1 ABR / Panjang ABR rencana  
 = 11,1 m / 2 m  
 = 5,54 ABR ~ 6 ABR

**Sehingga untuk cluster 1 direncanakan akan dibangun 6 unit IPAL ABR yang diletakkan secara paralel dengan dimensi yang sama**, maka debit setiap unitnya dapat dihitung:

$Q_{peak}$  per unit = 3.260, m<sup>3</sup>/hari / 6 unit  
 = 543,4 m<sup>3</sup>/hari = 543.400 L/hari

$Q_{average}$  per unit = 2.659,6 m<sup>3</sup>/hari / 6 unit  
 = 443,3 m<sup>3</sup>/hari = 443.267 L/hari

**a. Kompartemen I (Ruang Settling)**

TSS influen = 186 mg/L

COD influen = 398 mg/L

BOD influen = 234 mg/L

NH<sub>3</sub> influen = 50 mg/L

$Q_{average}$  per unit = 443,3 m<sup>3</sup>/hari

Direncanakan waktu detensi (Td):

Kriteria desain = 2-6 jam (Metcalf and Eddy,2003)

Td rencana = 3 jam

Item	b	a
BOD	0,02	0,018
TSS	0,014	0,0075

Sumber: Metcalf and Eddy, 2003

$$\%R = \frac{td}{a+(b \times td)}$$

Berdasarkan rumus dari Metcalf and Eddy, diperoleh persen removal sebagai berikut.

➤ %Removal TSS =  $\frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,0075+(0,014 \times 3)} = 61\%$

➤ %Removal BOD =  $\frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,018+(0,02 \times 3)} = 38\%$

Karena Td adalah 3 jam (< 30 jam), maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen removal COD dengan rumus:

$$= (td-3) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= (3-1) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= 0,4 \times 100\% = 40\%$$

➤ **Konsentrasi Efluen Kompartemen I**

$$\begin{aligned} [\text{TSS efluen}] &= (100 - 61) \% \times 186 \text{ mg/L} \\ &= 72,54 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{TSS tersisihkan}] &= [\text{TSS influen}] - [\text{TSS efluen}] \\ &= 186 - 72,54 = 113,46 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD efluen}] &= (100 - 40) \% \times 398 \text{ mg/L} \\ &= 238,8 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD influen}] - [\text{COD efluen}] \\ &= 398 - 238,8 = 159,2 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD efluen}] &= (100 - 38) \% \times 234 \text{ mg/L} \\ &= 145,08 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}] \\ &= 234 - 145,08 = 88,92 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Pada kompartemen I tidak terjadi penyisihan amoniak karena proses yang terjadi adalah proses fisik.

➤ **Mass Balance Kompartemen I**

**Tabel 4.31 Efisiensi Kompartemen I ABR Cluster 1**

Parameter	Nilai Influen (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Nilai Efluen (mg/L)
TSS	186	61%	72,54
BOD	234	38%	145,08
COD	398	40%	238,8

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS influen} &= (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{186 \text{ mg/L} \times 443,267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 82,45 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Massa COD influen} = (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}})$$

$$= \frac{398 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 176,42 \text{ kg/hari}$$

Massa BOD influen = (BOD influen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{234 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 103,72 \text{ kg/hari}$$

Massa TSS effluen = (TSS effluen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{72,54 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 32,15 \text{ kg/hari}$$

Massa COD effluen = (COD effluen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{238,8 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 105,85 \text{ kg/hari}$$

Massa BOD effluen = (BOD effluen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{145,08 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 64,31 \text{ kg/hari}$$

Massa TSS tersisihkan = TSS influen – TSS efluén

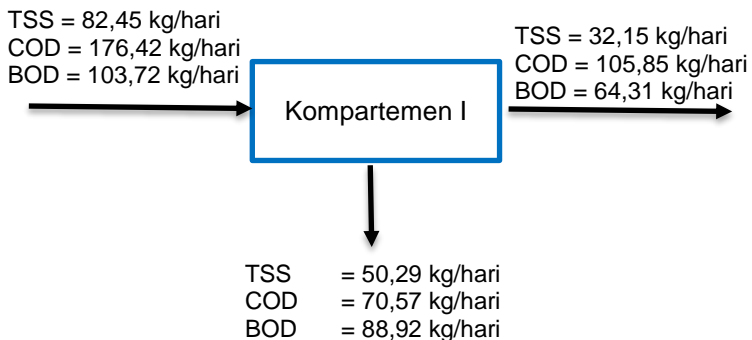
$$= 82,45 - 32,15 = 50,29 \text{ kg/hari}$$

Massa COD tersisihkan = COD influen – COD efluén

$$= 176,42 - 105,85 = 70,57 \text{ kg/hari}$$

Massa BOD tersisihkan = BOD influen – BOD efluén

$$= 103,72 - 64,31 = 39,41 \text{ kg/hari}$$



➤ **Produksi Lumpur selama 2 tahun (SNI)**

Massa lumpur dihasilkan = Lumpur TSS x durasi pengurasan

$$= 50,29 \text{ kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari}$$

$$= 36.713,9 \text{ kg/2 tahun}$$

Berdasarkan durasi pengurasan 2 tahun atau 24 bulan, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen reduksi volume lumpur di bak pengendapan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 &= \text{HRT} < 36 \text{ bulan} \\
 &= 1 - \text{HRT} \times 0,014 \\
 &= 1 - 24 \times 0,014 \\
 &= 0,664 \times 100\% \\
 &= 66,4\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= 66,4\% \times \text{produksi lumpur} \\
 &= 66,4\% \times 36.713,9 \text{ kg/2 tahun} \\
 &= 24.378 \text{ kg/2 tahun}
 \end{aligned}$$

➤ **Densitas Lumpur**

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi lumpur} &= 5\% ; \\
 \text{Densitas lumpur} &= 2,65 \text{ kg/L} ; \\
 \text{Konsentrasi air} &= 95\% \\
 \text{Densitas air} &= 1 \text{ kg/L} \\
 \text{densitas lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%} \\
 &= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100} \\
 &= 1,0825 \text{ kg/L}
 \end{aligned}$$

➤ **Volume Lumpur pada *settling zone***

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu stabilisasi lumpur} &= 2 \text{ tahun (SNI)} \\
 \text{Volume lumpur} &= \text{stabilisasi lumpur 2 tahun} / \rho \text{ Lumpur} \\
 &= \frac{24.378 \text{ kg}}{1,0825 \text{ kg/L}} \\
 &= 22.520,1 \text{ L} \\
 &= 22,52 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

➤ **Dimensi Ruang Lumpur dan Kompartemen I**

$$\begin{aligned}
 \text{Kemampuan gali} &= 4,5 \text{ m} \\
 \text{Free board} &= 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m} \\
 \text{Ketinggian ABR rencana (H)} &= 3 \text{ m} \\
 \text{h ruang lumpur} &= 30\% \times \text{h ABR}
 \end{aligned}$$

$$= 30\% \times 3 \text{ m}$$

$$= 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Luas ruang lumpur} = \text{Volume lumpur} / h \text{ ruang lumpur}$$

$$= 22,52 \text{ m}^3 / 0,9 \text{ m}$$

$$= 25,02 \text{ m}^2$$

$$\text{Volume kompartemen I} = Q_{\text{average}} \times t_d$$

$$= 443,3 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3 \text{ jam} \times \frac{1}{24} \text{ hari/jam}$$

$$= 55 \text{ m}^3$$

$$\text{Luas kompartemen I} = \text{Volume} / h \text{ kompartemen}$$

$$= \frac{55 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}$$

$$= 18,5 \text{ m}^2$$

$$P : L = 2 : 1$$

$$\text{Lebar ruang lumpur} = (\text{Luas ruang lumpur} / 2)^{0,5}$$

$$= (25,02 / 2)^{0,5}$$

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

$$\text{Lebar kompartemen I} = (\text{Luas kompartemen I} / 2)^{0,5}$$

$$= (18,5 / 2)^{0,5}$$

$$= 3 \text{ m}$$

$$\text{Panjang ruang lumpur} = \text{Lebar ruang lumpur} \times 2$$

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

$$= 7 \text{ m}$$

$$\text{Panjang kompartemen I} = \text{Lebar kompartemen I} \times 2$$

$$= 3 \text{ m}^2 \times 2$$

$$= 6 \text{ m}$$

Panjang dan lebar yang digunakan adalah yang memiliki nilai terbesar yaitu 7 m dan 3,5 m untuk keamanan bangunan. Sehingga kedalaman pada bangunan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Cek Kedalaman (h)} = \frac{\text{Volume kompartemen I}}{\text{panjang} \times \text{lebar}}$$

$$= \frac{55 \text{ m}^3}{7 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}}$$

$$= 2,2 \text{ m (kriteria desain} < 4 \text{ m)}$$

### **Dimensi Kompartemen I**

Panjang	= 7 m
Lebar	= 3,5 m
Kedalaman total	= Kedalaman + freeboard
	= 2,2 m + 0,3 m
	= 2,5 m

### **b. Kompartemen II (ABR)**

TSS influen	= 72,54 mg/L
COD influen	= 238,8 mg/L
BOD influen	= 145,08 mg/L
NH3 influen	= 50 mg/L
$Q_{average}$ per unit	= 443,3 m <sup>3</sup> /hari = 443.267 L/hari

Kriteria desain (Metcalf and Eddy, 2003):

Rentang HLR	= (16,8 – 38,4) m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari
HRT	= 6-24 jam
OLR	= < 3 kg BOD/m <sup>3</sup> .hari

Direncanakan:

HLR	= 25 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari
[BOD efluen]	= 30 mg/L ( <b>Baku Mutu</b> )
[BOD tersisihkan]	= [BOD influen]-[BOD efluen]
	= 145,08 – 30 = 115,08 mg/L
BOD removal	= (BOD tersisihkan/ BOD influen) x 100%
	= (115,08/145,08) x 100% =79,3%

Berdasarkan persen removal BOD, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh HRT sebagai berikut.

HRT	= < 10 jam
Faktor	= (HRT-5) x 0,31/5 + 0,51
0,793	= (HRT-5) x 0,31/5 + 0,51
HRT	= [(0,793-0,51) x 5/0,31] + 5
	= 9,57 jam ~ 9,6 jam

$$\begin{aligned}
 H \text{ total} &= HLR \times HRT \\
 &= (25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari})/24 \text{ jam/hari} \times 9,6 \text{ jam} \\
 &= 10 \text{ m} \\
 H \text{ ABR} &= H \text{ kompartemen I} \\
 &= 2,2 \text{ m} \\
 \text{Jumlah kompartemen} &= H \text{ total} / H \text{ ABR} \\
 &= 10 \text{ m} / 2,2 \text{ m} \\
 &= 4,5 \sim 5 \text{ kompartemen} \\
 \text{Volume total} &= Q_{\text{average}} \times HRT \\
 &= (443,3 \text{ m}^3/\text{hari})/24 \text{ jam/hari} \times 9,6 \text{ jam} \\
 &= 177,31 \text{ m}^3 \\
 A_{\text{surface}} \text{ total} &= \text{Volume total} / H \text{ ABR} \\
 &= 177,31 \text{ m}^3 / 2,2 \text{ m} \\
 &= 80,07 \text{ m}^2 \\
 A_{\text{surface}} \text{ 1 ABR} &= A_{\text{surface}} \text{ total} / \text{jumlah kompartemen} \\
 &= 80,07 \text{ m}^2 / 5 \\
 &= 16,01 \text{ m}^2 \\
 \text{Panjang 1 ABR rencana} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Lebar 1 ABR} &= A_{\text{surface}} \text{ 1 ABR} / \text{panjang 1 ABR} \\
 &= 16,01 \text{ m}^2 / 2 \text{ m} \\
 &= 8 \text{ m} \\
 \text{Cek } A_{\text{surface}} \text{ 1 ABR} &= \text{Panjang 1 ABR} \times \text{lebar} \\
 &= 2 \text{ m} \times 8 \text{ m} = 16 \text{ m}^2 \\
 \text{Cek volume 1 ABR} &= \text{Panjang 1 ABR} \times \text{lebar} \times \text{Hair} \\
 &= 2 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 2,2 \text{ m} \\
 &= 35,2 \text{ m}^3 \\
 \text{Cek volume total} &= \text{Volume 1 ABR} \times \text{Jumlah kompartemen} \\
 &= 35,2 \text{ m}^3 \times 5 \text{ kompartemen} \\
 &= 176 \text{ m}^3 \\
 \text{Cek HLR} &= Q_{\text{average}} / A_{\text{surface}} \text{ 1 ABR} \\
 &= (443,3 \text{ m}^3/\text{hari}) / 16 \text{ m}^2 \\
 &= 27,7 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \\
 &\quad \text{(kriteria desain 16,8-38,4 m}^3/\text{m}^2.\text{hari)} \\
 \text{Cek HRT} &= \text{Volume total} / Q_{\text{average}}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&= 176 \text{ m}^3 / (443,3 \text{ m}^3/\text{hari}) \\
&= 0,40 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari} \\
&= 9,6 \text{ jam } \mathbf{(kriteria \text{ desain } 6\text{-}24 \text{ jam})}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Organic Loading (OL)} &= \text{BOD influen} \times Q_{\text{average}} \\
&= (145,08 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari})/1000000 \\
&= 64,31 \text{ kg BOD/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Cek OLR} &= \text{OL} / \text{volume total} \\
&= 64,31 \text{ kg BOD/hari} / 176 \text{ m}^3 \\
&= 0,4 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \\
&\mathbf{(kriteria \text{ desain } < 3 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari})}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Cek Vup} &= Q_{\text{average}} / A_{\text{surface}} \text{ 1 ABR} \\
&= (443,3 \text{ m}^3/\text{hari}) / 16 \text{ m}^2 \\
&= 27,7 \text{ m/hari} \\
&= 1,2 \text{ m/jam } \mathbf{(kriteria \text{ desain } < 2 \text{ m/jam})}
\end{aligned}$$

### **Dimensi Kompartemen II (ABR)**

$$\begin{aligned}
\text{Panjang total} &= \text{panjang kompartemen} \times \text{jumlah kompartemen} \\
&= 2 \text{ m} \times 5 \text{ kompartemen} \\
&= 10 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\text{Lebar} = 8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kedalaman total} &= \text{Kedalaman} + \text{freeboard} \\
&= 2,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
&= 2,5 \text{ m}
\end{aligned}$$

### Perhitungan pipa baffled:

$$V_{\text{asumsi}} = 1 \text{ m/detik}$$

$$\begin{aligned}
A_{\text{pipa}} &= Q_{\text{average}} / V_{\text{asumsi}} \\
&= (0,005 \text{ m}^3/\text{detik}) / (1 \text{ m/detik}) \\
&= 0,005 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Diameter pipa} &= [(4 \times A_{\text{pipa}}) / 3,14]^{0,5} \\
&= 0,081 \text{ m} \sim 100 \text{ mm (diamater pasaran)}
\end{aligned}$$

$$\text{Jarak antar pipa} = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

### ➤ **Konsentrasi Efluen ABR**

Dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal BOD sebagai berikut.

- Berdasarkan OLR < 6 kg/m<sup>3</sup>.hari = faktor 1

- Berdasarkan BOD influen < 150 mg/L  
 Faktor = BOD influen x 0,37/150 + 0,4  
 = 145,08 x 0,37/150 + 0,4 = 0,76

- Berdasarkan HRT < 10 jam  
 Faktor = (HRT-5) x 0,31/5 + 0,51  
 = (9,6-5) x 0,31/5 + 0,51 = 0,8

- Berdasarkan jumlah kompartemen > 3  
 Faktor = (jumlah – 3) x 0,06 + 0,9  
 = (5-3) x 0,06 + 0,9 = 1,02

- Berdasarkan suhu 25°C  
 Faktor = (suhu-25) x 0,05/5 + 1  
 = 1

$$\% \text{ removal BOD} = 1 \times 0,76 \times 0,8 \times 1,02 \times 1 = 0,62$$

$$= 62\%$$

Berdasarkan persen removal BOD, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal COD sebagai berikut.

$$\text{BOD removal} = < 0,75$$

$$\text{Faktor} = 0,9434 - (\text{BOD removal}-0,5) \times 0,0545/0,25$$

$$= 0,9434 - (0,62-0,5) \times 0,0545/0,25 = 0,917$$

$$\text{COD removal} = \text{Faktor} \times \text{BOD removal}$$

$$= 0,917 \times 62\%$$

$$\% \text{ removal COD} = 57\%$$

$$[\text{COD efluen}] = (100 - 57) \% \times 238,8 \text{ mg/L}$$

$$= 102,68 \text{ mg/L (belum memenuhi baku mutu)}$$

$$[\text{COD tersisihkan}] = [\text{COD influen}]-[\text{COD efluen}]$$

$$= 238,8 - 102,68 = 136,12 \text{ mg/L}$$

$$[\text{BOD efluen}] = (100 - 62) \% \times 145,08 \text{ mg/L}$$

$$= 55,13 \text{ mg/L (belum memenuhi baku mutu)}$$

$$[\text{BOD tersisihkan}] = [\text{BOD influen}]-[\text{BOD efluen}]$$

$$\begin{aligned}
 &= 145,08 - 55,13 = 89,95 \text{ mg/L} \\
 \text{[TSS efluen]} &= 30 \text{ mg/L (sesuai baku mutu)} \\
 \text{[TSS tersisihkan]} &= \text{[TSS influen]} - \text{[TSS efluen]} \\
 &= 72,54 - 30 = 42,54 \text{ mg/L} \\
 \% \text{ removal TSS} &= \frac{\text{TSS influen} - \text{efluen baku mutu}}{\text{TSS influen}} \times 100\% \\
 &= \frac{72,54 \text{ mg/L} - 30 \text{ mg/L}}{72,54 \text{ mg/L}} \times 100\% \\
 &= 58,6\%
 \end{aligned}$$

Pada proses biologis, mikroba ataupun bakteri membutuhkan nutrisi untuk menunjang pertumbuhan bakteri. Menurut Tchobanoglous (2014), rasio COD:N:P untuk proses anaerobik adalah 300:5:1. Pada perencanaan ini parameter yang digunakan adalah N dalam bentuk amoniak. Berikut adalah perhitungan kebutuhan N oleh mikroba di ABR.

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio COD:N} &= 300:5 \\
 \text{[COD tersisihkan]} &= 100,8 \text{ mg/L} \\
 \text{[Kebutuhan N]} &= (5/300) \times \text{[COD tersisihkan]} \\
 &= (5/300) \times 136,12 \text{ mg/L} \\
 &= 2,27 \text{ mg/L} \\
 \text{[NH}_3 \text{ efluen]} &= \text{[NH}_3 \text{ influen]} - \text{[Kebutuhan N]} \\
 &= 50 - 2,27 = 47,73 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

➤ **Mass Balance ABR**

**Tabel 4.32 Efisiensi ABR Cluster 1**

Parameter	Nilai Influen (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Nilai Efluen (mg/L)
TSS	72,54	58,6%	30
BOD	145,08	62%	55,13
COD	238,8	57%	102,68
NH <sub>3</sub>	50	4,54%	47,73

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TSS influen} &= (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{72,54 \text{ mg/L} \times 443,267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 32,15 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa COD influen} &= (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{238,8 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 105,85 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa BOD influen} &= (\text{BOD influen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{145,08 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 64,31 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NH}_3 \text{ influen} &= (\text{NH}_3 \text{ influen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{50 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 22,16 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS effluen} &= (\text{TSS effluen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{30 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 13,3 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa COD effluen} &= (\text{COD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{102,68 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 45,52 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa BOD effluen} &= (\text{BOD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{55,13 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 24,44 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NH}_3 \text{ effluen} &= (\text{NH}_3 \text{ effluen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{47,73 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 21,16 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS tersisihkan} &= \text{TSS influen} - \text{TSS effluen} \\ &= 32,15 - 13,3 = 18,85 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa COD tersisihkan} &= \text{COD influen} - \text{COD effluen} \\ &= 105,85 - 45,52 = 60,33 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa BOD tersisihkan} &= \text{BOD influen} - \text{BOD effluen} \\ &= 64,31 - 24,44 = 39,87 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NH}_3 \text{ dibutuhkan} &= \text{NH}_3 \text{ influen} - \text{NH}_3 \text{ effluen} \\ &= 22,16 - 21,16 = 1 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

### ➤ **Produksi Biogas**

$$\text{Synthesis yield in anaerob (Y)} = 0,06 \text{ g VSS/g COD}$$

$$\text{Massa COD tersisihkan} = 60,33 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa COD}_{\text{VSS}} &= 1,42 \times Y \times \text{Massa COD tersisihkan} \\ &= 1,42 \times 0,06 \text{ gVSS/gCOD} \times 60,33 \text{ kg/hari} \\ &= 5,14 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Massa COD}_{\text{TSS}} = \text{Massa COD}_{\text{VSS}} / 0,85$$

$$= 5,14 \text{ kg/hari} / 0,85$$

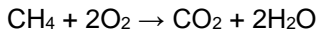
$$= 6,05 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa COD metana} = \text{Massa COD tersisihkan} - \text{Massa COD}_{\text{vss}}$$

$$= 60,33 \text{ kg/hari} - 6,05 \text{ kg/hari}$$

$$= 55,2 \text{ kg/hari}$$

COD metana adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi metana menjadi karbon dioksida dan air.



Dari persamaan di atas, COD per mol metana adalah

$$= 2 \times (32 \text{ gO}_2/\text{mol})$$

$$= 64 \text{ gO}_2/\text{mol.}$$

$$\text{Suhu (T)} = 30^\circ\text{C} = 303,15^\circ\text{K}$$

$$\text{Konstanta gas (R)} = 0,082057 \text{ atm.L/mol.K}$$

$$\text{Mol gas (n)} = 1 \text{ mol}$$

$$\text{Tekanan gas (P)} = 1 \text{ atm}$$

$$\text{Volume gas (V}_{\text{gas}}) = n \times R \times T / P$$

$$= 1 \times 0,082057 \times 303,15 / 1$$

$$= 24,876 \text{ L/mol}$$

Produksi  $\text{CH}_4$  (biogas)

$$= (\text{V}_{\text{gas}} / 64 \text{ gCOD/molCH}_4) \times \text{COD metana}$$

$$= (24,876 \text{ L/mol} / 64 \text{ gCOD/molCH}_4) \times 55,2 \text{ kg/hari}$$

$$= 21,45 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Gas yang dihasilkan dibuang melalui pipa *vent*.

#### ➤ **Produksi Lumpur ABR**

$$\text{Lumpur TSS} = \text{Massa TSS tersisihkan}$$

$$= 18,85 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa COD}_{\text{TSS}} = 6,05 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Total lumpur} = \text{Lumpur TSS} + \text{Massa COD}_{\text{TSS}}$$

$$= 18,85 \text{ kg/hari} + 6,05 \text{ kg/hari}$$

$$= 24,9 \text{ kg/hari}$$

#### ➤ **Produksi Lumpur selama 2 tahun (SNI)**

$$\text{Massa lumpur dihasilkan} = \text{Total Lumpur} \times \text{durasi pengurasan}$$

$$= 24,9 \text{ kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari}$$

$$= 18.180,2 \text{ kg} / 2 \text{ tahun}$$

Berdasarkan durasi pengurasan 2 tahun atau 24 bulan, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen reduksi volume lumpur di bak pengendapan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 &= \text{HRT} < 36 \text{ bulan} \\
 &= 1 - \text{HRT} \times 0,014 \\
 &= 1 - 24 \times 0,014 \\
 &= 0,664 \times 100\% \\
 &= 66,4\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= 66,4\% \times \text{produksi lumpur} \\
 &= 66,4\% \times 18.180,2 \text{ kg/2 tahun} \\
 &= 12.071,6 \text{ kg/2 tahun}
 \end{aligned}$$

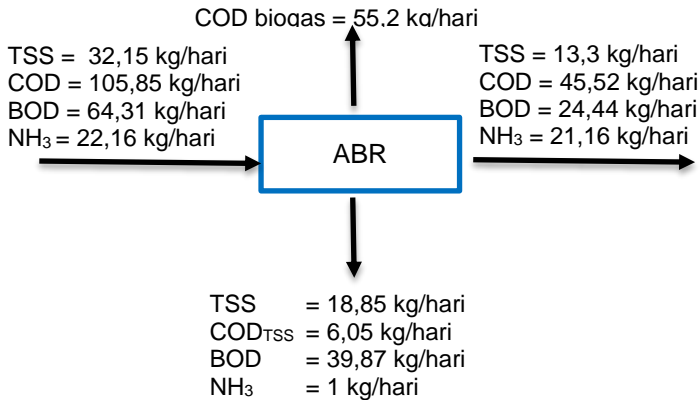
➤ **Densitas Lumpur**

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi lumpur} &= 5\% ; \\
 \text{Densitas lumpur} &= 2,65 \text{ kg/L} ; \\
 \text{Konsentrasi air} &= 95\% \\
 \text{Densitas air} &= 1 \text{ kg/L} \\
 \text{densitas lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho_{\text{lumpur}}) + (95\% \times \rho_{\text{air}})}{100\%} \\
 &= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100} \\
 &= 1,0825 \text{ kg/L}
 \end{aligned}$$

➤ **Volume Lumpur pada ABR**

Waktu stabilisasi lumpur = 2 tahun (SNI)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume lumpur} &= \text{stabilisasi lumpur 2 tahun} / \rho_{\text{Lumpur}} \\
 &= \frac{12.071,6 \text{ kg}}{1,0825 \text{ kg/L}} \\
 &= 11.151,6 \text{ L} \\
 &= 11,15 \text{ m}^3 \\
 t_{\text{lumpur}} &= \text{Volume lumpur} / A_{\text{surface total}} \\
 &= 11,15 \text{ m}^3 / 80 \text{ m}^2 \\
 &= 0,14 \text{ m}
 \end{aligned}$$



#### 4.4.5 Aerobic Biofilter Cluster 1

Bak biofilter akan dilengkapi dengan media biofilter berupa media sarang tawon dan aerator untuk proses aerasi. *Aerobic biofilter* menjadi pengolahan lanjutan dari ABR. ABR yang direncanakan pada *cluster 1* terdiri dari 6 ABR dengan ukuran yang sama yang disusun secara paralel. Sehingga untuk perhitungan *aerobic biofilter*, debit pengolahan juga akan dibagi 6 sama seperti pada ABR.

Q <sub>influen</sub> per unit	= 443,3 m <sup>3</sup> /hari = 443.267 L/hari
BOD influen	= 55,13 mg/L
COD influen	= 102,68 mg/L
TSS influen	= 30 mg/L ( <b>memenuhi baku mutu</b> )
NH <sub>3</sub> influen	= 47,73 mg/L

##### ➤ Dimensi Aerobic Biofilter (AF)

Volume ABR	= 35,2 m <sup>3</sup>
Void	= 40%
Volume AF 1 kompartemen	= volume ABR + (volume ABR 60%)
	= (1+0,6) x 35,2 m <sup>3</sup>
	= 56,32 m <sup>3</sup>
Lebar AF	= lebar ABR = 8 m
Kedalaman AF	= kedalaman ABR = 2,2 m

$$\begin{aligned}
\text{Panjang 1 AF} &= \text{volume AF 1 kompartemen} / (\text{lebar} \times \text{kedalaman}) \\
&= 56,32 \text{ m}^3 / (8 \text{ m} \times 2,2 \text{ m}) \\
&= 3,2 \text{ m} \\
\text{Ketinggian media} &= \text{volume ABR} / (\text{lebar AF} \times \text{panjang AF}) \\
&= 35,2 \text{ m}^3 / (8 \text{ m} \times 3,2 \text{ m}) \\
&= 1,4 \text{ m} \\
\text{HRT AF 1 kompartemen} &= \text{HRT ABR 1 kompartemen} \\
&= 1,92 \text{ jam} \\
\text{COD efluen} &= 50 \text{ mg/L (sesuai baku mutu)} \\
\text{COD tersisihkan} &= \text{COD influen} - \text{COD efluen} \\
&= 102,68 - 50 = 52,7 \text{ mg/L} \\
\text{COD removal} &= (\text{COD tersisihkan} / \text{COD influen}) \times 100\% \\
&= (52,7 \text{ mg/L} / 102,68 \text{ mg/L}) \times 100\% \\
&= 51,3 \%
\end{aligned}$$

Berdasarkan COD removal, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh nilai HRT sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{HRT} &= < 12 \text{ jam} \\
\text{Faktor COD removal} &= \text{HRT} \times 0,16/12 + 0,44 \\
0,513 &= \text{HRT} \times 0,16/12 + 0,44 \\
\text{HRT} &= (0,513 - 0,44) \times 12/0,16 \\
&= 5,5 \text{ jam} \\
\text{Jumlah kompartemen} &= \text{HRT total} / \text{HRT 1 AF} \\
&= 5,5 \text{ jam} / 1,92 \text{ jam} \\
&= 2,86 \sim 3 \text{ kompartemen} \\
\text{Cek HRT} &= \text{HRT 1 kompartemen} \times \text{jumlah kompartemen} \\
&= 1,92 \text{ jam} \times 3 \\
&= 6 \text{ jam} \\
\text{Organic loading} &= 24,44 \text{ kg BOD/hari} \\
\text{Volume media} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{ketinggian media} \\
&= 3,2 \text{ m} \times 8 \text{ m} \times 1,4 \text{ m} \\
&= 35,84 \text{ m}^3 \\
\text{Cek OLR} &= \text{Organic loading} / \text{volume media}
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&= (24,44 \text{ kg BOD/hari}) / 35,84 \text{ m}^3 \\
&= 0,7 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} (< 3 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari}) \\
\text{Cek Vup} &= Q_{\text{average}} / A_{\text{surface}} \cdot 1 \text{ ABR} \\
&= (443,3 \text{ m}^3/\text{hari}) / (16 \text{ m}^2) \\
&= 27,7 \text{ m/hari} \\
&= 1,2 \text{ m/jam (kriteria desain } < 2 \text{ m/jam)}
\end{aligned}$$

### Dimensi Biofilter:

$$\begin{aligned}
\text{Panjang bak 1 biofilter} &= 3,2 \text{ m} \\
\text{Panjang bak total} &= 3,2 \text{ m} \times 3 \text{ bak} = 9,6 \text{ m} \\
\text{Lebar bak} &= 8 \text{ m} \\
\text{Panjang media 1 biofilter} &= 3,2 \text{ m} \\
\text{Lebar media} &= 8 \text{ m} \\
\text{Tinggi media} &= 1,4 \text{ m} \\
\text{Tebal plat penyangga} &= 0,05 \text{ m} \\
\text{Jarak di bawah media} &= 0,55 \text{ m} \\
\text{Tinggi air di atas media} &= 2,2 - 1,2 - 0,05 - 0,55 = 0,2 \text{ m} \\
\text{Freeboard} &= 0,3 \text{ m} \\
\text{Tinggi total} &= 2,2 + 0,3 \text{ m} = 2,5 \text{ m}
\end{aligned}$$

### ➤ Perhitungan Efisiensi Removal *Aerobic Biofilter*

Berdasarkan HRT, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal COD sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{HRT} &= < 12 \text{ jam} \\
\text{Faktor COD removal} &= \text{HRT} \times 0,16/12 + 0,44 \\
&= 6 \times 0,16/12 + 0,44 \\
&= 0,52 \\
\text{COD removal} &= \text{Faktor} \times 100\% \\
&= 0,52 \times 100\% = 52\% \\
[\text{COD efluen}] &= (100\% - \text{COD removal}) \times \text{COD influen} \\
&= (100\% - 52\%) \times 102,68 \text{ mg/L} \\
&= 49,29 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu)} \\
[\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD influen}] - [\text{COD efluen}] \\
&= 102,68 \text{ mg/L} - 49,29 \text{ mg/L} = 53,4 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

Berdasarkan COD removal, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal BOD sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{COD removal} &= < 0,75 \\ \text{Faktor BOD removal} &= (\text{COD removal}-0,5) \times 0,065/0,25 + 1,06 \\ &= (0,52-0,5) \times 0,065/0,25 + 1,06 \\ &= 1,065 \\ \text{BOD removal} &= 1,065 \times 52\% = 55\% \\ \text{[BOD efluen]} &= (100\%-\text{BOD removal}) \times \text{BOD influen} \\ &= (100\%-55\%) \times 55,13 \text{ mg/L} \\ &= 24,31 \text{ mg/L (**memenuhi baku mutu**)} \\ \text{[BOD tersisihkan]} &= [\text{BOD influen}]-[\text{BOD efluen}] \\ &= 55,13 \text{ mg/L} - 24,31 \text{ mg/L} = 30,32 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Menurut Said (2012), efisiensi removal TSS pada *aerobic biofilter* mencapai 95%. Maka pada perencanaan ini digunakan removal TSS sebesar 95%.

$$\begin{aligned} \text{[TSS efluen]} &= (100\%-\text{TSS removal}) \times \text{TSS influen} \\ &= (100\%-95\%) \times 30 \text{ mg/L} \\ &= 1,5 \text{ mg/L (**memenuhi baku mutu**)} \\ \text{[TSS tersisihkan]} &= [\text{TSS influen}]-[\text{TSS efluen}] \\ &= 30 \text{ mg/L} - 1,5 \text{ mg/L} = 28,5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Pada proses biologis, mikroba ataupun bakteri membutuhkan nutrisi untuk menunjang pertumbuhan bakteri. Menurut Winkler (2013), rasio BOD:N:P pada proses aerobik adalah 100:10:1. Pada perencanaan ini parameter yang digunakan adalah N dalam bentuk amoniak. Berikut adalah perhitungan kebutuhan N oleh mikroba di *aerobic biofilter*.

$$\begin{aligned} \text{Rasio BOD:N} &= 100:10 \\ \text{[BOD tersisihkan]} &= 30,32 \text{ mg/L} \\ \text{[Kebutuhan N]} &= (10/100) \times [\text{BOD tersisihkan}] \\ &= (10/100) \times 30,32 \text{ mg/L} \\ &= 3,03 \text{ mg/L} \\ \text{[Kelebihan NH}_3\text{]} &= [\text{NH}_3 \text{ influen}]-[\text{Kebutuhan N}] \\ &= 47,73 - 3,03 = 44,7 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{NH}_3 \text{ efluen}] &= 10 \text{ mg/L (sesuai baku mutu)} \\
 [\text{NH}_3 \text{ tersisihkan}] &= [\text{NH}_3 \text{ influen}] - [\text{NH}_3 \text{ efluen}] \\
 &= 47,73 \text{ mg/L} - 10 \text{ mg/L} = 37,73 \text{ mg/L} \\
 \text{NH}_3 \text{ removal} &= (\text{NH}_3 \text{ tersisihkan} / \text{NH}_3 \text{ influen}) \times 100\% \\
 &= (37,73 \text{ mg/L} / 47,73 \text{ mg/L}) \times 100\% \\
 &= 79\%
 \end{aligned}$$

➤ **Mass Balance Aerobic Biofilter**

**Tabel 4.33 Efisiensi Aerobic Biofilter Cluster 1**

Parameter	Nilai Influen (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Nilai Efluen (mg/L)
TSS	30	95%	1,5
BOD	55,13	55%	24,31
COD	102,68	52%	49,29
NH <sub>3</sub>	47,73	79%	10

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TSS influen} &= (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{30 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 13,3 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD influen} &= (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{102,68 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 45,52 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa BOD influen} &= (\text{BOD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{55,13 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 24,44 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa NH}_3 \text{ influen} &= (\text{NH}_3 \text{ influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{47,73 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 21,16 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa TSS effluen} &= (\text{TSS effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{1,5 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,66 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD effluen} &= (\text{COD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{49,29 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 21,85 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa BOD effluen} &= (\text{BOD effluen} \times Q_{\text{average}})
 \end{aligned}$$

$$= \frac{24,31 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 10,78 \text{ kg/hari}$$

Massa Kebutuhan NH<sub>3</sub> = (Kebutuhan NH<sub>3</sub> x Q)

$$= \frac{3,03 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 1,34 \text{ kg/hari}$$

Massa NH<sub>3</sub> effluen = (NH<sub>3</sub> effluen x Q<sub>average</sub>)

$$= \frac{10 \text{ mg/L} \times 443.267 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 4,43 \text{ kg/hari}$$

Massa TSS tersisihkan = TSS influen – TSS effluen

$$= 13,3 - 0,66 = 12,63 \text{ kg/hari}$$

Massa COD tersisihkan = COD influen – COD effluen

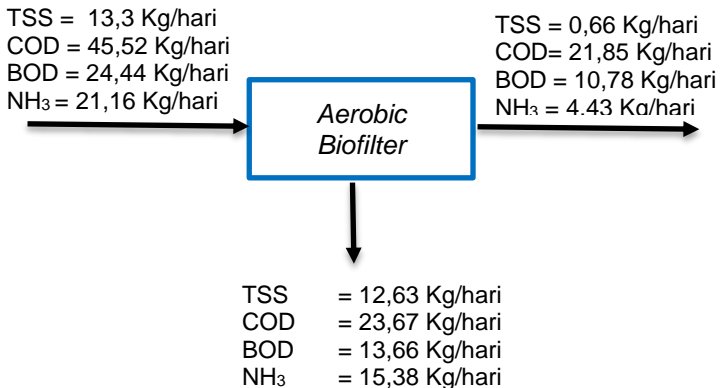
$$= 45,52 - 21,85 = 23,67 \text{ kg/hari}$$

Massa BOD tersisihkan = BOD influen – BOD effluen

$$= 24,44 - 10,78 = 13,66 \text{ kg/hari}$$

Massa NH<sub>3</sub> tersisihkan = NH<sub>3</sub> influen – NH<sub>3</sub> effluen

$$= 21,16 - 4,43 = 15,38 \text{ kg/hari}$$



### ➤ Lumpur yang Dihasilkan

Ditentukan koefisien aerobik yang dibutuhkan yang diperoleh dari Metcalf and Eddy (2003) :

T (suhu) = 25°C

Synthesis yield (Y) = 0,45 g VSS/ g bCOD

Endogenous decay (b) = 0,15 g VSS/ g VSS.hari

$$\begin{aligned}
\text{Nitrifier yield } (Y_n) &= 0,15 \text{ g VSS/g NH}_4\text{-N} \\
\text{Nitrifier decay } (b_n) &= 0,2 \text{ g VSS/ g VSS.hari} \\
\text{bCOD/BOD} &= 1,6 \\
\text{BOD influen} &= 55,13 \text{ mg/L} = 0,0551 \text{ kg/m}^3 \\
\text{So} &= \text{bCOD} \\
&= 1,6 \times \text{BOD} \\
&= 1,6 \times 55,13 \text{ mg/L} \\
&= 88,21 \text{ mg/L} = 0,0882 \text{ kg/m}^3 \\
\text{nbCOD} &= \text{COD influen} - \text{bCOD} \\
&= 102,68 \text{ mg/L} - 88,21 \text{ mg/L} \\
&= 14,48 \text{ mg/L} = 0,0145 \text{ kg/m}^3 \\
\text{Se} &= \text{COD efluen} - \text{nbCOD} \\
&= 49,29 \text{ mg/L} - 14,48 \text{ mg/L} \\
&= 34,81 \text{ mg/L} = 0,0348 \text{ kg/m}^3 \\
\text{TKN} &= \text{Kelebihan NH}_3 = 44,7 \text{ mg/L} \\
&= 0,0447 \text{ kg/m}^3 \\
\text{Ne} &= \text{efluen NH}_3 = 10 \text{ mg/L} = 0,01 \text{ kg/m}^3 \\
\text{SRT} &= 5 \text{ hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Px}_{\text{vss}} &= \frac{Q \cdot Y_n \cdot (S_o - S_e)}{1 + (b \times \text{SRT})} + \frac{Q \cdot Y_n \cdot (\text{NOx})}{1 + (b_n \times \text{SRT})} \\
&= \frac{443,3 \times 0,45 \times (0,0882 - 0,0348)}{1 + (0,15 \times 5)} + \frac{443,3 \times 0,15 \times (0,0447 - 0,01)}{1 + (0,2 \times 5)}
\end{aligned}$$

$$= 6,09 \text{ kg/hari} + 1,15 \text{ kg/hari}$$

$$= 7,24 \text{ kg/hari}$$

Dicari nilai NOx:

$$\begin{aligned}
\text{NOx} &= \text{TKN} - \text{Ne} - (0,12 \text{ Px}_{\text{vss}} / Q) \\
&= (0,0447 - 0,01) - [(0,12 \times 7,24) / 443,3] \\
&= 0,03274 \text{ kg/m}^3 = 32,74 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

Setelah ditemukan nilai NOx, dimasukkan ke rumus  $\text{Px}_{\text{vss}}$  kembali.

$$\begin{aligned}
\text{Px}_{\text{vss}} &= \frac{Q \cdot Y_n \cdot (S_o - S_e)}{1 + (b \times \text{SRT})} + \frac{Q \cdot Y_n \cdot (\text{NOx})}{1 + (b_n \times \text{SRT})} \\
&= \frac{443,3 \times 0,45 \times (0,0882 - 0,0348)}{1 + (0,15 \times 5)} + \frac{443,3 \times 0,15 \times (0,03274)}{1 + (0,2 \times 5)}
\end{aligned}$$

$$= 6,09 \text{ kg/hari} + 1,09 \text{ kg/hari}$$

$$= 7,17 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Lumpur (Px}_{TSS}) &= P x_{VSS} / 0,85 \\ &= 7,17 \text{ kg/hari} / 0,85 \\ &= 8,44 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

➤ **Densitas Lumpur**

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi lumpur} &= 5\% ; \\ \text{Densitas lumpur} &= 2,65 \text{ kg/L} ; \\ \text{Konsentrasi air} &= 95\% \\ \text{Densitas air} &= 1 \text{ kg/L} \\ \text{densitas lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%} \\ &= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100} \\ &= 1,0825 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

➤ **Volume Lumpur pada *Aerobic Biofilter***

$$\begin{aligned} \text{Volume lumpur} &= \text{Massa lumpur} / \rho \text{ Lumpur} \\ &= \frac{8,44 \text{ kg/hari}}{1,0825 \text{ kg/L}} \\ &= 7,8 \text{ L/hari} \\ &= 0,01 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

➤ **Perhitungan Kebutuhan Oksigen**

$$\begin{aligned} R_o &= Q(S_o - S_e) - 1,42 P x_{VSS} + 4,33 Q \cdot \text{NO}_x \\ &= 443,3 \times (0,0882 - 0,0348) - 1,42 \times (7,17) \\ &\quad + (4,33 \times 443,3 \times 0,03274) \\ &= 76,2 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Massa jenis O}_2 = 1,1725 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{O}_2 \text{ dalam udara kering} = 23,2\%$$

$$\text{Asumsi efisiensi } diffuser = 25\%$$

(25%-35%, untuk *diffuser* tipe *discs*, Metcalf and Eddy, 2003)

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara teoritis} &= R_o / (\text{massa jenis O}_2 \times 23,2\%) \\ &= 76,62 / (1,1725 \times 23,2\%) \\ &= 280,2 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara aktual} &= \text{kebutuhan udara teoritis} / \text{O}_2 \\ &\quad \text{terlarut} \\ &= (280,2 \text{ m}^3/\text{hari}) / 25\% \end{aligned}$$

$$= 1.121 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 0,8 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$= 778 \text{ L}/\text{menit}$$

Aerator yang digunakan adalah *Disk Diffusers* dari Blowtac tipe Disc-325 dengan debit maksimal 250 L/menit. *Aerobic Biofilter* terdiri atas 3 bak, dan tiap bak diisi 1 *diffusers*.

#### 4.4.6 Desinfeksi *Cluster 1*

Unit desinfeksi bertujuan untuk membunuh bakteri-bakteri yang ada pada air limbah terutama bakteri *phatogen* sehingga aman dibuang ke badan air. Unit desinfeksi menggunakan kaporit dan pengaduk lambat berupa *baffled channel*. Dengan menggunakan *baffled channel* diharapkan kontak antara air limbah dengan larutan kaporit lebih maksimal. Berikut adalah perhitungannya.

$$\text{Total coliform influen (No)} = 17 \times 10^8 \text{ MPN}/100 \text{ mL}$$

$$\text{Baku mutu (N)} = 3000 \text{ MPN}/100 \text{ mL}$$

Berdasarkan Metcalf and Eddy (2003), diperoleh nilai sebagai berikut.

$$\text{Waktu kontak (T)} = 10 \text{ menit}$$

$$\text{Koefisien slope of Inactivation Curve (n)} = 2,8$$

$$\text{Koefisien Value of X-intercept (b)} = 4$$

Kebutuhan *chlorine* (C) adalah:

$$N/\text{No} = (C \times T / b)^{-n}$$

$$(3000)/(17 \times 10^8) = (C \times 10 / 4)^{-2,8}$$

$$(C \times 10 / 4) = 113,44$$

$$C = (113,44 \times 4) / 10$$

$$C = 45,38 \text{ mg}/\text{L}$$

$$\text{Sisa klor direncanakan} = 1 \text{ mg}/\text{L}$$

$$\text{Dosis klor dibutuhkan} = 45,38 + 1 = 46,38 \text{ mg}/\text{L}$$

$$\text{Kadar klor dalam kaporit} = 60\%$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan kaporit} &= (Q_{\text{average}} \times \text{dosis klor}) \times \text{kemurnian} \\ &= 2.659.600 \text{ L}/\text{hari} \times 46,38 \text{ mg}/\text{L} \times \\ &\quad (100\%/60\%) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 205.566.414,5 \text{ mg/hari} \\
&= 205,6 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa jenis kaporit} &= 0,86 \text{ kg/L} \\
\text{Debit kaporit} &= \text{Kebutuhan kaporit/massa jenis kaporit} \\
&= (205,6 \text{ kg/hari}) / (0,86 \text{ kg/L}) \\
&= 239 \text{ L/hari} \\
&= 0,24 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\text{Konsentrasi larutan kaporit yang akan dibuat} &= 10\% \\
&= 0,1 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

Debit pelarut yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned}
&= [(100\% - \text{konsentrasi larutan}) / \text{konsentrasi larutan}] \times \text{debit kaporit} \\
&= [(100\% - 10\%) / 10\%] \times 239 \text{ L/hari} \\
&= 2.151,3 \text{ L/hari} = 2,15 \text{ m}^3/\text{hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Debit larutan kaporit} &= \text{debit kaporit} + \text{debit pelarut} \\
&= 0,24 \text{ m}^3/\text{hari} + 2,15 \text{ m}^3/\text{hari} \\
&= 2,39 \text{ m}^3/\text{hari}
\end{aligned}$$

Pelarutan kaporit dilakukan selama 24 jam sekali atau sehari 1 kali. Sehingga diperoleh dimensi bak pelarut sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{Volume} &= 2,39 \text{ m}^3 \\
\text{H rencana} &= 1 \text{ m} \\
\text{Freeboard} &= 0,3 \text{ m} \\
\text{(P:L)} &= (1:1) \\
A_{\text{surface}} &= \text{volume} / \text{H rencana} \\
&= 2,39 \text{ m}^3 / 1 \text{ m} \\
&= 2,39 \text{ m}^2 \\
\text{Lebar} &= (A_{\text{surface}})^{1/2} \\
&= (2,39 \text{ m}^2)^{1/2} \\
&= 1,55 \text{ m} \sim 1,6 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panjang} &= 1,6 \text{ m} \\
\text{Dimensi bak pelarut :} \\
\text{Panjang} &= 1,6 \text{ m} \\
\text{Lebar} &= 1,6 \text{ m} \\
\text{Kedalaman (H)} &= 1 \text{ m} \\
\text{Freeboard} &= 0,3 \text{ m}
\end{aligned}$$



Setelah diperoleh dimensi bak pelarut, maka dilakukan perhitungan dimensi *baffled channel* yang dibutuhkan yaitu sebagai berikut.

Direncanakan:

Suhu = 25° C  
 Viskositas kinematis = 8,975 x 10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s  
 Kecepatan gravitasi = 9,8 m/s<sup>2</sup>  
 Waktu kontak (td) = 10 menit = 600 detik  
 Gradien kecepatan (G) = 40 detik<sup>-1</sup>

$$\begin{aligned} \text{Headloss total} &= \frac{G^2 \times v \times td}{g} \\ &= \frac{40^2 \times 8,975 \times 10^{-7} \times 600}{9,8} \\ &= 0,088 \text{ m} \end{aligned}$$

Pada perhitungan ini digunakan belokan dengan tipe elbow long radius 90° threaded, sehingga k = 0,7

Kecepatan aliran = 0,3 m/s

$$\begin{aligned} \text{Headloss belokan} &= \frac{k \times v^2}{2 g} \\ &= \frac{0,7 \times 0,3^2}{2 \times 9,8} \\ &= 0,003 \text{ m} \end{aligned}$$

Jumlah belokan = headloss total / headloss belokan  
 = 0,066 m / 0,003 m  
 = 20,5 belokan ~ 21 belokan

Jumlah belokan dibutuhkan = jumlah belokan / 2  
 = 21 / 2 = 10,5 belokan ~ 11 belokan

$$\begin{aligned} \text{Headloss lurus} &= 1 \times \frac{v^2}{2 \times g} \\ &= 1 \times \frac{0,3^2}{2 \times 9,8} \\ &= 0,0046 \text{ m} \end{aligned}$$

Headloss total per sekat = (2xheadloss belokan) + headloss lurus  
 = (2x0,003) + 0,0046  
 = 0,011 m

Jumlah sekat dibutuhkan = headloss total / headloss total per sekat

$$\begin{aligned}
&= 0,088 / 0,011 \\
&= 7,98 \text{ buah} \sim 8 \text{ buah} \\
\text{Debit } \textit{baffled channel} &= 0,031 \text{ m}^3/\text{detik} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,3 \text{ m/s} \\
\text{Luas saluran (A)} &= Q/v \\
&= (0,031 \text{ m}^3/\text{detik}) / 0,3 \text{ m/s} \\
&= 0,10 \text{ m}^2 \\
\text{L:H} &= 2:1 \text{ (penampang ekonomis)} \\
\text{H} &= (\text{Luas saluran}/2)^{0,5} \\
&= (0,10 \text{ m}^2/2)^{0,5} \\
&= 0,227 \sim 0,25 \text{ m} \\
\text{L (jarak antar sekat)} &= 2 \times \text{H} \\
&= 2 \times 0,25 \text{ m} \\
&= 0,5 \text{ m} \\
\text{Panjang lintasan} &= (v \times t_d) / (\text{jumlah sekat} + 1) \\
&= (0,3 \text{ m/detik} \times 600 \text{ detik}) / (8+1) \\
&= 20 \text{ m} \\
\text{Jarak ujung sekat ke dinding} &= \text{jarak antar sekat} \\
&= 0,5 \text{ m}
\end{aligned}$$

Dimensi *baffled channel*:

$$\begin{aligned}
\text{Panjang lintasan} &= 20 \text{ m} \\
\text{Kedalaman (H)} &= 0,25 \text{ m} \\
\textit{Freeboard} &= 0,3 \text{ m} \\
\text{Jumlah sekat} &= 8 \text{ sekat} \\
\text{Jarak antar sekat} &= 0,5 \text{ m} \\
\text{Jarak ujung sekat ke dinding} &= 0,5 \text{ m}
\end{aligned}$$

#### 4.4.7 Profil Hidrolis IPAL *Cluster* 1

Profil hidrolis menggambarkan perbedaan muka air dari inlet hingga outlet IPAL. Penurunan muka air disebabkan oleh beberapa hal, antara lain jatuhnya, belokan, kecepatan aliran, dan media filter.

Aliran air mengalami belokan dan jatuhan saat menuju unit selanjutnya. Perhitungan kehilangan tekanan akibat jatuhan dan belokan didasarkan pada **persamaan Manning**, yaitu:

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

Dimana:

v : kecepatan aliran (m/s)

n : koefisien kekasaran

R : jari-jari hidrolis (m)

L : panjang jatuhan atau belokan (m)

Kehilangan tekanan akibat gesekan aliran pada unit-unit IPAL ditentukan berdasarkan **persamaan Darcy-Weisbach**, yaitu:

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

$$f = 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R)$$

Dimana:

L : panjang bangunan (m)

R : jari-jari hidrolis (m)

v : kecepatan aliran (m/s)

g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

Sedangkan kehilangan tekanan dalam media filter sarang tawon ditentukan berdasarkan **persamaan Rose** sebagai berikut:

$$H_f = 1,067 \times \frac{C_D \times L \times v^2}{\Psi \times d \times e^4 \times g}$$

$$N_{Re} = \frac{\Psi \rho d v}{\mu}$$

$$\text{Untuk } N_{Re} < 1 \quad : C_D = \frac{24}{N_{Re}}$$

$$\text{Untuk } 1 < N_{Re} < 10^4 \quad : C_D = \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0,34$$

$$\text{Untuk } N_{Re} > 10^4 \quad : C_D = 0,4$$

Dimana:

L : kedalaman filter (m)

e : porositas media

v : kecepatan filtrasi (m/s)

- g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- d : ukuran rongga media (m)
- ψ : faktor bentuk
- μ : viskositas dinamis (kg/m.s)
- ρ : massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

Pada *baffled channel* headloss total yang terjadi pada bak adalah sebagai berikut.

$$\frac{\mu \cdot t}{\rho \cdot g} \times G^2$$

Dimana:

- G : gradien kecepatan (detik<sup>-1</sup>)
- t : waktu kontak (detik)
- g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- μ : viskositas dinamis (kg/m.s)
- ρ : massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

## 1. Sumur Pengumpul

Headloss yang terjadi pada pompa:

Direncanakan :

- v asumsi = 1 m/detik
- Q<sub>ave</sub> = 0,031 m<sup>3</sup>/detik = 2.659,6 m<sup>3</sup>/hari
- L<sub>discharge</sub> = 7,7 m
- Head Statik (H<sub>s</sub>) = 5,17 m
- Koefisien kekasaran ( C ) = 130
- Diameter pipa *discharge* pompa = 150 mm = 0,15 m

Perhitungan:

$$\begin{aligned} A \text{ pipa} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,15 \text{ m})^2 \\ &= 0,018 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$V \text{ cek} = \frac{Q}{A} = \frac{0,031}{0,018} = 1,7 \text{ m/detik}$$

Head Mayor

$$hf \text{ discharge} = \left[ \frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L$$

$$hf \text{ discharge} = \left[ \frac{30,78 \text{ L/detik}}{0,00155 (130)(15 \text{ cm})^{2,63}} \right]^{1,85} \times 7,7 \text{ m}$$

$$hf \text{ discharge} = 0,00000045 \text{ m}$$

### Head Minor

*Head minor* adalah berbagai kerugian *head* akibat katup, belokan, sambungan, dan lain-lain.

-*Head minor* akibat belokan 90°

Head minor akibat belokan 90° terjadi sebanyak sekali, nilai k pada belokan 90° yaitu 0,25. (Ningrum, 2008)

$$hf = n \left[ k \frac{v^2}{2g} \right]$$

$$hf = 1 \times \left[ 0,25 \frac{1,7^2}{2(9,81)} \right]$$

$$hf = 0,0387 \text{ m}$$

### Hf kecepatan

$$Hf \text{ kecepatan} = \frac{v^2}{2g} = \frac{1,7^2}{2 \times 9,81} = 0,155 \text{ m}$$

### Perhitungan Head Total Pompa

$$H = H_s + H_{\text{mayor}} + H_{\text{minor}} + H_f \text{ kecepatan}$$

$$H = 5,2 + 0,00000045 + 0,0387 + 0,155$$

$$H = 5,36 \text{ m}$$

## **2. Distribution Box**

### Headloss jatuhan

$$\text{Panjang (b)} = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Panjang jatuhan (L)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien kekasaran (n)} = 0,013$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = 1 \text{ m/s}$$

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

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = (b \times y) / (b + 2y)$$

$$= (1,4 \times 1) / (1,4 + (2 \times 1))$$

$$= 0,41 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
 &= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,892)^{2/3}} \right)^2 \times 1 \\
 &= 0,000552 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (L)} &= 1,4 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (y)} &= 1 \text{ m} \\
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 0,41 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
 \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
 &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,41)) \\
 &= 0,03 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,03 \times \frac{1,4}{4(0,41)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\
 &= 0,001314 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### **3. ABR**

#### **a. Kompartemen 1**

##### Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (b)} &= 7 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\
 \text{Panjang jatuhan (L)} &= 2,2 \text{ m} \\
 \text{Koefisien kekasaran (n)} &= 0,013 \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
 \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
 &= (7 \times 2,2) / (7 + (2 \times 2,2)) \\
 &= 1,36 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
 &= \left( \frac{1 \times 0,013}{(1,36)^{2/3}} \right)^2 \times 2,2 \\
 &= 0,000246 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}\text{Panjang (L)} &= 7 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 1,36 \text{ m} \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\ \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (1,36)) \\ &= 0,03 \text{ m} \\ \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,03 \times \frac{7}{4(1,36)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\ &= 0,001986 \text{ m}\end{aligned}$$

### **b. Kompartemen 2 sampai 6**

#### Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}\text{Panjang (b)} &= 2 \text{ m} \\ \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\ \text{Tinggi sekat (L)} &= 1,9 \text{ m} \\ \text{Koefisien kekasaran (n)} &= 0,013 \\ \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\ \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\ \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (2 \times 2,2) / (2 + (2 \times 2,2)) \\ &= 0,69 \text{ m} \\ \text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,69)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9 \\ &= 0,000528 \text{ m}\end{aligned}$$

#### Headloss belokan

$$\begin{aligned}\text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\ &= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,69)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9 \\ &= 0,000528 \text{ m}\end{aligned}$$

#### Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
\text{Panjang (L)} &= 2 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 0,69 \text{ m} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,69)) \\
&= 0,03 \text{ m} \\
\text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,03 \times \frac{2}{4(0,69)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\
&= 0,001115 \text{ m}
\end{aligned}$$

#### 4. ***Aerobic Biofilter*** (Kompartemen 1 sampai 3)

##### Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}
\text{Panjang (b)} &= 3,2 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\
\text{Tinggi sekat (L)} &= 1,9 \text{ m} \\
\text{Koefisien kekasaran (n)} &= 0,013 \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
\text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (3,2 \times 2,2) / (3,2 + (2 \times 2,2)) \\
&= 0,93 \text{ m} \\
\text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
&= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,93)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9 \\
&= 0,000356 \text{ m}
\end{aligned}$$

##### Headloss belokan

$$\begin{aligned}
\text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
&= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,93)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9 \\
&= 0,000356 \text{ m}
\end{aligned}$$

##### Headloss kecepatan

$$\text{Panjang (L)} = 3,2 \text{ m}$$



$$\begin{aligned}
\text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 0,93 \text{ m} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,93)) \\
&= 0,03 \text{ m} \\
\text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,03 \times \frac{3,2}{4(0,93)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\
&= 0,001324 \text{ m}
\end{aligned}$$

#### Headloss media filter

$$\begin{aligned}
\text{Kedalaman media (L)} &= 1,4 \text{ m} \\
\text{Ukuran rongga (d)} &= 0,02 \text{ m} \\
\text{Faktor bentuk media (\psi)} &= 0,78 \\
\text{Porositas media (e)} &= 0,98 \\
\text{Viskositas kinematis (\mu)} &= 8,7 \times 10^{-7} \text{ kg/m.s} \\
\text{Massa jenis (\rho)} &= 0,997 \text{ kg/m}^3 \\
\text{Kecepatan filtrasi (v)} &= V_{up} \\
&= 0,00032 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
N_{Re} &= \frac{\Psi \rho d v}{\mu} \\
&= \frac{0,78 \times 0,997 \times 0,02 \times 0,00032}{0,00000087} \\
&= 5,73
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_D &= \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0,34 \\
&= \frac{24}{5,73} + \frac{3}{\sqrt{5,73}} + 0,34 \\
&= 5,78
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Headloss (Hf)} &= 1,067 \times \frac{C_D \times L \times v^2}{\Psi \times d \times e^4 \times g} \\
&= 1,067 \times \frac{5,78 \times 1,4 \times (0,00032)^2}{0,78 \times 0,02 \times (0,98)^4 \times 9,8} \\
&= 0,000006295 \text{ m}
\end{aligned}$$

## **5. Baffled Channel**

### Headloss total

$$\begin{aligned}
 \text{Gradien kecepatan (G)} &= 40 \text{ detik}^{-1} \\
 \text{Waktu kontak} &= 600 \text{ detik} \\
 \text{Percepatan gravitasi} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 \text{Viskositas kinematis} &= 8,975 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik} \\
 \text{Headloss (Hf)} &= \frac{G^2 \times v \times t d}{g} \\
 &= \frac{40^2 \times 8,975 \times 10^{-7} \times 600}{9,8} \\
 &= 0,088 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan headloss masing-masing unit dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.34 Profil Hidrolis IPAL Cluster 1**

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss	Elevasi Muka Air (m)
<b>Elevasi Muka Tanah</b>			<b>7.00</b>
Sumur Pengumpul			<b>1.09</b>
Pompa	Hf Statis	5.2	
	Hf Mayor	0.0000004	
	Hf Minor	0.25	
	Hf Kecepatan	0.155	
	<b>Hf Total</b>	<b>5.6</b>	<b>6.665</b>
Distribution Box	Hf Jatuhan	0.000552	
	Hf Kecepatan	0.001314	
	<b>Hf total</b>	<b>0.001866</b>	<b>6.663</b>
ABR			
Kompartemen 1	Hf Jatuhan	0.000246	
	Hf Kecepatan	0.001986	
Kompartemen 2	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 3	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 4	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 5	Hf Jatuhan	0.000528	

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss	Elevasi Muka Air (m)
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 6	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
	<b>Hf Total</b>	<b>0.013085</b>	<b>6.650</b>
Aerobic Biofilter			
Kompartemen 1	Hf Jatuhan	0.000356	
	Hf Kecepatan	0.001324	
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.0000063	
Kompartemen 2	Hf Jatuhan	0.000356	
	Hf Kecepatan	0.001324	
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.0000063	
Kompartemen 3	Hf Jatuhan	0.000356	
	Hf Kecepatan	0.001324	
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.0000063	
Kompartemen 4	Hf Jatuhan	0.000356	
	Hf Kecepatan	0.001324	
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.0000063	
	<b>Hf Total</b>	<b>0.008165</b>	<b>6.642</b>
Baffled Channel	<b>Hf Total</b>	<b>0.0879</b>	<b>6.554</b>
<b>Outlet</b>			<b>6.554</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan IPAL untuk *Cluster 2* dan *3* dilakukan dengan cara yang sama dengan *Cluster 1*. Perhitungan IPAL untuk *Cluster 2* dan *3* dapat dilihat pada **Lampiran A Laporan Tugas Akhir** ini. Dibawah ini disajikan hasil rangkuman perhitungan SPAL dan IPAL pada setiap *cluster*.

**Tabel 4.35 Rangkuman Perhitungan SPAL dan IPAL**

No	Uraian	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
1	Jumlah penduduk (orang)	16230	5565	9935
2	Jumlah Kepala Keluarga (KK)	3246	1113	1987
3	Diameter pipa SPAL digunakan (mm)	110	110	110
		160	200	160
		200	250	200
		250	315	315
		315		
400				
4	Jumlah <i>manhole</i> lurus (buah)	61	78	51
5	Jumlah <i>manhole</i> belokan (buah)	20	7	13
6	Jumlah <i>manhole</i> pertigaan (buah)	16	26	14
7	Jumlah <i>manhole</i> perempatan (buah)	1	1	2
8	Jumlah <i>drop manhole</i> (buah)	3	2	2
9	Total <i>manhole</i> (buah)	101	114	82
10	Debit puncak (m <sup>3</sup> /hari)	3260.4	1558.6	2215.6
11	Debit rata-rata (m <sup>3</sup> /hari)	2659.6	1141.4	1730.2
12	Debit minimum (m <sup>3</sup> /hari)	757.2	201.1	422
13	<u>Sumur Pengumpul:</u>			
	Panjang (m)	2.7	1.9	2.3
	Lebar (m)	2.7	1.9	2.3
	Kedalaman (m)	1.5	1.5	1.5
	<i>Freeboard</i> (m)	0.3	0.3	0.3
	Pompa digunakan	Ebara Tipe 150 DL 55.5	Ebara Tipe 100 DL 53.7	Ebara Tipe 150 DL 55.5
	Jumlah pompa (buah)	2	2	2
14	<u>Distribution Box:</u>			
	Panjang (m)	1.4	0.9	1.1
	Lebar (m)	1.4	0.9	1.1
	Kedalaman (m)	1	1	1
	<i>Freeboard</i> (m)	0.3	0.3	0.3

No	Uraian	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	
15	<u>ABR dan Aerobic Biofilter (AF)</u>				
	Jumlah susunan paralel ABR+AF (unit)	6	4	5	
	<b>Ruang Pengendapan</b>				
	Panjang (m)	7.0	5.6	6.2	
	Lebar (m)	3.5	2.8	3.1	
	Kedalaman (m)	2.2	2.2	2.2	
	Freeboard (m)	0.3	0.3	0.3	
	<b>ABR</b>				
	Panjang kompartemen (m)	2	2	2	
	Jumlah kompartemen (buah)	5	5	5	
	Lebar (m)	8.0	5.2	6.3	
	Kedalaman (m)	2.2	2.2	2.2	
	Freeboard (m)	0.3	0.3	0.3	
	<b>Aerobic Biofilter (AF)</b>				
	Panjang kompartemen (m)	3.2	3.2	3.2	
	Jumlah kompartemen (buah)	3	3	3	
	Lebar (m)	8.0	5.2	6.3	
	Kedalaman (m)	2.2	2.2	2.2	
	Freeboard (m)	0.3	0.3	0.3	
	Tinggi media (m)	1.4	1.4	1.4	
	Panjang media (m)	3.2	3.2	3.2	
	Lebar media (m)	8.0	5.2	6.3	
	Kebutuhan udara (L/menit)	778	501	608	
	Diffuser digunakan	Disk Diffuser Blowtac Tipe Disc 325 250 L/menit	Disk Diffuser Blowtac Tipe Disc 245 150 L/menit	Disk Diffuser Blowtac Tipe Disc 325 250 L/menit	
	Jumlah diffuser (buah)	3	3	3	
	16	<u>Unit Desinfeksi:</u>			
		Kebutuhan kaporit (kg/hari)	205,6	88,2	133,7

No	Uraian	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
	Debit kaporit (m <sup>3</sup> /hari)	0.24	0.1	0.16
	Debit pelarut (m <sup>3</sup> /hari)	2,15	0.92	1,4
	Debit larutan kaporit (m <sup>3</sup> /hari)	2,39	1,03	1,56
	<b>Bak Pelarut</b>			
	Panjang (m)	1,6	1	1,25
	Lebar (m)	1,6	1	1,25
	Kedalaman (m)	1	1	1
	Freeboard (m)	0.3	0.3	0.3
	<b>Baffled Channel</b>			
	Panjang lintasan (m)	20	20	20
	Kedalaman (m)	0.25	0.15	0.185
	Freeboard (m)	0.3	0.3	0.3
	Jumlah sekat (buah)	8	8	8
	Jarak antar sekat (m)	0.5	0.3	0.37
	Jarak ujung baffled ke dinding bak (m)	0.5	0.3	0.37
17	<u>Lahan IPAL Dibutuhkan:</u>			
	Panjang (m)	36	32	34
	Lebar (m)	48	21	32
	Luas (m <sup>2</sup> )	1749	658	1061
	Luas (Ha)	0.17	0.07	0.11

Perhitungan aspek finansial berupa BOQ dan anggaran biaya dibutuhkan (RAB) dapat dilihat pada **Buku A4 Laporan Tugas Akhir** yang terpisah dari buku ini.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan perhitungan perencanaan SPAL dan IPAL, maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

##### 1. Perencanaan SPAL

- a. Daerah yang dilayani adalah Kelurahan Karah dan Siwalankerto yang terbagi menjadi 3 *Cluster* dengan jumlah penduduk keseluruhan 31.730 orang.
- b. Diameter pipa yang digunakan pada perencanaan ini adalah sebesar 110 mm, 160 mm, 200 mm, 250 mm, 315 mm dan 400 mm untuk *Cluster* 1. Diameter pipa 110 mm, 200 mm, 250 mm dan 315 mm digunakan untuk *Cluster* 2. Sedangkan untuk *Cluster* 3 digunakan pipa dengan diameter 110 mm, 160 mm, 200 mm, dan 315 mm.
- c. Pada perencanaan ini ada 5 jenis *manhole* yang digunakan, yaitu *manhole* lurus, belokan, pertigaan, perempatan, dan *Drop Manhole*.

##### 2. Perencanaan IPAL

- a. IPAL terdiri dari beberapa unit, yaitu sumur pengumpul, *distribution box*, *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), *Aerobic Biofilter* (AF), serta Desinfeksi.
- b. IPAL berupa ABR dan *Aerobic Biofilter* terdiri dari beberapa unit yang disusun secara paralel dengan dimensi yang sama. Jumlah unitnya pada *Cluster* 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah 6, 4, dan 5 unit.
- c. Efluen air limbah hasil pengolahan memenuhi baku mutu Pergub Jatim No 72 Tahun 2013 dan Permen LHK No 68 Tahun 2016 untuk parameter TSS, BOD, COD, Minyak dan Lemak, Amoniak, serta *Total Coliform*.

## **2. Rencana Anggaran Biaya**

- a. Total biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan SPAL dan IPAL untuk *Cluster* 1,2, dan 3 berturut-turut adalah Rp 25.900.000.000, Rp 16.590.000.000, dan Rp 17.890.000.000.
- b. Biaya investasi untuk *Cluster* 1,2, dan 3 berturut-turut adalah Rp 8.000.000.000, Rp 15.600.000, dan Rp 9.500.000. Sedangkan biaya retribusi operasi dan pemeliharaan untuk *Cluster* 1,2, dan 3 berturut-turut adalah Rp 10.000, Rp 15.000, dan Rp 12.000.

## **5.2 Saran**

Apabila akan diimplementasikan maka harus dilakukan verifikasi data kembali di lapangan. Hal ini untuk memperoleh perhitungan yang lebih akurat dan detail sehingga dapat diterapkan di wilayah Kelurahan Karah dan Siwalankerto.



## DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, M. 2016. **Perencanaan Sistem Perpipaan Air Limbah Kawasan Pemukiman Penduduk**. Jurnal Ilmiah Media *Engineering* 6,1 ISSN: 2087-9334.
- Badan Lingkungan Hidup Kota Surabaya. 2015. **Hasil Uji Laboratorium Air Limbah Domestik Rumah Susun**.
- Boyd, C.E. 1990. **Water quality in ponds for aquaculture**. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama. 482 p.
- De Santo, R.S. 1978. **Concepts of applied ecology**. Heidelberg Science Library. Springer – Verlag, New York. 310 p.
- Dewiandratika, M. 2002. **Sistem Penyaluran Air Limbah**. Jakarta: Mutiara.
- Dinas Pengelola Bangunan dan Tanah Kota Surabaya. 2018. **Data Rumah Susun di Surabaya**.
- Drainage Services Department. 2013. **Sewerage Manual (Key Planning Issues and Gravity Collection System)**. Government of The Hong Kong Special Administrative Region.
- Fair, G. M., Geyer, J. C. 1954. **Water Supply and Waste-water Disposal**. Michigan: Wiley.
- Fatnasari, H., Hermana, J. 2010. **Strategi Pengelolaan Air Limbah Permukiman di Bantaran Kali Surabaya**. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XI.
- Foxon, K.M. 2006. **The Evaluation of The Anaerobic Baffled Reactor for Sanitation in Dense Peri-urban Settlements**. Durban: Centre for Water and Wastewater Research, Durban Institute of Technology.
- Gotzenberger, J. 2010. **DEWATS Decentralized Wastewater Treatment Systems Practice-Oriented Training Manual**. Centre for Urban Water Resources.
- Gubernur Provinsi Jawa Timur. 2013. **Baku Mutu Kualitas Air Limbah Domestik Provinsi Jawa Timur Tahun 2013**.

- Haryadi, S. 2004. **BOD Dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah**. Makalah individu Pengantar Falsafah Sains (PPS 702) IPB, Bogor.
- Hidayat, T., Darmayanti, L., dan Sujatmoko, B. 2014. **Model Fisik *Subsurface Flow Constructed Wetland* untuk Pengolahan Air Limbah Musala Al-Jazari**. Ria: Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau.
- INFID. 2015. **Panduan SDGs (*Sustainable Development Goals*)**. Jakarta.
- Kemendes RI, 2011. **Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Sistem Biofilter Anaerob Aerob pada Fasilitas Pelayanan Kesehatan**. Direktorat Jenderal Bina Upaya Kesehatan.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2016. **Baku Mutu Air Limbah Domestik Tahun 2016**.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2013. **Materi Bidang Air Limbah I Diseminasi dan Sosialisasi Keteknikan Bidang PLP**.
- Khaq, F.A., dan Slamet, A. 2017. **Perencanaan Sistem Pengolahan Air Limbah Domestik di Kecamatan Sidoarjo**. Jurnal Teknik ITS 6,2 ISSN: 2337-3539.
- Mara, D. 2004. ***Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries***. London: Cronwell Press.
- Marsidi, R., dan Herlambang, A. 2002. **Proses Nitrifikasi dengan Sistem Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah yang Mengandung Amoniak Konsentrasi Tinggi**. Jurnal Teknologi Lingkungan 3,3:195-204.
- Masturah, A., Darmayanti, L., dan Lilis, Y. 2014. **Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Tanaman *Alisma Plantago* Dalam Sistem Lahan Basah Buatan Aliran Bawah Permukaan**. Pekanbaru: Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau.
- Metcalf and Eddy. 1981. ***Wastewater Engineering, Collection, and Pumping of Wastewater***. New York: McGraw-Hill Book Company.

- Metcalf and Eddy. 2003. **Wastewater Engineering, Treatment, and Resource Recovery**. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Novitrianingsih, D., dan Titah, H.S. 2016. **Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Portable untuk Kegiatan Usaha Pencucian Mobil di Kota Surabaya**. Jurnal Teknik ITS 5,2 ISSN: 2337-3539.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 2. 2015. **Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015-2019**.
- Praptiwi, R.E. 2017. **Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Limbah dan Sistem Daur Ulang Air Hotel Budget di Kota Surabaya**. Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- PU Cipta Karya. 2015. **Tata Cara Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah**.
- Said, N.I. 2000. **Teknologi Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilm Tercelup**. Jurnal Teknologi Lingkungan 1,2: 101-113.
- Said, N.I., Firly. 2005. **Uji Performance Biofilter Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media Biofilter Sarang Tawon untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam**. Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT. JAI 1, 3.
- Said, N.I. dan Ruliasih. 2005. "Tinjauan Aspek Teknis Pemilihan Media Biofilter untuk Pengolahan Air Limbah". **Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT. JAI 1, 3.**
- Sari, N.R., Sunarto, Wiryanto. 2015. **Analisis Komparasi Kualitas Air Limbah Domestik Berdasarkan Parameter Biologi, Fisika dan Kimia di IPAL Semanggi dan IPAL**

- Mojosongo Surakarta.** Universitas Sebelas Maret Surakarta. Jurnal EKOSAINS 7,2.
- Sasse, L. 2009. ***Decentralised Wastewater Treatment System (DEWATS) and Sanitation in Developing Countries.*** London: Water, Engineering and Development Centre (WEDC).
- Sawyer, C.N., McCarty, P.L., dan Parkin, G. 1994. ***Chemistry for Environmental Engineering.*** McGraw-Hill International Edition. Singapore.
- Siswanto, B.A.P., dan Purwanti, I.F. 2016. ***Perencanaan Anaerobic Baffled Reactor (ABR) Sebagai Instalasi Pengolahan Greywater di Kecamatan Rungkut Kota Surabaya.*** Jurnal Teknik ITS 5,2 ISSN: 2337-3539.
- Sato, A. 2015. ***Pengolahan Limbah Tahu Secara Anaerobik-Aerobik Kontinyu.*** Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III. ISBN 978-602-98569-1-0.
- Soewondo, P., Yulianto, A. 2008. ***The Effect of Aeration Mode on Submerged Anaerobic Biofilter Reactor for Grey Water Treatment.*** *Journal of Applied Science and Environmental Sanitatio* 3,3:169-175.
- Sugiharto, 2008. ***Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah.*** Jakarta: Universitas Indonesia Press.
- Tarigan, Teguh AS. 2017. ***Evaluasi Sarana dan Prasarana Sanitasi Rumah Susun Sederhana Sewa di Surabaya.*** Tesis Program Studi Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tilley, E. et al. 2008. ***Compendium of Sanitation Systems and Technologies.*** Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Dübendorf, Switzerland., pp.69-70 ISBN 978-3-906484-44-0.
- Tchobanoglous, G. 2014. ***Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery.*** 5<sup>th</sup> Edition. New York : McGraw-Hill Education.

- Umaly, R.C., Cuvin, M.L.A. 1988. ***Limnology: Laboratory and Field Guide, Physicochemical Factors, Biological Factors***. National Book Store, Inc. Publishers. Metro Manila. 322p.
- Utami, L.I. 2017. **Pengolahan Limbah Cair Minyak Bumi Secara Biologi Aerob Proses Batch**. Jurnal Teknik Kimia 11,2.
- Wang JL, Huang YH, Zhao X., 2004. ***Performance and Characteristics of an Anaerobic Baffled Reactor***. Bioresour.
- Wang, L.K., Pereira, N.C., Hung, Y. 2009. ***Biological Treatment Processes***. Handbook of Environmental Engineering. Humana Press.
- Widayat, W., Nusa, I.S. 2005. **Rancang Bangun Paket IPAL Rumah Sakit dengan Proses Biofilter Anaerob-aerob, Kapasitas 20-30 m<sup>3</sup> per Hari**. Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT. JAI 1, 1.

**“Halaman Sengaja Dikosongkan”**

## LAMPIRAN A

### 4.5 Perhitungan IPAL *Cluster 2*

#### 4.5.1 *Grease Trap*

Pada setiap sambungan rumah akan dipasang *grease trap* pada bak kontrol. *Grease trap* ini berfungsi untuk memisahkan air limbah dari minyak dan lemak sehingga tidak akan mengganggu proses pengolahan biologis di IPAL utama. Menurut Wongthanate, et al. (2014), *grease trap* mampu meremoval minyak dan lemak hingga 95%. Berikut adalah perhitungan konsentrasi minyak dan lemak pada air limbah.

Konsentrasi awal = 20 mg/L

Persen removal = 95%

Konsentrasi akhir =  $(100-95)\% \times 20 \text{ mg/L}$

= 1 mg/L (memenuhi baku mutu)

#### 4.5.2 Sumur Pengumpul *Cluster 2*

Sumur pengumpul diletakkan sebelum masuk IPAL. Sumur pengumpul akan menerima air limbah domestik secara langsung dari pipa *sewer*. Air limbah domestik dari sumur pengumpul akan dipompa menuju bangunan pengolahan air limbah. Selain sebagai tempat penampungan sementara air limbah, sumur pengumpul juga berfungsi untuk menstabilkan variasi debit dan konsentrasi air limbah. Hal ini dapat menghindari terjadinya *shock loading* di bangunan pengolahan.

##### a. Sumur Pengumpul

Direncanakan:

- Bak berbentuk segiempat
- Jumlah Bak =1
- Waktu Detensi/ td (<10 menit) = 5 menit = 300 detik
- Diameter pipa sewer terakhir 315 mm
- Kedalaman pipa sewer terakhir = 5,84 m
- Tinggi sumur = 1,5 m
- P:L = 1 : 1

- $Q_{\text{peak}} = 0,018 \text{ m}^3/\text{detik} = 1.558,6 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $Q_{\text{ave}} = 0,013 \text{ m}^3/\text{detik} = 1.141,4 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $Q_{\text{min}} = 0,0023 \text{ m}^3/\text{detik} = 201,1 \text{ m}^3/\text{hari}$

Perhitungan:

$$\text{Volume (V)} = Q_{\text{peak}} \times T_d = (0,018 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 5 \text{ menit} = 5,41 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{surface}} (A_s) = \frac{V}{h} = \frac{5,41}{1,5} = 3,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang} = \text{Lebar} = \sqrt{A_s} = \sqrt{3,6} = 1,9 \text{ m}$$

$$\text{Cek } T_d = \frac{V}{Q_{\text{peak}}} = \frac{5,41 \text{ m}^3}{0,018 \text{ m}^3/\text{detik}} = 300 \text{ detik} \rightarrow \text{OK}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{\text{ave}} &= Q_{\text{ave}} \times T_d / A_s \\ &= 0,013 \text{ m}^3/\text{detik} \times (60 \times 5 \text{ menit} / 3,6 \text{ m}^2) \\ &= 1,1 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{\text{min}} &= Q_{\text{min}} \times T_d / A_s \\ &= 0,0023 \text{ m}^3/\text{detik} \times (60 \times 5 \text{ menit} / 3,6 \text{ m}^2) \\ &= 0,19 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{\text{peak}} &= Q_{\text{peak}} \times T_d / A_s \\ &= 0,018 \text{ m}^3/\text{detik} \times (60 \times 5 \text{ menit} / 3,6 \text{ m}^2) \\ &= 1,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga, diperoleh dimensi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Panjang (P)} &= 1,9 \text{ m} \\ \text{Lebar (l)} &= 1,9 \text{ m} \\ \text{Kedalaman (H)} &= 1,5 \text{ m} \\ \text{Freeboard (Fb)} &= 0,3 \text{ m} \\ \text{Total H} &= 1,5 + 0,3 + 5,84 \text{ m} \\ &= 7,64 \text{ m} \end{aligned}$$

#### b. **Bar Screen**

*Bar Screen* digunakan untuk menyaring air limbah dari partikel-partikel atau sampah yang berukuran besar. *Bar Screen* diletakkan sebelum pompa pada sumur pengumpul. Hal ini untuk mencegah kemungkinan terjadinya kerusakan pada pompa akibat penyumbatan oleh sampah yang ada di dalam air limbah.

Direncanakan :

- Pembersihan *bar screen* dilakukan secara manual



- Kemiringan batang secara vertikal sebesar 65°
- Jarak antar batang sebesar 50 mm = 0,05 m
- Lebar batang sebesar 15 mm = 0,015 m

Lebar total screen = lebar sumur pengumpul = 1,9 m

Sehingga jumlah batang yang diperlukan :

$$\begin{aligned} \text{Lebar total} &= (\text{jarak antar batang} \times n) + (\text{lebar batang} \times (n-1)) \\ 1,9 \text{ m} &= (0,05 \times n) + (0,015 \times (n-1)) \\ 1,9 \text{ m} &= 0,05 n + 0,015 n - 0,015 \\ 1,885 \text{ m} &= 0,065 n \\ n &= 29 \text{ batang} \end{aligned}$$

Cek jarak antar batang:

$$\begin{aligned} 1,9 \text{ m} &= (\text{jarak antar batang} \times 29) + (0,015 \times (29-1)) \\ 1,9 \text{ m} &= (\text{jarak antar batang} \times 29) + 0,435 - 0,015 \\ 1,48 \text{ m} &= (\text{jarak antar batang} \times 29) \end{aligned}$$

Jarak antar batang = 0,051 m

### c. Pompa

Pompa berfungsi untuk mengalirkan air limbah domestik dari sumur pengumpul menuju unit IPAL. Pompa yang digunakan adalah pompa tipe submersible non clogging.

Direncanakan :

- $v$  asumsi = 1 m/detik
- $Q_{ave} = 0,013 \text{ m}^3/\text{detik}$  = 1.141,4  $\text{m}^3/\text{hari}$
- $L_{discharge}$  = 8,04 m
- Head Statik (Hs) = 5,54 m
- Koefisien kekasaran (C) = 130

Perhitungan:

$$A_{\text{pipa}} = \frac{Q_{\text{average}}}{v} = \frac{0,013}{1} = 0,013 \text{ m}^2$$

Diameter *discharge* pada pompa:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{3,14}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,013}{3,14}} = 0,130 \text{ m} = 0,15 \text{ m} / 150 \text{ mm} \text{ (D pasaran)}$$

$$A_{\text{pipa cek}} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,15^2 = 0,02 \text{ m}^2$$

Diperoleh kecepatan aliran pompa;

$$V \text{ cek} = \frac{Q}{A} = \frac{0,013}{0,02} = 0,7 \text{ m/detik}$$

Head Mayor

$$hf \text{ discharge} = \left[ \frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L$$

$$hf \text{ discharge} = \left[ \frac{13,21 \text{ L/detik}}{0,00155 (130)(15 \text{ cm})^{2,63}} \right]^{1,85} \times 8,04 \text{ m}$$

$$hf \text{ discharge} = 0,035 \text{ m}$$

Head Minor

*Head minor* adalah berbagai kerugian *head* akibat katup, belokan, sambungan, dan lain-lain.

-*Head minor* akibat belokan 90°

Head minor akibat belokan 90° terjadi sebanyak sekali, nilai *k* pada belokan 90° yaitu 0,25. (Ningrum, 2008)

$$hf = n \left[ k \frac{v^2}{2g} \right]$$

$$hf = 1 \times \left[ 0,25 \frac{0,7^2}{2(9,81)} \right]$$

$$hf = 0,00624 \text{ m}$$

Hf kecepatan

$$Hf \text{ kecepatan} = \frac{v^2}{2g} = \frac{0,7^2}{2 \times 9,81} = 0,025 \text{ m}$$

Perhitungan Head Total Pompa

$$H = H_s + H_{\text{mayor}} + H_{\text{minor}} + H_f \text{ kecepatan}$$

$$H = 5,54 + 0,035 + 0,00624 + 0,025$$

$$H = 5,61 \text{ m}$$

Perhitungan daya pompa

Perhitungan daya pompa menggunakan rumus:

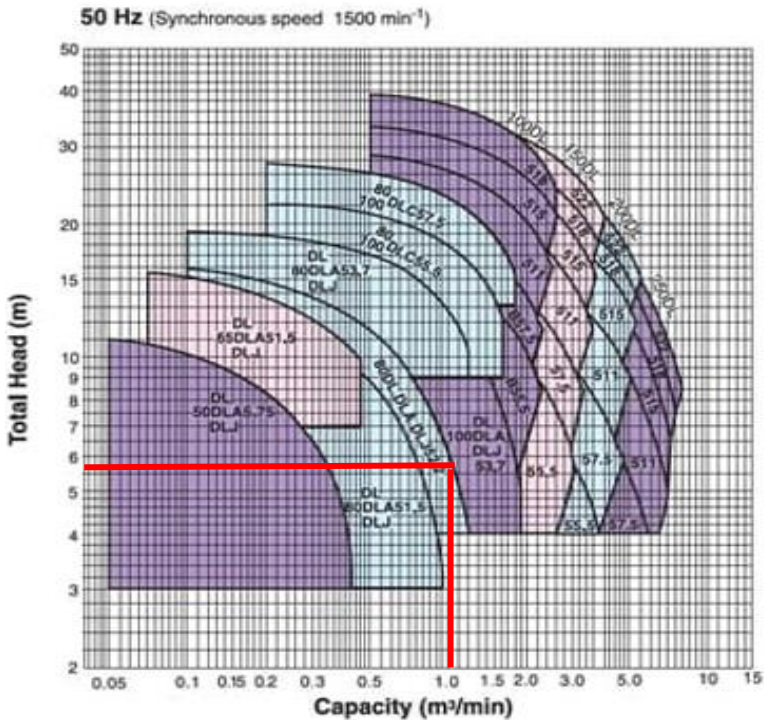
$$\text{Power pompa} = \frac{\gamma \times H_{\text{tot}} \times Q}{\eta}$$

$$= \frac{9,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 5,61 \text{ m} \times 0,018 \text{ m}^3 / \text{detik}}{0,75 \text{ kw.kN m/detik}}$$

$$= 0,97 \text{ kw}$$

Berdasarkan grafik Pompa Submersible Ebara, maka pompa yang digunakan adalah sebagai berikut.

## SELECTION CHARTS



Gambar 4.12 Pompa *Submersible* Ebara  
(Sumber: [www.ebara.com](http://www.ebara.com))

Pompa yang dipilih adalah tipe 100 DL 53.7 dengan diameter pipa *discharge* adalah 100 mm dan *motor output* sebesar 3,7 kw.

### 4.5.3 *Distribution Box Cluster 2*

*Distribution box* berfungsi sebagai bak penampung air sebelum didistribusikan menuju unit pengolahan selanjutnya. *Distribution Box* digunakan ketika terdapat lebih dari satu bangunan sehingga debit yang masuk ke setiap bangunan merata. Dalam mendesain *distribution box* waktu tinggal air dibuat sesingkat mungkin dan dimensinya tidak terlalu besar. Hal ini bertujuan supaya tidak terjadi pengendapan di bak tersebut.

Direncanakan:

- Berbentuk segiempat
- Waktu detensi ( $t_d$ ) < 3 menit untuk menghindari terjadinya pengendapan lumpur
- $T_d$  = 1 menit = 60 detik
- $Q_{average}$  = 0,013 m<sup>3</sup>/detik
- Kedalaman *box* direncanakan = 1 m
- Tebal dinding = 0,15 m = 15 cm
- Freeboard = 0,3 m = 30 cm

Perhitungan:

- Volume *box* =  $Q_{average} \times T_d$   
= 0,013 m<sup>3</sup>/detik x 60 detik  
= 0,79 m<sup>3</sup>
- $A_{surface}$  =  $\frac{\text{Volume}}{\text{Kedalaman}} = \frac{0,79 \text{ m}^3}{1 \text{ m}}$   
= 0,79 m<sup>2</sup>
- P:L = 1:1
- Lebar =  $(A_{surface})^{1/2} = (0,79)^{1/2}$   
= 0,89 m ~ 0,9 m
- Panjang *box* = Lebar = 0,9 m
- Cek volume =  $p \times l \times h$   
= 0,9 m x 0,9 m x 1 m  
= 0,81 m<sup>3</sup>
- Cek  $t_d$  =  $\frac{\text{volume}}{Q_{average}} = \frac{0,81 \text{ m}^3}{0,013 \text{ m}^3/\text{detik}} = 61 \text{ detik (OK)}$

Hasil dimensi *Distribution Box*:

- Luas Area = 0,81 m<sup>2</sup>

- Panjang = 0,9 m
- Lebar = 0,9 m
- kedalaman = 1 + 0,3 = 1,3 m

#### 4.5.4 ABR Cluster 2

Pengolahan air limbah domestik yang hanya menggunakan proses anaerob maka hasil olahan hanya dapat menurunkan konsentrasi polutan minyak atau lemak, organik (BOD, COD), serta total padatan tersuspensi (TSS). Sedangkan untuk amoniak dan *total coliform* tidak bisa karena membutuhkan kondisi aerobik dalam pengolahannya.

- $Q_{average} = 1.141,4 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,013 \text{ m}^3/\text{detik}$
- TSS influen = 186 mg/L
- COD influen = 398 mg/L
- BOD influen = 234 mg/L
- NH3 influen = 50 mg/L

##### a. Kompartemen I (Ruang Settling)

Direncanakan waktu detensi (Td):

Kriteria desain = 2-6 jam (Metcalf and Eddy, 2003)

Td rencana = 3 jam

Item	b	a
BOD	0,02	0,018
TSS	0,014	0,0075

Sumber: Metcalf and Eddy, 2003

$$\%R = \frac{td}{a+(b \times td)}$$

Berdasarkan rumus dari Metcalf and Eddy, diperoleh persen removal sebagai berikut.

- %Removal TSS =  $\frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,0075+(0,014 \times 3)} = 61\%$

- %Removal BOD =  $\frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,018+(0,02 \times 3)} = 38\%$

Karena Td adalah 3 jam (< 30 jam), maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen removal COD dengan rumus:

$$= (td-3) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= (3-1) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= 0,4 \times 100\% = 40\%$$

➤ **Konsentrasi Efluen Kompartemen I**

[TSS efluen]	= (100 – 61) % x 186 mg/L
	= 72,54 mg/L
[TSS tersisihkan]	= [TSS influen]-[TSS efluen]
	= 186 – 72,54 = 113,46 mg/L
[COD efluen]	= (100 – 40) % x 398 mg/L
	= 238,8 mg/L
[COD tersisihkan]	= [COD influen]-[COD efluen]
	= 398 – 238,8 = 159,2 mg/L
[BOD efluen]	= (100 – 38) % x 234 mg/L
	= 145,08 mg/L
[BOD tersisihkan]	= [BOD influen]-[BOD efluen]
	= 234 – 145,08 = 88,92 mg/L

Pada kompartemen I tidak terjadi penyisihan amoniak karena proses yang terjadi adalah proses fisik.

➤ **Produksi Lumpur selama 2 tahun (SNI)**

Massa lumpur dihasilkan	= Lumpur TSS x durasi pengurasan
	= 129,5 kg/hari x 2 tahun x 365 hari
	= 94.537,4 kg/2 tahun

Berdasarkan durasi pengurasan 2 tahun atau 24 bulan, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen reduksi volume lumpur di bak pengendapan sebagai berikut.

$$= \text{HRT} < 36 \text{ bulan}$$

$$= 1 - \text{HRT} \times 0,014$$

$$= 1 - 24 \times 0,014$$

$$= 0,664 \times 100\%$$

$$= 66,4\%$$

Stabilisasi lumpur 2 tahun	= 66,4% x produksi lumpur
	= 66,4% x 94.537,4 kg/2 tahun
	= 85.717,3 kg/2 tahun

➤ **Densitas Lumpur**

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi lumpur} &= 5\% ; \\ \text{Densitas lumpur} &= 2,65 \text{ kg/L} ; \\ \text{Konsentrasi air} &= 95\% \\ \text{Densitas air} &= 1 \text{ kg/L} \\ \text{densitas lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%} \\ &= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100} \\ &= 1,0825 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

➤ **Volume Lumpur pada settling zone**

$$\begin{aligned} \text{Waktu stabilisasi lumpur} &= 2 \text{ tahun (SNI)} \\ \text{Volume lumpur} &= \text{stabilisasi lumpur 2 tahun} / \rho \text{ Lumpur} \\ &= \frac{94.537,4 \text{ kg}}{1,0825 \text{ kg/L}} \\ &= 57.988,7 \text{ L} \\ &= 57,99 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

➤ **Dimensi Ruang Lumpur dan Kompartemen I**

$$\begin{aligned} \text{Kemampuan gali} &= 4,5 \text{ m} \\ \text{Free board} &= 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m} \\ \text{Ketinggian ABR rencana (H)} &= 3 \text{ m} \\ \text{h ruang lumpur} &= 30\% \times \text{h ABR} \\ &= 30\% \times 3 \text{ m} \\ &= 0,9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas ruang lumpur} &= \text{Volume lumpur} / \text{h ruang lumpur} \\ &= 57,99 \text{ m}^3 / 0,9 \text{ m} \\ &= 64,43 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume kompartemen I} &= Q_{\text{average}} \times t_d \\ &= 1.141,4 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3 \text{ jam} \times \frac{1}{24} \text{ hari/jam} \\ &= 142,68 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas kompartemen I} &= \text{Volume} / \text{h kompartemen} \\ &= \frac{142,68 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} \\ &= 47,6 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P : L &= 2 : 1 \\
 \text{Lebar ruang lumpur} &= (\text{Luas ruang lumpur} / 2)^{0,5} \\
 &= (64,43 / 2)^{0,5} \\
 &= 5,7 \text{ m} \\
 \text{Lebar kompartemen I} &= (\text{Luas kompartemen I} / 2)^{0,5} \\
 &= (47,6 / 2)^{0,5} \\
 &= 4,9 \text{ m} \\
 \text{Panjang ruang lumpur} &= \text{Lebar ruang lumpur} \times 2 \\
 &= 5,7 \text{ m} \times 2 \\
 &= 11,4 \text{ m} \\
 \text{Panjang kompartemen I} &= \text{Lebar kompartemen I} \times 2 \\
 &= 4,9 \text{ m} \times 2 \\
 &= 9,8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Panjang dan lebar yang digunakan adalah yang memiliki nilai terbesar yaitu 11,4 dan 5,7 m untuk keamanan bangunan. Sehingga kedalaman pada bangunan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Cek Kedalaman (h)} &= \frac{\text{Volume kompartemen I}}{\text{panjang} \times \text{lebar}} \\
 &= \frac{142,68 \text{ m}^3}{11,4 \text{ m} \times 5,7 \text{ m}} \\
 &= 2,2 \text{ m (kriteria desain} < 4 \text{ m)}
 \end{aligned}$$

#### **b. Kompartemen II (ABR)**

$$\begin{aligned}
 \text{Rentang HLR} &= (16,8 - 38,4) \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \\
 \text{HRT} &= 6-24 \text{ jam} \\
 \text{OLR} &= < 3 \text{ kg BOD}/\text{m}^3.\text{hari} \\
 \text{Direncanakan:} & \\
 \text{HLR} &= 25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \\
 [\text{BOD efluen}] &= 30 \text{ mg}/\text{L} \text{ (**Baku Mutu**)} \\
 [\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}] \\
 &= 145,08 - 30 = 115,08 \text{ mg}/\text{L} \\
 \text{BOD removal} &= (\text{BOD tersisihkan} / \text{BOD influen}) \times 100\% \\
 &= (115,08/145,08) \times 100\% = 79,3\%
 \end{aligned}$$



Berdasarkan persen removal BOD, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh HRT sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{HRT} &= < 10 \text{ jam} \\
 \text{Faktor} &= (\text{HRT}-5) \times 0,31/5 + 0,51 \\
 0,793 &= (\text{HRT}-5) \times 0,31/5 + 0,51 \\
 \text{HRT} &= [(0,793-0,51) \times 5/0,31] + 5 \\
 &= 9,57 \text{ jam} \sim 9,6 \text{ jam} \\
 \text{H total} &= \text{HLR} \times \text{HRT} \\
 &= (25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari})/24 \text{ jam/hari} \times 9,6 \text{ jam} \\
 &= 10 \text{ m} \\
 \text{H ABR} &= \text{H kompartemen I} \\
 &= 2,2 \text{ m} \\
 \text{Jumlah kompartemen} &= \text{H total} / \text{H ABR} \\
 &= 10 \text{ m} / 2,2 \text{ m} \\
 &= 4,5 \sim 5 \text{ kompartemen} \\
 \text{Volume total} &= Q_{\text{average}} \times \text{HRT} \\
 &= (1.141,4 \text{ m}^3/\text{hari})/24 \text{ jam/hari} \times 9,6 \text{ jam} \\
 &= 456,56 \text{ m}^3 \\
 A_{\text{surface total}} &= \text{Volume total} / \text{H ABR} \\
 &= 456,56 \text{ m}^3 / 2,2 \text{ m} \\
 &= 206,18 \text{ m}^2 \\
 A_{\text{surface 1 ABR}} &= A_{\text{surface total}} / \text{jumlah kompartemen} \\
 &= 206,18 \text{ m}^2 / 5 \\
 &= 41,24 \text{ m}^2 \\
 \text{Lebar ABR} &= \text{Lebar kompartemen I} \\
 &= 5,7 \text{ m} \\
 \text{Panjang 1 ABR} &= A_{\text{surface 1 ABR}} / \text{lebar 1 ABR} \\
 &= 41,24 \text{ m}^2 / 5,7 \text{ m} \\
 &= 7,3 \text{ m} \text{ (**Terlalu Panjang**)}
 \end{aligned}$$

ABR dengan panjang yang berlebihan akan menyebabkan aliran yang tidak seragam atau terjadinya *dead zone*. Untuk menghindari hal tersebut maka debit yang masuk harus dikurangi dengan cara

membagi ABR menjadi beberapa unit. Perhitungan jumlah ABR adalah sebagai berikut.

Panjang ABR rencana = 2 m

Jumlah ABR = Panjang 1 ABR / Panjang ABR rencana  
 = 7,3 m / 2 m  
 = 3,6 ABR ~ 4 ABR

**Sehingga untuk cluster 2 direncanakan akan dibangun 4 unit IPAL ABR yang diletakkan secara paralel dengan dimensi yang sama**, maka debit setiap unitnya dapat dihitung:

$Q_{peak}$  per unit = 1.558,6 m<sup>3</sup>/hari / 4 unit  
 = 389,65 m<sup>3</sup>/hari = 389.650 L/hari

$Q_{average}$  per unit = 1.141,4 m<sup>3</sup>/hari / 4 unit  
 = 285,35 m<sup>3</sup>/hari = 285.350 L/hari

**a. Kompartemen I (Ruang Settling)**

TSS influen = 186 mg/L

COD influen = 398 mg/L

BOD influen = 234 mg/L

NH3 influen = 50 mg/L

$Q_{average}$  per unit = 285,35 m<sup>3</sup>/hari

Direncanakan waktu detensi (Td):

Kriteria desain = 2-6 jam (Metcalf and Eddy,2003)

Td rencana = 3 jam

Item	b	a
BOD	0,02	0,018
TSS	0,014	0,0075

Sumber: Metcalf and Eddy, 2003

$$\%R = \frac{td}{a+(b \times td)}$$

Berdasarkan rumus dari Metcalf and Eddy, diperoleh persen removal sebagai berikut.

➤ %Removal TSS =  $\frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,0075+(0,014 \times 3)} = 61\%$

➤ %Removal BOD =  $\frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,018+(0,02 \times 3)} = 38\%$

Karena Td adalah 3 jam (< 30 jam), maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen removal COD dengan rumus:

$$= (td-3) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= (3-1) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= 0,4 \times 100\% = 40\%$$

➤ **Konsentrasi Efluen Kompartemen I**

$$\begin{aligned} [\text{TSS efluen}] &= (100 - 61) \% \times 186 \text{ mg/L} \\ &= 72,54 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{TSS tersisihkan}] &= [\text{TSS influen}] - [\text{TSS efluen}] \\ &= 186 - 72,54 = 113,46 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD efluen}] &= (100 - 40) \% \times 398 \text{ mg/L} \\ &= 238,8 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD influen}] - [\text{COD efluen}] \\ &= 398 - 238,8 = 159,2 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD efluen}] &= (100 - 38) \% \times 234 \text{ mg/L} \\ &= 145,08 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}] \\ &= 234 - 145,08 = 88,92 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Pada kompartemen I tidak terjadi penyisihan amoniak karena proses yang terjadi adalah proses fisik.

➤ **Mass Balance Kompartemen I**

**Tabel 4.36 Efisiensi Kompartemen I ABR Cluster 2**

Parameter	Nilai Influen (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Nilai Efluen (mg/L)
TSS	186	61%	72,54
BOD	234	38%	145,08
COD	398	40%	238,8

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS influen} &= (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{186 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 53,08 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Massa COD influen} = (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}})$$

$$= \frac{398 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 113,57 \text{ kg/hari}$$

Massa BOD influen = (BOD influen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{234 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 66,77 \text{ kg/hari}$$

Massa TSS effluen = (TSS effluen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{72,54 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 20,7 \text{ kg/hari}$$

Massa COD effluen = (COD effluen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{238,8 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 68,14 \text{ kg/hari}$$

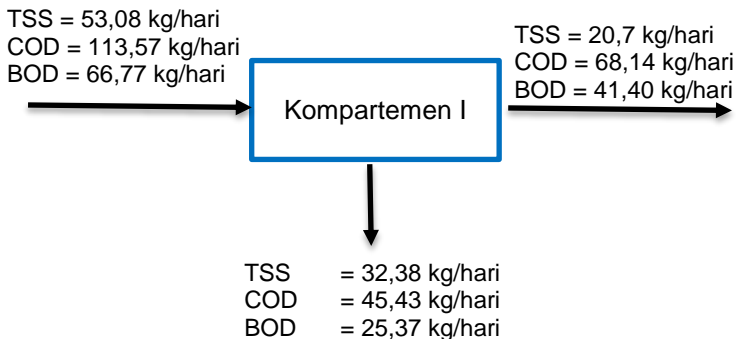
Massa BOD effluen = (BOD effluen x  $Q_{average}$ )

$$= \frac{145,08 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 41,40 \text{ kg/hari}$$

Massa TSS tersisihkan = TSS influen – TSS effluen  
= 53,08 – 20,7 = 32,38 kg/hari

Massa COD tersisihkan = COD influen – COD effluen  
= 113,57 – 68,14 = 45,43 kg/hari

Massa BOD tersisihkan = BOD influen – BOD effluen  
= 66,77 – 41,40 = 25,37 kg/hari



➤ **Produksi Lumpur selama 2 tahun (SNI)**

Massa lumpur dihasilkan = Lumpur TSS x durasi pengurasan  
= 32,38 kg/hari x 2 tahun x 365 hari  
= 23.634,3 kg/2 tahun

Berdasarkan durasi pengurasan 2 tahun atau 24 bulan, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen reduksi volume lumpur di bak pengendapan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 &= \text{HRT} < 36 \text{ bulan} \\
 &= 1 - \text{HRT} \times 0,014 \\
 &= 1 - 24 \times 0,014 \\
 &= 0,664 \times 100\% \\
 &= 66,4\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= 66,4\% \times \text{produksi lumpur} \\
 &= 66,4\% \times 23.634,3 \text{ kg/2 tahun} \\
 &= 15.693,2 \text{ kg/2 tahun}
 \end{aligned}$$

➤ **Densitas Lumpur**

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi lumpur} &= 5\% ; \\
 \text{Densitas lumpur} &= 2,65 \text{ kg/L} ; \\
 \text{Konsentrasi air} &= 95\% \\
 \text{Densitas air} &= 1 \text{ kg/L} \\
 \text{densitas lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%} \\
 &= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100} \\
 &= 1,0825 \text{ kg/L}
 \end{aligned}$$

➤ **Volume Lumpur pada *settling zone***

Waktu stabilisasi lumpur = 2 tahun (SNI)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume lumpur} &= \text{stabilisasi lumpur 2 tahun} / \rho \text{ Lumpur} \\
 &= \frac{15.693,2 \text{ kg}}{1,0825 \text{ kg/L}} \\
 &= 14.497,2 \text{ L} \\
 &= 14,5 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

➤ **Dimensi Ruang Lumpur dan Kompartemen I**

$$\begin{aligned}
 \text{Kemampuan gali} &= 4,5 \text{ m} \\
 \text{Free board} &= 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m} \\
 \text{Tebal dinding plat} &= 15 \text{ cm} \\
 \text{Ketinggian ABR rencana (H)} &= 3 \text{ m} \\
 \text{h ruang lumpur} &= 30\% \times \text{h ABR}
 \end{aligned}$$

$$= 30\% \times 3 \text{ m}$$

$$= 0,9 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas ruang lumpur} &= \text{Volume lumpur} / h \text{ ruang lumpur} \\ &= 14,5 \text{ m}^3 / 0,9 \text{ m} \\ &= 16,11 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume kompartemen I} &= Q_{\text{average}} \times t d \\ &= 285,35 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3 \text{ jam} \times \frac{1}{24} \text{ hari/jam} \\ &= 36 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas kompartemen I} &= \text{Volume} / h \text{ kompartemen} \\ &= \frac{36 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} \\ &= 11,9 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$P : L = 2 : 1$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar ruang lumpur} &= (\text{Luas ruang lumpur} / 2)^{0,5} \\ &= (16,11 / 2)^{0,5} \\ &= 2,8 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar kompartemen I} &= (\text{Luas kompartemen I} / 2)^{0,5} \\ &= (11,9 / 2)^{0,5} \\ &= 2,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang ruang lumpur} &= \text{Lebar ruang lumpur} \times 2 \\ &= 2,8 \text{ m}^2 \times 2 \\ &= 5,6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang kompartemen I} &= \text{Lebar kompartemen I} \times 2 \\ &= 2,4 \text{ m}^2 \times 2 \\ &= 4,8 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang dan lebar yang digunakan adalah yang memiliki nilai terbesar yaitu 5,6 m dan 2,8 m untuk keamanan bangunan. Sehingga kedalaman pada bangunan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Cek Kedalaman (h)} &= \frac{\text{Volume kompartemen I}}{\text{panjang} \times \text{lebar}} \\ &= \frac{36 \text{ m}^3}{5,8 \text{ m} \times 2,8 \text{ m}} \\ &= 2,2 \text{ m (kriteria desain} < 4 \text{ m)} \end{aligned}$$

### **Dimensi Kompartemen I**

Panjang	= 5,6 m
Lebar	= 2,8 m
Kedalaman total	= Kedalaman + freeboard
	= 2,2 m + 0,3 m
	= 2,5 m

### **b. Kompartemen II (ABR)**

TSS influen	= 72,54 mg/L
COD influen	= 238,8 mg/L
BOD influen	= 145,08 mg/L
NH3 influen	= 50 mg/L
$Q_{average}$ per unit	= 285,35 m <sup>3</sup> /hari = 285.350 L/hari

Kriteria desain (Metcalf and Eddy, 2003):

Rentang HLR	= (16,8 – 38,4) m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari
HRT	= 6-24 jam
OLR	= < 3 kg BOD/m <sup>3</sup> .hari

Direncanakan:

HLR	= 25 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari
[BOD efluen]	= 30 mg/L ( <b>Baku Mutu</b> )
[BOD tersisihkan]	= [BOD influen]-[BOD efluen]
	= 145,08 – 30 = 115,08 mg/L
BOD removal	= (BOD tersisihkan/ BOD influen) x 100%
	= (115,08/145,08) x 100% =79,3%

Berdasarkan persen removal BOD, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh HRT sebagai berikut.

HRT	= < 10 jam
Faktor	= (HRT-5) x 0,31/5 + 0,51
0,793	= (HRT-5) x 0,31/5 + 0,51
HRT	= [(0,793-0,51) x 5/0,31] + 5
	= 9,57 jam ~ 9,6 jam
H total	= HLR x HRT
	= (25 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari)/24 jam/hari x 9,6 jam
	= 10 m

$$\begin{aligned}
H_{ABR} &= H \text{ kompartemen I} \\
&= 2,2 \text{ m} \\
\text{Jumlah kompartemen} &= H \text{ total} / H_{ABR} \\
&= 10 \text{ m} / 2,2 \text{ m} \\
&= 4,5 \sim 5 \text{ kompartemen} \\
\text{Volume total} &= Q_{average} \times HRT \\
&= (443,3 \text{ m}^3/\text{hari})/24 \text{ jam/hari} \times 9,6 \text{ jam} \\
&= 114,14 \text{ m}^3 \\
A_{surface} \text{ total} &= \text{Volume total} / H_{ABR} \\
&= 114,14 \text{ m}^3 / 2,2 \text{ m} \\
&= 51,55 \text{ m}^2 \\
A_{surface} \text{ 1 ABR} &= A_{surface} \text{ total} / \text{jumlah kompartemen} \\
&= 51,55 \text{ m}^2 / 5 \\
&= 10,31 \text{ m}^2 \\
\text{Panjang 1 ABR rencana} &= 2 \text{ m} \\
\text{Lebar 1 ABR} &= A_{surface} \text{ 1 ABR} / \text{panjang 1 ABR} \\
&= 10,31 \text{ m}^2 / 2 \text{ m} \\
&= 5,2 \text{ m} \\
\text{Cek } A_{surface} \text{ 1 ABR} &= \text{Panjang 1 ABR} \times \text{lebar} \\
&= 2 \text{ m} \times 5,2 \text{ m} = 10,4 \text{ m}^2 \\
\text{Cek volume 1 ABR} &= \text{Panjang 1 ABR} \times \text{lebar} \times \text{Hair} \\
&= 2 \text{ m} \times 5,2 \text{ m} \times 2,2 \text{ m} \\
&= 22,88 \text{ m}^3 \\
\text{Cek volume total} &= \text{Volume 1 ABR} \times \text{Jumlah kompartemen} \\
&= 22,88 \text{ m}^3 \times 5 \text{ kompartemen} \\
&= 114,4 \text{ m}^3 \\
\text{Cek HLR} &= Q_{average} / A_{surface} \text{ 1 ABR} \\
&= (285,35 \text{ m}^3/\text{hari}) / 10,4 \text{ m}^2 \\
&= 27,4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari} \\
&\quad \text{(kriteria desain 16,8-38,4 m}^3/\text{m}^2.\text{hari)} \\
\text{Cek HRT} &= \text{Volume total} / Q_{average} \\
&= 114,4 \text{ m}^3 / (285,35 \text{ m}^3/\text{hari}) \\
&= 0,4 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari} \\
&= 9,6 \text{ jam (kriteria desain 6-24 jam)}
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{Organic Loading (OL)} &= \text{BOD influen} \times Q_{\text{average}} \\
 &= (145,08 \text{ mg/L} \times 285,35 \text{ L/hari})/1000000 \\
 &= 41,40 \text{ kg BOD/hari} \\
 \text{Cek OLR} &= \text{OL} / \text{volume total} \\
 &= 41,40 \text{ kg BOD/hari} / 114,4 \text{ m}^3 \\
 &= 0,4 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \\
 &\quad \text{(kriteria desain} < \mathbf{3 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari}}) \\
 \text{Cek Vup} &= Q_{\text{average}} / A_{\text{surface}} \text{ 1 ABR} \\
 &= (285,35 \text{ m}^3/\text{hari}) / 10,4 \text{ m}^2 \\
 &= 27,4 \text{ m/hari} \\
 &= 1,1 \text{ m/jam (kriteria desain} < \mathbf{2 \text{ m/jam}})
 \end{aligned}$$

### Dimensi Kompartemen II (ABR)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang total} &= \text{panjang kompartemen} \times \text{jumlah kompartemen} \\
 &= 2 \text{ m} \times 5 \text{ kompartemen} \\
 &= 10 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 5,2 \text{ m} \\
 \text{Kedalaman total} &= \text{Kedalaman} + \text{freeboard} \\
 &= 2,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
 &= 2,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### Perhitungan pipa baffled:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{asumsi}} &= 1 \text{ m/detik} \\
 A_{\text{pipa}} &= Q_{\text{average}} / V_{\text{asumsi}} \\
 &= (0,0033 \text{ m}^3/\text{detik}) / (1 \text{ m/detik}) \\
 &= 0,0033 \text{ m}^2 \\
 \text{Diameter pipa} &= [(4 \times A_{\text{pipa}}) / 3,14]^{0,5} \\
 &= 0,065 \text{ m} \sim 80 \text{ mm (diamater pasaran)} \\
 \text{Jarak antar pipa} &= 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### ➤ **Konsentrasi Efluen ABR**

Dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal BOD sebagai berikut.

- Berdasarkan OLR < 6 kg/m<sup>3</sup>.hari = faktor 1
  - Berdasarkan BOD influen < 150 mg/L
- $$\text{Faktor} = \text{BOD influen} \times 0,37/150 + 0,4$$

$$= 145,08 \times 0,37/150 + 0,4 = 0,76$$

- Berdasarkan HRT < 10 jam

$$\begin{aligned} \text{Faktor} &= (\text{HRT}-5) \times 0,31/5 + 0,51 \\ &= (9,6-5) \times 0,31/5 + 0,51 = 0,8 \end{aligned}$$

- Berdasarkan jumlah kompartemen > 3

$$\begin{aligned} \text{Faktor} &= (\text{jumlah} - 3) \times 0,06 + 0,9 \\ &= (5-3) \times 0,06 + 0,9 = 1,02 \end{aligned}$$

- Berdasarkan suhu 25°C

$$\begin{aligned} \text{Faktor} &= (\text{suhu}-25) \times 0,05/5 + 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ removal BOD} &= 1 \times 0,76 \times 0,8 \times 1,02 \times 1 = 0,62 \\ &= 62\% \end{aligned}$$

Berdasarkan persen removal BOD, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal COD sebagai berikut.

$$\text{BOD removal} = < 0,75$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor} &= 0,9434 - (\text{BOD removal}-0,5) \times 0,0545/0,25 \\ &= 0,9434 - (0,62-0,5) \times 0,0545/0,25 = 0,917 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD removal} &= \text{Faktor} \times \text{BOD removal} \\ &= 0,917 \times 62\% \end{aligned}$$

$$\% \text{ removal COD} = 57\%$$

$$\begin{aligned} [\text{COD efluen}] &= (100 - 57) \% \times 238,8 \text{ mg/L} \\ &= 102,68 \text{ mg/L (belum memenuhi baku mutu)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD influen}]-[\text{COD efluen}] \\ &= 238,8 - 102,68 = 136,12 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD efluen}] &= (100 - 62) \% \times 145,08 \text{ mg/L} \\ &= 55,13 \text{ mg/L (belum memenuhi baku mutu)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}]-[\text{BOD efluen}] \\ &= 145,08 - 55,13 = 89,95 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$[\text{TSS efluen}] = 30 \text{ mg/L (sesuai baku mutu)}$$

$$\begin{aligned} [\text{TSS tersisihkan}] &= [\text{TSS influen}]-[\text{TSS efluen}] \\ &= 72,54 - 30 = 42,54 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ removal TSS} &= \frac{\text{TSS influen} - \text{efluen baku mutu}}{\text{TSS influen}} \times 100\% \\
 &= \frac{72,54 \text{mg/L} - 30 \text{mg/L}}{72,54 \text{mg/L}} \times 100\% \\
 &= 58,6\%
 \end{aligned}$$

Pada proses biologis, mikroba ataupun bakteri membutuhkan nutrisi untuk menunjang pertumbuhan bakteri. Menurut Tchobanoglous (2014), rasio COD:N:P untuk proses anaerobik adalah 300:5:1. Pada perencanaan ini parameter yang digunakan adalah N dalam bentuk amoniak. Berikut adalah perhitungan kebutuhan N oleh mikroba di ABR.

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio COD:N} &= 300:5 \\
 [\text{COD tersisihkan}] &= 100,8 \text{ mg/L} \\
 [\text{Kebutuhan N}] &= (5/300) \times [\text{COD tersisihkan}] \\
 &= (5/300) \times 136,12 \text{ mg/L} \\
 &= 2,27 \text{ mg/L} \\
 [\text{NH}_3 \text{ efluen}] &= [\text{NH}_3 \text{ influen}] - [\text{Kebutuhan N}] \\
 &= 50 - 2,27 = 47,73 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

➤ **Mass Balance ABR**

**Tabel 4.37 Efisiensi ABR Cluster 2**

Parameter	Nilai Influen (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Nilai Efluen (mg/L)
TSS	72,54	58,6%	30
BOD	145,08	62%	55,13
COD	238,8	57%	102,68
NH <sub>3</sub>	50	4,54%	47,73

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TSS influen} &= (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{72,54 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 20,70 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa COD influen} &= (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{238,8 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 68,14 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\text{Massa BOD influen} = (\text{BOD influen} \times Q_{\text{average}})$$

$$= \frac{145,08 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 41,40 \text{ kg/hari}$$

Massa NH<sub>3</sub> influen = (NH<sub>3</sub> influen x Q<sub>average</sub>)

$$= \frac{50 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 14,27 \text{ kg/hari}$$

Massa TSS effluen = (TSS effluen x Q<sub>average</sub>)

$$= \frac{30 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 8,56 \text{ kg/hari}$$

Massa COD effluen = (COD effluen x Q<sub>average</sub>)

$$= \frac{102,68 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 29,30 \text{ kg/hari}$$

Massa BOD effluen = (BOD effluen x Q<sub>average</sub>)

$$= \frac{55,13 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 15,73 \text{ kg/hari}$$

Massa NH<sub>3</sub> effluen = (NH<sub>3</sub> effluen x Q<sub>average</sub>)

$$= \frac{47,73 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 13,62 \text{ kg/hari}$$

Massa TSS tersisihkan = TSS influen – TSS effluen

$$= 20,70 - 8,56 = 12,14 \text{ kg/hari}$$

Massa COD tersisihkan = COD influen – COD effluen

$$= 68,14 - 29,30 = 38,84 \text{ kg/hari}$$

Massa BOD tersisihkan = BOD influen – BOD effluen

$$= 41,40 - 15,73 = 25,67 \text{ kg/hari}$$

Massa NH<sub>3</sub> dibutuhkan = NH<sub>3</sub> influen – NH<sub>3</sub> effluen

$$= 14,27 - 13,62 = 0,65 \text{ kg/hari}$$

### ➤ **Produksi Biogas**

*Synthesis yield in anaerob* (Y) = 0,06 g VSS/g COD

Massa COD tersisihkan = 38,84 kg/hari

Massa COD<sub>VSS</sub> = 1,42 x Y x Massa COD tersisihkan

$$= 1,42 \times 0,06 \text{ gVSS/gCOD} \times 38,84 \text{ kg/hari}$$

$$= 3,31 \text{ kg/hari}$$

Massa COD<sub>TSS</sub> = Massa COD<sub>VSS</sub> / 0,85

$$= 3,31 \text{ kg/hari} / 0,85$$

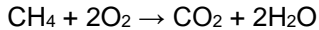
$$= 3,89 \text{ kg/hari}$$

Massa COD metana = Massa COD tersisihkan – Massa COD<sub>VSS</sub>

$$= 38,84 \text{ kg/hari} - 3,31 \text{ kg/hari}$$

$$= 35,53 \text{ kg/hari}$$

COD metana adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi metana menjadi karbon dioksida dan air.



Dari persamaan di atas, COD per mol metana adalah

$$= 2 \times (32 \text{ gO}_2/\text{mol})$$

$$= 64 \text{ gO}_2/\text{mol}.$$

$$\text{Suhu (T)} = 30^\circ\text{C} = 303,15^\circ\text{K}$$

$$\text{Konstanta gas (R)} = 0,082057 \text{ atm.L/mol.K}$$

$$\text{Mol gas (n)} = 1 \text{ mol}$$

$$\text{Tekanan gas (P)} = 1 \text{ atm}$$

$$\text{Volume gas (V}_{\text{gas}}) = n \times R \times T / P$$

$$= 1 \times 0,082057 \times 303,15 / 1$$

$$= 24,876 \text{ L/mol}$$

Produksi  $\text{CH}_4$  (biogas)

$$= (\text{V}_{\text{gas}} / 64 \text{ gCOD/molCH}_4) \times \text{COD metana}$$

$$= (24,876 \text{ L/mol} / 64 \text{ gCOD/molCH}_4) \times 35,53 \text{ kg/hari}$$

$$= 13,81 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Gas yang dihasilkan dibuang melalui pipa *vent*.

#### ➤ **Produksi Lumpur ABR**

$$\text{Lumpur TSS} = \text{Massa TSS tersisihkan}$$

$$= 12,14 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa COD}_{\text{TSS}} = 3,89 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Total lumpur} = \text{Lumpur TSS} + \text{Massa COD}_{\text{TSS}}$$

$$= 12,14 \text{ kg/hari} + 3,89 \text{ kg/hari}$$

$$= 16,03 \text{ kg/hari}$$

#### ➤ **Produksi Lumpur selama 2 tahun (SNI)**

$$\text{Massa lumpur dihasilkan} = \text{Total Lumpur} \times \text{durasi pengurasan}$$

$$= 16,03 \text{ kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari}$$

$$= 11.703,4 \text{ kg} / 2 \text{ tahun}$$

Berdasarkan durasi pengurasan 2 tahun atau 24 bulan, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen reduksi volume lumpur di bak pengendapan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
&= \text{HRT} < 36 \text{ bulan} \\
&= 1 - \text{HRT} \times 0,014 \\
&= 1 - 24 \times 0,014 \\
&= 0,664 \times 100\% \\
&= 66,4\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= 66,4\% \times \text{produksi lumpur} \\
&= 66,4\% \times 11.703,4 \text{ kg/2 tahun} \\
&= 7.771 \text{ kg/2 tahun}
\end{aligned}$$

### ➤ **Densitas Lumpur**

$$\text{Konsentrasi lumpur} = 5\% ;$$

$$\text{Densitas lumpur} = 2,65 \text{ kg/L} ;$$

$$\text{Konsentrasi air} = 95\%$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ kg/L}$$

$$\text{densitas lumpur} = \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%}$$

$$= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100}$$

$$= 1,0825 \text{ kg/L}$$

### ➤ **Volume Lumpur pada ABR**

$$\text{Waktu stabilisasi lumpur} = 2 \text{ tahun (SNI)}$$

$$\text{Volume lumpur} = \text{stabilisasi lumpur 2 tahun} / \rho \text{ Lumpur}$$

$$= \frac{7.771 \text{ kg}}{1,0825 \text{ kg/L}}$$

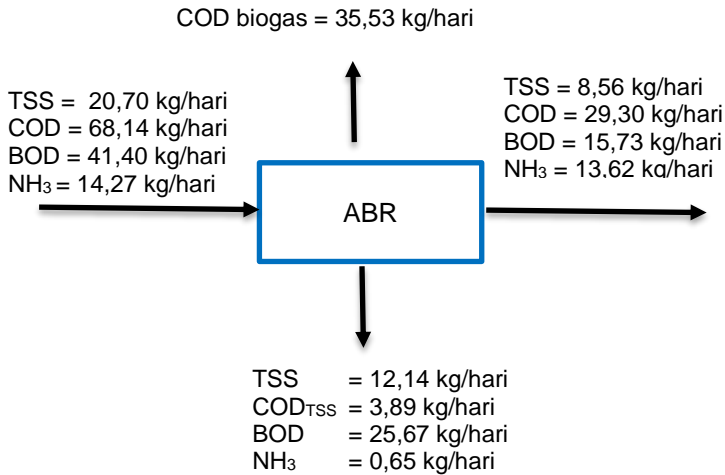
$$= 7.178,8 \text{ L}$$

$$= 7,18 \text{ m}^3$$

$$t \text{ lumpur} = \text{Volume lumpur} / A_{\text{surface total}}$$

$$= 7,18 \text{ m}^3 / 52 \text{ m}^2$$

$$= 0,14 \text{ m}$$



#### 4.5.5 *Aerobic Biofilter Cluster 2*

*Aerobic biofilter* menjadi pengolahan lanjutan dari ABR. ABR yang direncanakan pada *cluster 2* terdiri dari 4 ABR dengan ukuran yang sama yang disusun secara paralel. Sehingga untuk perhitungan *aerobic biofilter*, debit pengolahan juga akan dibagi 4 sama seperti pada ABR.

$Q_{\text{influen per unit}} = 285,35 \text{ m}^3/\text{hari} = 185.350 \text{ L/hari}$   
 BOD influen = 55,13 mg/L  
 COD influen = 102,68 mg/L  
 TSS influen = 30 mg/L (**memenuhi baku mutu**)  
 NH<sub>3</sub> influen = 47,73 mg/L

##### ➤ **Dimensi *Aerobic Biofilter* (AF)**

Volume ABR = 22,88 m<sup>3</sup>  
 Void = 40%  
 Volume AF 1 kompartemen = volume ABR + (volume ABR 60%)  
 = (1+0,6) x 22,88 m<sup>3</sup>  
 = 36,6 m<sup>3</sup>  
 Lebar AF = lebar ABR = 5,2 m  
 Kedalaman AF = kedalaman ABR = 2,2 m

$$\begin{aligned}
\text{Panjang 1 AF} &= \text{volume AF 1 kompartemen} / (\text{lebar} \times \text{kedalaman}) \\
&= 36,6 \text{ m}^3 / (5,2 \text{ m} \times 2,2 \text{ m}) \\
&= 3,2 \text{ m} \\
\text{Ketinggian media} &= \text{volume ABR} / (\text{lebar AF} \times \text{panjang AF}) \\
&= 22,88 \text{ m}^3 / (5,2 \text{ m} \times 3,2 \text{ m}) \\
&= 1,4 \text{ m} \\
\text{HRT AF 1 kompartemen} &= \text{HRT ABR 1 kompartemen} \\
&= 1,92 \text{ jam} \\
\text{COD efluen} &= 50 \text{ mg/L (sesuai baku mutu)} \\
\text{COD tersisihkan} &= \text{COD influen} - \text{COD efluen} \\
&= 102,68 - 50 = 52,7 \text{ mg/L} \\
\text{COD removal} &= (\text{COD tersisihkan} / \text{COD influen}) \times 100\% \\
&= (52,7 \text{ mg/L} / 102,68 \text{ mg/L}) \times 100\% \\
&= 51,3 \%
\end{aligned}$$

Berdasarkan COD removal, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh nilai HRT sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{HRT} &= < 12 \text{ jam} \\
\text{Faktor COD removal} &= \text{HRT} \times 0,16/12 + 0,44 \\
0,513 &= \text{HRT} \times 0,16/12 + 0,44 \\
\text{HRT} &= (0,513 - 0,44) \times 12/0,16 \\
&= 5,5 \text{ jam} \\
\text{Jumlah kompartemen} &= \text{HRT total} / \text{HRT 1 AF} \\
&= 5,5 \text{ jam} / 1,92 \text{ jam} \\
&= 2,86 \sim 3 \text{ kompartemen} \\
\text{Cek HRT} &= \text{HRT 1 kompartemen} \times \text{jumlah kompartemen} \\
&= 1,92 \text{ jam} \times 3 \\
&= 6 \text{ jam} \\
\text{Organic loading} &= 15,73 \text{ kg BOD/hari} \\
\text{Volume media} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{ketinggian media} \\
&= 3,2 \text{ m} \times 5,2 \text{ m} \times 1,4 \text{ m} \\
&= 23,3 \text{ m}^3 \\
\text{Cek OLR} &= \text{Organic loading} / \text{volume media}
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
&= (15,73 \text{ kg BOD/hari}) / 23,3 \text{ m}^3 \\
&= 0,7 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} (< 3 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari}) \\
\text{Cek Vup} &= Q_{\text{average}} / A_{\text{surface}} \cdot 1 \text{ ABR} \\
&= (285,35 \text{ m}^3/\text{hari}) / (10,40 \text{ m}^2) \\
&= 27,44 \text{ m/hari} \\
&= 1,1 \text{ m/jam (kriteria desain } < 2 \text{ m/jam)}
\end{aligned}$$

### Dimensi Biofilter:

$$\begin{aligned}
\text{Panjang bak 1 biofilter} &= 3,2 \text{ m} \\
\text{Panjang bak total} &= 3,2 \text{ m} \times 3 \text{ bak} = 9,6 \text{ m} \\
\text{Lebar bak} &= 5,2 \text{ m} \\
\text{Panjang media 1 biofilter} &= 3,2 \text{ m} \\
\text{Lebar media} &= 5,2 \text{ m} \\
\text{Tinggi media} &= 1,4 \text{ m} \\
\text{Tebal plat penyangga} &= 0,05 \text{ m} \\
\text{Jarak di bawah media} &= 0,55 \text{ m} \\
\text{Tinggi air di atas media} &= 2,2 - 1,2 - 0,05 - 0,55 = 0,2 \text{ m} \\
\text{Freeboard} &= 0,3 \text{ m} \\
\text{Tinggi total} &= 2,2 + 0,3 \text{ m} = 2,5 \text{ m}
\end{aligned}$$

### ➤ Perhitungan Efisiensi Removal *Aerobic Biofilter*

Berdasarkan HRT, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal COD sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{HRT} &= < 12 \text{ jam} \\
\text{Faktor COD removal} &= \text{HRT} \times 0,16/12 + 0,44 \\
&= 7 \times 0,16/12 + 0,44 \\
&= 0,52 \\
\text{COD removal} &= \text{Faktor} \times 100\% \\
&= 0,52 \times 100\% = 52\% \\
[\text{COD efluen}] &= (100\% - \text{COD removal}) \times \text{COD influen} \\
&= (100\% - 52\%) \times 102,68 \text{ mg/L} \\
&= 49,29 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu)} \\
[\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD influen}] - [\text{COD efluen}] \\
&= 102,68 \text{ mg/L} - 49,29 \text{ mg/L} = 53,4 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

Berdasarkan COD removal, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal BOD sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{COD removal} &= < 0,75 \\ \text{Faktor BOD removal} &= (\text{COD removal}-0,5) \times 0,065/0,25 + 1,06 \\ &= (0,52-0,5) \times 0,065/0,25 + 1,06 \\ &= 1,065 \\ \text{BOD removal} &= 1,065 \times 52\% = 55\% \\ \text{[BOD efluen]} &= (100\%-\text{BOD removal}) \times \text{BOD influen} \\ &= (100\%-55\%) \times 55,13 \text{ mg/L} \\ &= 24,31 \text{ mg/L (**memenuhi baku mutu**)} \\ \text{[BOD tersisihkan]} &= [\text{BOD influen}]-[\text{BOD efluen}] \\ &= 55,13 \text{ mg/L} - 24,31 \text{ mg/L} = 30,32 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Menurut Said (2012), efisiensi removal TSS pada *aerobic biofilter* mencapai 95%. Maka pada perencanaan ini digunakan removal TSS sebesar 95%.

$$\begin{aligned} \text{[TSS efluen]} &= (100\%-\text{TSS removal}) \times \text{TSS influen} \\ &= (100\%-95\%) \times 30 \text{ mg/L} \\ &= 1,5 \text{ mg/L (**memenuhi baku mutu**)} \\ \text{[TSS tersisihkan]} &= [\text{TSS influen}]-[\text{TSS efluen}] \\ &= 30 \text{ mg/L} - 1,5 \text{ mg/L} = 28,5 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Pada proses biologis, mikroba ataupun bakteri membutuhkan nutrisi untuk menunjang pertumbuhan bakteri. Menurut Winkler (2013), rasio BOD:N:P pada proses aerobik adalah 100:10:1. Pada perencanaan ini parameter yang digunakan adalah N dalam bentuk amoniak. Berikut adalah perhitungan kebutuhan N oleh mikroba di *aerobic biofilter*.

$$\begin{aligned} \text{Rasio BOD:N} &= 100:10 \\ \text{[BOD tersisihkan]} &= 30,32 \text{ mg/L} \\ \text{[Kebutuhan N]} &= (10/100) \times [\text{BOD tersisihkan}] \\ &= (10/100) \times 30,32 \text{ mg/L} \\ &= 3,03 \text{ mg/L} \\ \text{[Kelebihan NH}_3\text{]} &= [\text{NH}_3 \text{ influen}]-[\text{Kebutuhan N}] \\ &= 47,73 - 3,03 = 44,7 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{NH}_3 \text{ efluen}] &= 10 \text{ mg/L (sesuai baku mutu)} \\
 [\text{NH}_3 \text{ tersisihkan}] &= [\text{NH}_3 \text{ influen}] - [\text{NH}_3 \text{ efluen}] \\
 &= 47,73 \text{ mg/L} - 10 \text{ mg/L} = 37,73 \text{ mg/L} \\
 \text{NH}_3 \text{ removal} &= (\text{NH}_3 \text{ tersisihkan} / \text{NH}_3 \text{ influen}) \times 100\% \\
 &= (37,73 \text{ mg/L} / 47,73 \text{ mg/L}) \times 100\% \\
 &= 79\%
 \end{aligned}$$

➤ **Mass Balance Aerobic Biofilter**

**Tabel 4.38 Efisiensi Aerobic Biofilter Cluster 2**

Parameter	Nilai Influen (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Nilai Efluen (mg/L)
TSS	30	95%	1,5
BOD	55,13	55%	24,31
COD	102,68	52%	49,29
NH <sub>3</sub>	47,73	79%	10

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TSS influen} &= (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{30 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 8,56 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD influen} &= (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{102,68 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 29,30 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa BOD influen} &= (\text{BOD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{55,13 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 15,73 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa NH}_3 \text{ influen} &= (\text{NH}_3 \text{ influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{47,73 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 13,62 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa TSS efluen} &= (\text{TSS efluen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{1,5 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,43 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD efluen} &= (\text{COD efluen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{49,29 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 14,06 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa BOD efluen} &= (\text{BOD efluen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{24,31 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 7,08 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa Kebutuhan NH}_3 &= (\text{Kebutuhan NH}_3 \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{3,03 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,87 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

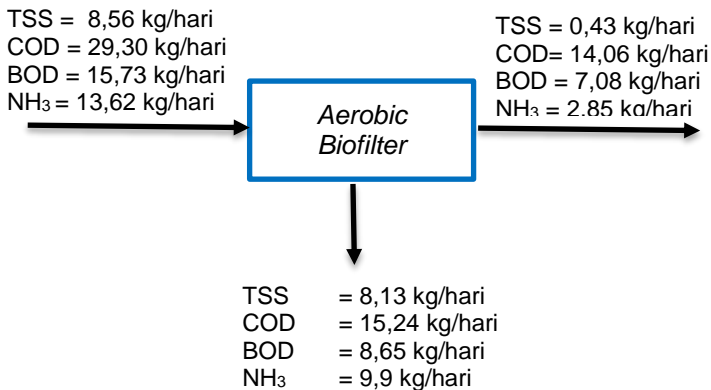
$$\begin{aligned} \text{Massa NH}_3 \text{ effluen} &= (\text{NH}_3 \text{ effluent} \times Q_{\text{average}}) \\ &= \frac{10 \text{ mg/L} \times 285.350 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 2,85 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa TSS tersisihkan} &= \text{TSS influen} - \text{TSS effluen} \\ &= 8,56 - 0,43 = 8,13 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa COD tersisihkan} &= \text{COD influen} - \text{COD effluen} \\ &= 29,30 - 14,06 = 15,24 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa BOD tersisihkan} &= \text{BOD influen} - \text{BOD effluen} \\ &= 15,73 - 7,08 = 8,65 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NH}_3 \text{ tersisihkan} &= \text{NH}_3 \text{ influen} - \text{NH}_3 \text{ effluen} \\ &= 13,62 - 2,85 = 9,9 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$



### ➤ Lumpur yang Dihasilkan

Ditentukan koefisien aerobik yang dibutuhkan yang diperoleh dari Metcalf and Eddy (2003) :

$$T \text{ (suhu)} = 25^\circ\text{C}$$

$$\text{Synthesis yield (Y)} = 0,45 \text{ g VSS/ g bCOD}$$

$$\text{Endogenous decay (b)} = 0,15 \text{ g VSS/ g VSS.hari}$$

$$\text{Nitrifier yield (Y}_n\text{)} = 0,15 \text{ g VSS/g NH}_4\text{-N}$$

$$\text{Nitrifier decay (b}_n\text{)} = 0,2 \text{ g VSS/ g VSS.hari}$$

$$\begin{aligned}
\text{bCOD/BOD} &= 1,6 \\
\text{BOD influen} &= 55,13 \text{ mg/L} = 0,0551 \text{ kg/m}^3 \\
\text{So} &= \text{bCOD} \\
&= 1,6 \times \text{BOD} \\
&= 1,6 \times 55,13 \text{ mg/L} \\
&= 88,21 \text{ mg/L} = 0,0882 \text{ kg/m}^3 \\
\text{nbCOD} &= \text{COD influen} - \text{bCOD} \\
&= 102,68 \text{ mg/L} - 88,21 \text{ mg/L} \\
&= 14,48 \text{ mg/L} = 0,0145 \text{ kg/m}^3 \\
\text{Se} &= \text{COD efluen} - \text{nbCOD} \\
&= 49,29 \text{ mg/L} - 14,48 \text{ mg/L} \\
&= 34,81 \text{ mg/L} = 0,0348 \text{ kg/m}^3 \\
\text{TKN} &= \text{Kelebihan NH}_3 = 44,7 \text{ mg/L} \\
&= 0,0447 \text{ kg/m}^3 \\
\text{Ne} &= \text{efluen NH}_3 = 10 \text{ mg/L} = 0,01 \text{ kg/m}^3 \\
\text{SRT} &= 5 \text{ hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Px}_{\text{vss}} &= \frac{Q \cdot Y \cdot (\text{So} - \text{Se})}{1 + (b \times \text{SRT})} + \frac{Q \cdot Y_n \cdot (\text{NOx})}{1 + (b_n \times \text{SRT})} \\
&= \frac{285,35 \times 0,45 \times (0,0882 - 0,0348)}{1 + (0,15 \times 5)} + \frac{285,35 \times 0,15 \times (0,0447 - 0,01)}{1 + (0,2 \times 5)} \\
&= 3,92 \text{ kg/hari} + 0,74 \text{ kg/hari} \\
&= 4,66 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

Dicari nilai NOx:

$$\begin{aligned}
\text{NOx} &= \text{TKN} - \text{Ne} - (0,12 \text{ Px}_{\text{vss}} / Q) \\
&= (0,0447 - 0,01) - [(0,12 \times 4,66) / 285,35] \\
&= 0,03274 \text{ kg/m}^3 = 32,74 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

Setelah ditemukan nilai NOx, dimasukkan ke rumus  $\text{Px}_{\text{vss}}$  kembali.

$$\begin{aligned}
\text{Px}_{\text{vss}} &= \frac{Q \cdot Y \cdot (\text{So} - \text{Se})}{1 + (b \times \text{SRT})} + \frac{Q \cdot Y_n \cdot (\text{NOx})}{1 + (b_n \times \text{SRT})} \\
&= \frac{285,35 \times 0,45 \times (0,0882 - 0,0348)}{1 + (0,15 \times 5)} + \frac{185,35 \times 0,15 \times (0,03274)}{1 + (0,2 \times 5)} \\
&= 3,92 \text{ kg/hari} + 0,70 \text{ kg/hari} \\
&= 4,62 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Massa Lumpur (Px}_{\text{TSS}}) &= \text{Px}_{\text{vss}} / 0,85 \\
&= 4,62 \text{ kg/hari} / 0,85
\end{aligned}$$

$$= 5,43 \text{ kg/hari}$$

➤ **Densitas Lumpur**

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi lumpur} &= 5\% ; \\ \text{Densitas lumpur} &= 2,65 \text{ kg/L} ; \\ \text{Konsentrasi air} &= 95\% \\ \text{Densitas air} &= 1 \text{ kg/L} \\ \text{densitas lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%} \\ &= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100} \\ &= 1,0825 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

➤ **Volume Lumpur pada *Aerobic Biofilter***

$$\begin{aligned} \text{Volume lumpur} &= \text{Massa lumpur} / \rho \text{ Lumpur} \\ &= \frac{5,43 \text{ kg/hari}}{1,0825 \text{ kg/L}} \\ &= 5 \text{ L/hari} \\ &= 0,01 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

➤ **Perhitungan Kebutuhan Oksigen**

$$\begin{aligned} R_o &= Q(S_o - S_e) - 1,42 P_{x_{vss}} + 4,33 Q \cdot \text{NO}_x \\ &= 285,35 \times (0,0882 - 0,0348) - 1,42 \times (4,62) \\ &\quad + (4,33 \times 285,35 \times 0,03274) \\ &= 49,1 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Massa jenis O}_2 = 1,1725 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{O}_2 \text{ dalam udara kering} = 23,2\%$$

$$\text{Asumsi efisiensi } \textit{diffuser} = 25\%$$

(25%-35%, untuk *diffuser* tipe *discs*, Metcalf and Eddy, 2003)

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara teoritis} &= R_o / (\text{massa jenis O}_2 \times 23,2\%) \\ &= 49,1 / (1,1725 \times 23,2\%) \\ &= 180,4 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara aktual} &= \text{kebutuhan udara teoritis} / \text{O}_2 \\ &\quad \text{terlarut} \\ &= (180,4 \text{ m}^3/\text{hari}) / 25\% \\ &= 722 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,5 \text{ m}^3/\text{menit} \\ &= 501 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

Aerator yang digunakan adalah *Disk Diffusers* dari Blowtac tipe Disc-245 dengan debit maksimal 150 L/menit. *Aerobic Biofilter* terdiri atas 3 bak, dan tiap bak diisi 1 *diffusers*.

#### 4.5.6 Desinfeksi *Cluster 2*

Unit desinfeksi bertujuan untuk membunuh bakteri-bakteri yang ada pada air limbah terutama bakteri *phatogen* sehingga aman dibuang ke badan air. Unit desinfeksi menggunakan kaporit dan pengaduk lambat berupa *baffled channel*. Dengan menggunakan *baffled channel* diharapkan kontak antara air limbah dengan larutan kaporit lebih maksimal. Berikut adalah perhitungannya.

$$\text{Total coliform influen (No)} = 17 \times 10^8 \text{ MPN/100 mL}$$

$$\text{Baku mutu (N)} = 3000 \text{ MPN/100 mL}$$

Berdasarkan Metcalf and Eddy (2003), diperoleh nilai sebagai berikut.

$$\text{Waktu kontak (T)} = 10 \text{ menit}$$

$$\text{Koefisien slope of Inactivation Curve (n)} = 2,8$$

$$\text{Koefisien Value of X-intercept (b)} = 4$$

Kebutuhan *chlorine* (C) adalah:

$$N/No = (C \times T / b)^{-n}$$

$$(3000)/(17 \times 10^8) = (C \times 10 / 4)^{-2,8}$$

$$(C \times 10 / 4) = 113,44$$

$$C = (113,44 \times 4) / 10$$

$$C = 45,38 \text{ mg/L}$$

$$\text{Sisa klor direncanakan} = 1 \text{ mg/L}$$

$$\text{Dosis klor dibutuhkan} = 45,38 + 1 = 46,38 \text{ mg/L}$$

$$\text{Kadar klor dalam kaporit} = 60\%$$

$$\text{Kebutuhan kaporit} = (Q_{\text{average}} \times \text{dosis klor}) \times \text{kemurnian}$$

$$= 1.141.400 \text{ L/hari} \times 46,38 \text{ mg/L} \times (100\%/60\%)$$

$$= 88.221.351,2 \text{ mg/hari}$$

$$= 88,2 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa jenis kaporit} = 0,86 \text{ kg/L}$$

$$\text{Debit kaporit} = \text{Kebutuhan kaporit/massa jenis kaporit}$$

$$\begin{aligned}
 &= (88,2 \text{ kg/hari}) / (0,86 \text{ kg/L}) \\
 &= 102,6 \text{ L/hari} \\
 &= 0,1 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi larutan kaporit yang akan dibuat} &= 10\% \\
 &= 0,1 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Debit pelarut yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned}
 &= [(100\% - \text{konsentrasi larutan}) / \text{konsentrasi larutan}] \times \text{debit kaporit} \\
 &= [(100\% - 10\%) / 10\%] \times 102,6 \text{ L/hari} \\
 &= 923,2 \text{ L/hari} = 0,92 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Debit larutan kaporit} &= \text{debit kaporit} + \text{debit pelarut} \\
 &= 0,1 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,92 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 &= 1,03 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

Pelarutan kaporit dilakukan sebanyak 24 jam sekali atau sehari 1 kali. Sehingga diperoleh dimensi bak pelarut sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= 1,03 \text{ m}^3 \\
 \text{H rencana} &= 1 \text{ m} \\
 \text{Freeboard} &= 0,3 \text{ m} \\
 \text{(P:L)} &= (1:1) \\
 A_{\text{surface}} &= \text{volume} / \text{H rencana} \\
 &= 1,03 \text{ m}^3 / 1 \text{ m} \\
 &= 1,03 \text{ m}^2 \\
 \text{Lebar} &= (A_{\text{surface}})^{1/2} \\
 &= (1,03 \text{ m}^2)^{1/2} \\
 &= 1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

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

Dimensi bak pelarut :

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

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

$$\text{Kedalaman (H)} = 1 \text{ m}$$

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

Setelah diperoleh dimensi bak pelarut, maka dilakukan perhitungan dimensi *baffled channel* yang dibutuhkan yaitu sebagai berikut.

Direncanakan:



Suhu = 25° C  
 Viskositas kinematis = 8,975 x 10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s  
 Kecepatan gravitasi = 9,8 m/s<sup>2</sup>  
 Waktu kontak (td) = 10 menit = 600 detik  
 Gradien kecepatan (G) = 40 detik<sup>-1</sup>

$$\begin{aligned} \text{Headloss total} &= \frac{G^2 \times v \times td}{g} \\ &= \frac{40^2 \times 8,975 \times 10^{-7} \times 600}{9,8} \\ &= 0,088 \text{ m} \end{aligned}$$

Pada perhitungan ini digunakan belokan dengan tipe elbow long radius 90° threaded, sehingga k = 0,7

Kecepatan aliran = 0,3 m/s

$$\begin{aligned} \text{Headloss belokan} &= \frac{k \times v^2}{2g} \\ &= \frac{0,7 \times 0,3^2}{2 \times 9,8} \\ &= 0,003 \text{ m} \end{aligned}$$

Jumlah belokan = headloss total / headloss belokan  
 = 0,066 m / 0,003 m  
 = 20,5 belokan ~ 21 belokan

Jumlah belokan dibutuhkan = jumlah belokan / 2  
 = 21 / 2 = 10,5 belokan ~ 11 belokan

$$\begin{aligned} \text{Headloss lurus} &= 1 \times \frac{v^2}{2 \times g} \\ &= 1 \times \frac{0,3^2}{2 \times 9,8} \\ &= 0,0046 \text{ m} \end{aligned}$$

Headloss total per sekat = (2xheadloss belokan) + headloss lurus  
 = (2x0,003) + 0,0046  
 = 0,011 m

Jumlah sekat dibutuhkan = headloss total / headloss total per sekat  
 = 0,088 / 0,011  
 = 7,98 buah ~ 8 buah

Debit baffled channel = 0,013 m<sup>3</sup>/detik

Kecepatan aliran (v) = 0,3 m/s

$$\begin{aligned}
\text{Luas saluran (A)} &= Q/v \\
&= (0,013 \text{ m}^3/\text{detik}) / 0,3 \text{ m/s} \\
&= 0,044 \text{ m}^2 \\
\text{L:H} &= 2:1 \text{ (penampang ekonomis)} \\
\text{H} &= (\text{Luas saluran}/2)^{0,5} \\
&= (0,044 \text{ m}^2/2)^{0,5} \\
&= 0,148 \sim 0,15 \text{ m} \\
\text{L (jarak antar sekat)} &= 2 \times \text{H} \\
&= 2 \times 0,15 \text{ m} \\
&= 0,3 \text{ m} \\
\text{Panjang lintasan} &= (v \times \text{td}) / (\text{jumlah sekat} + 1) \\
&= (0,3 \text{ m/detik} \times 600 \text{ detik}) / (8+1) \\
&= 20 \text{ m} \\
\text{Jarak ujung sekat ke dinding} &= \text{jarak antar sekat} \\
&= 0,3 \text{ m}
\end{aligned}$$

Dimensi *baffled channel*:

$$\begin{aligned}
\text{Panjang lintasan} &= 20 \text{ m} \\
\text{Kedalaman (H)} &= 0,15 \text{ m} \\
\text{Freeboard} &= 0,3 \text{ m} \\
\text{Jumlah sekat} &= 8 \text{ sekat} \\
\text{Jarak antar sekat} &= 0,3 \text{ m} \\
\text{Jarak ujung sekat ke dinding} &= 0,3 \text{ m}
\end{aligned}$$

#### 4.5.7 Profil Hidrolis IPAL *Cluster* 2

Profil hidrolis menggambarkan perbedaan muka air dari inlet hingga outlet IPAL. Penurunan muka air disebabkan oleh beberapa hal, antara lain jatuhan, belokan, kecepatan aliran, dan media filter.

Aliran air mengalami belokan dan jatuhan saat menuju unit selanjutnya. Perhitungan kehilangan tekanan akibat jatuhan dan belokan didasarkan pada **persamaan Manning**, yaitu:

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

Dimana:

v : kecepatan aliran (m/s)

- n : koefisien kekasaran
- R : jari-jari hidrolis (m)
- L : panjang jatuhnya atau belokan (m)

Kehilangan tekanan akibat gesekan aliran pada unit-unit IPAL ditentukan berdasarkan **persamaan Darcy-Weisbach**, yaitu:

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

$$f = 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R)$$

Dimana:

- L : panjang bangunan (m)
- R : jari-jari hidrolis (m)
- v : kecepatan aliran (m/s)
- g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

Sedangkan kehilangan tekanan dalam media filter sarang tawon ditentukan berdasarkan **persamaan Rose** sebagai berikut:

$$H_f = 1,067 \times \frac{C_D \times L \times v^2}{\psi \times d \times e^4 \times g}$$

$$N_{Re} = \frac{\psi \rho d v}{\mu}$$

$$\text{Untuk } N_{Re} < 1 \quad : C_D = \frac{24}{N_{Re}}$$

$$\text{Untuk } 1 < N_{Re} < 10^4 \quad : C_D = \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0,34$$

$$\text{Untuk } N_{Re} > 10^4 \quad : C_D = 0,4$$

Dimana:

- L : kedalaman filter (m)
- e : porositas media
- v : kecepatan filtrasi (m/s)
- g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- d : ukuran rongga media (m)
- ψ : faktor bentuk
- μ : viskositas dinamis (kg/m.s)
- ρ : massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

Pada *baffled channel* headloss total yang terjadi pada bak adalah sebagai berikut.

$$\frac{\mu \cdot t}{\rho \cdot g} \times G^2$$

Dimana:

- G : gradien kecepatan (detik<sup>-1</sup>)  
 t : waktu kontak (detik)  
 g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)  
 μ : viskositas dinamis (kg/m.s)  
 ρ : massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

## 1. Sumur Pengumpul

Headloss yang terjadi pada pompa:

Direncanakan :

- v asumsi = 1 m/detik
- Q<sub>ave</sub> = 0,013 m<sup>3</sup>/detik
- L<sub>discharge</sub> = 8,04 m
- Head Statik (Hs) = 5,54 m
- Koefisien kekasaran ( C ) = 130
- Diameter pipa *discharge* pompa = 100 mm = 0,1 m

Perhitungan:

$$\begin{aligned} A_{\text{pipa}} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,1 \text{ m})^2 \\ &= 0,0079 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$V \text{ cek} = \frac{Q}{A} = \frac{0,013}{0,0079} = 1,68 \text{ m/detik}$$

Head Mayor

$$hf \text{ discharge} = \left[ \frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L$$

$$hf \text{ discharge} = \left[ \frac{13,21 \text{ L/detik}}{0,00155 (130)(10 \text{ cm})^{2,63}} \right]^{1,85} \times 8,04 \text{ m}$$

$$hf \text{ discharge} = 0,0000007 \text{ m}$$

Head Minor

*Head minor* adalah berbagai kerugian *head* akibat katup, belokan, sambungan, dan lain-lain.

-Head minor akibat belokan 90°

Head minor akibat belokan 90° terjadi sebanyak sekali, nilai k pada belokan 90° yaitu 0,25. (Ningrum, 2008)

$$h_f = n \left[ k \frac{v^2}{2g} \right]$$

$$h_f = 1 \times \left[ 0,25 \frac{1,68^2}{2(9,81)} \right]$$

$$h_f = 0,036 \text{ m}$$

Hf kecepatan

$$H_f \text{ kecepatan} = \frac{v^2}{2g} = \frac{1,68^2}{2 \times 9,81} = 0,144 \text{ m}$$

Perhitungan Head Total Pompa

$$H = H_s + H_{\text{mayor}} + H_{\text{minor}} + H_f \text{ kecepatan}$$

$$H = 5,54 + 0,0000007 + 0,036 + 0,144$$

$$H = 5,72 \text{ m}$$

## **2. Distribution Box**

Headloss jatuhan

$$\text{Panjang (b)} = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Panjang jatuhan (L)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien kekasaran (n)} = 0,013$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = 1 \text{ m/s}$$

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

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = (b \times y) / (b + 2y)$$

$$= (0,9 \times 1) / (0,9 + (2 \times 1))$$

$$= 0,31 \text{ m}$$

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

$$= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,31)^{2/3}} \right)^2 \times 1$$

$$= 0,000804 \text{ m}$$

Headloss kecepatan

$$\text{Panjang (L)} = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 0,31 \text{ m} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,31)) \\
&= 0,03 \text{ m} \\
\text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
&= 0,03 \times \frac{0,9}{4(0,31)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\
&= 0,001126 \text{ m}
\end{aligned}$$

### 3. ABR

#### a. Kompartemen 1

##### Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}
\text{Panjang (b)} &= 5,7 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\
\text{Panjang jatuhan (L)} &= 2,2 \text{ m} \\
\text{Koefisien kekasaran (n)} &= 0,013 \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
\text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
&= (5,7 \times 2,2) / (5,7 + (2 \times 2,2)) \\
&= 1,24 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
&= \left( \frac{1 \times 0,013}{(1,24)^{2/3}} \right)^2 \times 2,2 \\
&= 0,000278 \text{ m}
\end{aligned}$$

##### Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
\text{Panjang (L)} &= 5,4 \text{ m} \\
\text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\
\text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 1,24 \text{ m} \\
\text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
\text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
&= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (1,24)) \\
&= 0,03 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,03 \times \frac{5,4}{4(1,24)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\
 &= 0,001745 \text{ m}
 \end{aligned}$$

## **b. Kompartemen 2 sampai 6**

### Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (b)} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\
 \text{Tinggi sekat (L)} &= 1,9 \text{ m} \\
 \text{Koefisien kekasaran (n)} &= 0,013 \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
 \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
 &= (2 \times 2,2) / (2 + (2 \times 2,2)) \\
 &= 0,69 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
 &= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,69)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9 \\
 &= 0,000528 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### Headloss belokan

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
 &= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,69)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9 \\
 &= 0,000528 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (L)} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 0,69 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
 \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
 &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,69)) \\
 &= 0,03 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,03 \times \frac{2}{4(0,69)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\
 &= 0,001115 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### 4. ***Aerobic Biofilter*** (Kompartemen 1 sampai 3)

##### Headloss jatuhan

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (b)} &= 3,2 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\
 \text{Tinggi sekat (L)} &= 1,9 \text{ m} \\
 \text{Koefisien kekasaran (n)} &= 0,013 \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
 \text{Percepatan gravitasi (g)} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\
 &= (3,2 \times 2,2) / (3,2 + (2 \times 2,2)) \\
 &= 0,93 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
 &= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,93)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9 \\
 &= 0,000356 \text{ m}
 \end{aligned}$$

##### Headloss belokan

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= \left( \frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 \times L \\
 &= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,93)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9 \\
 &= 0,000356 \text{ m}
 \end{aligned}$$

##### Headloss kecepatan

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (L)} &= 3,2 \text{ m} \\
 \text{Tinggi (y)} &= 2,2 \text{ m} \\
 \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= 0,93 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 1 \text{ m/s} \\
 \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\
 &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,93)) \\
 &= 0,03 \text{ m}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\
 &= 0,03 \times \frac{3,2}{4(0,93)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\
 &= 0,001324 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### Headloss media filter

$$\begin{aligned}
 \text{Kedalaman media (L)} &= 1,4 \text{ m} \\
 \text{Ukuran rongga (d)} &= 0,02 \text{ m} \\
 \text{Faktor bentuk media } (\psi) &= 0,78 \\
 \text{Porositas media (e)} &= 0,98 \\
 \text{Viskositas kinematis } (\mu) &= 8,7 \times 10^{-7} \text{ kg/m.s} \\
 \text{Massa jenis } (\rho) &= 0,997 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Kecepatan filtrasi (v)} &= v_{up} \\
 &= 0,00032 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{\Psi \rho d v}{\mu} \\
 &= \frac{0,78 \times 0,997 \times 0,02 \times 0,00032}{0,00000087} \\
 &= 5,68
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_D &= \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0,34 \\
 &= \frac{24}{5,68} + \frac{3}{\sqrt{5,68}} + 0,34 \\
 &= 5,83
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= 1,067 \times \frac{C_D \times L \times v^2}{\Psi \times d \times e^4 \times g} \\
 &= 1,067 \times \frac{5,83 \times 1,4 \times (0,00032)^2}{0,78 \times 0,02 \times (0,98)^4 \times 9,8} \\
 &= 0,0000062 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### **5. Baffled Channel**

#### Headloss total

$$\begin{aligned}
 \text{Gradien kecepatan (G)} &= 40 \text{ detik}^{-1} \\
 \text{Waktu kontak} &= 600 \text{ detik} \\
 \text{Percepatan gravitasi} &= 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 \text{Viskositas kinematis} &= 8,975 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik} \\
 \text{Headloss (Hf)} &= \frac{G^2 \times v \times t d}{g}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{40^2 \times 8,975 \times 10^{-7} \times 600}{9,8}$$

$$= 0,088 \text{ m}$$

Hasil perhitungan headloss masing-masing unit dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.39 Profil Hidrolis IPAL Cluster 2**

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss	Elevasi Muka Air (m)
<b>Elevasi Muka Tanah</b>			<b>5.90</b>
Sumur Pengumpul			<b>-0.37</b>
Pompa	Hf Statis	5.5	
	Hf Mayor	0.0000007	
	Hf Minor	0.25	
	Hf Kecepatan	0.144	
	<b>Hf Total</b>	<b>5.9</b>	<b>5.564</b>
Distribution Box	Hf Jatuhan	0.000804	
	Hf Kecepatan	0.001126	
	<b>Hf total</b>	<b>0.001931</b>	<b>5.562</b>
ABR			
Kompartemen 1	Hf Jatuhan	0.000278	
	Hf Kecepatan	0.001745	
Kompartemen 2	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 3	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 4	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 5	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 6	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
	<b>Hf Total</b>	<b>0.012876</b>	<b>5.550</b>
Aerobic Biofilter			
Kompartemen 1	Hf Jatuhan	0.000356	

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss	Elevasi Muka Air (m)
	Hf Kecepatan	0.001324	
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.0000063	
Kompartemen 2	Hf Jatuhan	0.000356	
	Hf Kecepatan	0.001324	
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.0000063	
Kompartemen 3	Hf Jatuhan	0.000356	
	Hf Kecepatan	0.001324	
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.0000063	
Kompartemen 4	Hf Jatuhan	0.000356	
	Hf Kecepatan	0.001324	
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.0000063	
	<b>Hf Total</b>	<b>0.008165</b>	<b>5.541</b>
Baffled Channel	<b>Hf Total</b>	<b>0.0879</b>	<b>5.453</b>
Outlet			<b>5.453</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

## 4.6 Perhitungan IPAL Cluster 3

### 4.6.1 Grease Trap

Pada setiap sambungan rumah akan dipasang *grease trap* pada bak kontrol. *Grease trap* ini berfungsi untuk memisahkan air limbah dari minyak dan lemak sehingga tidak akan mengganggu proses pengolahan biologis di IPAL utama. Menurut Wongthanate, et al. (2014), *grease trap* mampu meremoval minyak dan lemak hingga 95%. Berikut adalah perhitungan konsentrasi minyak dan lemak pada air limbah.

Konsentrasi awal = 20 mg/L

Persen removal = 95%

Konsentrasi akhir =  $(100-95)\% \times 20 \text{ mg/L}$

= 1 mg/L (memenuhi baku mutu)

### 4.6.2 Sumur Pengumpul *Cluster* 3

Sumur pengumpul diletakkan sebelum masuk IPAL. Sumur pengumpul akan menerima air limbah domestik secara langsung dari pipa sewer. Air limbah domestik dari sumur pengumpul akan dipompa menuju bangunan pengolahan air limbah. Selain sebagai tempat penampungan sementara air limbah, sumur pengumpul juga berfungsi untuk menstabilkan variasi debit dan konsentrasi air limbah. Hal ini dapat menghindari terjadinya *shock loading* di bangunan pengolahan.

#### a. Sumur Pengumpul

Direncanakan:

- Bak berbentuk segiempat
- Jumlah Bak =1
- Waktu Detensi/  $t_d$  (<10 menit) = 5 menit = 300 detik
- Diameter pipa sewer terakhir 315 mm
- Kedalaman pipa sewer terakhir = 4,18 m
- Tinggi sumur = 1,5 m
- P:L = 1 : 1
- $Q_{peak} = 0,026 \text{ m}^3/\text{detik} = 2.215,6 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $Q_{ave} = 0,020 \text{ m}^3/\text{detik} = 1.730,2 \text{ m}^3/\text{hari}$
- $Q_{min} = 0,005 \text{ m}^3/\text{detik} = 422 \text{ m}^3/\text{hari}$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Volume (V)} &= Q_{peak} \times T_d = (0,026 \text{ m}^3/\text{detik} \times 60) \times 5 \text{ menit} \\ &= 7,69 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$A_{\text{surface}} (A_s) = \frac{V}{h} = \frac{7,69}{1,5} = 5,13 \text{ m}^2$$

$$\text{Panjang} = \text{Lebar} = \sqrt{A_s} = \sqrt{5,13} = 2,3 \text{ m}$$

$$\text{Cek } T_d = \frac{V}{Q_{peak}} = \frac{5,13 \text{ m}^3}{0,026 \text{ m}^3/\text{detik}} = 300 \text{ detik} \rightarrow \text{OK}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{ave} &= Q_{ave} \times T_d / A_s \\ &= 0,020 \text{ m}^3/\text{detik} \times (60 \times 5 \text{ menit} / 5,13 \text{ m}^2) \\ &= 1,2 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H air saat } Q_{min} &= Q_{min} \times T_d / A_s \\ &= 0,005 \text{ m}^3/\text{detik} \times (60 \times 5 \text{ menit} / 5,13 \text{ m}^2) \\ &= 0,29 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H \text{ air saat } Q_{\text{peak}} &= Q_{\text{peak}} \times T_d / A_s \\
 &= 0,026 \text{ m}^3/\text{detik} \times (60 \times 5 \text{ menit} / 5,13 \text{ m}^2) \\
 &= 1,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga, diperoleh dimensi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang (P)} &= 2,3 \text{ m} \\
 \text{Lebar (l)} &= 2,3 \text{ m} \\
 \text{Kedalaman (H)} &= 1,5 \text{ m} \\
 \text{Freeboard (Fb)} &= 0,3 \text{ m} \\
 \text{Total H} &= 1,5 + 0,3 + 4,18 \text{ m} \\
 &= 5,98 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### b. **Bar Screen**

*Bar Screen* digunakan untuk menyaring air limbah dari partikel-partikel atau sampah yang berukuran besar. *Bar Screen* diletakkan sebelum pompa pada sumur pengumpul. Hal ini untuk mencegah kemungkinan terjadinya kerusakan pada pompa akibat penyumbatan oleh sampah yang ada di dalam air limbah.

Direncanakan :

- Pembersihan *bar screen* dilakukan secara manual
- Kemiringan batang secara vertikal sebesar  $65^\circ$
- Jarak antar batang sebesar 50 mm = 0,05 m
- Lebar batang sebesar 15 mm = 0,015 m

Lebar total screen = lebar sumur pengumpul = 2,3 m

Sehingga jumlah batang yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar total} &= (\text{jarak antar batang} \times n) + (\text{lebar batang} \times (n-1)) \\
 2,3 \text{ m} &= (0,05 \times n) + (0,015 \times (n-1)) \\
 2,3 \text{ m} &= 0,05 n + 0,015 n - 0,015 \\
 2,285 \text{ m} &= 0,065 n \\
 n &= 35,2 \text{ batang} = 35 \text{ batang}
 \end{aligned}$$

Cek jarak antar batang:

$$\begin{aligned}
 2,3 \text{ m} &= (\text{jarak antar batang} \times 35) + (0,015 \times (35-1)) \\
 2,3 \text{ m} &= (\text{jarak antar batang} \times 35) + 0,525 - 0,015 \\
 1,79 \text{ m} &= (\text{jarak antar batang} \times 35)
 \end{aligned}$$

Jarak antar batang = 0,051 m

### c. Pompa

Pompa berfungsi untuk mengalirkan air limbah domestik dari sumur pengumpul menuju unit IPAL. Pompa yang digunakan adalah pompa tipe submersible non clogging.

Direncanakan :

- $v$  asumsi = 1 m/detik
- $Q_{ave} = 0,020 \text{ m}^3/\text{detik}$  = 1.730,2  $\text{m}^3/\text{hari}$
- $L_{discharge}$  = 6,38 m
- Head Statik ( $H_s$ ) = 3,88 m
- Koefisien kekasaran ( $C$ ) = 130

Perhitungan:

$$A_{\text{pipa}} = \frac{Q_{\text{average}}}{v} = \frac{0,02}{1} = 0,02 \text{ m}^2$$

Diameter *discharge* pada pompa:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times A}{3,14}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,026}{3,14}} = 0,16 \text{ m} = 0,2 \text{ m} / 200 \text{ mm (D pasaran)}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{pipa cek}} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,2^2 = 0,03 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Diperoleh kecepatan aliran pompa;

$$V_{\text{cek}} = \frac{Q}{A} = \frac{0,02}{0,03} = 1 \text{ m/detik}$$

Head Mayor

$$hf_{\text{discharge}} = \left[ \frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L$$

$$hf_{\text{discharge}} = \left[ \frac{20 \text{ L/detik}}{0,00155 (130)(20 \text{ cm})^{2,63}} \right]^{1,85} \times 6,38 \text{ m}$$

$$hf_{\text{discharge}} = 0,0148 \text{ m}$$

Head Minor

*Head minor* adalah berbagai kerugian *head* akibat katup, belokan, sambungan, dan lain-lain.

-*Head minor* akibat belokan 90°

Head minor akibat belokan 90° terjadi sebanyak sekali, nilai k pada belokan 90° yaitu 0,25. (Ningrum, 2008)

$$h_f = n \left[ k \frac{v^2}{2g} \right]$$

$$h_f = 1 \times \left[ 0,25 \frac{1^2}{2(9,81)} \right]$$

$$h_f = 0,01274 \text{ m}$$

Hf kecepatan

$$H_f \text{ kecepatan} = \frac{v^2}{2g} = \frac{1^2}{2 \times 9,81} = 0,05 \text{ m}$$

Perhitungan Head Total Pompa

$$H = H_s + H_{\text{major}} + H_{\text{minor}} + H_f \text{ kecepatan}$$

$$H = 3,88 + 0,0148 + 0,01274 + 0,05$$

$$H = 3,96 \text{ m}$$

Perhitungan daya pompa

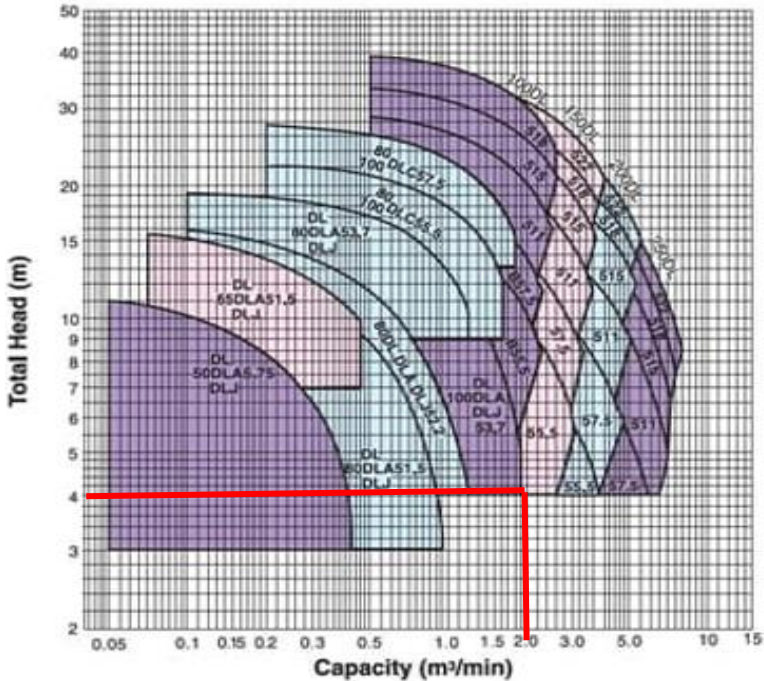
Perhitungan daya pompa menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Power pompa} &= \frac{\gamma \times H_{\text{tot}} \times Q}{\eta} \\ &= \frac{9,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 3,96 \text{ m} \times 0,026 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,75 \text{ kw.kN m/detik}} \\ &= 1,04 \text{ kw} \end{aligned}$$

Berdasarkan grafik Pompa Submersible Ebara, maka pompa yang digunakan adalah sebagai berikut. Pompa yang dipilih adalah tipe 150 DL 55.5 dengan diameter pipa *discharge* adalah 150 mm dan *motor output* sebesar 5,5 kw.

## SELECTION CHARTS

50 Hz (Synchronous speed 1500 min<sup>-1</sup>)



Gambar 4.13 Pompa *Submersible* Ebara  
(Sumber: [www.ebara.com](http://www.ebara.com))

### 4.6.3 *Distribution Box Cluster 3*

*Distribution box* berfungsi sebagai bak penampung air sebelum didistribusikan menuju unit pengolahan selanjutnya. *Distribution Box* digunakan ketika terdapat lebih dari satu bangunan sehingga debit yang masuk ke setiap bangunan merata. Dalam mendesain *distribution box* waktu tinggal air dibuat sesingkat mungkin dan dimensinya tidak terlalu besar. Hal ini bertujuan supaya tidak terjadi pengendapan di bak tersebut. Direncanakan:



- Berbentuk segiempat
- Waktu detensi (td) < 3 menit untuk menghindari terjadinya pengendapan lumpur
- Td = 1 menit = 60 detik
- $Q_{average}$  = 0,02 m<sup>3</sup>/detik
- Kedalaman *box* direncanakan = 1 m
- Tebal dinding = 0,15 m = 15 cm
- Freeboard = 0,3 m = 30 cm

Perhitungan:

- Volume *box* =  $Q_{average} \times Td$   
 = 0,02 m<sup>3</sup>/detik x 60 detik  
 = 1,2 m<sup>3</sup>
- $A_{surface}$  =  $\frac{Volume}{Kedalaman} = \frac{1,2 \text{ m}^3}{1 \text{ m}}$   
 = 1,2 m<sup>2</sup>
- P:L = 1:1
- Lebar =  $(A_{surface})^{1/2} = (1,2)^{1/2}$   
 = 1,09 m ~ 1,1 m
- Panjang *box* = Lebar = 1,1 m
- Cek volume = p x l x h  
 = 1,1 m x 1,1 m x 1 m  
 = 1,21 m<sup>3</sup>
- Cek td =  $\frac{volume}{Q_{average}} = \frac{1,21 \text{ m}^3}{0,02 \text{ m}^3/\text{detik}} = 60 \text{ detik (OK)}$

Hasil dimensi *Distribution Box*:

- Luas Area = 1,21 m<sup>2</sup>
- Panjang = 1,1 m
- Lebar = 1,1 m
- kedalaman = 1 + 0,3 = 1,3 m

#### 4.6.4 ABR Cluster 3

Pengolahan air limbah domestik yang hanya menggunakan proses anaerob maka hasil olahan hanya dapat menurunkan konsentrasi polutan minyak atau lemak, organik (BOD, COD), serta total padatan tersuspensi (TSS) .Sedangkan

untuk amoniak dan *total coliform* tidak bisa karena membutuhkan kondisi aerobik dalam pengolahannya.

$$Q_{average} = 1.730,2 \text{ m}^3/\text{hari} = 0,020 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{TSS influen} = 186 \text{ mg/L}$$

$$\text{COD influen} = 398 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD influen} = 234 \text{ mg/L}$$

$$\text{NH}_3 \text{ influen} = 50 \text{ mg/L}$$

### a. Kompartemen I (Ruang Settling)

Direncanakan waktu detensi (Td):

$$\text{Kriteria desain} = 2\text{-}6 \text{ jam (Metcalf and Eddy, 2003)}$$

$$\text{Td rencana} = 3 \text{ jam}$$

Item	b	a
BOD	0,02	0,018
TSS	0,014	0,0075

Sumber: Metcalf and Eddy, 2003

$$\%R = \frac{td}{a+(b \times td)}$$

Berdasarkan rumus dari Metcalf and Eddy, diperoleh persen removal sebagai berikut.

$$\text{➤ \%Removal TSS} = \frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,0075+(0,014 \times 3)} = 61\%$$

$$\text{➤ \%Removal BOD} = \frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,018+(0,02 \times 3)} = 38\%$$

Karena Td adalah 3 jam (< 30 jam), maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen removal COD dengan rumus:

$$= (td-3) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= (3-1) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= 0,4 \times 100\% = 40\%$$

### ➤ **Konsentrasi Efluen Kompartemen I**

$$\begin{aligned} [\text{TSS efluen}] &= (100 - 61) \% \times 186 \text{ mg/L} \\ &= 72,54 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{TSS tersisihkan}] &= [\text{TSS influen}] - [\text{TSS efluen}] \\ &= 186 - 72,54 = 113,46 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$[\text{COD efluen}] = (100 - 40) \% \times 398 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}
&= 238,8 \text{ mg/L} \\
[\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD influen}]-[\text{COD efluen}] \\
&= 398 - 238,8 = 159,2 \text{ mg/L} \\
[\text{BOD efluen}] &= (100 - 38) \% \times 234 \text{ mg/L} \\
&= 145,08 \text{ mg/L} \\
[\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}]-[\text{BOD efluen}] \\
&= 234 - 145,08 = 88,92 \text{ mg/L}
\end{aligned}$$

Pada kompartemen I tidak terjadi penyisihan amoniak karena proses yang terjadi adalah proses fisik.

➤ **Produksi Lumpur selama 2 tahun (SNI)**

$$\begin{aligned}
\text{Massa lumpur dihasilkan} &= \text{Lumpur TSS} \times \text{durasi pengurasan} \\
&= 196,31 \text{ kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari} \\
&= 143.305,2 \text{ kg/2 tahun}
\end{aligned}$$

Berdasarkan durasi pengurasan 2 tahun atau 24 bulan, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen reduksi volume lumpur di bak pengendapan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
&= \text{HRT} < 36 \text{ bulan} \\
&= 1 - \text{HRT} \times 0,014 \\
&= 1 - 24 \times 0,014 \\
&= 0,664 \times 100\% \\
&= 66,4\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= 66,4\% \times \text{produksi lumpur} \\
&= 66,4\% \times 143.305,2 \text{ kg/2 tahun} \\
&= 95.154,7 \text{ kg/2 tahun}
\end{aligned}$$

➤ **Densitas Lumpur**

$$\begin{aligned}
\text{Konsentrasi lumpur} &= 5\% ; \\
\text{Densitas lumpur} &= 2,65 \text{ kg/L} ; \\
\text{Konsentrasi air} &= 95\% \\
\text{Densitas air} &= 1 \text{ kg/L} \\
\text{densitas lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%} \\
&= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100} \\
&= 1,0825 \text{ kg/L}
\end{aligned}$$

➤ **Volume Lumpur pada settling zone**

Waktu stabilisasi lumpur = 2 tahun (SNI)

$$\begin{aligned}\text{Volume lumpur} &= \text{stabilisasi lumpur 2 tahun} / \rho \text{ Lumpur} \\ &= \frac{95.154,7 \text{ kg}}{1,0825 \text{ kg/L}} \\ &= 87.902,7 \text{ L} \\ &= 87,9 \text{ m}^3\end{aligned}$$

➤ **Dimensi Ruang Lumpur dan Kompartemen I**

$$\begin{aligned}\text{Kemampuan gali} &= 4,5 \text{ m} \\ \text{Free board} &= 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m} \\ \text{Ketinggian ABR rencana (H)} &= 3 \text{ m} \\ \text{h ruang lumpur} &= 30\% \times \text{h ABR} \\ &= 30\% \times 3 \text{ m} \\ &= 0,9 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas ruang lumpur} &= \text{Volume lumpur} / \text{h ruang lumpur} \\ &= 87,9 \text{ m}^3 / 0,9 \text{ m} \\ &= 97,67 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume kompartemen I} &= Q_{\text{average}} \times \text{td} \\ &= 1.730,2 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3 \text{ jam} \times \frac{1}{24} \text{ hari/jam} \\ &= 216,28 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas kompartemen I} &= \text{Volume} / \text{h kompartemen} \\ &= \frac{216,28 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} \\ &= 72,1 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$P : L = 2 : 1$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar ruang lumpur} &= (\text{Luas ruang lumpur} / 2)^{0,5} \\ &= (97,67 / 2)^{0,5} \\ &= 7 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Lebar kompartemen I} &= (\text{Luas kompartemen I} / 2)^{0,5} \\ &= (72,1 / 2)^{0,5} \\ &= 6 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Panjang ruang lumpur} &= \text{Lebar ruang lumpur} \times 2 \\ &= 7 \text{ m} \times 2\end{aligned}$$

$$= 14 \text{ m}$$

Panjang kompartemen I = Lebar kompartemen I x 2

$$= 6 \text{ m}^2 \times 2$$

$$= 12 \text{ m}$$

Panjang dan lebar yang digunakan adalah yang memiliki nilai terbesar yaitu 14 dan 7 m untuk keamanan bangunan. Sehingga kedalaman pada bangunan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Cek Kedalaman (h)} = \frac{\text{Volume kompartemen I}}{\text{panjang} \times \text{lebar}}$$

$$= \frac{216,28 \text{ m}^3}{14 \text{ m} \times 7 \text{ m}}$$

$$= 2,2 \text{ m (kriteria desain} < 4 \text{ m)}$$

#### **b. Kompartemen II (ABR)**

$$\text{Rentang HLR} = (16,8 - 38,4) \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$\text{HRT} = 6\text{-}24 \text{ jam}$$

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

Direncanakan:

$$\text{HLR} = 25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$[\text{BOD efluen}] = 30 \text{ mg}/\text{L} \text{ (**Baku Mutu**)}$$

$$[\text{BOD tersisihkan}] = [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}]$$

$$= 145,08 - 30 = 115,08 \text{ mg}/\text{L}$$

$$\text{BOD removal} = (\text{BOD tersisihkan} / \text{BOD influen}) \times 100\%$$

$$= (115,08 / 145,08) \times 100\% = 79,3\%$$

Berdasarkan persen removal BOD, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh HRT sebagai berikut.

$$\text{HRT} = < 10 \text{ jam}$$

$$\text{Faktor} = (\text{HRT} - 5) \times 0,31/5 + 0,51$$

$$0,793 = (\text{HRT} - 5) \times 0,31/5 + 0,51$$

$$\text{HRT} = [(0,793 - 0,51) \times 5 / 0,31] + 5$$

$$= 9,57 \text{ jam} \sim 9,6 \text{ jam}$$

$$\text{H total} = \text{HLR} \times \text{HRT}$$

$$\begin{aligned}
 &= (25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hari})/24 \text{ jam/hari} \times 9,6 \text{ jam} \\
 &= 10 \text{ m} \\
 \text{H ABR} &= \text{H kompartemen I} \\
 &= 2,2 \text{ m} \\
 \text{Jumlah kompartemen} &= \text{H total} / \text{H ABR} \\
 &= 10 \text{ m} / 2,2 \text{ m} \\
 &= 4,5 \sim 5 \text{ kompartemen} \\
 \text{Volume total} &= Q_{\text{average}} \times \text{HRT} \\
 &= (1.730,2 \text{ m}^3/\text{hari})/24 \text{ jam/hari} \times 9,6 \text{ jam} \\
 &= 692,08 \text{ m}^3 \\
 A_{\text{surface total}} &= \text{Volume total} / \text{H ABR} \\
 &= 692,08 \text{ m}^3 / 2,2 \text{ m} \\
 &= 312,54 \text{ m}^2 \\
 A_{\text{surface 1 ABR}} &= A_{\text{surface total}} / \text{jumlah kompartemen} \\
 &= 312,54 \text{ m}^2 / 5 \\
 &= 62,51 \text{ m}^2 \\
 \text{Lebar} &= \text{Lebar kompartemen I} \\
 &= 7 \text{ m} \\
 \text{Panjang 1 ABR} &= A_{\text{surface 1 ABR}} / \text{lebar} \\
 &= 62,51 \text{ m}^2 / 7 \text{ m} \\
 &= 8,9 \text{ m (Terlalu Panjang)}
 \end{aligned}$$

ABR dengan panjang yang berlebihan akan menyebabkan aliran yang tidak seragam atau terjadinya *dead zone*. Untuk menghindari hal tersebut maka debit yang masuk harus dikurangi dengan cara membagi ABR menjadi beberapa unit. Perhitungan jumlah ABR adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang ABR rencana} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Jumlah ABR} &= \text{Panjang 1 ABR} / \text{Panjang ABR rencana} \\
 &= 8,9 \text{ m} / 2 \text{ m} \\
 &= 4,5 \text{ ABR} \sim 5 \text{ ABR}
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk **cluster 3** direncanakan akan dibangun **5 unit IPAL ABR yang diletakkan secara paralel dengan dimensi yang sama**, maka debit setiap unitnya dapat dihitung:

$$Q_{\text{peak}} \text{ per unit} = 2.215,6, \text{ m}^3/\text{hari} / 5 \text{ unit}$$

$$\begin{aligned}
 &= 443,12 \text{ m}^3/\text{hari} = 443.120 \text{ L/hari} \\
 Q_{\text{average}} \text{ per unit} &= 1.730,2 \text{ m}^3/\text{hari} / 5 \text{ unit} \\
 &= 346,04 \text{ m}^3/\text{hari} = 346.040 \text{ L/hari}
 \end{aligned}$$

**a. Kompartemen I (Ruang *Settling*)**

TSS influen = 186 mg/L

COD influen = 398 mg/L

BOD influen = 234 mg/L

NH3 influen = 50 mg/L

$Q_{\text{average}}$  per unit = 346,04 m<sup>3</sup>/hari

Direncanakan waktu detensi (Td):

Kriteria desain = 2-6 jam (Metcalf and Eddy,2003)

Td rencana = 3 jam

Item	b	a
BOD	0,02	0,018
TSS	0,014	0,0075

Sumber: Metcalf and Eddy, 2003

$$\%R = \frac{td}{a+(b \times td)}$$

Berdasarkan rumus dari Metcalf and Eddy, diperoleh persen removal sebagai berikut.

➤ %Removal TSS =  $\frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,0075+(0,014 \times 3)} = 61\%$

➤ %Removal BOD =  $\frac{td}{a+(b \times td)} = \frac{3}{0,018+(0,02 \times 3)} = 38\%$

Karena Td adalah 3 jam (< 30 jam), maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen removal COD dengan rumus:

$$= (td-3) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= (3-1) \times 0,15/27 + 0,4$$

$$= 0,4 \times 100\% = 40\%$$

➤ **Konsentrasi Efluen Kompartemen I**

[TSS efluen] = (100 – 61) % x 186 mg/L  
= 72,54 mg/L

[TSS tersisihkan] = [TSS influen]-[TSS efluen]  
= 186 – 72,54 = 113,46 mg/L

$$\begin{aligned}
 [\text{COD efluen}] &= (100 - 40) \% \times 398 \text{ mg/L} \\
 &= 238,8 \text{ mg/L} \\
 [\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD influen}] - [\text{COD efluen}] \\
 &= 398 - 238,8 = 159,2 \text{ mg/L} \\
 [\text{BOD efluen}] &= (100 - 38) \% \times 234 \text{ mg/L} \\
 &= 145,08 \text{ mg/L} \\
 [\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}] \\
 &= 234 - 145,08 = 88,92 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Pada kompartemen I tidak terjadi penyisihan amoniak karena proses yang terjadi adalah proses fisik.

➤ **Mass Balance Kompartemen I**

**Tabel 4.40 Efisiensi Kompartemen I ABR Cluster 3**

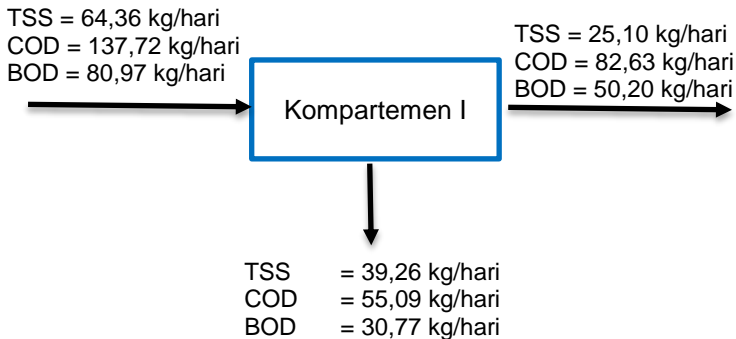
Parameter	Nilai Influen (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Nilai Efluen (mg/L)
TSS	186	61%	72,54
BOD	234	38%	145,08
COD	398	40%	238,8

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TSS influen} &= (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{186 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 64,36 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD influen} &= (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{398 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 137,72 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa BOD influen} &= (\text{BOD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{234 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 80,97 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa TSS efluen} &= (\text{TSS efluen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{72,54 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 25,1 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa COD efluen} &= (\text{COD efluen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{238,8 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 82,63 \text{ kg/hari} \\
 \text{Massa BOD efluen} &= (\text{BOD efluen} \times Q_{\text{average}})
 \end{aligned}$$



$$= \frac{145,08 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 50,20 \text{ kg/hari}$$

Massa TSS tersisihkan = TSS influen – TSS efluen  
 = 64,36 – 25,01 = 39,26 kg/hari  
 Massa COD tersisihkan = COD influen – COD efluen  
 = 137,72 – 82,63 = 55,09 kg/hari  
 Massa BOD tersisihkan = BOD influen – BOD efluen  
 = 80,97 – 50,20 = 30,77 kg/hari



➤ **Produksi Lumpur selama 2 tahun (SNI)**

Massa lumpur dihasilkan = Lumpur TSS x durasi pengurasan  
 = 39,26 kg/hari x 2 tahun x 365 hari  
 = 28.661 kg/2 tahun

Berdasarkan durasi pengurasan 2 tahun atau 24 bulan, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen reduksi volume lumpur di bak pengendapan sebagai berikut.

= HRT < 36 bulan  
 = 1 - HRT x 0,014  
 = 1 - 24 x 0,014  
 = 0,664 x 100%  
 = 66,4%

Stabilisasi lumpur 2 tahun = 66,4% x produksi lumpur  
 = 66,4% x 28.661 kg/2 tahun  
 = 19.030,9 kg/2 tahun

➤ **Densitas Lumpur**

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi lumpur} &= 5\% ; \\ \text{Densitas lumpur} &= 2,65 \text{ kg/L} ; \\ \text{Konsentrasi air} &= 95\% \\ \text{Densitas air} &= 1 \text{ kg/L} \\ \text{densitas lumpur} &= \frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%} \\ &= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100} \\ &= 1,0825 \text{ kg/L} \end{aligned}$$

➤ **Volume Lumpur pada *settling zone***

$$\begin{aligned} \text{Waktu stabilisasi lumpur} &= 2 \text{ tahun (SNI)} \\ \text{Volume lumpur} &= \text{stabilisasi lumpur 2 tahun} / \rho \text{ Lumpur} \\ &= \frac{19.030,9 \text{ kg}}{1,0825 \text{ kg/L}} \\ &= 17.580,5 \text{ L} \\ &= 17,58 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

➤ **Dimensi Ruang Lumpur dan Kompartemen I**

$$\begin{aligned} \text{Kemampuan gali} &= 4,5 \text{ m} \\ \text{Free board} &= 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m} \\ \text{Tebal dinding plat} &= 15 \text{ cm} \\ \text{Ketinggian ABR rencana (H)} &= 3 \text{ m} \\ \text{h ruang lumpur} &= 30\% \times \text{h ABR} \\ &= 30\% \times 3 \text{ m} \\ &= 0,9 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas ruang lumpur} &= \text{Volume lumpur} / \text{h ruang lumpur} \\ &= 17,58 \text{ m}^3 / 0,9 \text{ m} \\ &= 19,53 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume kompartemen I} &= Q_{\text{average}} \times \text{td} \\ &= 346,04 \text{ m}^3/\text{hari} \times 3 \text{ jam} \times \frac{1}{24} \text{ hari/jam} \\ &= 43 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas kompartemen I} &= \text{Volume} / \text{h kompartemen} \\ &= \frac{43 \text{ m}^3}{3 \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 14,4 \text{ m}^2 \\
 P : L &= 2 : 1 \\
 \text{Lebar ruang lumpur} &= (\text{Luas ruang lumpur} / 2)^{0,5} \\
 &= (19,53 / 2)^{0,5} \\
 &= 3,1 \text{ m} \\
 \text{Lebar kompartemen I} &= (\text{Luas kompartemen I} / 2)^{0,5} \\
 &= (14,4 / 2)^{0,5} \\
 &= 2,7 \text{ m} \\
 \text{Panjang ruang lumpur} &= \text{Lebar ruang lumpur} \times 2 \\
 &= 3,1 \text{ m}^2 \times 2 \\
 &= 6,2 \text{ m} \\
 \text{Panjang kompartemen I} &= \text{Lebar kompartemen I} \times 2 \\
 &= 2,7 \text{ m}^2 \times 2 \\
 &= 5,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Panjang dan lebar yang digunakan adalah yang memiliki nilai terbesar yaitu 6,2 m dan 3,1 m untuk keamanan bangunan. Sehingga kedalaman pada bangunan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Cek Kedalaman (h)} &= \frac{\text{Volume kompartemen I}}{\text{panjang} \times \text{lebar}} \\
 &= \frac{43 \text{ m}^3}{6,2 \text{ m} \times 3,1 \text{ m}} \\
 &= 2,2 \text{ m (kriteria desain} < 4 \text{ m)}
 \end{aligned}$$

### **Dimensi Kompartemen I**

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 6,2 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 3,1 \text{ m} \\
 \text{Kedalaman total} &= \text{Kedalaman} + \text{freeboard} \\
 &= 2,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\
 &= 2,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### **b. Kompartemen II (ABR)**

$$\begin{aligned}
 \text{TSS influen} &= 72,54 \text{ mg/L} \\
 \text{COD influen} &= 238,8 \text{ mg/L} \\
 \text{BOD influen} &= 145,08 \text{ mg/L} \\
 \text{NH}_3 \text{ influen} &= 50 \text{ mg/L} \\
 Q_{\text{average}} \text{ per unit} &= 346,04 \text{ m}^3/\text{hari} = 346.040\text{L/hari}
 \end{aligned}$$

Kriteria desain (Metcalf and Eddy, 2003):

$$\text{Rentang HLR} = (16,8 - 38,4) \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$\text{HRT} = 6-24 \text{ jam}$$

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

Direncanakan:

$$\text{HLR} = 25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

$$[\text{BOD efluen}] = 30 \text{ mg/L (Baku Mutu)}$$

$$[\text{BOD tersisihkan}] = [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}] \\ = 145,08 - 30 = 115,08 \text{ mg/L}$$

$$\text{BOD removal} = (\text{BOD tersisihkan} / \text{BOD influen}) \times 100\% \\ = (115,08 / 145,08) \times 100\% = 79,3\%$$

Berdasarkan persen removal BOD, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh HRT sebagai berikut.

$$\text{HRT} = < 10 \text{ jam}$$

$$\text{Faktor} = (\text{HRT} - 5) \times 0,31/5 + 0,51$$

$$0,793 = (\text{HRT} - 5) \times 0,31/5 + 0,51$$

$$\text{HRT} = [(0,793 - 0,51) \times 5 / 0,31] + 5 \\ = 9,57 \text{ jam} \sim 9,6 \text{ jam}$$

$$\text{H total} = \text{HLR} \times \text{HRT} \\ = (25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}) / 24 \text{ jam}/\text{hari} \times 9,6 \text{ jam} \\ = 10 \text{ m}$$

$$\text{H ABR} = \text{H kompartemen I} \\ = 2,2 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah kompartemen} = \text{H total} / \text{H ABR} \\ = 10 \text{ m} / 2,2 \text{ m} \\ = 4,5 \sim 5 \text{ kompartemen}$$

$$\text{Volume total} = Q_{\text{average}} \times \text{HRT} \\ = (346,04 \text{ m}^3/\text{hari}) / 24 \text{ jam}/\text{hari} \times 9,6 \text{ jam} \\ = 138,42 \text{ m}^3$$

$$A_{\text{surface total}} = \text{Volume total} / \text{H ABR} \\ = 138,42 \text{ m}^3 / 2,2 \text{ m} \\ = 62,51 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{surface 1 ABR}} = A_{\text{surface total}} / \text{jumlah kompartemen}$$

$$= 62,51 \text{ m}^2 / 5$$

$$= 12,5 \text{ m}^2$$

Panjang 1 ABR rencana = 2 m

Lebar 1 ABR =  $A_{\text{surface}} \text{ 1 ABR} / \text{panjang 1 ABR}$

$$= 12,5 \text{ m}^2 / 2 \text{ m}$$

$$= 6,3 \text{ m}$$

Cek  $A_{\text{surface}}$  1 ABR = Panjang 1 ABR x lebar

$$= 2 \text{ m} \times 6,3 \text{ m} = 12,6 \text{ m}^2$$

Cek volume 1 ABR = Panjang 1 ABR x lebar x Hair

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

$$= 27,72 \text{ m}^3$$

Cek volume total = Volume 1 ABR x Jumlah kompartemen

$$= 27,72 \text{ m}^3 \times 5 \text{ kompartemen}$$

$$= 138,6 \text{ m}^3$$

Cek HLR =  $Q_{\text{average}} / A_{\text{surface}} \text{ 1 ABR}$

$$= (346,04 \text{ m}^3/\text{hari}) / 12,6 \text{ m}^2$$

$$= 27,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{hari}$$

**(kriteria desain 16,8-38,4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.hari)**

Cek HRT = Volume total /  $Q_{\text{average}}$

$$= 138,6 \text{ m}^3 / (346,04 \text{ m}^3/\text{hari})$$

$$= 0,4 \text{ hari} \times 24 \text{ jam/hari}$$

$$= 9,6 \text{ jam (kriteria desain 6-24 jam)}$$

Organic Loading (OL) = BOD influen x Q

$$= (145,08 \text{ mg/L} \times 346,04 \text{ L/hari})/1000000$$

$$= 50,20 \text{ kg BOD/hari}$$

Cek OLR = OL / volume total

$$= 50,30 \text{ kg BOD/hari} / 138,6 \text{ m}^3$$

$$= 0,4 \text{ kg BOD/m}^3.\text{hari}$$

**(kriteria desain < 3 kg BOD/m<sup>3</sup>.hari)**

Cek Vup =  $Q_{\text{average}} / A_{\text{surface}} \text{ 1 ABR}$

$$= (346,04 \text{ m}^3/\text{hari}) / 12,6 \text{ m}^2$$

$$= 27,5 \text{ m/hari}$$

$$= 1,1 \text{ m/jam (kriteria desain < 2 m/jam)}$$

## Dimensi Kompartemen II (ABR)

$$\begin{aligned}\text{Panjang total} &= \text{panjang kompartemen} \times \text{jumlah kompartemen} \\ &= 2 \text{ m} \times 5 \text{ kompartemen} \\ &= 10 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Lebar} = 6,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman total} &= \text{Kedalaman} + \text{freeboard} \\ &= 2,2 \text{ m} + 0,3 \text{ m} \\ &= 2,5 \text{ m}\end{aligned}$$

### Perhitungan pipa baffled:

$$V_{\text{asumsi}} = 1 \text{ m/detik}$$

$$\begin{aligned}A_{\text{pipa}} &= Q_{\text{average}} / V_{\text{asumsi}} \\ &= (0,004 \text{ m}^3/\text{detik}) / (1 \text{ m/detik}) \\ &= 0,004 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Diameter pipa} &= [(4 \times A_{\text{pipa}}) / 3,14]^{0,5} \\ &= 0,071 \text{ m} \sim 80 \text{ mm (diamater pasaran)}\end{aligned}$$

$$\text{Jarak antar pipa} = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

### ➤ **Konsentrasi Efluen ABR**

Dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal BOD sebagai berikut.

- Berdasarkan OLR < 6 kg/m<sup>3</sup>.hari = faktor 1

- Berdasarkan BOD influen < 150 mg/L

$$\begin{aligned}\text{Faktor} &= \text{BOD influen} \times 0,37/150 + 0,4 \\ &= 145,08 \times 0,37/150 + 0,4 = 0,76\end{aligned}$$

- Berdasarkan HRT < 10 jam

$$\begin{aligned}\text{Faktor} &= (\text{HRT}-5) \times 0,31/5 + 0,51 \\ &= (9,6-5) \times 0,31/5 + 0,51 = 0,8\end{aligned}$$

- Berdasarkan jumlah kompartemen > 3

$$\begin{aligned}\text{Faktor} &= (\text{jumlah} - 3) \times 0,06 + 0,9 \\ &= (5-3) \times 0,06 + 0,9 = 1,02\end{aligned}$$

- Berdasarkan suhu 25°C

$$\begin{aligned}\text{Faktor} &= (\text{suhu}-25) \times 0,05/5 + 1 \\ &= 1\end{aligned}$$

$$\% \text{ removal BOD} = 1 \times 0,76 \times 0,8 \times 1,02 \times 1 = 0,62$$

$$= 62\%$$

Berdasarkan persen removal BOD, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal COD sebagai berikut.

$$\text{BOD removal} = < 0,75$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor} &= 0,9434 - (\text{BOD removal} - 0,5) \times 0,0545/0,25 \\ &= 0,9434 - (0,62 - 0,5) \times 0,0545/0,25 = 0,917 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{COD removal} &= \text{Faktor} \times \text{BOD removal} \\ &= 0,917 \times 62\% \end{aligned}$$

$$\% \text{ removal COD} = 57\%$$

$$\begin{aligned} [\text{COD efluen}] &= (100 - 57) \% \times 238,8 \text{ mg/L} \\ &= 102,68 \text{ mg/L (belum memenuhi baku mutu)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD influen}] - [\text{COD efluen}] \\ &= 238,8 - 102,68 = 136,12 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD efluen}] &= (100 - 62) \% \times 145,08 \text{ mg/L} \\ &= 55,13 \text{ mg/L (belum memenuhi baku mutu)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}] - [\text{BOD efluen}] \\ &= 145,08 - 55,13 = 89,95 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$[\text{TSS efluen}] = 30 \text{ mg/L (sesuai baku mutu)}$$

$$\begin{aligned} [\text{TSS tersisihkan}] &= [\text{TSS influen}] - [\text{TSS efluen}] \\ &= 72,54 - 30 = 42,54 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ removal TSS} &= \frac{\text{TSS influen} - \text{efluen baku mutu}}{\text{TSS influen}} \times 100\% \\ &= \frac{72,54 \text{ mg/L} - 30 \text{ mg/L}}{72,54 \text{ mg/L}} \times 100\% \\ &= 58,6\% \end{aligned}$$

Pada proses biologis, mikroba ataupun bakteri membutuhkan nutrisi untuk menunjang pertumbuhan bakteri. Menurut Tchobanoglous (2014), rasio COD:N:P untuk proses anaerobik adalah 300:5:1. Pada perencanaan ini parameter yang digunakan adalah N dalam bentuk amoniak. Berikut adalah perhitungan kebutuhan N oleh mikroba di ABR.

$$\text{Rasio COD:N} = 300:5$$

$$\begin{aligned}
 [\text{COD tersisihkan}] &= 100,8 \text{ mg/L} \\
 [\text{Kebutuhan N}] &= (5/300) \times [\text{COD tersisihkan}] \\
 &= (5/300) \times 136,12 \text{ mg/L} \\
 &= 2,27 \text{ mg/L} \\
 [\text{NH}_3 \text{ efluen}] &= [\text{NH}_3 \text{ influen}] - [\text{Kebutuhan N}] \\
 &= 50 - 2,27 = 47,73 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

➤ **Mass Balance ABR**

**Tabel 4.41 Efisiensi ABR Cluster 3**

Parameter	Nilai Influen (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Nilai Efluen (mg/L)
TSS	72,54	58,6%	30
BOD	145,08	62%	55,13
COD	238,8	57%	102,68
NH <sub>3</sub>	50	4,54%	47,73

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TSS influen} &= (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{72,54 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 25,10 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa COD influen} &= (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{238,8 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 82,63 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa BOD influen} &= (\text{BOD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{145,08 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 50,20 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa NH}_3 \text{ influen} &= (\text{NH}_3 \text{ influen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{50 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 17,30 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa TSS effluen} &= (\text{TSS effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{30 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 10,38 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa COD effluen} &= (\text{COD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
 &= \frac{102,68 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 35,53 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\text{Massa BOD effluen} = (\text{BOD effluen} \times Q_{\text{average}})$$



$$= \frac{55,13 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 19,08 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa NH}_3 \text{ effluen} = (\text{NH}_3 \text{ effluen} \times Q_{\text{average}})$$

$$= \frac{47,73 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 16,52 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa TSS tersisihkan} = \text{TSS influen} - \text{TSS effluen}$$

$$= 25,10 - 10,38 = 14,72 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa COD tersisihkan} = \text{COD influen} - \text{COD effluen}$$

$$= 82,63 - 35,53 = 47,10 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa BOD tersisihkan} = \text{BOD influen} - \text{BOD effluen}$$

$$= 50,20 - 19,08 = 31,13 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa NH}_3 \text{ dibutuhkan} = \text{NH}_3 \text{ influen} - \text{NH}_3 \text{ effluen}$$

$$= 17,30 - 16,52 = 0,79 \text{ kg/hari}$$

### ➤ **Produksi Biogas**

$$\text{Synthesis yield in anaerob (Y)} = 0,06 \text{ g VSS/g COD}$$

$$\text{Massa COD tersisihkan} = 47,10 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa COD}_{\text{VSS}} = 1,42 \times Y \times \text{Massa COD tersisihkan}$$

$$= 1,42 \times 0,06 \text{ gVSS/gCOD} \times 47,10 \text{ kg/hari}$$

$$= 4,01 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa COD}_{\text{TSS}} = \text{Massa COD}_{\text{VSS}} / 0,85$$

$$= 4,01 \text{ kg/hari} / 0,85$$

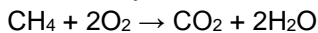
$$= 4,72 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa COD metana} = \text{Massa COD tersisihkan} - \text{Massa COD}_{\text{VSS}}$$

$$= 47,10 \text{ kg/hari} - 4,01 \text{ kg/hari}$$

$$= 43,09 \text{ kg/hari}$$

COD metana adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi metana menjadi karbon dioksida dan air.



Dari persamaan di atas, COD per mol metana adalah

$$= 2 \times (32 \text{ gO}_2/\text{mol})$$

$$= 64 \text{ gO}_2/\text{mol}.$$

$$\text{Suhu (T)} = 30^\circ\text{C} = 303,15^\circ\text{K}$$

$$\text{Konstanta gas (R)} = 0,082057 \text{ atm.L/mol.K}$$

$$\text{Mol gas (n)} = 1 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan gas (P)} &= 1 \text{ atm} \\ \text{Volume gas (V}_{\text{gas}}) &= n \times R \times T / P \\ &= 1 \times 0,082057 \times 303,15 / 1 \\ &= 24,876 \text{ L/mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produksi CH}_4 \text{ (biogas)} &= (V_{\text{gas}} / 64 \text{ gCOD/molCH}_4) \times \text{COD metana} \\ &= (24,876 \text{ L/mol} / 64 \text{ gCOD/molCH}_4) \times 43,09 \text{ kg/hari} \\ &= 16,75 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

Gas yang dihasilkan dibuang melalui pipa *vent*.

➤ **Produksi Lumpur ABR**

$$\begin{aligned} \text{Lumpur TSS} &= \text{Massa TSS tersisihkan} \\ &= 14,72 \text{ kg/hari} \\ \text{Massa COD}_{\text{TSS}} &= 4,72 \text{ kg/hari} \\ \text{Total lumpur} &= \text{Lumpur TSS} + \text{Massa COD}_{\text{TSS}} \\ &= 14,72 \text{ kg/hari} + 4,72 \text{ kg/hari} \\ &= 19,44 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

➤ **Produksi Lumpur selama 2 tahun (SNI)**

$$\begin{aligned} \text{Massa lumpur dihasilkan} &= \text{Total Lumpur} \times \text{durasi pengurasan} \\ &= 19,44 \text{ kg/hari} \times 2 \text{ tahun} \times 365 \text{ hari} \\ &= 14.192,5 \text{ kg/ 2 tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan durasi pengurasan 2 tahun atau 24 bulan, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual* (2010), diperoleh persen reduksi volume lumpur di bak pengendapan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} &= \text{HRT} < 36 \text{ bulan} \\ &= 1 - \text{HRT} \times 0,014 \\ &= 1 - 24 \times 0,014 \\ &= 0,664 \times 100\% \\ &= 66,4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Stabilisasi lumpur 2 tahun} &= 66,4\% \times \text{produksi lumpur} \\ &= 66,4\% \times 14.192,5 \text{ kg/2 tahun} \\ &= 9.423,8 \text{ kg/2 tahun} \end{aligned}$$

➤ **Densitas Lumpur**

$$\text{Konsentrasi lumpur} = 5\% ;$$

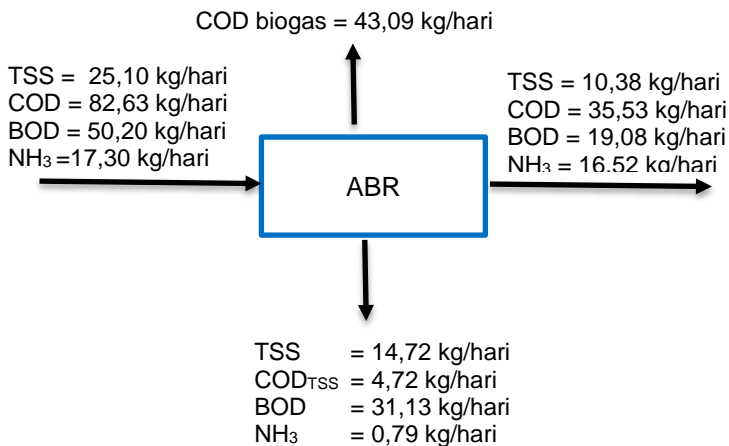
Densitas lumpur = 2,65 kg/L ;  
 Konsentrasi air = 95 %  
 Densitas air = 1 kg/L  
 densitas lumpur =  $\frac{(5\% \times \rho \text{ lumpur}) + (95\% \times \rho \text{ air})}{100\%}$   
 =  $\frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100}$   
 = 1,0825 kg/L

➤ **Volume Lumpur pada ABR**

Waktu stabilisasi lumpur = 2 tahun (SNI)

Volume lumpur = stabilisasi lumpur 2 tahun /  $\rho$  Lumpur  
 =  $\frac{9.423,8 \text{ kg}}{1,0825 \text{ kg/L}}$   
 = 8.705,6 L  
 = 8,71 m<sup>3</sup>

t lumpur = Volume lumpur / A<sub>surface</sub> total  
 = 8,71 m<sup>3</sup> / 63 m<sup>2</sup>  
 = 0,14 m



**4.6.5 Aerobic Biofilter Cluster 3**

Bak biofilter akan dilengkapi dengan media biofilter berupa media sarang tawon dan aerator untuk proses aerasi.

*Aerobic biofilter* menjadi pengolahan lanjutan dari ABR. ABR yang direncanakan pada *cluster* 3 terdiri dari 5 ABR dengan ukuran yang sama yang disusun secara paralel. Sehingga untuk perhitungan *aerobic biofilter*, debit pengolahan juga akan dibagi 5 sama seperti pada ABR.

Q <sub>influen</sub> per unit	= 346,04 m <sup>3</sup> /hari = 346.040 L/hari
BOD influen	= 55,13 mg/L
COD influen	= 102,68 mg/L
TSS influen	= 30 mg/L ( <b>memenuhi baku mutu</b> )
NH <sub>3</sub> influen	= 47,73 mg/L

➤ **Dimensi Aerobic Biofilter (AF)**

Volume ABR	= 27,72 m <sup>3</sup>
Void	= 40%
Volume AF 1 kompartemen = volume ABR + (volume ABR 60%)	
	= (1+0,6) x 27,72 m <sup>3</sup>
	= 44,35 m <sup>3</sup>
Lebar AF	= lebar ABR = 6,3 m
Kedalaman AF	= kedalaman ABR = 2,2 m
Panjang 1 AF	= volume AF 1 kompartemen / (lebar x kedalaman)
	= 44,35 m <sup>3</sup> / (6,3 m x 2,2 m)
	= 3,2 m
Ketinggian media	= volume ABR / (lebar AF x panjang AF)
	= 27,72 m <sup>3</sup> / (6,3 m x 3,2 m)
	= 1,4 m
HRT AF 1 kompartemen= HRT ABR 1 kompartemen	
	= 1,92 jam
COD efluen	= 50 mg/L ( <b>sesuai baku mutu</b> )
COD tersisihkan	= COD influen – COD efluen
	= 102,68 – 50 = 52,7 mg/L
COD removal	= (COD tersisihkan/COD influen) x 100%
	= (52,7 mg/L / 102,68 mg/L) x 100%
	= 51,3 %

Berdasarkan COD removal, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh nilai HRT sebagai berikut.

$$\text{HRT} = < 12 \text{ jam}$$

$$\text{Faktor COD removal} = \text{HRT} \times 0,16/12 + 0,44$$

$$0,513 = \text{HRT} \times 0,16/12 + 0,44$$

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= (0,513 - 0,44) \times 12/0,16 \\ &= 5,5 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah kompartemen} = \text{HRT total} / \text{HRT 1 AF}$$

$$= 5,5 \text{ jam} / 1,92 \text{ jam}$$

$$= 2,86 \sim 3 \text{ kompartemen}$$

$$\text{Cek HRT} = \text{HRT 1 kompartemen} \times \text{jumlah kompartemen}$$

$$= 1,92 \text{ jam} \times 3$$

$$= 6 \text{ jam}$$

$$\text{Organic loading} = 19,08 \text{ kg BOD/hari}$$

$$\text{Volume media} = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{ketinggian media}$$

$$= 3,2 \text{ m} \times 6,3 \text{ m} \times 1,4 \text{ m}$$

$$= 28,22 \text{ m}^3$$

$$\text{Cek OLR} = \text{Organic loading} / \text{volume media}$$

$$= (19,08 \text{ kg BOD/hari}) / 28,22 \text{ m}^3$$

$$= 0,7 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} (< 3 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari})$$

$$\text{Cek Vup} = Q_{\text{average}} / A_{\text{surface}} \text{ 1 ABR}$$

$$= (346 \text{ m}^3/\text{hari}) / (12,60 \text{ m}^2)$$

$$= 27,46 \text{ m/hari}$$

$$= 1,14 \text{ m/jam (kriteria desain } < 2 \text{ m/jam)}$$

#### **Dimensi Biofilter:**

$$\text{Panjang bak 1 biofilter} = 3,2 \text{ m}$$

$$\text{Panjang bak total} = 3,2 \text{ m} \times 3 \text{ bak} = 9,6 \text{ m}$$

$$\text{Lebar bak} = 6,3 \text{ m}$$

$$\text{Panjang media 1 biofilter} = 3,2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar media} = 6,3 \text{ m}$$

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

$$\text{Tebal plat penyangga} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Jarak di bawah media} = 0,55 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi air di atas media} &= 2,2-1,2-0,05-0,55 = 0,2 \text{ m} \\ \text{Freeboard} &= 0,3 \text{ m} \\ \text{Tinggi total} &= 2,2 + 0,3 \text{ m} = 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

➤ **Perhitungan Efisiensi Removal Aerobic Biofilter**

Berdasarkan HRT, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal COD sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{HRT} &= < 12 \text{ jam} \\ \text{Faktor COD removal} &= \text{HRT} \times 0,16/12 + 0,44 \\ &= 7 \times 0,16/12 + 0,44 \\ &= 0,52 \\ \text{COD removal} &= \text{Faktor} \times 100\% \\ &= 0,52 \times 100\% = 52\% \\ [\text{COD efluen}] &= (100\%-\text{COD removal}) \times \text{COD influen} \\ &= (100\%-52\%) \times 102,68 \text{ mg/L} \\ &= 49,29 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu)} \\ [\text{COD tersisihkan}] &= [\text{COD influen}]-[\text{COD efluen}] \\ &= 102,68 \text{ mg/L}-49,29 \text{ mg/L} = 53,4 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Berdasarkan COD removal, maka dengan menggunakan rumus *DEWATS Praxis-oriented training manual*, 2010 diperoleh persen removal BOD sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{COD removal} &= < 0,75 \\ \text{Faktor BOD removal} &= (\text{COD removal}-0,5) \times 0,065/0,25 + 1,06 \\ &= (0,52-0,5) \times 0,065/0,25 + 1,06 \\ &= 1,065 \\ \text{BOD removal} &= 1,065 \times 52\% = 55\% \\ [\text{BOD efluen}] &= (100\%-\text{BOD removal}) \times \text{BOD influen} \\ &= (100\%-55\%) \times 55,13 \text{ mg/L} \\ &= 24,31 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu)} \\ [\text{BOD tersisihkan}] &= [\text{BOD influen}]-[\text{BOD efluen}] \\ &= 55,13 \text{ mg/L} - 24,31 \text{ mg/L} = 30,32 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Menurut Said (2012), efisiensi removal TSS pada *aerobic biofilter* mencapai 95%. Maka pada perencanaan ini digunakan removal TSS sebesar 95%.

$$\begin{aligned}
 [\text{TSS efluen}] &= (100\% - \text{TSS removal}) \times \text{TSS influen} \\
 &= (100\% - 95\%) \times 30 \text{ mg/L} \\
 &= 1,5 \text{ mg/L (memenuhi baku mutu)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{TSS tersisihkan}] &= [\text{TSS influen}] - [\text{TSS efluen}] \\
 &= 30 \text{ mg/L} - 1,5 \text{ mg/L} = 28,5 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

Pada proses biologis, mikroba ataupun bakteri membutuhkan nutrisi untuk menunjang pertumbuhan bakteri. Menurut Winkler (2013), rasio BOD:N:P pada proses aerobik adalah 100:10:1. Pada perencanaan ini parameter yang digunakan adalah N dalam bentuk amoniak. Berikut adalah perhitungan kebutuhan N oleh mikroba di *aerobic biofilter*.

$$\text{Rasio BOD:N} = 100:10$$

$$[\text{BOD tersisihkan}] = 30,32 \text{ mg/L}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{Kebutuhan N}] &= (10/100) \times [\text{BOD tersisihkan}] \\
 &= (10/100) \times 30,32 \text{ mg/L} \\
 &= 3,03 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{Kelebihan NH}_3] &= [\text{NH}_3 \text{ influen}] - [\text{Kebutuhan N}] \\
 &= 47,73 - 3,03 = 44,7 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$[\text{NH}_3 \text{ efluen}] = 10 \text{ mg/L (sesuai baku mutu)}$$

$$\begin{aligned}
 [\text{NH}_3 \text{ tersisihkan}] &= [\text{NH}_3 \text{ influen}] - [\text{NH}_3 \text{ efluen}] \\
 &= 47,73 \text{ mg/L} - 10 \text{ mg/L} = 37,73 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NH}_3 \text{ removal} &= (\text{NH}_3 \text{ tersisihkan} / \text{NH}_3 \text{ influen}) \times 100\% \\
 &= (37,73 \text{ mg/L} / 47,73 \text{ mg/L}) \times 100\% \\
 &= 79\%
 \end{aligned}$$

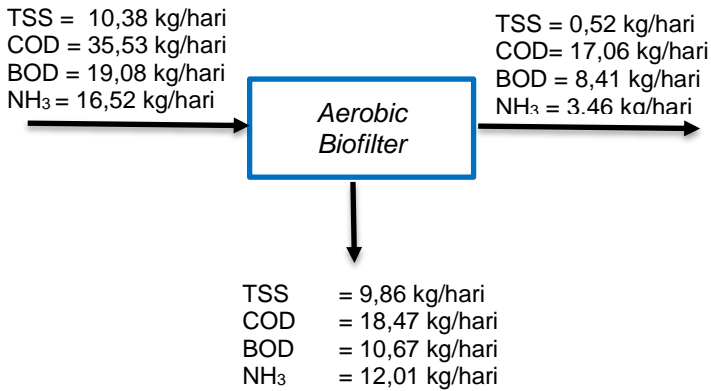
➤ **Mass Balance Aerobic Biofilter**

**Tabel 4.42 Efisiensi Aerobic Biofilter Cluster 3**

Parameter	Nilai Influen (mg/L)	Efisiensi Pengolahan	Nilai Efluen (mg/L)
TSS	30	95%	1,5
BOD	55,13	55%	24,31
COD	102,68	52%	49,29
NH <sub>3</sub>	47,73	79%	10

$$\begin{aligned}
\text{Massa TSS influen} &= (\text{TSS influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{30 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 10,38 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD influen} &= (\text{COD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{102,68 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 35,53 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD influen} &= (\text{BOD influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{55,13 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 19,08 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa NH}_3 \text{ influen} &= (\text{NH}_3 \text{ influen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{47,73 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 16,52 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS effluen} &= (\text{TSS effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{1,5 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 0,52 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD effluen} &= (\text{COD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{49,29 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 17,06 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD effluen} &= (\text{BOD effluen} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{24,31 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 8,41 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa Kebutuhan NH}_3 &= (\text{Kebutuhan NH}_3 \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{3,03 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 1,05 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa NH}_3 \text{ effluen} &= (\text{NH}_3 \text{ effluent} \times Q_{\text{average}}) \\
&= \frac{10 \text{ mg/L} \times 346.040 \text{ L/hari}}{1.000.000} = 3,46 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa TSS tersisihkan} &= \text{TSS influen} - \text{TSS effluen} \\
&= 10,38 - 0,52 = 9,86 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa COD tersisihkan} &= \text{COD influen} - \text{COD effluen} \\
&= 35,53 - 17,06 = 18,47 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa BOD tersisihkan} &= \text{BOD influen} - \text{BOD effluen} \\
&= 19,08 - 8,41 = 10,67 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa NH}_3 \text{ tersisihkan} &= \text{NH}_3 \text{ influen} - \text{NH}_3 \text{ effluen} \\
&= 16,52 - 3,46 = 12,01 \text{ kg/hari}
\end{aligned}$$





➤ **Lumpur yang Dihasilkan**

Ditentukan koefisien aerobik yang dibutuhkan yang diperoleh dari Metcalf and Eddy (2003) :

- T (suhu) = 25°C
- Synthesis yield (Y) = 0,45 g VSS/ g bCOD
- Endogenous decay (b) = 0,15 g VSS/ g VSS.hari
- Nitrifier yield (Y<sub>n</sub>) = 0,15 g VSS/g NH<sub>4</sub>-N
- Nitrifier decay (b<sub>n</sub>) = 0,2 g VSS/ g VSS.hari
- bCOD/BOD = 1,6
- BOD influen = 55,13 mg/L = 0,0551 kg/m<sup>3</sup>
- So = bCOD = 1,6 x BOD = 1,6 x 55,13 mg/L = 88,21 mg/L = 0,0882 kg/m<sup>3</sup>
- nbCOD = COD influen – bCOD = 102,68 mg/L – 88,21 mg/L = 14,48 mg/L = 0,0145 kg/m<sup>3</sup>
- Se = COD efluen - nbCOD = 49,29 mg/L – 14,48 mg/L = 34,81 mg/L = 0,0348 kg/m<sup>3</sup>
- TKN = Kelebihan NH<sub>3</sub> = 44,7 mg/L = 0,0447 kg/m<sup>3</sup>

$$N_e = \text{efluen NH}_3 = 10 \text{ mg/L} = 0,01 \text{ kg/m}^3$$

$$SRT = 5 \text{ hari}$$

$$P_{X_{VSS}} = \frac{Q \cdot Y_n \cdot (S_o - S_e)}{1 + (b_n \cdot SRT)} + \frac{Q \cdot Y_n \cdot (NO_x)}{1 + (b_n \cdot SRT)}$$

$$= \frac{346,04 \times 0,45 \times (0,0882 - 0,0348)}{1 + (0,15 \times 5)} + \frac{346,04 \times 0,15 \times (0,0447 - 0,01)}{1 + (0,2 \times 5)}$$

$$= 4,75 \text{ kg/hari} + 0,90 \text{ kg/hari}$$

$$= 5,65 \text{ kg/hari}$$

Dicari nilai NO<sub>x</sub>:

$$NO_x = TKN - N_e - (0,12 P_{X_{VSS}} / Q)$$

$$= (0,0447 - 0,01) - [(0,12 \times 5,65) / 346,04]$$

$$= 0,03274 \text{ kg/m}^3 = 32,74 \text{ mg/L}$$

Setelah ditemukan nilai NO<sub>x</sub>, dimasukkan ke rumus P<sub>X<sub>VSS</sub></sub> kembali.

$$P_{X_{VSS}} = \frac{Q \cdot Y_n \cdot (S_o - S_e)}{1 + (b_n \cdot SRT)} + \frac{Q \cdot Y_n \cdot (NO_x)}{1 + (b_n \cdot SRT)}$$

$$= \frac{346,04 \times 0,45 \times (0,0882 - 0,0348)}{1 + (0,15 \times 5)} + \frac{346,04 \times 0,15 \times (0,03274)}{1 + (0,2 \times 5)}$$

$$= 4,75 \text{ kg/hari} + 0,85 \text{ kg/hari}$$

$$= 5,60 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa Lumpur (} P_{X_{TSS}} \text{)} = P_{X_{VSS}} / 0,85$$

$$= 5,60 \text{ kg/hari} / 0,85$$

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

### ➤ **Densitas Lumpur**

$$\text{Konsentrasi lumpur} = 5\% ;$$

$$\text{Densitas lumpur} = 2,65 \text{ kg/L} ;$$

$$\text{Konsentrasi air} = 95\%$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ kg/L}$$

$$\text{densitas lumpur} = \frac{(5\% \times \rho_{\text{lumpur}}) + (95\% \times \rho_{\text{air}})}{100\%}$$

$$= \frac{(5\% \times 2,65) + (95\% \times 1)}{100}$$

$$= 1,0825 \text{ kg/L}$$

### ➤ **Volume Lumpur pada *Aerobic Biofilter***

$$\text{Volume lumpur} = \text{Massa lumpur} / \rho_{\text{Lumpur}}$$

$$= \frac{6,59 \text{ kg/hari}}{1,0825 \text{ kg/L}}$$

$$= 6,1 \text{ L/hari}$$

$$= 0,01 \text{ m}^3/\text{hari}$$

➤ **Perhitungan Kebutuhan Oksigen**

$$\begin{aligned} R_o &= Q(S_o - S_e) - 1,42P_x v_{ss} + 4,33 Q.NOX \\ &= 346,04 \times (0,0882 - 0,0348) - 1,42 \times (5,6) \\ &\quad + (4,33 \times 346,04 \times 0,03274) \\ &= 59,5 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Massa jenis } O_2 = 1,1725 \text{ kg/m}^3$$

$$O_2 \text{ dalam udara kering} = 23,2 \%$$

Asumsi efisiensi *diffuser* = 25%

(25%-35%, untuk *diffuser* tipe *discs*, Metcalf and Eddy, 2003)

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara teoritis} &= R_o / (\text{massa jenis } O_2 \times 23,2\%) \\ &= 59,5 / (1,1725 \times 23,2\%) \\ &= 218,8 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan udara aktual} &= \text{kebutuhan udara teoritis} / O_2 \\ &\quad \text{terlarut} \\ &= (218,8 \text{ m}^3/\text{hari}) / 25\% \\ &= 875 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= 0,6 \text{ m}^3/\text{menit} \\ &= 608 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

Aerator yang digunakan adalah *Disk Diffusers* dari Blowtac tipe Disc-325 dengan debit maksimal 250 L/menit. *Aerobic Biofilter* terdiri atas 3 bak, dan tiap bak diisi 1 *diffusers*.

#### 4.6.6 Desinfeksi Cluster 3

Unit desinfeksi bertujuan untuk membunuh bakteri-bakteri yang ada pada air limbah terutama bakteri *patogen* sehingga aman dibuang ke badan air. Unit desinfeksi menggunakan kaporit dan pengaduk lambat berupa *baffled channel*. Dengan menggunakan *baffled channel* diharapkan kontak antara air limbah dengan larutan kaporit lebih maksimal. Berikut adalah perhitungannya.

$$\begin{aligned} \text{Total coliform influen (No)} &= 17 \times 10^8 \text{ MPN/100 mL} \\ \text{Baku mutu (N)} &= 3000 \text{ MPN/100 mL} \end{aligned}$$

Berdasarkan Metcalf and Eddy (2003), diperoleh nilai sebagai berikut.

$$\text{Waktu kontak (T)} = 10 \text{ menit}$$

$$\text{Koefisien slope of Inactivation Curve (n)} = 2,8$$

$$\text{Koefisien Value of X-intercept (b)} = 4$$

Kebutuhan *chlorine* (C) adalah:

$$N/No = (C \times T / b)^{-n}$$

$$(3000)/(17 \times 10^8) = (C \times 10 / 4)^{-2,8}$$

$$(C \times 10 / 4) = 113,44$$

$$C = (113,44 \times 4) / 10$$

$$C = 45,38 \text{ mg/L}$$

$$\text{Sisa klor direncanakan} = 1 \text{ mg/L}$$

$$\text{Dosis klor dibutuhkan} = 45,38 + 1 = 46,38 \text{ mg/L}$$

$$\text{Kadar klor dalam kaporit} = 60\%$$

$$\text{Kebutuhan kaporit} = (Q_{\text{average}} \times \text{dosis klor}) \times \text{kemurnian}$$

$$= 1.730.200 \text{ L/hari} \times 46,38 \text{ mg/L} \times$$

$$(100\%/60\%)$$

$$= 133.731.016,1 \text{ mg/hari}$$

$$= 133,7 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Massa jenis kaporit} = 0,86 \text{ kg/L}$$

$$\text{Debit kaporit} = \text{Kebutuhan kaporit/massa jenis kaporit}$$

$$= (133,7 \text{ kg/hari})/(0,86 \text{ kg/L})$$

$$= 155,5 \text{ L/hari}$$

$$= 0,16 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Konsentrasi larutan kaporit yang akan dibuat} = 10\%$$

$$= 0,1 \text{ mg/L}$$

Debit pelarut yang dibutuhkan:

$$= [(100\% - \text{konsentrasi larutan})/\text{konsentrasi larutan}] \times \text{debit kaporit}$$

$$= [(100\% - 10\%)/10\%] \times 155,5 \text{ L/hari}$$

$$= 1.399,5 \text{ L/hari} = 1,40 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Debit larutan kaporit} = \text{debit kaporit} + \text{debit pelarut}$$

$$= 0,16 \text{ m}^3/\text{hari} + 0,40 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 1,56 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Pelarutan kaporit dilakukan sebanyak 24 jam sekali atau sehari 1 kali. Sehingga diperoleh dimensi bak pelarut sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 1,56 \text{ m}^3 \\ \text{H rencana} &= 1 \text{ m} \\ \text{Freeboard} &= 0,3 \text{ m} \\ \text{(P:L)} &= (1:1) \\ A_{\text{surface}} &= \text{volume} / \text{H rencana} \\ &= 1,56 \text{ m}^3 / 1 \text{ m} \\ &= 1,56 \text{ m}^2 \\ \text{Lebar} &= (A_{\text{surface}})^{1/2} \\ &= (1,56 \text{ m}^2)^{1/2} \\ &= 1,247 \text{ m} \sim 1,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang} = 1,25 \text{ m}$$

Dimensi bak pelarut :

$$\text{Panjang} = 1,25 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 1,25 \text{ m}$$

$$\text{Kedalaman (H)} = 1 \text{ m}$$

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

Setelah diperoleh dimensi bak pelarut, maka dilakukan perhitungan dimensi *baffled channel* yang dibutuhkan yaitu sebagai berikut.

Direncanakan:

$$\text{Suhu} = 25^\circ \text{ C}$$

$$\text{Viskositas kinematis} = 8,975 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Kecepatan gravitasi} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Waktu kontak (td)} = 10 \text{ menit} = 600 \text{ detik}$$

$$\text{Gradien kecepatan (G)} = 40 \text{ detik}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \text{Headloss total} &= \frac{G^2 \times v \times td}{g} \\ &= \frac{40^2 \times 8,975 \times 10^{-7} \times 600}{9,8} \\ &= 0,088 \text{ m} \end{aligned}$$

Pada perhitungan ini digunakan belokan dengan tipe elbow long radius 90° threaded, sehingga  $k = 0,7$

$$\text{Kecepatan aliran} = 0,3 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss belokan} &= \frac{k \times v^2}{2g} \\
 &= \frac{0,7 \times 0,3^2}{2 \times 9,8} \\
 &= 0,003 \text{ m} \\
 \text{Jumlah belokan} &= \text{headloss total} / \text{headloss belokan} \\
 &= 0,066 \text{ m} / 0,003 \text{ m} \\
 &= 20,5 \text{ belokan} \sim 21 \text{ belokan} \\
 \text{Jumlah belokan dibutuhkan} &= \text{jumlah belokan} / 2 \\
 &= 21 / 2 = 10,5 \text{ belokan} \sim 11 \text{ belokan} \\
 \text{Headloss lurus} &= 1 \times \frac{v^2}{2 \times g} \\
 &= 1 \times \frac{0,3^2}{2 \times 9,8} \\
 &= 0,0046 \text{ m} \\
 \text{Headloss total per sekat} &= (2 \times \text{headloss belokan}) + \text{headloss lurus} \\
 &= (2 \times 0,003) + 0,0046 \\
 &= 0,011 \text{ m} \\
 \text{Jumlah sekat dibutuhkan} &= \text{headloss total} / \text{headloss total per sekat} \\
 &= 0,088 / 0,011 \\
 &= 7,98 \text{ buah} \sim 8 \text{ buah} \\
 \text{Debit baffled channel} &= 0,02 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 \text{Kecepatan aliran (v)} &= 0,3 \text{ m/s} \\
 \text{Luas saluran (A)} &= Q/v \\
 &= (0,02 \text{ m}^3/\text{detik}) / 0,3 \text{ m/s} \\
 &= 0,067 \text{ m}^2 \\
 \text{L:H} &= 2:1 \text{ (penampang ekonomis)} \\
 \text{H} &= (\text{Luas saluran}/2)^{0,5} \\
 &= (0,067 \text{ m}^2/2)^{0,5} \\
 &= 0,183 \sim 0,185 \text{ m} \\
 \text{L (jarak antar sekat)} &= 2 \times \text{H} \\
 &= 2 \times 0,185 \text{ m} \\
 &= 0,37 \text{ m} \\
 \text{Panjang lintasan} &= (v \times \text{td}) / (\text{jumlah sekat} + 1) \\
 &= (0,3 \text{ m/detik} \times 600 \text{ detik}) / (8+1)
 \end{aligned}$$

$$= 20 \text{ m}$$

Jarak ujung sekat ke dinding = jarak antar sekat  
= 0,37 m

Dimensi *baffled channel*:

Panjang lintasan = 20 m

Kedalaman (H) = 0,185 m

*Freeboard* = 0,3 m

Jumlah sekat = 8 sekat

Jarak antar sekat = 0,37 m

Jarak ujung sekat ke dinding = 0,37 m

#### 4.6.7 Profil Hidrolis IPAL *Cluster* 3

Profil hidrolis menggambarkan perbedaan muka air dari inlet hingga outlet IPAL. Penurunan muka air disebabkan oleh beberapa hal, antara lain jatuhan, belokan, kecepatan aliran, dan media filter.

Aliran air mengalami belokan dan jatuhan saat menuju unit selanjutnya. Perhitungan kehilangan tekanan akibat jatuhan dan belokan didasarkan pada **persamaan Manning**, yaitu:

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

Dimana:

v : kecepatan aliran (m/s)

n : koefisien kekasaran

R : jari-jari hidrolis (m)

L : panjang jatuhan atau belokan (m)

Kehilangan tekanan akibat gesekan aliran pada unit-unit IPAL ditentukan berdasarkan **persamaan Darcy-Weisbach**, yaitu:

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

$$f = 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R)$$

Dimana:

L : panjang bangunan (m)

R : jari-jari hidrolis (m)

v : kecepatan aliran (m/s)

$g$  : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

Sedangkan kehilangan tekanan dalam media filter sarang tawon ditentukan berdasarkan **persamaan Rose** sebagai berikut:

$$H_f = 1,067 \times \frac{C_D \times L \times v^2}{\psi \times d \times e^4 \times g}$$

$$N_{Re} = \frac{\psi \rho d v}{\mu}$$

$$\text{Untuk } N_{Re} < 1 \quad : C_D = \frac{24}{N_{Re}}$$

$$\text{Untuk } 1 < N_{Re} < 10^4 \quad : C_D = \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0,34$$

$$\text{Untuk } N_{Re} > 10^4 \quad : C_D = 0,4$$

Dimana:

$L$  : kedalaman filter (m)

$e$  : porositas media

$v$  : kecepatan filtrasi (m/s)

$g$  : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$d$  : ukuran rongga media (m)

$\psi$  : faktor bentuk

$\mu$  : viskositas dinamis (kg/m.s)

$\rho$  : massa jenis ( $kg/m^3$ )

Pada *baffled channel* headloss total yang terjadi pada bak adalah sebagai berikut.

$$\frac{\mu \cdot t}{\rho \cdot g} \times G^2$$

Dimana:

$G$  : gradien kecepatan (detik<sup>-1</sup>)

$t$  : waktu kontak (detik)

$g$  : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$\mu$  : viskositas dinamis (kg/m.s)

$\rho$  : massa jenis ( $kg/m^3$ )

## 1. Sumur Pengumpul

Headloss yang terjadi pada pompa:

Direncanakan :

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



$$\begin{aligned}
Q_{ave} &= 0,02 \text{ m}^3/\text{detik} \\
L_{\text{discharge}} &= 6,38 \text{ m} \\
\text{Head Statik (Hs)} &= 3,88 \text{ m} \\
\text{Koefisien kekasaran ( C )} &= 130 \\
\text{Diameter pipa } discharge \text{ pompa} &= 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}
\end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
A_{\text{pipa}} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \\
&= \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,15 \text{ m})^2 \\
&= 0,0177 \text{ m}^2 \\
V \text{ cek} &= \frac{Q}{A} = \frac{0,02}{0,0177} = 1,1 \text{ m/detik}
\end{aligned}$$

Head Mayor

$$\begin{aligned}
hf \text{ discharge} &= \left[ \frac{Q}{0,00155 \times C \times D^{2,63}} \right]^{1,85} \times L \\
hf \text{ discharge} &= \left[ \frac{20,03 \text{ L/detik}}{0,00155 (130)(15 \text{ cm})^{2,63}} \right]^{1,85} \times 6,38 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$hf \text{ discharge} = 0,0000002 \text{ m}$$

Head Minor

*Head minor* adalah berbagai kerugian *head* akibat katup, belokan, sambungan, dan lain-lain.

-*Head minor* akibat belokan 90°

Head minor akibat belokan 90° terjadi sebanyak sekali, nilai k pada belokan 90° yaitu 0,25. (Ningrum, 2008)

$$\begin{aligned}
hf &= n \left[ k \frac{v^2}{2g} \right] \\
hf &= 1 \times \left[ 0,25 \frac{1,1^2}{2(9,81)} \right]
\end{aligned}$$

$$hf = 0,01638 \text{ m}$$

Hf kecepatan

$$Hf \text{ kecepatan} = \frac{v^2}{2g} = \frac{1,1^2}{2 \times 9,81} = 0,066 \text{ m}$$

Perhitungan Head Total Pompa

$H = H_s + H_{mayor} + H_{minor} + H_f$  kecepatan

$$H = 3,88 + 0,0000002 + 0,01638 + 0,066$$

$$H = 3,96 \text{ m}$$

## 2. **Distribution Box**

### Headloss jatuhan

$$\text{Panjang (b)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Panjang jatuhan (L)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien kekasaran (n)} = 0,013$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = 1 \text{ m/s}$$

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

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = (b \times y) / (b + 2y)$$

$$= (1 \times 1) / (1 + (2 \times 1))$$

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

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

$$= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,35)^{2/3}} \right)^2 \times 1$$

$$= 0,000673 \text{ m}$$

### Headloss kecepatan

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

$$\text{Tinggi (y)} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = 0,31 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = 1 \text{ m/s}$$

$$\text{Koefisien kekasaran (f)} = 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R)$$

$$= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,35))$$

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

$$\text{Headloss (Hf)} = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$= 0,03 \times \frac{1}{4(0,35)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)}$$

$$= 0,001201 \text{ m}$$

## 3. **ABR**

### a. **Kompartemen 1**

#### Headloss jatuhan

Panjang (b)	= 6,3 m
Tinggi (y)	= 2,2 m
Panjang jatuhan (L)	= 2,2 m
Koefisien kekasaran (n)	= 0,013
Kecepatan aliran (v)	= 1 m/s
Percepatan gravitasi (g)	= 9,8 m/s <sup>2</sup>
Jari-jari hidrolis (R)	= (b × y) / (b + 2y)
	= (6,3 × 2,2) / (6,3 + (2 × 2,2))
	= 1,3 m

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

$$= \left( \frac{1 \times 0,013}{(1,3)^{2/3}} \right)^2 \times 2,2$$

$$= 0,000263 \text{ m}$$

#### Headloss kecepatan

Panjang (L)	= 6,3 m
Tinggi (y)	= 2,2 m
Jari-jari hidrolis (R)	= 1,3 m
Kecepatan aliran (v)	= 1 m/s
Koefisien kekasaran (f)	= 1,5 × (0,01989 + 0,0005078 / 4R)
	= 1,5 × (0,01989 + 0,0005078 / 4 (1,3))
	= 0,03 m

$$\text{Headloss (Hf)} = f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g}$$

$$= 0,03 \times \frac{6,3}{4(1,3)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)}$$

$$= 0,001844 \text{ m}$$

### **b. Kompartemen 2 sampai 6**

#### Headloss jatuhan

Panjang (b)	= 2 m
Tinggi (y)	= 2,2 m
Tinggi sekat (L)	= 1,9 m
Koefisien kekasaran (n)	= 0,013
Kecepatan aliran (v)	= 1 m/s
Percepatan gravitasi (g)	= 9,8 m/s <sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \text{Jari-jari hidrolis (R)} &= (b \times y) / (b + 2y) \\ &= (2 \times 2,2) / (2 + (2 \times 2,2)) \\ &= 0,69 \text{ m} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,69)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9 \\ &= 0,000528 \text{ m} \end{aligned}$$

Headloss belokan

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

$$\begin{aligned} &= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,69)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9 \\ &= 0,000528 \text{ m} \end{aligned}$$

Headloss kecepatan

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

$$\text{Tinggi (y)} = 2,2 \text{ m}$$

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = 0,69 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = 1 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien kekasaran (f)} &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R) \\ &= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,69)) \\ &= 0,03 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Headloss (Hf)} &= f \times \frac{L}{4R} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= 0,03 \times \frac{2}{4(0,69)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)} \\ &= 0,001115 \text{ m} \end{aligned}$$

#### **4. *Aerobic Biofilter* (Kompartemen 1 sampai 3)**

Headloss jatuhan

$$\text{Panjang (b)} = 3,2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (y)} = 2,2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi sekat (L)} = 1,9 \text{ m}$$

$$\text{Koefisien kekasaran (n)} = 0,013$$

$$\text{Kecepatan aliran (v)} = 1 \text{ m/s}$$

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

$$\text{Jari-jari hidrolis (R)} = (b \times y) / (b + 2y)$$

$$= (3,2 \times 2,2) / (3,2 + (2 \times 2,2))$$

$$= 0,93 \text{ m}$$

Headloss (Hf)

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

$$= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,93)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9$$

$$= 0,000356 \text{ m}$$

#### Headloss belokan

Headloss (Hf)

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

$$= \left( \frac{1 \times 0,013}{(0,93)^{2/3}} \right)^2 \times 1,9$$

$$= 0,000356 \text{ m}$$

#### Headloss kecepatan

Panjang (L) = 3,2 m

Tinggi (y) = 2,2 m

Jari-jari hidrolis (R) = 0,93 m

Kecepatan aliran (v) = 1 m/s

Koefisien kekasaran (f) =  $1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4R)$

$$= 1,5 \times (0,01989 + 0,0005078 / 4 (0,93))$$

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

Headloss (Hf)

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

$$= 0,03 \times \frac{3,2}{4(0,93)} \times \frac{(1)^2}{2(9,8)}$$

$$= 0,001324 \text{ m}$$

#### Headloss media filter

Kedalaman media (L) = 1,4 m

Ukuran rongga (d) = 0,02 m

Faktor bentuk media ( $\psi$ ) = 0,78

Porositas media (e) = 0,98

Viskositas kinematis ( $\mu$ ) =  $8,7 \times 10^{-7} \text{ kg/m.s}$

Massa jenis ( $\rho$ ) =  $0,997 \text{ kg/m}^3$

Kecepatan filtrasi (v) =  $v_{up}$

$$= 0,00032 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{\Psi \rho d v}{\mu} \\
 &= \frac{0,78 \times 0,997 \times 0,02 \times 0,00032}{0,00000087} \\
 &= 5,68 \\
 C_D &= \frac{24}{N_{Re}} + \frac{3}{\sqrt{N_{Re}}} + 0,34 \\
 &= \frac{24}{5,68} + \frac{3}{\sqrt{5,68}} + 0,34 \\
 &= 5,82 \\
 \text{Headloss (Hf)} &= 1,067 \times \frac{C_D \times L \times v^2}{\Psi \times d \times e^4 \times g} \\
 &= 1,067 \times \frac{5,82 \times 1,4 \times (0,00032)^2}{0,78 \times 0,02 \times (0,98)^4 \times 9,8} \\
 &= 0,00000623 \text{ m}
 \end{aligned}$$

## 5. ***Baffled Channel***

### Headloss total

$$\text{Gradien kecepatan (G)} = 40 \text{ detik}^{-1}$$

$$\text{Waktu kontak} = 600 \text{ detik}$$

$$\text{Percepatan gravitasi} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Viskositas kinematis} = 8,975 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Headloss (Hf)} &= \frac{G^2 \times v \times t d}{g} \\
 &= \frac{40^2 \times 8,975 \times 10^{-7} \times 600}{9,8} \\
 &= 0,088 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan headloss masing-masing unit dapat dilihat pada tabel berikut ini.

**Tabel 4.43 Profil Hidrolis IPAL Cluster 3**

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss	Elevasi Muka Air (m)
<b>Elevasi Muka Tanah</b>			<b>4.26</b>
Sumur Pengumpul			<b>-0.27</b>
Pompa	Hf Statis	3.9	
	Hf Mayor	0.0000002	
	Hf Minor	0.25	
	Hf Kecepatan	0.066	

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss	Elevasi Muka Air (m)
	<b>Hf Total</b>	<b>4.2</b>	<b>3.926</b>
Distribution Box	Hf Jatuhan	0.000673	
	Hf Kecepatan	0.001201	
	<b>Hf total</b>	<b>0.001874</b>	<b>3.924</b>
ABR			
Kompartemen 1	Hf Jatuhan	0.000263	
	Hf Kecepatan	0.001844	
Kompartemen 2	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 3	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 4	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 5	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
Kompartemen 6	Hf Jatuhan	0.000528	
	Hf Kecepatan	0.001115	
	Hf Belokan	0.000528	
	<b>Hf Total</b>	<b>0.012960</b>	<b>3.911</b>
Aerobic Biofilter			
Kompartemen 1	Hf Jatuhan	0.000356	
	Hf Kecepatan	0.001324	
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.0000063	
Kompartemen 2	Hf Jatuhan	0.000356	
	Hf Kecepatan	0.001324	
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.0000063	
Kompartemen 3	Hf Jatuhan	0.000356	
	Hf Kecepatan	0.001324	
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.0000063	
Kompartemen 4	Hf Jatuhan	0.000356	
	Hf Kecepatan	0.001324	

Unit Bangunan	Jenis Headloss	Headloss	Elevasi Muka Air (m)
	Hf Belokan	0.000356	
	Hf Media Filter	0.000063	
	<b>Hf Total</b>	<b>0.008165</b>	<b>3.903</b>
Baffled Channel	<b>Hf Total</b>	<b>0.0879</b>	<b>3.815</b>
Outlet			<b>3.815</b>

Sumber: Hasil Perhitungan



## BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 26 Mei 1995 di Kota Pematangsiantar. Penulis mengenyam pendidikan formal di SD RK Cinta Rakyat 2 Pematangsiantar. Selanjutnya, menempuh pendidikan menengah pertama di SMP Bintang Timur Pematangsiantar dan lulus pada tahun 2010. Pada tahun yang sama, penulis diterima menjadi salah satu siswa di SMA Budi Mulia Pematangsiantar. Penulis menyelesaikan pendidikan menengah

atas pada tahun 2013 dan melanjutkan pendidikan di S1 Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, ITS Surabaya, terdaftar dengan NRP 03211340000039.

Selama perkuliahan, penulis aktif berorganisasi dengan menjadi Kepala Divisi Kerohanian Persekutuan Doa Teknik Lingkungan (PDTL) Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan ITS 2015-2016. Penulis juga pernah menjadi Staff Divisi Dana Usaha di organisasi Alumni Budi Mulia Siantar Surabaya 2015-2016. Selain berorganisasi, penulis juga aktif menjadi panitia dan peserta pada kegiatan kerohanian, pelatihan kemahasiswaan, *workshop* maupun seminar yang diadakan di ITS baik dalam tingkat departemen maupun institut. Penulis juga mempunyai pengalaman bekerja di lapangan, yaitu melakukan Kerja Praktik di PT Sasa Inti Gending Probolinggo di Bagian *Safety Health Environment* (SHE). Penulis dapat dihubungi via email [ostrymeilisa@gmail.com](mailto:ostrymeilisa@gmail.com).



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FTLK-ITS  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
 Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948866, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
 Periode: Genap 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)  
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
 Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
 Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal Selasa, 10 Juli 2018  
 Pukul : 10.00 - 12.00 WIB  
 Lokasi : TL-104  
 Judul PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN  
 Nama OSTRY MEILISA PURBA  
 NRP. 321134000039  
 Topik Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
64, 65 100 15, 14 66, 33 20 25	<p>Graph tabel jels.</p> <p>tabel tabel ada halaman kurang selain akhir bul:</p> <p>Br 2.4 tabel jels.</p> <p>Br. 2.5 tabel jels.</p>
15	<p>Graph 2.3 tabel jels.</p> <p>Halaman gambar Urutannya kurang ke tepi.</p>
11, 12	<p>Br 2.1 &amp; 2.2 tabel jels.</p> <p>Spari antara diagram ini, diagram qbr &amp; tabel          itu sama?.</p> <p>Masih diagram tabel melukiskan bentuk no. hal.</p> <p>Gambar 1 -&gt; bentuk cluster dipergelut</p> <p>Gb. 2.3 -&gt; Gambar pipa diperbaiki</p> <p>Gambar Gambar ? dengan ukuran <u>variable</u> -&gt; selanjutnya          masalah diperbaiki tabel berdasarkan 4/ nomor -&gt; masalah          di 11. nomor masalah diperbaiki</p>

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
 Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekreariat Program Sarjana  
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

*[Signature]*  
 10/07/2018

Dosen Penguji Bieby Wijanti Tangku, S.T., M.T., Ph.D (*[Signature]*)

Dosen Pembimbing WELLY HERUMURTI, S.T., M.Sc. (*[Signature]*)

Br 1, 5, 6 -> diperbaiki nomor masalah.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FTLK-ITS  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal Selasa, 10 Juli 2018

Pukul : 10.00 - 12.00 WIB

Lokasi : TL-104

Judul PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

Nama OSTRY MEILISA PURBA

NRP. 321134000039

Topik Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Lihat arahan dan buku. Terutama gambar <sup>2</sup> sgt kecil tidak terbaca.
2	Apakah kea min tercapai pada Q min? .
3	Utk mencapai kedalaman kesenang → dgn kawat. Q ut riparian & kecil kawat? .
4	Perbaiki gambar <sup>2</sup> → Buat contoh sesuai ukuran.

*M*  
2017/18

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji

Dr. Ir. Ellina Pandebeste, M.T.

*ellina*

Dosen Pembimbing

WELLY HERUMURTI, S.T., M.Sc.

*welly*



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FTLK-ITS  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2017/2018

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal Selasa, 10 Juli 2018  
Pukul : 10.00 - 12.00 WIB  
Lokasi : TL-104  
Judul PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN  
Nama OSTRY MELISA PURBA  
NRP. 3211340000039  
Topik Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
①	Perisi gambar manode pertanyaan / perampatan
②	Perhitungan pipa baffle? ✓
③	Perhitungan mass balance? → Perisi ✓
④	Perisi gambar? perencanaannya
⑤	Tambahkan Denah/Layout perencanaannya
⑥	Cek kembali gambar unit desinfeksi
	$Q_{PM} / det. \rightarrow \pm 180 m$ $Q_{p} 0,24 m^3/hari \rightarrow Q_{inlet} : 0,031 m^3/det.$ $= 2678 m^3/hari$ $205 kg/hari$ $879 kg/m^3 \rightarrow$

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah saat Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji

Arseto Yekti Bogasyo, S.T.M., M.Eng., Ph.D.

Dosen Pembimbing

WELLY HERUMURTI, S.T., M.Sc.



**FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR**

Nama : Ostry Meilisa Purba  
NRP : 05211940000039  
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Pengelolaan Air Limbah Domestik Kelurahan  
Karah dan Suwabankerto di Kawasan Surabaya Selatan

No	Saran Perbaikan (sesuai Form UTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1.	Gambar 2.1, 2.3, 2.4, 2.5 tidak jelas	Gambar - gambar pada laporan sudah diperbaiki
2.	Grafik halaman 15, 64, 65, 100, 55, dan 142 tidak jelas	Grafik - grafik pada laporan sudah diperbaiki
3.	Tidak boleh ada halaman kosong selain akhir bab.	"Halaman sengaja dikosongkan" pada halaman selain akhir bab sudah diisi.
4.	Halaman kurang ke tepi	Nomor halaman sudah diperbaiki
5.	Spasi antara daftar isi, gambar dan tabel tidak sama	Spasi antara daftar isi, gambar dan tabel sudah disamakan.
6.	Margin daftar tabel melewati batas nomor halaman	Margin daftar tabel sudah diperbaiki
7.	Periksa kembali apakah kecepatan sudah memenuhi pada pipa SPAL	Kecepatan minimum dan maksimum /reak pada pipa SPAL sudah memenuhi
8.	Gambar manhole dibuat contoh sesuai ukuran	Gambar manhole sudah dibuat contoh sesuai ukuran dilengkapi daftar kedalaman manhole
9.	Perbaiki notasi manhole	Notasi manhole sudah diperbaiki
10.	Perbaiki perhitungan mass balance	Perhitungan mass balance sudah diperbaiki
11.	Perhitungan pipa baffle	perhitungan pipa baffle telah ditambahkan
12.	Tambahkan denah / layout IPAL	Layout IPAL sudah ditambahkan
13.	Cek kembali gambar unit desinfeksi	Gambar unit desinfeksi sudah dicek dan direvisi
14.	Cek kembali gambar-gambar perencanaan	Gambar - gambar perencanaan sudah dicek kembali /diperbaiki

Dosen Pembimbing,

Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

Mahasiswa Ybs.,

Ostry Meilisa Purba



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

FORM FTA-03

**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Ostry Meilisa Purba  
NRP : 03211340000033  
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Pengelolaan Air Limbah Domestik Kelurahan  
Karah dan Siwalankerto di Kawasan Surabaya Selatan

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	31 Januari 2018	Asistensi perijinan dan pengambilan data	<i>Wely</i>
2.	23 Februari 2018	Asistensi pembagian wilayah / cuwiser dan debit air limbah	<i>Wely</i>
3.	28 Februari 2018	Asistensi perhitungan dimensi pipa SPAL	<i>Wely</i>
4.	17 Maret 2018	Asistensi perhitungan penanaman pipa SPAL dan jumlah manhole	<i>Wely</i>
5.	22 Maret 2018	Asistensi sumur pengumpul, barscreen, distribution box	<i>Wely</i>
6.	19 April 2018	Asistensi ABR + Aerobic Biofilter + laporan TA	<i>Wely</i>
7.	25 April 2018	Asistensi Desinfeksi + laporan TA	<i>Wely</i>
8.	1 Juni 2018	Asistensi BOS dan RAB + laporan TA	<i>Wely</i>

Surabaya, ..... Juni 2018  
Dosen Pembimbing

*Wely*

Welly Henonurdi, S.T., M.Sc.



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PERENCANAAN PENGELOLAAN  
AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN  
KARAH DAN SIWALANKERTO  
DI KAWASAN SURABAYA SELATAN**

**OSTRY MEILISA PURBA  
0321134000039**

**DOSEN PEMBIMBING  
Welly Herumurti, ST., M.Sc.**

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



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**PERENCANAAN PENGELOLAAN  
AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN  
KARAH DAN SIWALANKERTO  
DI KAWASAN SURABAYA SELATAN**

**OSTRY MEILISA PURBA  
0321134000039**

**DOSEN PEMBIMBING  
Welly Herumurti, ST., M.Sc.**

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





FINAL PROJECT - RE 141581

**DOMESTIC WASTEWATER MANAGEMENT OF  
KARAH AND SIWALANKERTO VILLAGE  
IN SOUTH SURABAYA AREA**

OSTRY MEILISA PURBA  
0321134000039

SUPERVISOR  
Welly Herumurti, ST., M.Sc.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering, Environment, and Earth  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

#### 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 :

**OSTRY MEILISA PURBA**  
NRP. 0321134000039

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Welly Herumurti, S.T., M.Sc.  
NIP. 19811223 200604 1 001



## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>v</b>
4.7 BOQ dan RAB .....	1
4.7.1 Harga Satuan .....	1
4.7.2 BOQ dan RAB SPAL .....	2
4.7.3 BOQ dan RAB IPAL .....	28
4.7.4 BOQ dan RAB Sambungan Rumah .....	43
4.7.5 Total RAB SPAL dan IPAL .....	46
4.8 Operasi dan Pemeliharaan .....	46
4.8.1 Pemeliharaan .....	46
4.8.2 <i>Standard Operating Procedure (SOP)</i> .....	46
4.8.3 Biaya Retribusi .....	47

**“Halaman Sengaja Dikosongkan”**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Bentuk Galian pada Jalan <i>Paving</i> .....	5
Gambar 4.2 Bentuk Galian pada Jalan Aspal .....	5
Gambar 4.3 Bentuk Galian pada Jalan Tanah/ <i>Berm</i> .....	5
Gambar 4.4 Bentuk Galian Penanaman Pipa SPAL.....	6

**“Halaman Sengaja Dikosongkan”**

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Harga Satuan Upah.....	1
Tabel 4.2 Harga Satuan Material .....	1
Tabel 4.3 Harga Satuan Sewa Peralatan.....	2
Tabel 4.4 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL <i>Cluster</i> 1 .....	2
Tabel 4.5 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL <i>Cluster</i> 1 Per Diameter .....	3
Tabel 4.6 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL <i>Cluster</i> 2 .....	3
Tabel 4.7 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL <i>Cluster</i> 2 Per Diameter .....	4
Tabel 4.8 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL <i>Cluster</i> 3 .....	4
Tabel 4.9 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL <i>Cluster</i> 3 Per Diameter .....	4
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan BOQ Penanaman Pipa <i>Cluster</i> 1.....	9
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan BOQ Penanaman Pipa <i>Cluster</i> 2.....	11
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan BOQ Penanaman Pipa <i>Cluster</i> 3.....	13
Tabel 4.13 Rekapitulasi Penanaman Pipa Air Limbah.....	16
Tabel 4.14 BOQ <i>Manhole</i> dan Volume Galian <i>Manhole</i> .....	17
Tabel 4.15 BOQ Aksesoris Pipa pada <i>Manhole Cluster</i> 1 .....	18
Tabel 4.16 BOQ Aksesoris Pipa pada <i>Manhole Cluster</i> 2 .....	19
Tabel 4.17 BOQ Aksesoris Pipa pada <i>Manhole Cluster</i> 3 .....	19
Tabel 4.18 Analisa HSPK SPAL.....	20
Tabel 4.19 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Pembuatan 1 <i>Manhole</i> Tipikal .....	23
Tabel 4.20 RAB SPAL.....	24
Tabel 4.21 Rekapitulasi RAB SPAL .....	27
Tabel 4.22 Analisa HSPK IPAL .....	28
Tabel 4.23 RAB Sumur Pengumpul <i>Cluster</i> 1.....	33
Tabel 4.24 RAB Sumur Pengumpul <i>Cluster</i> 2.....	33
Tabel 4.25 RAB Sumur Pengumpul <i>Cluster</i> 3.....	33
Tabel 4.26 RAB <i>Distribution Box Cluster</i> 1 .....	35
Tabel 4.27 RAB <i>Distribution Box Cluster</i> 2 .....	35
Tabel 4.28 RAB <i>Distribution Box Cluster</i> 3 .....	35
Tabel 4.29 RAB ABR + <i>Aerobic Biofilter Cluster</i> 1.....	39
Tabel 4.30 RAB ABR + <i>Aerobic Biofilter Cluster</i> 2.....	39
Tabel 4.31 RAB ABR + <i>Aerobic Biofilter Cluster</i> 3.....	39
Tabel 4.32 RAB Unit Desinfeksi <i>Cluster</i> 1 .....	42
Tabel 4.33 RAB Unit Desinfeksi <i>Cluster</i> 2 .....	42
Tabel 4.34 RAB Unit Desinfeksi <i>Cluster</i> 3 .....	43
Tabel 4.35 Rekapitulasi RAB IPAL.....	43
Tabel 4.36 BOQ dan RAB Sambungan Rumah.....	44
Tabel 4.37 Rekapitulasi RAB Sambungan Rumah .....	45
Tabel 4.38 Rekapitulasi RAB SPAL dan IPAL .....	46
Tabel 4.39 Biaya Investasi per Sambungan Rumah.....	46
Tabel 4.40 Biaya Operasi dan Pemeliharaan <i>Cluster</i> 1 .....	47
Tabel 4.41 Biaya Operasi dan Pemeliharaan <i>Cluster</i> 2.....	47
Tabel 4.42 Biaya Operasi dan Pemeliharaan <i>Cluster</i> 3.....	48
Tabel 4.43 Biaya Retribusi Setiap Bulan per Kepala Keluarga.....	48

**“Halaman Sengaja Dikosongkan”**



## 4.7 BOQ dan RAB

*Bill of Quantity* (BOQ) adalah perhitungan volume dari bahan, peralatan, dan pekerjaan yang dibutuhkan dalam perencanaan sistem penyaluran air limbah maupun pembangunan instalasi pengolahan air limbah. Sedangkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) adalah perhitungan biaya yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan bahan, peralatan, maupun pekerjaan berdasarkan pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK).

### 4.7.1 Harga Satuan

Harga satuan digunakan sebagai acuan dalam analisa harga satuan pokok pekerjaan yang digunakan untuk perhitungan rencana anggaran biaya yang dibutuhkan. Harga satuan yang digunakan pada perencanaan ini ada 3, yaitu harga satuan upah, material, dan sewa peralatan.

**Tabel 4.1 Harga Satuan Upah**

No	Jenis Pekerja/Keahlian	Upah Kerja (8 Jam/Hari) (Rp)
1	Mandor	171,000
2	Kepala Tukang	171,000
3	Tukang	156,000
4	Pembantu Tukang	145,000

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2018

**Tabel 4.2 Harga Satuan Material**

No	Jenis Bahan	Satuan	Harga (Rp)
1	Pasir Urug	m <sup>3</sup>	187,200
2	Sirtu	m <sup>3</sup>	169,800
3	Makadam	m <sup>3</sup>	90,000
4	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 110 mm	m	92,900
5	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 160 mm	m	198,000
6	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 200 mm	m	305,500
7	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 250 mm	m	476,800
8	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 315 mm	m	761,600
9	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 400 mm	m	1,224,400
10	Paving Stone Abu-Abu Persegi Panjang Tebal 6 cm	m <sup>2</sup>	72,800
11	Aspal	m <sup>3</sup>	50,000
12	Bend 90° 110 mm	buah	70,200
13	Bend 90° 160 mm	buah	106,200
14	Bend 90° 200 mm	buah	177,600
15	Bend 90° 315 mm	buah	402,300
16	Bend 90° 400 mm	buah	537,600
17	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	buah	70,200
18	T Socket Spigot PVC 160 mm x 160 mm	buah	106,200
19	T Socket Spigot PVC 200 mm x 200 mm	buah	177,600
20	Semen PC 40 kg	Zak	58,500
21	Pasir cor	m <sup>3</sup>	272,500
22	Batu pecah mesin 1/2 cm	m <sup>3</sup>	278,000
23	Paku Usuk	kg	14,800
24	Kayu Meranti Bekisting	m <sup>3</sup>	3,350,400
25	Minyak Bekisting	Liter	30,100
26	Besi beton polos	kg	13,500
27	Kawat beton	kg	26,900
28	Electrode baja	kg	96,667
29	Gedeg guling	m <sup>2</sup>	54,300
30	Paku biasa 2-5 inchi	Doz	29,100
31	Kayu meranti usuk 4/6, 5/7	m <sup>3</sup>	4,188,000
32	Bambu bongkolan diameter 10-12 cm, P 3.00 mtr	Batang	23,900
33	Plywood Uk. 122x244x9 mm	Lembar	105,000
34	Pompa Submersible	Buah	14,000,000
35	Blower	buah	11,449,000

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2018

**Tabel 4.3 Harga Satuan Sewa Peralatan**

No	Jenis Peralatan	Satuan	Harga Sewa (Rp)
1	Sewa Excavator 6 m <sup>3</sup>	Jam	153,333
2	Sewa Stemper	Jam	113,700
3	Sewa Dump Truk 5 ton	Jam	70,000
4	Sewa Vibrator Roller min. 5 jam	Jam	149,400
5	Sewa Crane 30 ton min 8 jam (termasuk Mob/Demob Operator BBM)	Jam	146,500
6	Sewa Sheet Pile WF	m <sup>2</sup>	1,100
7	Sewa Sheet Pile C	m <sup>2</sup>	1,100

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2018

## 4.7.2 BOQ dan RAB SPAL

### 4.7.1.1 Perpipaan

Pipa yang digunakan pada perencanaan ini adalah pipa PVC dengan panjang pipa 6 m per batang. Berikut adalah rincian jumlah pipa yang dibutuhkan pada setiap *cluster*.

**Tabel 4.4 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL Cluster 1**

Jalur Pipa	Diameter Pipa (mm)	Panjang Pipa (m)	Tipe Galian
A1-B1	110	113	Aspal
A2-B2	110	123	Aspal
A3-B5	110	80	Paving
A4-B7	160	373	Paving
A5-A6	160	259	Paving
A7-B8	160	205	Paving
A8-A9	110	186	Aspal
A10-A11	160	301	Aspal
A11-A12	200	333	Aspal
A13-B10	110	198	Aspal
A14-A15	110	209	Paving
A16-A17	110	219	Paving
A17-B10	110	284	Aspal
A18-B11	110	252	Paving
A19-B12	110	262	Paving
A20-A21	110	127	Paving
A22-A23	110	137	Paving
A24-A25	110	145	Paving
A25-A26	110	120	Paving
A26-B9	110	180	Paving
A27-A28	110	359	Paving
A29-B13	110	165	Paving
A30-A31	110	152	Paving
B1-B2	160	123	Aspal
B2-B3	160	174	Aspal
B3-B4	160	183	Aspal
B4-C1	160	234	Aspal
B5-B6	110	132	Paving
B6-B7	200	278	Paving
B7-B8	250	179	Paving
B8-B9	200	98	Paving
B10-B11	110	143	Aspal
B11-B12	160	77	Aspal
B12-C2	315	117	Aspal
B13-C3	160	127	Paving
C1-C2	160	157	Aspal

Jalur Pipa	Diameter Pipa (mm)	Panjang Pipa (m)	Tipe Galian
C2-C3	400	168	Paving
C3-IPAL	400	11	Paving

**Tabel 4.5 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL Cluster 1 Per Diameter**

Jenis Pipa	Jumlah Kebutuhan Pipa (meter)	Panjang Pipa per Batang (meter)	Kebutuhan Pipa (Batang)
Pipa Diameter 110 mm	3587	6	598
Pipa Diameter 160 mm	2213	6	369
Pipa Diameter 200 mm	710	6	118
Pipa Diameter 250 mm	179	6	30
Pipa Diameter 315 mm	117	6	19
Pipa Diameter 400 mm	179	6	30

**Tabel 4.6 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL Cluster 2**

Jalur Pipa	Diameter Pipa (mm)	Panjang Pipa (m)	Tipe Galian
D1-D2	110	220	Aspal
D3-D4	110	150	Aspal
D5-E2	110	185	Aspal
D6-D7	110	106	Paving
D8-D9	110	95	Paving
D10-D11	110	94	Paving
D12-D13	110	329	Paving
D14-E3	110	382	Aspal
D15-D16	110	288	Paving
D17-D18	110	236	Paving
D19-D20	110	379	Paving
D21-D22	110	270	Paving
D23-E4	110	202	Paving
D24-E4	110	279	Paving
D25-D26	110	97	Paving
D27-D28	110	116	Paving
D29-D30	110	136	Paving
D31-D32	110	276	Paving
D33-D34	110	185	Paving
D35-D36	110	177	Paving
D37-D38	110	179	Paving
D39-D40	110	323	Paving
D41-D42	110	332	Paving
D43-D44	110	341	Paving
D45-D46	110	297	Paving
D47-D48	110	381	Paving
D49-D50	110	359	Paving
D51-D52	110	358	Paving
E1-F2	110	580	Aspal
E2-F2	200	313	Paving
E3-F1	200	326	Aspal
E4-F1	200	219	Paving
F1-F2	250	432	Aspal
F2-F3	315	262	Paving
F3-IPAL	315	20	Paving

**Tabel 4.7 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL Cluster 2 Per Diameter**

Jenis Pipa	Jumlah Kebutuhan Pipa (meter)	Panjang Pipa per Batang (meter)	Kebutuhan Pipa (Batang)
Pipa Diameter 110 mm	7350	6	1225
Pipa Diameter 200 mm	858	6	143
Pipa Diameter 250 mm	432	6	72
Pipa Diameter 315 mm	282	6	47

**Tabel 4.8 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL Cluster 3**

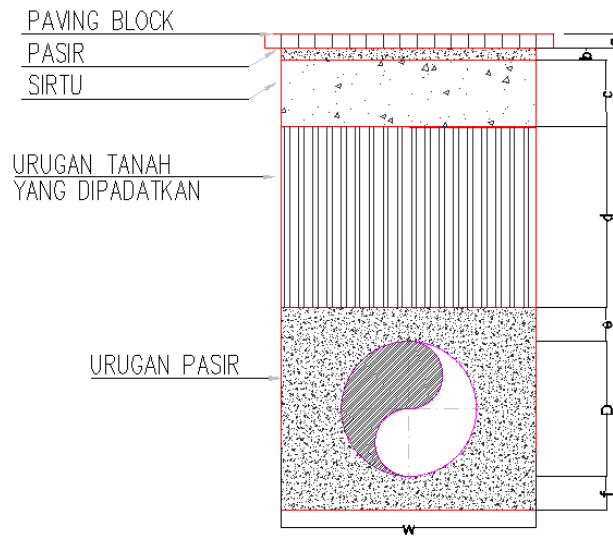
Jalur Pipa	Diameter Pipa (mm)	Panjang Pipa (m)	Tipe Galian
A1-B1	110	90	Aspal
A2-C1	110	131	Aspal
A3-A4	110	158	Aspal
A5-A6	110	178	Aspal
A7-A8	160	173	Aspal
A9-B4	110	209	Aspal
A10-A11	110	228	Paving
A12-A13	110	119	Paving
A14-B5	110	253	Aspal
A15-A17	110	168	Paving
A16-A17	110	231	Paving
A18-A20	110	165	Paving
A19-A20	110	230	Paving
A21-B6	110	159	Paving
A22-B6	110	167	Paving
A23-A24	160	460	Aspal
B1-C1	110	265	Aspal
B2-B3	200	462	Aspal
B4-B5	200	320	Aspal
B5-C2	160	129	Aspal
B6-B7	160	138	Paving
B8-C3	160	537	Paving
C1-C2	200	231	Aspal
C2-C3	315	195	Aspal
C3-C4	315	490	Aspal
C4-C5	315	191	Tanah/ Berm
C5-IPAL	315	125	Tanah/ Berm

**Tabel 4.9 Jumlah Kebutuhan Pipa SPAL Cluster 3 Per Diameter**

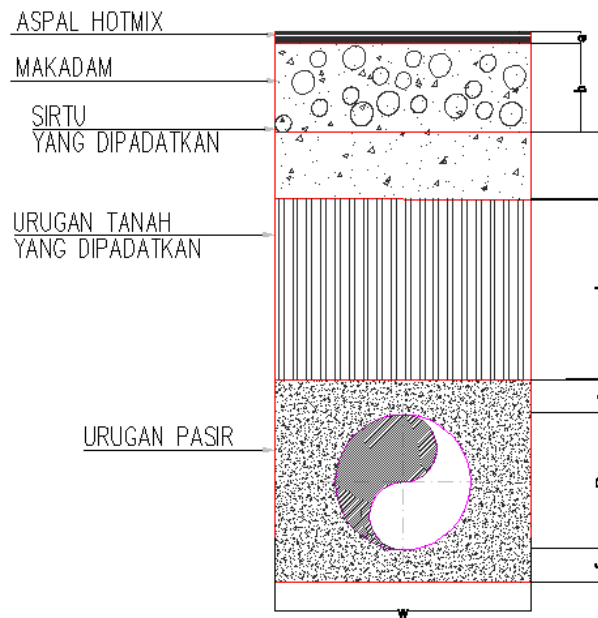
Jenis Pipa	Jumlah Kebutuhan Pipa (meter)	Panjang Pipa per Batang (meter)	Kebutuhan Pipa (Batang)
Pipa Diameter 110 mm	2752	6	459
Pipa Diameter 160 mm	1437	6	240
Pipa Diameter 200 mm	1013	6	169
Pipa Diameter 315 mm	1001	6	167

#### 4.7.1.2 BOQ Penanaman Pipa

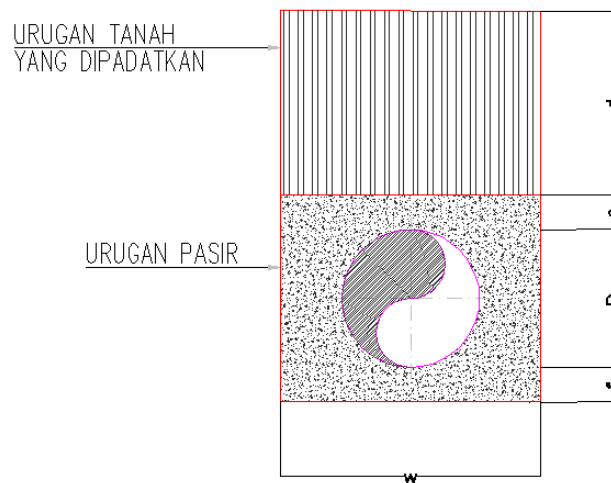
Penggalian pipa disesuaikan dengan kondisi jalan di wilayah perencanaan. Terdapat 3 jenis galian pada perencanaan ini, yaitu galian tipe *paving*, aspal, dan tanah/berm. Bentuk galian dari ketiga jenis galian tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4.1 Bentuk Galian pada Jalan Paving**



**Gambar 4.2 Bentuk Galian pada Jalan Aspal**



**Gambar 4.3 Bentuk Galian pada Jalan Tanah/Berm**

Ketebalan setiap segmennya adalah sebagai berikut:

**Galian Paving**

- a (*paving block*) = 0,06 m
- b (pasir) = 0,05 m
- c (sirtu) = 0,2 m
- d (urugan tanah dipadatkan) = variabel
- d = kedalaman penanaman pipa – (a+b+c+e+D)
- e (urugan pasir di atas pipa) = 0,15 m (Departemen PU)
- D = diameter pipa (m)
- f (urugan pasir di bawah pipa) = 0,15 m (Departemen PU)

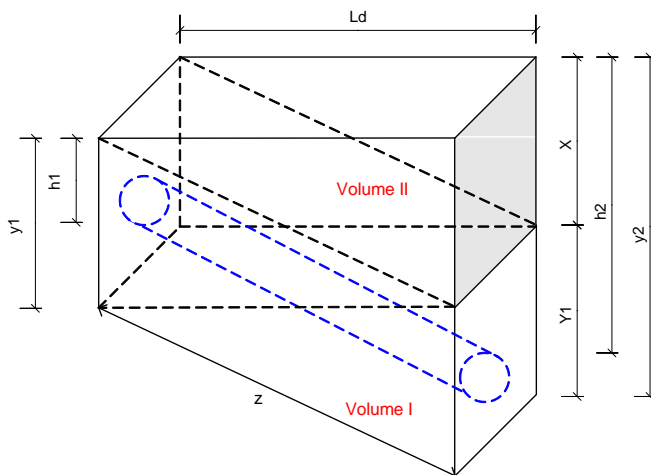
**Galian Aspal**

- a (*aspal hotmix*) = 0,05 m
- b (makadam) = 0,3 m
- c (sirtu) = 0,2 m
- d (urugan tanah dipadatkan) = variabel
- d = kedalaman penanaman pipa – (a+b+c+e+D)
- e (urugan pasir di atas pipa) = 0,15 m (Departemen PU)
- D = diameter pipa (m)
- f (urugan pasir di bawah pipa) = 0,15 m (Departemen PU)

**Galian Tanah/Berm**

- d (urugan tanah dipadatkan) = kedalaman penanaman pipa
- e (urugan pasir di atas pipa) = 0,15 m (Departemen PU)
- D = diameter pipa (m)
- f (urugan pasir di bawah pipa) = 0,15 m (Departemen PU)

Berikutnya dihitung volume galian dan urugan yang dibutuhkan yang mengacu pada tipe galian di atas. Berikut adalah gambar bentuk galian pipa sepanjang saluran yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan volume galian dan urugan.



**Gambar 4.4 Bentuk Galian Penanaman Pipa SPAL**

Berdasarkan gambar bentuk galian yang direncanakan sepanjang pipa, maka dapat dihitung volume galian dan urugan dengan rumus sebagai berikut.

**Galian Paving**

- D = diameter pipa (m)
- Ld = panjang pipa (m)
- h1 = kedalaman penanaman pipa awal
- h2 = kedalaman penanaman pipa akhir

$d_1$  = kedalaman penanaman pipa awal –  $(a+b+c+e+D)$   
 $d_2$  = kedalaman penanaman pipa akhir –  $(a+b+c+e+D)$   
 $y_1$  = kedalaman galian awal  
 $= a+b+c+d_1+e+D+f$   
 $y_2$  = kedalaman galian akhir  
 $= a+b+c+d_2+e+D+f$   
 $X$  = kedalaman galian akhir – kedalaman galian akhir  
 $= y_2 - y_1$   
 $Z$  =  $[(y_1)^2 + (Ld)^2]^{1/2}$   
 $W$  = lebar galian  
 $= D + (2 \times 0,3)$   
 Volume galian I =  $w \times y_1 \times z$   
 Volume galian II =  $\frac{1}{2} \times w \times X \times Ld$   
 Volume galian total = volume galian I + volume galian II  
 Volume pipa =  $\frac{1}{4} \pi D^2 \times Ld$   
 Volume urugan pasir =  $[(w \times (e+D+f) \times Ld) - \text{volume pipa}] + (b \times w \times Ld)$   
 Volume urugan sirtu =  $c \times w \times Ld$   
 Luas paving =  $w \times Ld$   
 Volume paving = Luas paving  $\times a$   
 Volume urugan tanah = volume galian total – volume pipa – volume urugan pasir –  
 volume urugan sirtu – volume paving  
 Volume sisa galian = volume galian total – volume urugan tanah

#### **Galian Aspal**

$D$  = diameter pipa (m)  
 $Ld$  = panjang pipa (m)  
 $h_1$  = kedalaman penanaman pipa awal  
 $h_2$  = kedalaman penanaman pipa akhir  
 $d_1$  = kedalaman penanaman pipa awal –  $(a+b+c+e+D)$   
 $d_2$  = kedalaman penanaman pipa akhir –  $(a+b+c+e+D)$   
 $y_1$  = kedalaman galian awal  
 $= a+b+c+d_1+e+D+f$   
 $y_2$  = kedalaman galian akhir  
 $= a+b+c+d_2+e+D+f$   
 $X$  = kedalaman galian akhir – kedalaman galian akhir  
 $= y_2 - y_1$   
 $Z$  =  $[(y_1)^2 + (Ld)^2]^{1/2}$   
 $W$  = lebar galian  
 $= D + (2 \times 0,3)$   
 Volume galian I =  $w \times y_1 \times z$   
 Volume galian II =  $\frac{1}{2} \times w \times X \times Ld$   
 Volume galian total = volume galian I + volume galian II  
 Volume pipa =  $\frac{1}{4} \pi D^2 \times Ld$   
 Volume urugan pasir =  $[(w \times (e+D+f) \times Ld) - \text{volume pipa}]$   
 Volume urugan makadam =  $b \times w \times Ld$   
 Volume urugan sirtu =  $c \times w \times Ld$   
 Volume aspal =  $a \times w \times Ld$   
 Luas pengaspalan =  $w \times Ld$   
 Volume urugan tanah = volume galian total – volume pipa – volume urugan pasir –  
 volume urugan sirtu – volume urugan macadam – volume aspal  
 Volume sisa galian = volume galian total – volume urugan tanah

#### **Galian Tanah/Berm**

$D$  = diameter pipa (m)  
 $Ld$  = panjang pipa (m)

$h_1$  = kedalaman penanaman pipa awal  
 $h_2$  = kedalaman penanaman pipa akhir  
 $d_1$  = kedalaman penanaman pipa awal – (e+D)  
 $d_2$  = kedalaman penanaman pipa akhir – (e+D)  
 $y_1$  = kedalaman galian awal  
           =  $d_1 + e + D + f$   
 $y_2$  = kedalaman galian akhir  
           =  $d_2 + e + D + f$   
 $X$  = kedalaman galian akhir – kedalaman galian akhir  
           =  $y_2 - y_1$   
 $Z$  =  $[(y_1)^2 + (Ld)^2]^{1/2}$   
 $W$  = lebar galian  
           =  $D + (2 \times 0,3)$   
 Volume galian I =  $w \times y_1 \times z$   
 Volume galian II =  $\frac{1}{2} \times w \times X \times Ld$   
 Volume galian total = volume galian I + volume galian II  
 Volume pipa =  $\frac{1}{4} \pi D^2 \times Ld$   
 Volume urugan pasir =  $[(w \times (e+D+f) \times Ld) - \text{volume pipa}]$   
 Volume urugan tanah = volume galian total – volume pipa – volume urugan pasir  
 Volume sisa galian = volume galian total – volume urugan tanah

Hasil perhitungan lengkap BOQ penanaman pipa untuk ketiga *cluster* dapat dilihat pada tabel dibawah ini. Setelah diperoleh BOQ, maka dapat dihitung biaya penanaman pipa air limbah dengan menggunakan HSPK SPAL.



Tabel 4.10 Hasil Perhitungan BOQ Penanaman Pipa Cluster 1

Jalur pipa	Tipe Galian	Panjang Pipa (m)	D (m)	Kedalaman Penanaman		a (m)	b (m)	c (m)	d (m)		e (m)	f (m)	w (m)	Kedalaman Galian		X	Z	Volume Galian (m³)		Volume Galian total (m³)
				Awal h1 (m)	Akhir h2 (m)				Awal d1	Awal d2				Awal y1 (m)	Akhir y2 (m)			I	II	
A1-B1	Aspal	113.30	0.11	0.71	0.71	0.05	0.30	0.20	0.00	0.00	0.15	0.15	0.71	0.96	0.96	0.00	113	77.23	0.00	77.23
A2-B2	Aspal	123.00	0.11	0.71	1.04	0.05	0.30	0.20	0.00	0.00	0.15	0.15	0.71	0.96	0.96	0.00	123	83.84	0.00	83.84
A3-B5	Paving	79.70	0.11	0.71	0.98	0.06	0.05	0.20	0.14	0.41	0.15	0.15	0.71	0.86	1.13	0.27	80	48.67	7.65	56.32
A4-B7	Paving	373.00	0.16	0.76	1.44	0.06	0.05	0.20	0.14	0.82	0.15	0.15	0.76	0.91	1.59	0.68	373	257.97	95.86	353.83
A5-A6	Paving	259.30	0.16	0.76	2.38	0.06	0.05	0.20	0.14	1.76	0.15	0.15	0.76	0.91	2.53	1.62	259	179.33	159.64	338.98
A7-B8	Paving	205.30	0.16	0.76	1.10	0.06	0.05	0.20	0.14	0.48	0.15	0.15	0.76	0.91	1.25	0.34	205	141.99	26.78	168.77
A8-A9	Aspal	186.30	0.11	0.71	1.56	0.05	0.30	0.20	0.00	0.75	0.15	0.15	0.71	0.96	1.71	0.75	186	126.98	49.71	176.69
A10-A11	Aspal	301.00	0.16	2.11	2.21	0.05	0.30	0.20	1.25	1.35	0.15	0.15	0.76	2.26	2.36	0.09	301	517.37	10.85	528.22
A11-A12	Aspal	333.00	0.20	2.25	2.62	0.05	0.30	0.20	1.35	1.72	0.15	0.15	0.80	2.40	2.77	0.37	333	638.41	49.56	687.97
A13-B10	Aspal	198.00	0.11	0.71	2.40	0.05	0.30	0.20	0.00	1.59	0.15	0.15	0.71	0.96	2.55	1.59	198	134.96	112.06	247.02
A14-A15	Paving	209.30	0.11	0.71	1.62	0.06	0.05	0.20	0.14	1.05	0.15	0.15	0.71	0.86	1.77	0.91	209	127.80	67.75	195.55
A16-A17	Paving	218.50	0.11	0.71	1.71	0.06	0.05	0.20	0.14	1.14	0.15	0.15	0.71	0.86	1.86	1.00	219	133.42	77.47	210.89
A17-B10	Aspal	284.00	0.11	1.71	4.32	0.05	0.30	0.20	0.90	3.51	0.15	0.15	0.71	1.86	4.47	2.61	284	374.81	263.08	637.89
A18-B11	Paving	252.00	0.11	0.71	1.86	0.06	0.05	0.20	0.14	1.29	0.15	0.15	0.71	0.86	2.01	1.15	252	153.87	103.05	256.92
A19-B12	Paving	262.00	0.11	0.71	2.14	0.06	0.05	0.20	0.14	1.57	0.15	0.15	0.71	0.86	2.29	1.43	262	159.98	133.11	293.08
A20-A21	Paving	127.20	0.11	0.71	1.80	0.06	0.05	0.20	0.14	1.23	0.15	0.15	0.71	0.86	1.95	1.09	127	77.67	49.15	126.82
A22-A23	Paving	137.40	0.11	0.71	1.63	0.06	0.05	0.20	0.14	1.06	0.15	0.15	0.71	0.86	1.78	0.92	137	83.90	44.97	128.86
A24-A25	Paving	145.30	0.11	0.71	2.38	0.06	0.05	0.20	0.14	1.81	0.15	0.15	0.71	0.86	2.53	1.67	145	88.72	86.37	175.09
A25-A26	Paving	120.00	0.11	2.38	2.74	0.06	0.05	0.20	1.81	2.17	0.15	0.15	0.71	2.53	2.89	0.36	120	215.97	15.28	231.25
A26-B9	Paving	180.00	0.11	2.74	3.28	0.06	0.05	0.20	2.17	2.71	0.15	0.15	0.71	2.89	3.43	0.54	180	369.77	34.38	404.15
A27-A28	Paving	359.30	0.11	0.71	2.35	0.06	0.05	0.20	0.14	1.78	0.15	0.15	0.71	0.86	2.50	1.64	359	219.39	209.48	428.87
A29-B13	Paving	165.00	0.11	0.71	0.71	0.06	0.05	0.20	0.14	0.14	0.15	0.15	0.71	0.86	0.86	0.00	165	100.75	0.00	100.75
A30-A31	Paving	151.50	0.11	0.71	0.71	0.06	0.05	0.20	0.14	0.14	0.15	0.15	0.71	0.86	0.86	0.00	152	92.51	0.00	92.51
B1-B2	Aspal	122.50	0.16	0.76	1.53	0.05	0.30	0.20	0.00	0.67	0.15	0.15	0.76	1.01	1.68	0.67	123	94.03	30.98	125.01
B2-B3	Aspal	174.20	0.16	1.53	2.30	0.05	0.30	0.20	0.67	1.44	0.15	0.15	0.76	1.68	2.45	0.77	174	221.82	50.97	272.79
B3-B4	Aspal	183.20	0.16	2.30	2.54	0.05	0.30	0.20	1.44	1.68	0.15	0.15	0.76	2.45	2.69	0.25	183	340.50	17.17	357.67
B4-C1	Aspal	233.50	0.16	2.54	2.84	0.05	0.30	0.20	1.68	1.98	0.15	0.15	0.76	2.69	2.99	0.29	234	477.75	26.14	503.89
B5-B6	Paving	131.60	0.11	0.98	1.43	0.06	0.05	0.20	0.41	0.86	0.15	0.15	0.71	1.13	1.58	0.45	132	105.63	20.87	126.50
B6-B7	Paving	278.30	0.20	1.52	1.81	0.06	0.05	0.20	0.86	1.15	0.15	0.15	0.80	1.67	1.96	0.29	278	371.19	32.70	403.89
B7-B8	Paving	179.00	0.25	1.86	2.01	0.06	0.05	0.20	1.15	1.30	0.15	0.15	0.85	2.01	2.16	0.15	179	305.99	11.70	317.69
B8-B9	Paving	98.30	0.20	1.96	1.96	0.06	0.05	0.20	1.30	1.30	0.15	0.15	0.80	2.11	2.11	0.00	98	166.35	0.00	166.35
B10-B11	Aspal	143.20	0.11	4.32	4.75	0.05	0.30	0.20	3.51	3.94	0.15	0.15	0.71	4.47	4.90	0.43	143	454.51	21.76	476.26
B11-B12	Aspal	76.90	0.16	4.80	4.96	0.05	0.30	0.20	3.94	4.10	0.15	0.15	0.76	4.95	5.11	0.17	77	289.67	4.87	294.54
B12-C2	Aspal	116.70	0.32	5.12	5.68	0.05	0.30	0.20	4.10	4.66	0.15	0.15	0.92	5.27	5.83	0.56	117	563.07	29.91	592.98

Jalur pipa	Tipe Galian	Panjang Pipa (m)	D (m)	Kedalaman Penanaman		a (m)	b (m)	c (m)	d (m)		e (m)	f (m)	w (m)	Kedalaman Galian		X	Z	Volume Galian (m³)		Volume Galian total (m³)
				Awal h1 (m)	Akhir h2 (m)				Awal d1	Awal d2				Awal y1 (m)	Akhir y2 (m)			I	II	
B13-C3	Paving	127.00	0.16	0.76	0.97	0.06	0.05	0.20	0.14	0.35	0.15	0.15	0.76	0.91	1.12	0.21	127	87.84	10.25	98.08
C1-C2	Aspal	157.30	0.16	2.84	2.12	0.05	0.30	0.20	1.98	1.26	0.15	0.15	0.76	2.99	2.27	-0.71	157	357.10	-42.73	314.37
C2-C3	Paving	168.00	0.40	5.26	5.33	0.06	0.05	0.20	4.40	4.47	0.15	0.15	1.00	5.41	5.48	0.07	168	909.87	5.75	915.62
C3-IPAL	Paving	11.00	0.40	5.33	5.34	0.06	0.05	0.20	4.47	4.48	0.15	0.15	1.00	5.48	5.49	0.00	12	67.37	0.02	67.39

Jalur pipa	Volume pipa (m³)	Volume Pengurangan Pasir (m³)	Volume Pengurangan Sirtu (m³)	Volume Pengurangan Makadam (m³)	Volume Aspal (m³)	Luas Pengaspalan (m²)	Luas Paving (m²)	Volume Paving (m³)	Volume Pengurangan Tanah (m³)	Volume Sisa Galian (m³)
A1-B1	1.08	31.91	16.09	24.13	4.02	80.44	0.0	0.00	0.00	77.23
A2-B2	1.17	34.64	17.47	26.20	4.37	87.33	0.0	0.00	0.00	83.84
A3-B5	0.76	25.27	11.32	0.00	0.00	0.00	56.6	3.40	15.58	40.74
A4-B7	7.50	137.08	56.70	0.00	0.00	0.00	283.5	17.01	135.55	218.28
A5-A6	5.21	95.29	39.41	0.00	0.00	0.00	197.1	11.82	187.24	151.74
A7-B8	4.13	75.45	31.21	0.00	0.00	0.00	156.0	9.36	48.63	120.14
A8-A9	1.77	52.46	26.45	39.68	6.61	132.27	0.0	0.00	49.71	126.98
A10-A11	6.05	99.18	45.75	68.63	11.44	228.76	0.0	0.00	297.17	231.05
A11-A12	10.46	122.74	53.28	79.92	13.32	266.40	0.0	0.00	408.25	279.72
A13-B10	1.88	55.76	28.12	42.17	7.03	140.58	0.0	0.00	112.06	134.96
A14-A15	1.99	66.37	29.72	0.00	0.00	0.00	148.6	8.92	88.56	106.99
A16-A17	2.08	69.29	31.03	0.00	0.00	0.00	155.1	9.31	99.19	111.70
A17-B10	2.70	79.97	40.33	60.49	10.08	201.64	0.0	0.00	444.31	193.57
A18-B11	2.39	79.91	35.78	0.00	0.00	0.00	178.9	10.74	128.10	128.82
A19-B12	2.49	83.08	37.20	0.00	0.00	0.00	186.0	11.16	159.15	133.93
A20-A21	1.21	40.34	18.06	0.00	0.00	0.00	90.3	5.42	61.79	65.02
A22-A23	1.31	43.57	19.51	0.00	0.00	0.00	97.6	5.85	58.62	70.24
A24-A25	1.38	46.07	20.63	0.00	0.00	0.00	103.2	6.19	100.81	74.28
A25-A26	1.14	38.05	17.04	0.00	0.00	0.00	85.2	5.11	169.91	61.34
A26-B9	1.71	57.08	25.56	0.00	0.00	0.00	127.8	7.67	312.14	92.02
A27-A28	3.41	113.93	51.02	0.00	0.00	0.00	255.1	15.31	245.20	183.67
A29-B13	1.57	52.32	23.43	0.00	0.00	0.00	117.2	7.03	16.40	84.35
A30-A31	1.44	48.04	21.51	0.00	0.00	0.00	107.6	6.45	15.06	77.45
B1-B2	2.46	40.36	18.62	27.93	4.66	93.10	0.0	0.00	30.98	94.03
B2-B3	3.50	57.40	26.48	39.72	6.62	132.39	0.0	0.00	139.07	133.72
B3-B4	3.68	60.37	27.85	41.77	6.96	139.23	0.0	0.00	217.05	140.62

Jalur pipa	Volume pipa (m³)	Volume Pengurugan Pasir (m³)	Volume Pengurugan Sirtu (m³)	Volume Pengurugan Makadam (m³)	Volume Aspal (m³)	Luas Pengaspalan (m²)	Luas Paving (m²)	Volume Paving (m³)	Volume Pengurugan Tanah (m³)	Volume Sisa Galian (m³)
B4-C1	4.69	76.94	35.49	53.24	8.87	177.46	0.0	0.00	324.65	179.23
B5-B6	1.25	41.73	18.69	0.00	0.00	0.00	93.4	5.61	59.23	67.27
B6-B7	8.74	113.71	44.53	0.00	0.00	0.00	222.6	13.36	223.55	180.34
B7-B8	8.78	82.51	30.43	0.00	0.00	0.00	152.2	9.13	186.84	130.85
B8-B9	3.09	40.17	15.73	0.00	0.00	0.00	78.6	4.72	102.65	63.70
B10-B11	1.36	40.33	20.33	30.50	5.08	101.67	0.0	0.00	378.66	97.61
B11-B12	1.55	25.34	11.69	17.53	2.92	58.44	0.0	0.00	235.51	59.03
B12-C2	9.09	56.58	21.36	32.03	5.34	106.78	0.0	0.00	468.58	124.40
B13-C3	2.55	46.67	19.30	0.00	0.00	0.00	96.5	5.79	23.76	74.32
C1-C2	3.16	51.83	23.91	35.86	5.98	119.55	0.0	0.00	193.63	120.74
C2-C3	21.10	104.90	33.60	0.00	0.00	0.00	168.0	10.08	745.94	169.68
C3-IPAL	1.38	6.87	2.20	0.00	0.00	0.00	11.0	0.66	56.28	11.11

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan BOQ Penanaman Pipa Cluster 2

Jalur pipa	Tipe Galian	Panjang Pipa (m)	D (m)	Kedalaman Penanaman		a (m)	b (m)	c (m)	d (m)		e (m)	f (m)	w (m)	Kedalaman Galian		X	Z	Volume Galian (m³)		Volume Galian total (m³)
				Awal h1 (m)	Akhir h2 (m)				Awal d1	Awal d2				Awal y1 (m)	Akhir y2 (m)			I	II	
D1-D2	Aspal	220.00	0.11	0.71	2.59	0.05	0.30	0.20	0.00	1.78	0.15	0.15	0.71	0.96	2.74	1.78	220	149.95	139.21	289.16
D3-D4	Aspal	150.00	0.11	0.71	2.44	0.05	0.30	0.20	0.00	1.63	0.15	0.15	0.71	0.96	2.59	1.63	150	102.24	86.72	188.96
D5-E2	Aspal	185.00	0.11	0.71	1.84	0.05	0.30	0.20	0.00	1.03	0.15	0.15	0.71	0.96	1.99	1.03	185	126.10	67.77	193.86
D6-D7	Paving	105.60	0.11	0.71	1.42	0.06	0.05	0.20	0.14	0.85	0.15	0.15	0.71	0.86	1.57	0.71	106	64.48	26.56	91.04
D8-D9	Paving	95.20	0.11	0.71	1.35	0.06	0.05	0.20	0.14	0.78	0.15	0.15	0.71	0.86	1.50	0.64	95	58.13	21.59	79.72
D10-D11	Paving	94.40	0.11	0.71	1.52	0.06	0.05	0.20	0.14	0.95	0.15	0.15	0.71	0.86	1.67	0.81	94	57.64	27.07	84.71
D12-D13	Paving	329.30	0.11	0.71	1.72	0.06	0.05	0.20	0.14	1.15	0.15	0.15	0.71	0.86	1.87	1.01	329	201.07	117.51	318.58
D14-E3	Aspal	381.60	0.11	2.11	3.10	0.05	0.30	0.20	1.30	2.29	0.15	0.15	0.71	2.26	3.25	0.99	382	612.33	134.20	746.53
D15-D16	Paving	288.00	0.11	0.71	1.78	0.06	0.05	0.20	0.14	1.21	0.15	0.15	0.71	0.86	1.93	1.07	288	175.85	109.71	285.57
D17-D18	Paving	236.00	0.11	0.71	2.73	0.06	0.05	0.20	0.14	2.16	0.15	0.15	0.71	0.86	2.88	2.02	236	144.10	169.18	313.28
D19-D20	Paving	379.00	0.11	2.11	3.59	0.06	0.05	0.20	1.54	3.02	0.15	0.15	0.71	2.26	3.74	1.48	379	608.15	199.19	807.35
D21-D22	Paving	270.40	0.11	3.11	3.92	0.06	0.05	0.20	2.54	3.35	0.15	0.15	0.71	3.26	4.07	0.81	270	625.91	77.58	703.49
D23-E4	Paving	202.00	0.11	0.71	2.07	0.06	0.05	0.20	0.14	1.50	0.15	0.15	0.71	0.86	2.22	1.36	202	123.34	97.19	220.53
D24-E4	Paving	279.00	0.11	0.71	1.36	0.06	0.05	0.20	0.14	0.79	0.15	0.15	0.71	0.86	1.51	0.65	279	170.36	64.51	234.87
D25-D26	Paving	96.70	0.11	0.71	1.82	0.06	0.05	0.20	0.14	1.25	0.15	0.15	0.71	0.86	1.97	1.11	97	59.05	38.25	97.30
D27-D28	Paving	115.70	0.11	0.71	2.04	0.06	0.05	0.20	0.14	1.47	0.15	0.15	0.71	0.86	2.19	1.33	116	70.65	54.76	125.41
D29-D30	Paving	135.50	0.11	0.71	2.27	0.06	0.05	0.20	0.14	1.70	0.15	0.15	0.71	0.86	2.42	1.56	136	82.74	75.11	157.85
D31-D32	Paving	275.60	0.11	2.11	3.47	0.06	0.05	0.20	1.54	2.90	0.15	0.15	0.71	2.26	3.62	1.36	276	442.24	133.04	575.28

Jalur pipa	Tipe Galian	Panjang Pipa (m)	D (m)	Kedalaman Penanaman		a (m)	b (m)	c (m)	d (m)		e (m)	f (m)	w (m)	Kedalaman Galian		X	Z	Volume Galian (m³)		Volume Galian total (m³)
				Awal h1 (m)	Akhir h2 (m)				Awal d1	Awal d2				Awal y1 (m)	Akhir y2 (m)			I	II	
D33-D34	Paving	184.50	0.11	0.71	1.72	0.06	0.05	0.20	0.14	1.15	0.15	0.15	0.71	0.86	1.87	1.01	185	112.66	66.01	178.66
D35-D36	Paving	176.60	0.11	1.61	2.21	0.06	0.05	0.20	1.04	1.64	0.15	0.15	0.71	1.76	2.36	0.60	177	220.69	37.58	258.27
D37-D38	Paving	179.00	0.11	0.71	2.24	0.06	0.05	0.20	0.14	1.67	0.15	0.15	0.71	0.86	2.39	1.53	179	109.30	97.33	206.63
D39-D40	Paving	323.00	0.11	0.71	1.87	0.06	0.05	0.20	0.14	1.30	0.15	0.15	0.71	0.86	2.02	1.16	323	197.22	133.50	330.73
D41-D42	Paving	332.30	0.11	0.71	3.94	0.06	0.05	0.20	0.14	3.37	0.15	0.15	0.71	0.86	4.09	3.23	332	202.90	380.94	583.84
D43-D44	Paving	341.00	0.11	0.71	4.04	0.06	0.05	0.20	0.14	3.47	0.15	0.15	0.71	0.86	4.19	3.33	341	208.22	403.05	611.26
D45-D46	Paving	296.50	0.11	0.71	3.63	0.06	0.05	0.20	0.14	3.06	0.15	0.15	0.71	0.86	3.78	2.92	297	181.04	307.00	488.05
D47-D48	Paving	380.80	0.11	0.71	2.79	0.06	0.05	0.20	0.14	2.22	0.15	0.15	0.71	0.86	2.94	2.08	381	232.52	281.18	513.70
D49-D50	Paving	358.80	0.11	0.71	2.67	0.06	0.05	0.20	0.14	2.10	0.15	0.15	0.71	0.86	2.82	1.96	359	219.08	249.63	468.72
D51-D52	Paving	358.00	0.11	0.71	3.77	0.06	0.05	0.20	0.14	3.20	0.15	0.15	0.71	0.86	3.92	3.06	358	218.60	389.31	607.91
E1-F2	Aspal	580.00	0.11	2.61	5.40	0.05	0.30	0.20	1.80	4.59	0.15	0.15	0.71	2.76	5.55	2.79	580	1136.58	574.74	1711.32
E2-F2	Paving	313.00	0.20	1.93	2.28	0.06	0.05	0.20	1.27	1.62	0.15	0.15	0.80	2.08	2.43	0.35	313	521.30	43.98	565.28
E3-F1	Aspal	325.60	0.20	3.19	4.28	0.05	0.30	0.20	2.29	3.38	0.15	0.15	0.80	3.34	4.43	1.09	326	870.22	142.01	1012.23
E4-F1	Paving	219.30	0.20	3.56	3.80	0.06	0.05	0.20	2.90	3.14	0.15	0.15	0.80	3.71	3.95	0.24	219	650.93	21.04	671.97
F1-F2	Aspal	432.30	0.25	3.84	4.37	0.05	0.30	0.20	2.89	3.42	0.15	0.15	0.85	3.99	4.52	0.53	432	1466.45	97.78	1564.22
F2-F3	Paving	262.00	0.32	5.71	5.77	0.06	0.05	0.20	4.93	5.00	0.15	0.15	0.92	5.86	5.92	0.07	262	1404.30	8.06	1412.35
F3-IPAL	Paving	20.00	0.32	5.77	5.79	0.06	0.05	0.20	5.00	5.01	0.15	0.15	0.92	5.92	5.94	0.01	21	113.06	0.12	113.17

Jalur pipa	Volume pipa (m³)	Volume Pengurangan Pasir (m³)	Volume Pengurangan Sirtu (m³)	Volume Pengurangan Makadam (m³)	Volume Aspal (m³)	Luas Pengaspalan (m²)	Luas Paving (m²)	Volume Paving (m³)	Volume Pengurangan Tanah (m³)	Volume Sisa Galian (m³)
D1-D2	2.09	61.95	31.24	46.86	7.81	156.20	0.0	0.00	139.21	149.95
D3-D4	1.42	42.24	21.30	31.95	5.33	106.50	0.0	0.00	86.72	102.24
D5-E2	1.76	52.10	26.27	39.41	6.57	131.35	0.0	0.00	67.77	126.10
D6-D7	1.00	33.49	15.00	0.00	0.00	0.00	75.0	4.50	37.06	53.98
D8-D9	0.90	30.19	13.52	0.00	0.00	0.00	67.6	4.06	31.05	48.67
D10-D11	0.90	29.93	13.40	0.00	0.00	0.00	67.0	4.02	36.45	48.26
D12-D13	3.13	104.42	46.76	0.00	0.00	0.00	233.8	14.03	150.24	168.34
D14-E3	3.62	107.46	54.19	81.28	13.55	270.94	0.0	0.00	486.43	260.10
D15-D16	2.74	91.33	40.90	0.00	0.00	0.00	204.5	12.27	138.34	147.23
D17-D18	2.24	74.84	33.51	0.00	0.00	0.00	167.6	10.05	192.64	120.64
D19-D20	3.60	120.18	53.82	0.00	0.00	0.00	269.1	16.15	613.60	193.74
D21-D22	2.57	85.74	38.40	0.00	0.00	0.00	192.0	11.52	565.27	138.23
D23-E4	1.92	64.05	28.68	0.00	0.00	0.00	143.4	8.61	117.27	103.26

Jalur pipa	Volume pipa (m <sup>3</sup> )	Volume Pengurangan Pasir (m <sup>3</sup> )	Volume Pengurangan Sirtu (m <sup>3</sup> )	Volume Pengurangan Makadam (m <sup>3</sup> )	Volume Aspal (m <sup>3</sup> )	Luas Pengaspalan (m <sup>2</sup> )	Luas Paving (m <sup>2</sup> )	Volume Paving (m <sup>3</sup> )	Volume Pengurangan Tanah (m <sup>3</sup> )	Volume Sisa Galian (m <sup>3</sup> )
D24-E4	2.65	88.47	39.62	0.00	0.00	0.00	198.1	11.89	92.25	142.62
D25-D26	0.92	30.66	13.73	0.00	0.00	0.00	68.7	4.12	47.87	49.43
D27-D28	1.10	36.69	16.43	0.00	0.00	0.00	82.1	4.93	66.26	59.15
D29-D30	1.29	42.97	19.24	0.00	0.00	0.00	96.2	5.77	88.58	69.27
D31-D32	2.62	87.39	39.14	0.00	0.00	0.00	195.7	11.74	434.39	140.89
D33-D34	1.75	58.51	26.20	0.00	0.00	0.00	131.0	7.86	84.35	94.32
D35-D36	1.68	56.00	25.08	0.00	0.00	0.00	125.4	7.52	167.99	90.28
D37-D38	1.70	56.76	25.42	0.00	0.00	0.00	127.1	7.63	115.12	91.50
D39-D40	3.07	102.42	45.87	0.00	0.00	0.00	229.3	13.76	165.61	165.12
D41-D42	3.16	105.37	47.19	0.00	0.00	0.00	235.9	14.16	413.97	169.87
D43-D44	3.24	108.13	48.42	0.00	0.00	0.00	242.1	14.53	436.94	174.32
D45-D46	2.82	94.02	42.10	0.00	0.00	0.00	210.5	12.63	336.48	151.57
D47-D48	3.62	120.75	54.07	0.00	0.00	0.00	270.4	16.22	319.04	194.66
D49-D50	3.41	113.78	50.95	0.00	0.00	0.00	254.7	15.28	285.30	183.42
D51-D52	3.40	113.52	50.84	0.00	0.00	0.00	254.2	15.25	424.90	183.01
E1-F2	5.51	163.33	82.36	123.54	20.59	411.80	0.0	0.00	1315.99	395.33
E2-F2	9.83	127.89	50.08	0.00	0.00	0.00	250.4	15.02	362.45	202.82
E3-F1	10.22	120.02	52.10	78.14	13.02	260.48	0.0	0.00	738.72	273.50
E4-F1	6.89	89.61	35.09	0.00	0.00	0.00	175.4	10.53	529.86	142.11
F1-F2	21.21	180.89	73.49	110.24	18.37	367.46	0.0	0.00	1160.02	404.20
F2-F3	20.41	139.01	47.95	0.00	0.00	0.00	239.7	14.38	1190.60	221.75
F3-IPAL	1.56	10.61	3.66	0.00	0.00	0.00	18.3	1.10	96.25	16.93

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan BOQ Penanaman Pipa Cluster 3

Jalur pipa	Tipe Galian	Panjang Pipa (m)	D (m)	Kedalaman Penanaman		a (m)	b (m)	c (m)	d (m)		e (m)	f (m)	w (m)	Kedalaman Galian		X	Z	Volume Galian (m <sup>3</sup> )		Volume Galian total (m <sup>3</sup> )
				Awal h1 (m)	Akhir h2 (m)				Awal d1	Awal d2				Awal y1 (m)	Akhir y2 (m)			I	II	
A1-B1	Aspal	90.00	0.11	0.71	1.38	0.05	0.30	0.45	0.00	0.32	0.15	0.15	0.71	1.21	1.53	0.32	90	77.33	10.23	87.55
A2-C1	Aspal	131.40	0.11	0.71	2.59	0.05	0.30	0.45	0.00	1.53	0.15	0.15	0.71	1.21	2.74	1.53	131	112.89	71.43	184.33
A3-A4	Aspal	158.00	0.11	0.71	1.18	0.05	0.30	0.45	0.00	0.12	0.15	0.15	0.71	1.21	1.33	0.12	158	135.74	6.86	142.60
A5-A6	Aspal	178.00	0.11	0.71	1.24	0.06	0.05	0.20	0.14	0.67	0.15	0.15	0.71	0.86	1.39	0.53	178	108.69	33.62	142.31
A7-A8	Aspal	173.00	0.16	0.76	1.00	0.06	0.05	0.20	0.14	0.38	0.15	0.15	0.76	0.91	1.15	0.24	173	119.65	15.90	135.55
A9-B4	Aspal	209.00	0.11	0.71	1.21	0.06	0.05	0.20	0.14	0.64	0.15	0.15	0.71	0.86	1.36	0.50	209	127.62	37.09	164.71
A10-A11	Paving	228.00	0.11	0.71	1.39	0.06	0.05	0.20	0.14	0.82	0.15	0.15	0.71	0.86	1.54	0.68	228	139.22	55.16	194.38
A12-A13	Paving	119.00	0.11	0.71	1.11	0.05	0.30	0.45	0.00	0.05	0.15	0.15	0.71	1.21	1.26	0.05	119	102.24	2.28	104.52

Jalur pipa	Tipe Galian	Panjang Pipa (m)	D (m)	Kedalaman Penanaman		a (m)	b (m)	c (m)	d (m)		e (m)	f (m)	w (m)	Kedalaman Galian		X	Z	Volume Galian (m³)		Volume Galian total (m³)
				Awal h1 (m)	Akhir h2 (m)				Awal d1	Awal d2				Awal y1 (m)	Akhir y2 (m)			I	II	
A14-B5	Aspal	253.00	0.11	0.71	1.76	0.06	0.05	0.20	0.14	1.19	0.15	0.15	0.71	0.86	1.91	1.05	253	154.48	94.19	248.67
A15-A17	Paving	168.00	0.11	0.71	1.48	0.06	0.05	0.20	0.14	0.91	0.15	0.15	0.71	0.86	1.63	0.77	168	102.58	45.80	148.38
A16-A17	Paving	231.00	0.11	0.71	1.48	0.06	0.05	0.20	0.14	0.91	0.15	0.15	0.71	0.86	1.63	0.77	231	141.05	62.97	204.02
A18-A20	Paving	165.00	0.11	0.71	1.61	0.06	0.05	0.20	0.14	1.04	0.15	0.15	0.71	0.86	1.76	0.90	165	100.75	52.72	153.47
A19-A20	Paving	230.40	0.11	0.71	1.61	0.06	0.05	0.20	0.14	1.04	0.15	0.15	0.71	0.86	1.76	0.90	230	140.68	73.61	214.30
A21-B6	Paving	159.00	0.11	0.71	1.47	0.06	0.05	0.20	0.14	0.90	0.15	0.15	0.71	0.86	1.62	0.76	159	97.09	43.09	140.17
A22-B6	Paving	167.00	0.11	0.71	1.47	0.06	0.05	0.20	0.14	0.90	0.15	0.15	0.71	0.86	1.62	0.76	167	101.97	45.26	147.23
A23-A24	Aspal	460.00	0.16	0.76	0.81	0.06	0.05	0.20	0.14	0.19	0.15	0.15	0.76	0.91	0.96	0.05	460	318.14	8.57	326.71
B1-C1	Aspal	265.00	0.11	1.38	2.59	0.06	0.05	0.20	0.81	2.02	0.15	0.15	0.71	1.53	2.74	1.21	265	287.89	113.95	401.85
B2-B3	Aspal	462.00	0.20	1.46	1.73	0.06	0.05	0.20	0.80	1.07	0.15	0.15	0.80	1.61	1.88	0.27	462	595.89	50.24	646.13
B4-B5	Aspal	320.00	0.20	1.30	1.85	0.06	0.05	0.20	0.64	1.19	0.15	0.15	0.80	1.45	2.00	0.55	320	371.18	70.25	441.42
B5-C2	Aspal	129.00	0.16	1.81	2.33	0.06	0.05	0.20	1.19	1.71	0.15	0.15	0.76	1.96	2.48	0.52	129	192.05	25.69	217.75
B6-B7	Paving	138.00	0.16	1.52	1.80	0.06	0.05	0.20	0.90	1.18	0.15	0.15	0.76	1.67	1.95	0.27	138	175.51	14.30	189.81
B8-C3	Paving	537.00	0.16	1.66	2.63	0.06	0.05	0.20	1.04	2.01	0.15	0.15	0.76	1.81	2.78	0.97	537	738.70	198.68	937.39
C1-C2	Aspal	231.00	0.20	2.68	2.37	0.06	0.05	0.20	2.02	1.71	0.15	0.15	0.80	2.83	2.52	-0.31	231	523.28	-28.51	494.77
C2-C3	Aspal	195.00	0.32	2.49	2.61	0.06	0.05	0.20	1.71	1.83	0.15	0.15	0.92	2.64	2.76	0.12	195	470.69	10.69	481.39
C3-C4	Aspal	490.00	0.32	2.79	3.91	0.06	0.05	0.20	2.01	3.14	0.15	0.15	0.92	2.94	4.06	1.12	490	1317.57	251.45	1569.02
C4-C5	Tanah/Berm	191.00	0.32	3.91	3.91	-	-	-	3.45	3.45	0.15	0.15	0.92	4.06	4.06	0.00	191	709.77	0.00	709.77
C5-IPAL	Tanah/Berm	124.50	0.32	3.91	3.98	-	-	-	3.45	3.51	0.15	0.15	0.92	4.06	4.13	0.07	125	462.79	3.79	466.58

Jalur pipa	Volume pipa (m <sup>3</sup> )	Volume Pengurangan Pasir (m <sup>3</sup> )	Volume Pengurangan Sirtu (m <sup>3</sup> )	Volume Pengurangan Makadam (m <sup>3</sup> )	Volume Aspal (m <sup>3</sup> )	Luas Pengaspalan (m <sup>2</sup> )	Luas Paving (m <sup>2</sup> )	Volume Paving (m <sup>3</sup> )	Volume Pengurangan Tanah (m <sup>3</sup> )	Volume Sisa Galian (m <sup>3</sup> )
A1-B1	0.85	25.34	28.76	19.17	3.20	63.90	0.0	0.00	10.23	77.32
A2-C1	1.25	37.00	41.98	27.99	4.66	93.29	0.0	0.00	71.44	112.89
A3-A4	1.50	44.49	50.48	33.65	5.61	112.18	0.0	0.00	6.86	135.74
A5-A6	1.69	50.13	25.28	6.32	7.58	126.38	0.0	0.00	51.31	90.99
A7-A8	3.48	57.00	26.30	6.57	7.89	131.48	0.0	0.00	34.31	101.24
A9-B4	1.99	58.85	29.68	7.42	8.90	148.39	0.0	0.00	57.86	106.84
A10-A11	2.17	72.30	32.38	0.00	0.00	0.00	161.9	9.71	77.82	116.55
A12-A13	1.13	58.86	38.02	0.00	0.00	0.00	84.5	4.22	2.28	102.23
A14-B5	2.40	71.25	35.93	8.98	10.78	179.63	0.0	0.00	119.34	129.33
A15-A17	1.60	53.27	23.86	0.00	0.00	0.00	119.3	7.16	62.50	85.88
A16-A17	2.19	73.25	32.80	0.00	0.00	0.00	164.0	9.84	85.94	118.09
A18-A20	1.57	52.32	23.43	0.00	0.00	0.00	117.2	7.03	69.12	84.35
A19-A20	2.19	73.06	32.72	0.00	0.00	0.00	163.6	9.82	96.52	117.78
A21-B6	1.51	50.42	22.58	0.00	0.00	0.00	112.9	6.77	58.89	81.28
A22-B6	1.59	52.96	23.71	0.00	0.00	0.00	118.6	7.11	61.86	85.37
A23-A24	9.24	151.57	69.92	17.48	20.98	349.60	0.0	0.00	57.52	269.19
B1-C1	2.52	74.62	37.63	9.41	11.29	188.15	0.0	0.00	266.38	135.47
B2-B3	14.51	170.29	73.92	18.48	22.18	369.60	0.0	0.00	346.75	299.38
B4-B5	10.05	117.95	51.20	12.80	15.36	256.00	0.0	0.00	234.06	207.36
B5-C2	2.59	42.51	19.61	4.90	5.88	98.04	0.0	0.00	142.25	75.49
B6-B7	2.77	50.72	20.98	0.00	0.00	0.00	104.9	6.29	109.06	80.76
B8-C3	10.79	197.35	81.62	0.00	0.00	0.00	408.1	24.49	623.13	314.25
C1-C2	7.25	85.15	36.96	9.24	11.09	184.80	0.0	0.00	345.08	149.69
C2-C3	15.19	94.54	35.69	8.92	10.71	178.43	0.0	0.00	316.34	165.04
C3-C4	38.17	237.57	89.67	22.42	26.90	448.35	0.0	0.00	1154.30	414.72
C4-C5	14.88	92.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	602.29	107.48
C5-IPAL	9.70	60.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	396.52	70.06

**Tabel 4.13 Rekapitulasi Penanaman Pipa Air Limbah**

Uraian	Satuan	Diameter Dipakai (mm)					
		110	160	200	250	315	400
<b>CLUSTER 1</b>							
Panjang Pipa	m	3586.6	2213.2	709.6	179	116.7	179
Volume Galian dengan Permukaan Paving Blok	m <sup>3</sup>	2827.57	959.66	570.24	317.69	0.00	983.01
Volume Galian dengan Permukaan Aspal	m <sup>3</sup>	1698.92	2396.49	687.97	0.00	592.98	0.00
Volume Pengurugan Pasir	m <sup>3</sup>	1100.12	765.91	276.62	82.51	56.58	111.77
Volume Pengurugan Sirtu	m <sup>3</sup>	509.30	336.41	113.54	30.43	21.36	35.80
Volume Pengurugan Makadam	m <sup>3</sup>	223.18	284.68	79.92	0.00	32.03	0.00
Volume Pengurugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	2514.48	1833.24	734.46	186.84	468.58	802.22
Volume Sisa Galian yang Harus Dibuang	m <sup>3</sup>	2012.02	1522.91	523.76	130.85	124.40	180.79
Luas Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	1802.55	733.10	301.28	152.15	0.00	179.00
Volume Aspal Dibutuhkan	m <sup>3</sup>	37.20	47.45	13.32	0.00	5.34	0.00
Luas Pengaspalan	m <sup>2</sup>	743.94	948.94	266.40	0.00	106.78	0.00
<b>CLUSTER 2</b>							
Panjang Pipa	m	7349.5	0	857.9	432.3	282	0
Volume Galian dengan Permukaan Paving Blok	m <sup>3</sup>	8342.74	0.00	1237.24	0.00	1525.52	0.00
Volume Galian dengan Permukaan Aspal	m <sup>3</sup>	3129.84	0.00	999.20	1707.68	0.00	0.00
Volume Pengurugan Pasir	m <sup>3</sup>	2276.70	0.00	337.51	180.89	149.62	0.00
Volume Pengurugan Sirtu	m <sup>3</sup>	1043.63	0.00	137.26	73.49	51.61	0.00
Volume Pengurugan Makadam	m <sup>3</sup>	323.04	0.00	78.14	110.24	0.00	0.00
Volume Pengurugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	7457.08	0.00	1618.01	1303.48	1286.85	0.00
Volume Sisa Galian yang Harus Dibuang	m <sup>3</sup>	4015.49	0.00	618.43	404.20	238.68	0.00
Luas Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	4141.36	0.00	425.84	0.00	258.03	0.00
Volume Aspal Dibutuhkan	m <sup>3</sup>	53.84	0.00	13.02	18.37	0.00	0.00
Luas Pengaspalan	m <sup>2</sup>	1076.79	0.00	260.48	367.46	0.00	0.00
<b>CLUSTER 3</b>							
Panjang Pipa	m	2751.8	1437	1013	0	1000.5	0
Volume Galian dengan Permukaan Paving Blok	m <sup>3</sup>	1306.46	1127.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Galian dengan Permukaan Aspal	m <sup>3</sup>	1372.01	680.00	1582.32	0.00	2050.41	0.00
Volume Galian Tanah Biasa	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	1176.34	0.00
Volume Pengurugan Pasir	m <sup>3</sup>	848.13	499.15	373.39	0.00	485.08	0.00
Volume Pengurugan Sirtu	m <sup>3</sup>	479.22	218.42	162.08	0.00	125.36	0.00
Volume Pengurugan Makadam	m <sup>3</sup>	112.94	28.96	40.52	0.00	31.34	0.00
Volume Pengurugan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	1098.35	966.27	925.90	0.00	2469.44	0.00
Volume Sisa Galian yang Harus Dibuang	m <sup>3</sup>	1580.11	840.93	656.42	0.00	757.31	0.00
Luas Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	1041.85	513.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Volume Aspal Dibutuhkan	m <sup>3</sup>	52.02	34.75	48.62	0.00	37.61	0.00
Luas Pengaspalan	m <sup>2</sup>	911.92	579.12	810.40	0.00	626.78	0.00



#### 4.7.1.3 BOQ Manhole

Manhole yang dibutuhkan pada setiap cluster memiliki jumlah yang berbeda-beda. Manhole yang digunakan pada perencanaan ini adalah manhole lurus, belokan, pertigaan, perempatan, dan drop manhole.

Tabel 4.14 BOQ Manhole dan Volume Galian Manhole

Jalur Pipa	Jumlah Manhole	Kedalaman (m)	Lebar Galian (m)	Panjang Galian (m)	Volume Galian (m <sup>3</sup> )
<b>Cluster 1</b>					
A1-B1	3	0.96	1.2	1.2	4.1
A2-B2	3	0.96	1.2	1.2	4.1
A3-B5	3	1.13	1.2	1.2	4.9
A4-B7	6	1.79	1.2	1.2	15.5
A5-A6	4	2.66	1.2	1.2	15.3
A7-B8	4	1.38	1.2	1.2	8.0
A8-A9	2	1.71	1.2	1.2	4.9
A10-A11	4	2.56	1.2	1.2	14.8
A11-A12	3	3.11	1.2	1.2	13.4
A13-B10	2	2.55	1.2	1.2	7.4
A14-A15	2	1.77	1.2	1.2	5.1
A16-A17	4	1.86	1.2	1.2	10.7
A17-B10	2	4.47	1.2	1.2	12.9
A18-B11	4	2.01	1.2	1.2	11.6
A19-B12	4	2.29	1.2	1.2	13.2
A20-A21	2	1.95	1.2	1.2	5.6
A22-A23	2	1.78	1.2	1.2	5.1
A24-A25	3	2.53	1.2	1.2	10.9
A25-A26	3	2.89	1.2	1.2	12.5
A26-B9	1	3.43	1.2	1.2	4.9
A27-A28	5	2.50	1.2	1.2	18.0
A29-B13	3	0.86	1.2	1.2	3.7
A30-A31	2	0.86	1.2	1.2	2.5
B1-B2	1	1.74	1.2	1.2	2.5
B2-B3	2	2.62	1.2	1.2	7.5
B3-B4	2	2.99	1.2	1.2	8.6
B4-C1	3	3.45	1.2	1.2	14.9
B5-B6	3	1.58	1.2	1.2	6.8
B6-B7	3	2.08	1.2	1.2	9.0
B7-B8	3	2.34	1.2	1.2	10.1
B8-B9	0	2.29	1.2	1.2	0.0
B10-B11	2	4.90	1.2	1.2	14.1
B11-B12	0	5.16	1.2	1.2	0.0
B12-C2	3	5.91	1.2	1.2	25.5
B13-C3	3	1.20	1.2	1.2	5.2
C1-C2	1	2.83	1.2	1.2	4.1
C2-C3	4	5.61	1.2	1.2	32.3
C3-IPAL	0	5.62	1.2	1.2	0.0
<b>Total Volume Galian Manhole Cluster 1</b>					<b>350.0</b>
<b>Cluster 2</b>					
D1-D2	3	2.74	1.2	1.2	11.8
D3-D4	2	2.59	1.2	1.2	7.5
D5-E2	3	1.99	1.2	1.2	8.6
D6-D7	1	1.57	1.2	1.2	2.3
D8-D9	1	1.50	1.2	1.2	2.2
D10-D11	1	1.67	1.2	1.2	2.4
D12-D13	4	1.87	1.2	1.2	10.7
D14-E3	5	3.25	1.2	1.2	23.4
D15-D16	3	1.93	1.2	1.2	8.4
D17-D18	3	2.88	1.2	1.2	12.4
D19-D20	5	3.74	1.2	1.2	26.9
D21-D22	3	4.07	1.2	1.2	17.6
D23-E4	2	2.22	1.2	1.2	6.4

Jalur Pipa	Jumlah Manhole	Kedalaman (m)	Lebar Galian (m)	Panjang Galian (m)	Volume Galian (m <sup>3</sup> )
D24-E4	3	2.42	1.2	1.2	10.4
D25-D26	1	1.97	1.2	1.2	2.8
D27-D28	2	2.19	1.2	1.2	6.3
D29-D30	2	2.42	1.2	1.2	7.0
D31-D32	6	3.62	1.2	1.2	31.3
D33-D34	3	1.87	1.2	1.2	8.1
D35-D36	3	2.36	1.2	1.2	10.2
D37-D38	2	2.39	1.2	1.2	6.9
D39-D40	3	2.02	1.2	1.2	8.7
D41-D42	3	4.09	1.2	1.2	17.7
D43-D44	3	4.19	1.2	1.2	18.1
D45-D46	3	3.78	1.2	1.2	16.3
D47-D48	4	2.94	1.2	1.2	16.9
D49-D50	4	2.82	1.2	1.2	16.2
D51-D52	4	3.92	1.2	1.2	22.6
E1-F2	8	5.55	1.2	1.2	64.0
E2-F2	6	2.43	1.2	1.2	21.0
E3-F1	5	4.33	1.2	1.2	31.2
E4-F1	5	3.95	1.2	1.2	28.4
F1-F2	4	4.91	1.2	1.2	28.3
F2-F3	3	5.97	1.2	1.2	25.8
F3-IPAL	1	5.99	1.2	1.2	8.6
<b>Total Volume Galian Manhole Cluster 2</b>					<b>547.4</b>
<b>Cluster 3</b>					
A1-B1	2	1.53	1.2	1.2	4.4
A2-C1	2	2.74	1.2	1.2	7.9
A3-A4	2	1.33	1.2	1.2	3.8
A5-A6	2	1.39	1.2	1.2	4.0
A7-A8	2	1.23	1.2	1.2	3.5
A9-B4	4	1.53	1.2	1.2	8.8
A10-A11	3	1.54	1.2	1.2	6.7
A12-A13	2	1.26	1.2	1.2	3.6
A14-B5	5	1.91	1.2	1.2	13.7
A15-A17	2	1.63	1.2	1.2	4.7
A16-A17	3	1.63	1.2	1.2	7.0
A18-A20	2	1.76	1.2	1.2	5.1
A19-A20	3	1.76	1.2	1.2	7.6
A21-B6	2	1.62	1.2	1.2	4.7
A22-B6	2	1.62	1.2	1.2	4.7
A23-A24	5	1.25	1.2	1.2	9.0
B1-C1	4	2.74	1.2	1.2	15.8
B2-B3	5	2.05	1.2	1.2	14.8
B4-B5	3	2.00	1.2	1.2	8.6
B5-C2	1	2.57	1.2	1.2	3.7
B6-B7	3	2.03	1.2	1.2	8.8
B8-C3	8	2.78	1.2	1.2	32.1
C1-C2	3	2.61	1.2	1.2	11.3
C2-C3	3	2.92	1.2	1.2	12.6
C3-C4	6	4.22	1.2	1.2	36.5
C4-C5	2	4.22	1.2	1.2	12.2
C5-IPAL	1	4.33	1.2	1.2	6.2
<b>Total Volume Galian Manhole Cluster 3</b>					<b>261.8</b>

**Tabel 4.15 BOQ Aksesoris Pipa pada Manhole Cluster 1**

No	Uraian	Jumlah Aksesoris (Buah)
1	<i>Manhole</i> Belokan	
	Bend 90° 110 mm	7
	Bend 90° 160 mm	8
	Bend 90° 200 mm	1
	Bend 90° 250 mm	2

No	Uraian	Jumlah Aksesoris (Buah)
	Bend 90° 400 mm	2
2	<i>Drop Manhole</i>	
	Bend 90° 110 mm	3
	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	3
3	<i>Manhole Pertigaan</i>	
	Bend 90° 110 mm	10
	Bend 90° 160 mm	5
	Bend 90° 200 mm	1
	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	10
	T Socket Spigot PVC 160 mm x 160 mm	5
	T Socket Spigot PVC 200 mm x 200 mm	1
4	<i>Manhole Perempatan</i>	
	Bend 90° 110 mm	1
	Bend 90° 200 mm	1
	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	1
	T Socket Spigot PVC 200 mm x 200 mm	1

**Tabel 4.16 BOQ Aksesoris Pipa pada Manhole Cluster 2**

No	Uraian	Jumlah Aksesoris (Buah)
1	<i>Manhole Belokan</i>	
	Bend 90° 110 mm	6
	Bend 90° 315 mm	1
2	<i>Drop Manhole</i>	
	Bend 90° 110 mm	2
	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	2
3	<i>Manhole Pertigaan</i>	
	Bend 90° 110 mm	25
	Bend 90° 200 mm	1
	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	25
	T Socket Spigot PVC 200 mm x 200 mm	1
4	<i>Manhole Perempatan</i>	
	Bend 90° 110 mm	1
	Bend 90° 200 mm	1
	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	1
	T Socket Spigot PVC 200 mm x 200 mm	1

**Tabel 4.17 BOQ Aksesoris Pipa pada Manhole Cluster 3**

No	Uraian	Jumlah Aksesoris (Buah)
1	<i>Manhole Belokan</i>	
	Bend 90° 110 mm	4
	Bend 90° 160 mm	2
	Bend 90° 315 mm	7
2	<i>Drop Manhole</i>	
	Bend 90° 110 mm	2
	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	2
3	<i>Manhole Pertigaan</i>	
	Bend 90° 110 mm	7
	Bend 90° 160 mm	5
	Bend 90° 200 mm	1
	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	7
	T Socket Spigot PVC 160 mm x 160 mm	5
	T Socket Spigot PVC 200 mm x 200 mm	1
4	<i>Manhole Perempatan</i>	
	Bend 90° 110 mm	4

No	Uraian	Jumlah Aksesoris (Buah)
	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	4

#### 4.7.1.4 HSPK SPAL

Analisis harga satuan merupakan perataan jenis satuan dari alat/bahan yang digunakan atau Bill of Quantity (BOQ). Penentuan harga dari masing-masing bahan yang digunakan pada suatu perencanaan pembangunan menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) guna menyamaratakan satuan yang digunakan. Dalam melakukan perhitungan anggaran biaya yang dibutuhkan, maka terlebih dahulu dilakukan analisa harga satuan. Pada perencanaan ini analisa harga diperoleh dari HSPK Kota Surabaya Tahun 2018 yang disesuaikan dengan pekerjaan yang dibutuhkan. Adapun analisa harga satuan yang digunakan untuk pekerjaan SPAL adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.18 Analisa HSPK SPAL**

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
1	<b>Penggalian Tanah dengan Permukaan Paving Blok (m<sup>3</sup>) / Penggalian Tanah dengan Alat</b>				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.007057	org/hr	171,000	1,207
	Pembantu tukang	0.228176	org/hr	145,000	33,085
	<b>Jumlah</b>				<b>34,292</b>
	<b>Sewa Peralatan</b>				
	Sewa Excavator 6 m <sup>3</sup>	0.067	jam	153,333	10,273
	<b>Jumlah</b>				<b>10,273</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>44,566</b>
2	<b>Penggalian Tanah Biasa Untuk Konstruksi (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.025204	org/hr	171,000	4,310
	Pembantu tukang	0.757221	org/hr	145,000	109,797
	<b>Jumlah</b>				<b>114,107</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>114,107</b>
3	<b>Penggalian Tanah dengan Permukaan Aspal / Penggalian Tanah dengan Alat</b>				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.007057	org/hr	171,000	1,207
	Pembantu tukang	0.228176	org/hr	145,000	33,085
	<b>Jumlah</b>				<b>34,292</b>
	<b>Sewa Peralatan</b>				
	Sewa Excavator 6 m <sup>3</sup>	0.067	jam	153,333	10,273
	<b>Jumlah</b>				<b>10,273</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>44,566</b>
4	<b>Pengurugan Pasir (Padat) (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Pasir Urug	1.2	m <sup>3</sup>	187,200	224,640
	<b>Jumlah</b>				<b>224,640</b>
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.010082	org/hr	171,000	1,724
	Pembantu tukang	0.302888	org/hr	145,000	43,919
	<b>Jumlah</b>				<b>45,643</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>270,283</b>
5	<b>Pengurugan Sirtu (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Sirtu	1.2	m <sup>3</sup>	169,800	203,760
	<b>Jumlah</b>				<b>203,760</b>
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.025204	org/hr	171,000	4,310
	Pembantu tukang	0.252407	org/hr	145,000	36,599
	<b>Jumlah</b>				<b>40,909</b>
	<b>Sewa Peralatan</b>				
	Sewa Stemper	0.0088	jam	113,700	1,001
	<b>Jumlah</b>				<b>1,001</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>245,669</b>

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
6	<b>Pengurugan Makadam (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Makadam	1.2	m <sup>3</sup>	90,000	108,000
	<b>Jumlah</b>				<b>108,000</b>
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.025204	org/hr	171,000	4,310
	Pembantu tukang	0.252407	org/hr	145,000	36,599
	<b>Jumlah</b>				<b>40,909</b>
	<b>Sewa Peralatan</b>				
	Sewa Stemper	0.0088	jam	113,700	1,001
	<b>Jumlah</b>				<b>1,001</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>149,909</b>
7	<b>Pengurugan Tanah Kembali dengan Pemadatan (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.010082	org/hr	171,000	1,724
	Pembantu tukang	0.302888	org/hr	145,000	43,919
	<b>Jumlah</b>				<b>45,643</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>45,643</b>
8	<b>Pengangkutan Tanah Keluar Proyek (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Sewa Peralatan</b>				
	Sewa Dump Truk 5 ton	0.25	jam	70,000	17,500
	<b>Jumlah</b>				<b>17,500</b>
	<b>Upah</b>				
	Pembantu tukang	0.252407	org/hr	145,000	36,599
	<b>Jumlah</b>				<b>36,599</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>54,099</b>
9	<b>Pengadaan Pipa Air Kotor Diameter 110 mm (Batang)</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 110 mm	1	batang	557,400	557,400
	Perlengkapan 35% harga pipa	0.105	buah	557,400	58,527
	<b>Jumlah</b>				<b>615,927</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>615,927</b>
10	<b>Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 110 mm Per Meter</b>				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.004134	org/hr	171,000	707
	Kepala tukang	0.01361	org/hr	171,000	2,327
	Tukang	0.136208	org/hr	156,000	21,248
	Pembantu tukang	0.08178	org/hr	145,000	11,858
	<b>Jumlah</b>				<b>36,141</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>36,141</b>
11	<b>Pengadaan Pipa Air Kotor Diameter 160 mm (Batang)</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 160 mm	1	batang	1,188,000	1,188,000
	Perlengkapan 35% harga pipa	0.105	buah	1,188,000	124,740
	<b>Jumlah</b>				<b>1,312,740</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>1,312,740</b>
12	<b>Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 160 mm Per Meter</b>				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.004134	org/hr	171,000	707
	Kepala tukang	0.01361	org/hr	171,000	2,327
	Tukang	0.136208	org/hr	156,000	21,248
	Pembantu tukang	0.08178	org/hr	145,000	11,858
	<b>Jumlah</b>				<b>36,141</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>36,141</b>
13	<b>Pengadaan Pipa Air Kotor Diameter 200 mm (Batang)</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 200 mm	1	batang	1,833,000	1,833,000
	Perlengkapan 35% harga pipa	0.105	buah	1,833,000	192,465

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
	<b>Jumlah</b>				<b>2,025,465</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>2,025,465</b>
14	Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 200 mm Per Meter				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.004134	org/hr	171,000	707
	Kepala tukang	0.01361	org/hr	171,000	2,327
	Tukang	0.136208	org/hr	156,000	21,248
	Pembantu tukang	0.08178	org/hr	145,000	11,858
	<b>Jumlah</b>				<b>36,141</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>36,141</b>
15	Pengadaan Pipa Air Kotor Diameter 250 mm (Batang)				
	<b>Bahan</b>				
	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 250 mm	1	batang	2,860,800	2,860,800
	Perlengkapan 35% harga pipa	0.105	buah	2,860,800	300,384
	<b>Jumlah</b>				<b>3,161,184</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>3,161,184</b>
16	Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 250 mm Per Meter				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.004134	org/hr	171,000	707
	Kepala tukang	0.01361	org/hr	171,000	2,327
	Tukang	0.136208	org/hr	156,000	21,248
	Pembantu tukang	0.08178	org/hr	145,000	11,858
	<b>Jumlah</b>				<b>36,141</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>36,141</b>
17	Pengadaan Pipa Air Kotor Diameter 315 mm (Batang)				
	<b>Bahan</b>				
	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 315 mm	1	batang	4,569,600	4,569,600
	Perlengkapan 35% harga pipa	0.105	buah	4,569,600	479,808
	<b>Jumlah</b>				<b>5,049,408</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>5,049,408</b>
18	Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 315 mm Per Meter				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.004134	org/hr	171,000	707
	Kepala tukang	0.01361	org/hr	171,000	2,327
	Tukang	0.136208	org/hr	156,000	21,248
	Pembantu tukang	0.08178	org/hr	145,000	11,858
	<b>Jumlah</b>				<b>36,141</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>36,141</b>
19	Pengadaan Pipa Air Kotor Diameter 400 mm (Batang)				
	<b>Bahan</b>				
	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 400 mm	1	batang	7,346,400	7,346,400
	Perlengkapan 35% harga pipa	0.105	buah	7,346,400	771,372
	<b>Jumlah</b>				<b>8,117,772</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>8,117,772</b>
20	Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 400 mm Per Meter				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.004134	org/hr	171,000	707
	Kepala tukang	0.01361	org/hr	171,000	2,327
	Tukang	0.136208	org/hr	156,000	21,248
	Pembantu tukang	0.08178	org/hr	145,000	11,858
	<b>Jumlah</b>				<b>36,141</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>36,141</b>
21	Pemasangan Paving Stone Tebal 6 cm Abu-Abu Empat Persegi Panjang (m <sup>2</sup> )				
	<b>Bahan</b>				
	Paving Stone Abu-Abu Persegi Panjang Tebal 6 cm	1	m <sup>2</sup>	72,800	72,800
	<b>Jumlah</b>				<b>72,800</b>
	<b>Upah</b>				

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
	Mandor	0.025	org/hr	171,000	4,275
	Kepala tukang	0.050408	org/hr	171,000	8,620
	Tukang	0.504474	org/hr	156,000	78,698
	Pembantu tukang	0.252407	org/hr	145,000	36,599
	<b>Jumlah</b>				<b>128,192</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>200,992</b>
22	<b>Pengaspalan Jalan Kembali (m<sup>2</sup>)</b>				
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.006	org/hr	171,000	1,026
	Pembantu tukang	0.12	org/hr	145,000	17,400
	<b>Jumlah</b>				<b>18,426</b>
	<b>Sewa Peralatan</b>				
	Sewa Vibrator Roller min. 5 jam	0.0152	jam	149,400	2,271
	<b>Jumlah</b>				<b>2,271</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>20,697</b>
23	<b>Penyediaan Bahan Aspal (m<sup>3</sup>)</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Aspal	1	m <sup>3</sup>	50,000	50,000
	<b>Jumlah</b>				<b>50,000</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>50,000</b>

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2018

Sedangkan untuk pekerjaan pembuatan *manhole* maka digunakan analisa harga satuan pembangunan 1 buah *manhole* tipikal, yaitu sebagai berikut.

**Tabel 4.19 Analisa Harga Satuan Pekerjaan Pembuatan 1 Manhole Tipikal**

No	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Turap Ruang Kerja Pekerjaan Manhole	1.00	buah	7,539,080	7,539,080.00
2	Urugan Pasir t= 10 cm	0.32	m <sup>3</sup>	161,564	52,346.57
3	Lantai Kerja Beton K.125, t= 5 cm	0.16	m <sup>3</sup>	1,396,468	226,227.74
4	Lantai Dasar Manhole t = 20 cm, Beton Bertulang K.250	0.65	m <sup>3</sup>	3,865,214	2,504,659.00
5	Dinding Manhole t= 15 cm, Beton Bertulang K-250	2.00	m <sup>3</sup>	8,197,036	16,402,269.37
6	Banching Beton K.250	0.24	m <sup>3</sup>	1,536,634	376,168.02
7	Penutup Manhole (75x75x12 cm), Beton Bertulang K.250	1.00	buah	305,357	305,357.09
<b>Total Biaya Pembangunan 1 Manhole</b>					<b>27,406,107.79</b>

**Tabel 4.20 RAB SPAL**

No	Uraian	Satuan	Volume			Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)		
			Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3		Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
1	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 110 mm								
a	Pengadaan Pipa Air Kotor Diameter 110 mm	batang	598	1225	459	615,927	368,180,630	754,459,248	282,484,653
b	Galian dengan Permukaan Paving Blok	m <sup>3</sup>	2827.57	8342.74	1306.46	44,566	126,012,251	371,799,064	58,223,194
c	Galian dengan Permukaan Aspal	m <sup>3</sup>	1698.92	3129.84	1372.01	44,566	75,713,475	139,482,957	61,144,290
d	Pengurangan Pasir	m <sup>3</sup>	1100.12	2276.70	848.13	270,283	297,343,293	615,352,269	229,233,893
e	Pengurangan Sirtu	m <sup>3</sup>	509.30	1043.63	479.22	245,669	125,118,768	256,387,773	117,730,112
f	Pengurangan Makadam	m <sup>3</sup>	223.18	323.04	112.94	149,909	33,457,003	48,426,122	16,930,729
g	Pengurangan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	2514.48	7457.08	1098.35	45,643	114,767,659	340,361,885	50,131,938
h	Sisa Galian yang Harus Dibuang	m <sup>3</sup>	2012.02	4015.49	1580.11	54,099	108,848,003	217,234,160	85,482,562
i	Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	1802.55	4141.36	1041.85	200,992	362,297,384	832,379,238	209,404,120
j	Aspal Dibutuhkan	m <sup>3</sup>	37.20	53.84	52.02	50,000	1,859,845	2,691,965	2,601,085
k	Pengaspalan	m <sup>2</sup>	743.94	1076.79	911.92	20,697	15,397,196	22,286,111	18,873,982
l	Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 110 mm	m	3586.6	7349.5	2751.8	36,141	129,622,261	265,616,128	99,451,998
Jumlah Harga (Rp)							1,758,617,766	3,866,476,918	1,231,692,558
2	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 160 mm								
a	Pengadaan Pipa Air Kotor Diameter 160 mm	batang	369	0	240	1,312,740	484,226,028	0	314,401,230
b	Galian dengan Permukaan Paving Blok	m <sup>3</sup>	1016.12	0	1127.20	44,566	45,283,927	0	50,234,328
c	Galian dengan Permukaan Aspal	m <sup>3</sup>	2396.49	0	680.00	44,566	106,800,826	0	30,304,684
d	Pengurangan Pasir	m <sup>3</sup>	765.91	0	499.15	270,283	207,013,095	0	134,910,896
e	Pengurangan Sirtu	m <sup>3</sup>	336.41	0	218.42	245,669	82,644,779	0	53,660,106
f	Pengurangan Makadam	m <sup>3</sup>	284.68	0	28.96	149,909	42,676,345	0	4,340,778
g	Pengurangan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	1833.24	0	966.27	45,643	83,674,000	0	44,103,221
h	Sisa Galian yang Harus Dibuang	m <sup>3</sup>	1522.91	0	840.93	54,099	82,387,870	0	45,493,602
i	Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	733.10	0	513.00	200,992	147,346,291	0	103,108,798
j	Aspal Dibutuhkan	m <sup>3</sup>	47.45	0	34.75	50,000	2,372,340	0	1,737,360
k	Pengaspalan	m <sup>2</sup>	948.94	0	579.12	20,697	19,640,015	0	11,985,977
l	Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 160 mm	m	2213.2	0	1437	36,141	79,986,613	0	51,934,196
Jumlah Harga (Rp)							1,384,052,129	0	846,215,178
3	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 200 mm								
a	Pengadaan Pipa Air Kotor Diameter 200 mm	batang	118	143	169	2,025,465	239,544,994	289,607,737	341,966,008



No	Uraian	Satuan	Volume			Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)		
			Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3		Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
b	Galian dengan Permukaan Paving Blok	m <sup>3</sup>	570.24	1237.24	0.00	44,566	25,413,040	55,138,495	0
c	Galian dengan Permukaan Aspal	m <sup>3</sup>	687.97	999.20	1582.32	44,566	30,659,993	44,530,071	70,517,092
d	Pengurangan Pasir	m <sup>3</sup>	276.62	337.51	373.39	270,283	74,766,309	91,224,200	100,921,367
e	Pengurangan Sirtu	m <sup>3</sup>	113.54	137.26	162.08	245,669	27,892,328	33,721,573	39,818,106
f	Pengurangan Makadam	m <sup>3</sup>	79.92	78.14	40.52	149,909	11,980,764	11,714,525	6,074,331
g	Pengurangan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	734.46	1618.01	925.90	45,643	33,522,652	73,850,573	42,260,536
h	Sisa Galian yang Harus Dibuang	m <sup>3</sup>	523.76	618.43	656.42	54,099	28,334,719	33,456,683	35,511,882
i	Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	301.28	425.84	0.00	200,992	60,554,812	85,590,352	0
j	Aspal Dibutuhkan	m <sup>3</sup>	13.32	13.02	48.62	50,000	666,000	651,200	2,431,200
k	Pengaspalan	m <sup>2</sup>	266.40	260.48	810.40	20,697	5,513,649	5,391,123	16,772,752
l	Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 200 mm	m	709.6	857.9	1013	36,141	25,645,446	31,005,113	36,610,536
Jumlah Harga (Rp)							564,494,707	755,881,644	692,883,810
4	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 250 mm								
a	Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 250 mm	batang	30	72	0	3,161,184	94,308,656	227,763,307	0
b	Galian dengan Permukaan Paving Blok	m <sup>3</sup>	317.69	0.00	0	44,566	14,158,117	0	0
c	Galian dengan Permukaan Aspal	m <sup>3</sup>	0.00	1707.68	0	270,283	0	461,557,126	0
d	Pengurangan Pasir	m <sup>3</sup>	82.51	180.89	0	245,669	20,269,650	44,439,279	0
e	Pengurangan Sirtu	m <sup>3</sup>	30.43	73.49	0	149,909	4,561,745	11,016,996	0
f	Pengurangan Makadam	m <sup>3</sup>	0.00	110.24	0	45,643	0	5,031,498	0
g	Pengurangan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	186.84	1303.48	0	54,099	10,108,006	70,517,070	0
h	Sisa Galian yang Harus Dibuang	m <sup>3</sup>	130.85	404.20	0	200,992	26,299,577	81,240,990	0
i	Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	152.15	0.00	0	50,000	7,607,500	0	0
j	Aspal Dibutuhkan	m <sup>3</sup>	0.00	18.37	0	20,697	0	380,259	0
k	Pengaspalan	m <sup>2</sup>	0.00	367.46	0	36,141	0	13,280,084	0
l	Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 250 mm	m	179	432.3	0	36,141	6,469,187	15,623,628	0
Jumlah Harga (Rp)							183,782,437	930,850,237	0
5	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 315 mm								
a	Pengadaan Pipa Air Kotor Diameter 315 mm	batang	19	47	167	5,049,408	98,210,986	237,322,176	841,988,784
b	Galian dengan Permukaan Paving Blok	m <sup>3</sup>	0.00	1525.52	0.00	44,566	0	67,985,881	0
c	Galian dengan Permukaan Aspal	m <sup>3</sup>	592.98	0.00	2050.41	44,566	26,426,622	0	91,377,649
d	Galian Tanah Biasa	m <sup>3</sup>	0	0	1176.34	114,107	0	0	134,228,776

No	Uraian	Satuan	Volume			Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)		
			Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3		Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
e	Pengurangan Pasir	m <sup>3</sup>	56.58	149.62	485.08	270,283	15,292,613	40,440,926	131,107,624
f	Pengurangan Sirtu	m <sup>3</sup>	21.36	51.61	125.36	245,669	5,246,542	12,678,018	30,795,895
g	Pengurangan Makadam	m <sup>3</sup>	32.03	0.00	31.34	149,909	4,802,222	0	4,697,975
h	Pengurangan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	468.58	1286.85	2469.44	45,643	21,387,445	58,735,237	112,712,259
i	Sisa Galian yang Harus Dibuang	m <sup>3</sup>	124.40	238.68	757.31	54,099	6,729,877	12,912,228	40,969,531
j	Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	0.00	258.03	0.00	200,992	0	51,861,917	0
k	Aspal Dibutuhkan	m <sup>3</sup>	5.34	0.00	37.61	50,000	266,951	0	1,880,325
l	Pengaspalan	m <sup>2</sup>	106.78	0.00	626.78	20,697	2,210,023	0	12,972,287
m	Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 315 mm	m	116.7	282.0	1000.5	36,141	4,217,621	10,191,679	36,158,778
Jumlah Harga (Rp)							184,790,902	492,128,062	1,438,889,882
6	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 400 mm								
a	Pengadaan Pipa Air Kotor Diameter 400 mm	batang	30	0	0	8,117,772	242,180,198	0	0
b	Galian dengan Permukaan Paving Blok	m <sup>3</sup>	983.01	0	0	44,566	43,808,442	0	0
c	Galian dengan Permukaan Aspal	m <sup>3</sup>	0.00	0	0	270,283	0	0	0
d	Pengurangan Pasir	m <sup>3</sup>	111.77	0	0	245,669	27,457,886	0	0
e	Pengurangan Sirtu	m <sup>3</sup>	35.80	0	0	149,909	5,366,759	0	0
f	Pengurangan Makadam	m <sup>3</sup>	0.00	0	0	45,643	0	0	0
g	Pengurangan Tanah Kembali	m <sup>3</sup>	802.22	0	0	54,099	43,399,340	0	0
h	Sisa Galian yang Harus Dibuang	m <sup>3</sup>	180.79	0	0	200,992	36,337,309	0	0
i	Pemasangan Paving	m <sup>2</sup>	179.00	0	0	50,000	8,950,000	0	0
j	Aspal Dibutuhkan	m <sup>3</sup>	0.00	0	0	20,697	0	0	0
k	Pengaspalan	m <sup>2</sup>	0.00	0	0	36,141	0	0	0
l	Pemasangan Pipa Air Kotor Diameter 400 mm	m	179	0	0	36,141	6,469,187	0	0
Jumlah Harga (Rp)							413,969,120	0	0
7	Pekerjaan Manhole								
a	Jumlah Manhole	buah	101	114	82				
b	Galian Tanah Biasa	m <sup>3</sup>	350.0	547.4	261.8	114,107	39,936,006	62,466,952	29,867,905
c	Pembuangan Tanah Sisa Galian	m <sup>3</sup>	350.0	547.4	261.8	54,099	18,933,982	29,616,085	14,160,614
d	Turap Ruang Kerja Pekerjaan Manhole	bh	101.00	114.00	82.00	7,539,080	761,447,080	859,455,120	618,204,560
e	Urugan Pasir t= 10 cm	m <sup>3</sup>	32.72	36.94	26.57	161,564	5,287,004	5,967,509	4,292,419
f	Lantai Kerja Beton K.125, t= 5 cm	m <sup>3</sup>	16.36	18.47	13.28	1,396,468	22,849,001	25,789,962	18,550,674
g	Lantai Dasar Manhole t = 20 cm, Beton Bertulang K.250	m <sup>3</sup>	65.45	73.87	53.14	3,865,214	252,970,559	285,531,125	205,382,038

No	Uraian	Satuan	Volume			Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)		
			Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3		Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
h	Dinding Manhole t= 15 cm, Beton Bertulang K-250	m <sup>3</sup>	202.10	228.11	164.08	8,197,036	1,656,629,207	1,869,858,709	1,344,986,089
i	Banching Beton K.250	m <sup>3</sup>	24.72	27.91	20.07	1,536,634	37,992,970	42,883,154	30,845,778
j	Penutup Manhole (75x75x12 cm), Beton Bertulang K.250	buah	101.00	114.00	82.00	305,357	30,841,066	34,810,709	25,039,282
k	Penyediaan Aksesoris:								
	Bend 90° 110 mm	buah	21	34	17	70,200	1,474,200	2,386,800	1,193,400
	Bend 90° 160 mm	buah	0	0	7	106,200	0	0	743,400
	Bend 90° 200 mm	buah	0	2	1	177,600	0	355,200	177,600
	Bend 90° 315 mm	buah	0	1	7	402,300	0	402,300	2,816,100
	Bend 90° 400 mm	buah	2	0	0	537,600	1,075,200	0	0
	T Socket Spigot PVC 110 mm x 110 mm	buah	14	28	13	70,200	982,800	1,965,600	912,600
	T Socket Spigot PVC 160 mm x 160 mm	buah	5	0	5	106,200	531,000	0	531,000
	T Socket Spigot PVC 200 mm x 200 mm	buah	2	2	1	177,600	355,200	355,200	177,600
Jumlah Harga (Rp)							2,831,305,275	3,221,844,425	2,297,881,058

**Tabel 4.21 Rekapitulasi RAB SPAL**

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga		
		Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
1	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 110 mm	1,758,617,766	3,866,476,918	1,231,692,558
2	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 160 mm	1,384,052,129	0	846,215,178
3	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 200 mm	564,494,707	755,881,644	692,883,810
4	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 250 mm	183,782,437	930,850,237	0
5	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 315 mm	184,790,902	492,128,062	1,438,889,882
6	Pekerjaan Penanaman Pipa Diameter 400 mm	413,969,120	0	0
7	Pekerjaan Manhole	2,831,305,275	3,221,844,425	2,297,881,058
	Jumlah	7,321,012,335	9,267,181,286	6,507,562,486
	PPN 10%	732,101,234	926,718,129	650,756,249
	Total	8,053,113,569	10,193,899,414	7,158,318,734
	Dibulatkan	8,060,000,000	10,200,000,000	7,160,000,000

### 4.7.3 BOQ dan RAB IPAL

Pada perencanaan ini, perhitungan BOQ IPAL terdiri atas beberapa unit, yaitu:

- a. Sumur pengumpul
- b. *Distribution Box*
- c. ABR dan *Aerobic Biofilter*
- d. Unit desinfeksi

Perhitungan tersebut dilakukan pada ketiga *Cluster*. Pekerjaan untuk sumur pengumpul dan *Distribution Box* terdiri dari pekerjaan tanah dan pembetonan. Setelah diperoleh BOQ dari masing-masing unit, maka dilakukan perhitungan anggaran biaya yang dibutuhkan dengan mengacu pada HSPK Kota Surabaya Tahun 2018. HSPK yang digunakan pada perencanaan ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 4.22 Analisa HSPK IPAL**

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
1	<b>Pembersihan Lapangan</b>				
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.050408	org/hr	171,000	8,620
	Pembantu tukang	0.100963	org/hr	145,000	14,640
	<b>Jumlah</b>				<b>23,259</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>23,259</b>
2	<b>Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi</b>				
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.025204	org/hr	171,000	4,310
	Pembantu tukang	0.757221	org/hr	145,000	109,797
	<b>Jumlah</b>				<b>114,107</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>114,107</b>
3	<b>Pengurangan Pasir Padat</b>				
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.010082	org/hr	171,000	1,724
	Pembantu tukang	0.302888	org/hr	145,000	43,919
	<b>Jumlah</b>				<b>45,643</b>
	<b>Bahan</b>				
	Pasir Urug	1.2	m <sup>3</sup>	177,000	212,400
	<b>Jumlah</b>				<b>212,400</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>258,043</b>
4	<b>Lantai Kerja K-250</b>				
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.028229	org/hr	171,000	4,827
	Tukang	0.277461	org/hr	156,000	43,284
	Pembantu tukang	1.665886	org/hr	145,000	241,553
	<b>Jumlah</b>				<b>289,664</b>
	<b>Bahan</b>				
	Semen PC 40 kg	9.6	Zak	58,500	561,600
	Pasir cor	0.4325	m <sup>3</sup>	272,500	117,856
	Batu pecah mesin 1/2 cm	0.546842	m <sup>3</sup>	278,000	152,022
	Biaya air	215	Liter	6	1,290
	<b>Jumlah</b>				<b>832,768</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>1,122,433</b>
5	<b>Pekerjaan Bekisting Sloof</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Paku Usuk	0.3	kg	14800	4,440
	Kayu Meranti Bekisting	0.045	m <sup>3</sup>	3350400	150,768
	Minyak Bekisting	0.1	Liter	30,100	3,010
	<b>Jumlah</b>				<b>158,218</b>
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.026212	org/hr	171,000	4,482
	Tukang	0.262327	org/hr	156,000	40,923
	Pembantu tukang	0.525006	org/hr	145,000	76,126
	<b>Jumlah</b>				<b>121,531</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>279,749</b>

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
6	<b>Pekerjaan Beton K-250</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Semen PC 40 kg	9.6	Zak	58,500	561,600
	Pasir cor	0.4325	m <sup>3</sup>	272,500	117,856
	Batu pecah mesin 1/2 cm	0.546842	m <sup>3</sup>	278,000	152,022
	Biaya air	215	Liter	6	1,290
	<b>Jumlah</b>				<b>832,768</b>
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.028229	org/hr	171,000	4,827
	Tukang	0.277461	org/hr	156,000	43,284
	Pembantu tukang	1.665886	org/hr	145,000	241,553
	<b>Jumlah</b>				<b>289,664</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>1,122,433</b>
7	<b>1 kg Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)</b>				
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.000706	org/hr	171,000	121
	Tukang	0.007063	org/hr	156,000	1,102
	Pembantu tukang	0.007067	org/hr	145,000	1,025
	<b>Jumlah</b>				<b>2,247</b>
	<b>Bahan</b>				
	Besi beton polos	1.05	kg	13,500	14,175
	Kawat beton	0.015	kg	26,900	404
	<b>Jumlah</b>				<b>14,579</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>16,826</b>
8	<b>Pemasangan Pipa Diameter 100 mm</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 100 mm panjang 6 m/batang	1	Batang	690,000	690,000
	Perlengkapan 35% harga pipa	0.105	Buah	690,000	72,450
	<b>Jumlah</b>				<b>762,450</b>
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.004134	org/hr	171,000	707
	Kepala tukang	0.01361	org/hr	171,000	2,327
	Tukang	0.136208	org/hr	156,000	21,248
	Pembantu tukang	0.08178	org/hr	145,000	11,858
	<b>Jumlah</b>				<b>36,141</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>798,591</b>
9	<b>Pemasangan Pipa Diameter 80 mm</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Pipa plastik PVC Wavin Lock diameter 80 mm panjang 6 m/batang	1	Batang	376,800	376,800
	Perlengkapan 35% harga pipa	0.105	Buah	376,800	39,564
	<b>Jumlah</b>				<b>416,364</b>
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.004134	org/hr	171,000	707
	Kepala tukang	0.01361	org/hr	171,000	2,327
	Tukang	0.136208	org/hr	156,000	21,248
	Pembantu tukang	0.08178	org/hr	145,000	11,858
	<b>Jumlah</b>				<b>36,141</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>452,505</b>
10	<b>Pengangkutan Tanah Keluar Proyek</b>				
	<b>Sewa Peralatan</b>				
	Sewa Dump Truk 5 ton	0.25	jam	70,000	17,500
	<b>Jumlah</b>				<b>17,500</b>
	<b>Upah</b>				
	Pembantu tukang	0.252407	org/hr	145,000	36,599
	<b>Jumlah</b>				<b>36,599</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>54,099</b>
11	<b>Pemasangan (Sewa) Sheet Pile Baja (Tinggi = 6m) untuk Pengaman Galian/Tebing Pekerjaan Beton K-250</b>				
	<b>Bahan</b>				

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
	Electrode baja	0.2	kg	96,667	19,333
	Gedeg guling	2.5	m <sup>2</sup>	54,300	135,750
	<b>Jumlah</b>				<b>155,083</b>
	<b>Sewa Peralatan</b>				
	Sewa Crane 30 ton min 8 jam (termasuk Mob/Demob Operator BBM)	0.5712	Jam	146,500	83,681
	Sewa Sheet Pile WF	319.5	m <sup>2</sup>	1,100	351,450
	Sewa Sheet Pile C	22.7	m <sup>2</sup>	1,100	24,970
	<b>Jumlah</b>				<b>460,101</b>
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.1	org/hr	171,000	17,100
	Kepala tukang	0.2	org/hr	171,000	34,200
	Tukang	0.4	org/hr	156,000	62,400
	Pembantu tukang	1	org/hr	145,000	145,000
	<b>Jumlah</b>				<b>258,700</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>873,884</b>
12	<b>Pembuatan Bouwplank/Titik</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Paku biasa 2-5 inchi	0.05	Doz	29,100	1,455
	Kayu meranti usuk 4/6, 5/7	0.012	m <sup>3</sup>	4,188,000	50,256
	Kayu meranti bekisting	0.008	m <sup>3</sup>	3,350,400	26,803
	<b>Jumlah</b>				<b>78,514</b>
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.010082	org/hr	171,000	1,724
	Kepala tukang	0.004537	org/hr	171,000	776
	Tukang	0.100895	org/hr	156,000	15,740
	Pembantu tukang	0.100963	org/hr	145,000	14,640
	<b>Jumlah</b>				<b>32,879</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>111,393</b>
13	<b>Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3 m</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Bambu bongkolan diameter 10-12 cm, P 3.00 mtr	1	Batang	23,900	23,900
	<b>Jumlah</b>				<b>23,900</b>
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.0025	org/hr	171,000	428
	Tukang	0.0404	org/hr	156,000	6,302
	Pembantu tukang	0.0505	org/hr	145,000	7,323
	<b>Jumlah</b>				<b>14,052</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>37,952</b>
14	<b>1 m<sup>2</sup> Pekerjaan Bekisting Lantai</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Paku usuk	0.4	kg	14,800	5,920
	Plywood Uk. 122x244x9 mm	0.35	Lembar	105,000	36,750
	Kayu meranti bekisting	0.04	m <sup>3</sup>	3,350,400	134,016
	Kayu meranti balok 4/6, 5/7	0.015	m <sup>3</sup>	4,711,500	70,673
	Minyak bekisting	0.2	Liter	30,100	6,020
	<b>Jumlah</b>				<b>253,379</b>
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.033269	org/hr	171,000	5,689
	Tukang	0.332953	org/hr	156,000	51,941
	Pembantu tukang	0.666354	org/hr	145,000	96,621
	<b>Jumlah</b>				<b>154,251</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>407,630</b>
15	<b>1 m<sup>2</sup> Pekerjaan Bekisting Dinding</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Paku usuk	0.4	kg	14,800	5,920
	Plywood Uk. 122x244x9 mm	0.35	Lembar	105,000	36,750
	Kayu meranti bekisting	0.03	m <sup>3</sup>	3,350,400	100,512
	Kayu meranti balok 4/6, 5/7	0.02	m <sup>3</sup>	4,711,500	94,230
	Minyak bekisting	0.2	Liter	30,100	6,020

No	Uraian Kegiatan	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
	<b>Jumlah</b>				<b>243,432</b>
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.033269	org/hr	171,000	5,689
	Tukang	0.332953	org/hr	156,000	51,941
	Pembantu tukang	0.666354	org/hr	145,000	96,621
	<b>Jumlah</b>				<b>154,251</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>397,683</b>
16	<b>Pemasangan Pompa</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Pompa	1	Buah	14,000,000	14,000,000
	<b>Jumlah</b>				<b>14,000,000</b>
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.005	org/hr	171,000	855
	Tukang	0.01	org/hr	156,000	1,560
	<b>Jumlah</b>				<b>2,415</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>14,002,415</b>
17	<b>Pemasangan Diffuser Aerobic Biofilter</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Diffuser	1	kg	11,449,000	11,449,000
	<b>Jumlah</b>				<b>11,449,000</b>
	<b>Upah</b>				
	Kepala tukang/Mandor	0.005	org/hr	171,000	855
	Tukang	0.01	org/hr	156,000	1,560
	<b>Jumlah</b>				<b>2,415</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>11,451,415</b>
18	<b>Pemasangan Pipa Diameter 150 mm</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Pipa plastik PVC diameter 150 mm panjang 6 m/batang	1	Batang	1,100,000	1,100,000
	Perlengkapan 35% harga pipa	0.105	Buah	376,800	39,564
	<b>Jumlah</b>				<b>1,139,564</b>
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.004134	org/hr	171,000	707
	Kepala tukang	0.01361	org/hr	171,000	2,327
	Tukang	0.136208	org/hr	156,000	21,248
	Pembantu tukang	0.08178	org/hr	145,000	11,858
	<b>Jumlah</b>				<b>36,141</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>1,175,705</b>
19	<b>Pemasangan Media Sarang Tawon</b>				
	<b>Bahan</b>				
	Media sarang tawon	1	m <sup>3</sup>	65,000	65,000
	<b>Jumlah</b>				<b>65,000</b>
	<b>Upah</b>				
	Mandor	0.005	org/hr	171,000	855
	Tukang	0.01	org/hr	156,000	1,560
	<b>Jumlah</b>				<b>2,415</b>
	<b>Nilai HSPK</b>				<b>67,415</b>

Sumber: HSPK Kota Surabaya, 2018

#### 4.7.2.1 Sumur Pengumpul

Contoh Perhitungan BOQ Sumur Pengumpul akan dilakukan pada *cluster* 1, yaitu sebagai berikut.

Dimensi :

Panjang (P) = 2,7 m

Lebar (l) = 2,7 m

Kedalaman (H) = 1,5 m

Freeboard (Fb) = 0,3 m

Total H = 1,8 m

Kedalaman dari muka tanah ke muka sumur pengumpul = 5,47 m  
(Bangunan digali tepat dimuka tanah)

Tebal plat dasar = 0,15 m

Lebar sepatu lantai = 0,15 m

Tebal pasir = 0,1 m

Tebal lantai kerja = 0,05 m

➤ Pekerjaan Pembersihan Lapangan

= (Panjang + sepatu lantai) x (Lebar + sepatu lantai)

= (2,7 + 0,15) x (2,7 + 0,15)

= 1,19 m<sup>2</sup> ~ 1,2 m<sup>2</sup>

➤ Penggalian tanah biasa untuk kontruksi

= P x L x H

= (Panjang SP + sepatu lantai) x (Lebar SP + sepatu lantai) x (Kedalaman dari muka tanah ke muka SP + Tinggi SP + Fb + tebal plat dasar + tebal lantai kerja + tebal pasir)

= (2,7 + 0,15) x (2,7 + 0,15) x (5,47 + 1,5 + 0,3 + 0,15 + 0,05 + 0,1)

= 63,54 m<sup>3</sup>

➤ Pengurugan pasir dengan pemadatan

= P x L x tebal pasir

= (Panjang + sepatu lantai) x (lebar+sepatu lantai) x (tebal pasir)

= (2,7 + 0,15) x (2,7 + 0,15) x (0,1)

= 0,84 m<sup>3</sup>

➤ Pekerjaan Beton K-250

• Beton Lantai Bangunan

= (Panjang + sepatu lantai) x (lebar+sepatu lantai) x (tebal lantai kerja + tebal plat dasar) – ruang pompa

= (2,7 + 0,15) x (2,7 + 0,15) x (0,05 + 0,15) – (1 x 0,5 x 0,5)

= 1,43 m<sup>3</sup>

• Beton Dinding Bangunan

= (Panjang x 2) x (lebar x 2) x tebal dinding x (Htotal x kedalaman dari muka tanah)

= (2,7 x 2) x (2,7 x 2) x 0,15 x (1,8 + 5,47)

= 32,92 m<sup>3</sup>

• Beton Tutup Bangunan

= (Panjang x lebar x tebal dinding atas)

= (2,7 x 2,7 x 0,15)

= 1,13 m<sup>3</sup>

• Total Volume Beton Bangunan

= 1,43 + 32,92 + 1,13

= 35,48 m<sup>3</sup>

➤ Pekerjaan Pengangkutan Tanah Keluar Proyek

Semua tanah galian diangkut/dibuang.

Volume = 63,54 m<sup>3</sup>

➤ Pekerjaan Pembesian dengan besi beton (polos)

Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan yaitu 32,33 m<sup>3</sup>. Besi yang digunakan memiliki berat 110 kg/m<sup>3</sup>, sehingga diperoleh berat besi yaitu

= Volume pembesian x berat besi

= 32,92 m<sup>3</sup> x 110 kg/m<sup>3</sup>

= 3.621,31 kg

➤ Pekerjaan Bekisting Sloof

= (Panjang x 2) x (lebar x 2) x (kedalaman total)

= (2,7 x 2) x (2,7 x 2) x (1,8)



= 54,34 m<sup>3</sup>

➤ Pekerjaan Pompa Submersible

Pompa yang digunakan sebanyak 2 buah pada sumur pengumpul sebelum masuk menuju *Distributin Box*. Satu pompa akan beroperasi dan 1 lagi sebagai cadangan.

➤ Pekerjaan Pipa

Jumlah pipa yang dibutuhkan sepanjang 8,5 m untuk 1 pompa. Untuk 2 pompa dibutuhkan pipa sepanjang 17 m. Panjang pipa perbatang adalah 6 m, maka dibutuhkan 3 batang pipa. Pipa yang digunakan diameter 150 mm.

Setelah diperoleh perhitungan kuantitas, maka dapat dilakukan perhitungan anggaran biaya yang mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2018.

**Tabel 4. 23 RAB Sumur Pengumpul Cluster 1**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	2	23,259	46,519
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	63.54	114,107	7,250,550
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	0.84	258,043	216,598
5	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>3</sup>	54.34	279,749	15,201,571
6	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	35.48	1,122,433	39,825,984
7	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	3621.31	16,826	60,931,093
8	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	63.54	54,099	3,437,544
9	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 150 mm	batang	3	1,175,705	3,527,114
10	Penyediaan dan Pemasangan Pompa Submersible	buah	2	14,002,415	28,004,830
11	Bend PVC 90°	buah	1	70,200	70,200
Total					158,512,003

**Tabel 4.24 RAB Sumur Pengumpul Cluster 2**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	1	23,259	23,259
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	33.35	114,107	3,805,420
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	0.42	258,043	108,383
5	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>3</sup>	25.98	279,749	7,266,951
6	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	17.67	1,122,433	19,833,048
7	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	1819.23	16,826	30,609,885
8	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	33.35	54,099	1,804,180
9	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 100 mm	batang	3	798,591	2,395,772
10	Penyediaan dan Pemasangan Pompa Submersible	buah	2	14,002,415	28,004,830
11	Bend PVC 90°	buah	1	70,200	70,200
Total					93,921,930

**Tabel 4.25 RAB Sumur Pengumpul Cluster 3**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	1	23,259	23,259
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	36.62	114,107	4,178,160
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	0.58	258,043	150,454
5	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>3</sup>	36.93	279,749	10,330,205
6	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	20.09	1,122,433	22,546,548
7	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	2024.197	16,826	34,058,555
8	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	36.62	54,099	1,980,899
9	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 150 mm	batang	3	1,175,705	3,527,114
10	Penyediaan dan Pemasangan Pompa Submersible	buah	2	14,002,415	28,004,830
11	Bend PVC 90°	buah	1	70,200	70,200
Total					104,870,224

**4.7.2.2 Distribution Box**

Contoh Perhitungan BOQ *Distribution Box* akan dilakukan pada *cluster 1*, yaitu sebagai berikut.

Dimensi :

Panjang (P)	= 1,4 m
Lebar (l)	= 1,4 m
Kedalaman (H)	= 1 m
Freeboard (Fb)	= 0,3 m
Total H	= 1,3 m

*Distribution Box* tepat di bawah tanah untuk mempermudah perawatan.

(Bangunan digali tepat dimuka tanah)

Tebal plat dasar	= 0,15 m
Lebar sepatu lantai	= 0,15 m
Tebal pasir	= 0,1 m
Tebal lantai kerja	= 0,05 m
Tebal dinding	= 0,15 m

➤ Pekerjaan Pembersihan Lapangan

$$= (\text{Panjang} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{Lebar} + \text{sepatu lantai})$$

$$= (1,4 + 0,15) \times (1,4 + 0,15)$$

$$= 0,33 \text{ m}^2 \sim 0,5 \text{ m}^2$$

➤ Penggalian tanah biasa untuk kontruksi

$$= P \times L \times H$$

$$= (\text{Panjang} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{Lebar} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{Tinggi} + \text{Fb} + \text{tebal plat dasar} + \text{tebal lantai kerja} + \text{tebal pasir})$$

$$= (1,4 + 0,15) \times (1,4 + 0,15) \times (1 + 0,3 + 0,15 + 0,05 + 0,1)$$

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

➤ Pengurugan pasir dengan pemadatan

$$= P \times L \times \text{tebal pasir}$$

$$= (\text{Panjang} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{tebal pasir})$$

$$= (1,4 + 0,15) \times (1,4 + 0,15) \times (0,1)$$

$$= 0,24 \text{ m}^3$$

➤ Pekerjaan Beton K-250

- Beton Lantai Bangunan

$$= (\text{Panjang} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{lebar} + \text{sepatu lantai}) \times (\text{tebal lantai kerja} + \text{tebal plat dasar})$$

$$= (1,4 + 0,15) \times (1,4 + 0,15) \times (0,05 + 0,15)$$

$$= 0,48 \text{ m}^3$$

- Beton Dinding Bangunan

$$= (\text{Panjang} \times 2) \times (\text{lebar} \times 2) \times \text{tebal dinding} \times \text{Htotal}$$

$$= (1,4 \times 2) \times (1,4 \times 2) \times 0,15 \times 1,3$$

$$= 1,53 \text{ m}^3$$

- Beton Tutup Bangunan

$$= (\text{Panjang} \times \text{lebar} \times \text{tebal dinding atas})$$

$$= (1,4 \times 1,4 \times 0,15)$$

$$= 0,29 \text{ m}^3$$

- Total Volume Beton Bangunan

$$= 0,48 + 1,53 + 0,29$$

$$= 2,30 \text{ m}^3$$

➤ Pekerjaan Pengangkutan Tanah Keluar Proyek

Semua tanah galian diangkut/dibuang.

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

➤ Pekerjaan Pembesian dengan besi beton (polos)

Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan yaitu 1,53 m<sup>3</sup>. Besi yang digunakan memiliki berat 110 kg/m<sup>3</sup>, sehingga diperoleh berat besi yaitu

$$= \text{Volume pembesian} \times \text{berat besi}$$

$$= 1,53 \text{ m}^3 \times 110 \text{ kg/m}^3$$

$$= 168,17 \text{ kg}$$

➤ Pekerjaan Bekisting Sloof

= (Panjang x 2) x (lebar x 2) x (kedalaman total)

= (1,4 x 2) x (1,4 x 2) x (1,3)

= 10,19 m<sup>3</sup>

➤ Pekerjaan Pipa

Jumlah pipa yang dibutuhkan sepanjang 36,75 m. Pipa tersebut sudah termasuk kebutuhan pipa outlet, pipa pembagi dan pipa inlet ABR. Panjang pipa perbatang adalah 6 m, maka dibutuhkan 7 batang pipa. Pipa yang digunakan diameter 100 mm.

Setelah diperoleh perhitungan kuantitas, maka dapat dilakukan perhitungan anggaran biaya yang mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2018.

**Tabel 4.26 RAB Distribution Box Cluster 1**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	0.5	23,259	11,630
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	3.84	114,107	438,627
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	0.24	258,043	61,995
5	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>3</sup>	10.192	279,749	2,851,204
6	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	2.30	1,122,433	2,585,299
7	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	168.17	16,826	2,829,547
8	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	3.84	54,099	207,957
9	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 100 mm	batang	7	798,591	5,590,135
10	T Socket Spigot PVC 100 mm x 100 mm	buah	1	21,000	21,000
<b>Total</b>					<b>14,597,392</b>

**Tabel 4.27 RAB Distribution Box Cluster 2**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	0.5	23,259	11,630
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	1.76	114,107	201,285
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	0.11	258,043	28,449
5	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>3</sup>	4.21	279,749	1,178,304
6	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	0.97	1,122,433	1,093,025
7	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	69.50	16,826	1,169,353
8	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	1.76	54,099	95,431
9	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 80 mm	batang	3	798,591	2,395,772
10	T Socket Spigot PVC 80 mm x 80 mm	buah	1	21,000	21,000
<b>Total</b>					<b>6,194,248</b>

**Tabel 4.28 RAB Distribution Box Cluster 3**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	0.5	23,259	11,630
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	2.50	114,107	285,267
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	0.16	258,043	40,319
5	Pekerjaan Bekisting Sloof	m <sup>3</sup>	6.292	279,749	1,760,182
6	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	1.44	1,122,433	1,613,834
7	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	103.82	16,826	1,746,812
8	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	2.50	0	0
9	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 80 mm	batang	4	1,175,705	4,702,819
10	T Socket Spigot PVC 80 mm x 80 mm	buah	1	21,000	21,000
<b>Total</b>					<b>10,181,863</b>

#### 4.7.2.3 ABR dan Aerobic Biofilter

Contoh Perhitungan BOQ ABR dan *Aerobic Biofilter* akan dilakukan pada *cluster* 1, yaitu sebagai berikut.

Jumlah susunan ABR+AF	= 6 unit
Panjang bak pengendap	= 7 m
Panjang ABR	= 2 m
Jumlah kompartemen ABR	= 5 kompartemen
Panjang AF	= 3,2 m
Jumlah kompartemen AF	= 3 kompartemen
Panjang ABR+AF	= 19,6 m
Lebar bak pengendap	= 3,5 m
Lebar ABR dan AF	= 8 m
Kedalaman	= 2,2 m
Tinggi freeboard	= 0,3 m
H total	= 2,5 m
Tebal beton	= 0,15 m

➤ Volume beton dinding

$$\begin{aligned}
 &= [\text{jumlah susunan paralel} \times (\text{H total} \times \text{tebal beton} \times \text{lebar bak pengendap})] + [\text{jumlah susunan paralel} \\
 &\times 2 \times (\text{H total} \times \text{tebal beton} \times \text{panjang bak pengendap})] + [\text{jumlah susunan paralel} \times 2 \times (\text{H total} \times \\
 &\text{tebal beton} \times \text{lebar ABR})] + [(\text{jumlah susunan paralel} + 1) \times (\text{H total} \times \text{tebal beton} \times \text{panjang ABR} + \text{AF})] \\
 &= [6 \times (2,5 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 3,5 \text{ m})] + [6 \times 2 \times (2,5 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 7 \text{ m})] + [6 \times 2 \times (2,5 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 8 \text{ m})] \\
 &+ [7 \times (2,5 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 19,6 \text{ m})] \\
 &= 128,01 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

➤ Volume beton lantai

$$\begin{aligned}
 &= [\text{jumlah susunan paralel} \times (\text{panjang BP} + \text{tebal beton}) \times (\text{lebar BP} + \text{tebal beton}) \times \text{tebal beton}] + \\
 &[\text{jumlah susunan paralel} \times (\text{panjang ABR} + \text{AF} + (\text{tebal} \times 8)) \times (\text{lebar ABR} + (\text{tebal} \times 2)) \times \text{tebal}] \\
 &= [6 \times (7 \text{ m} + 0,15 \text{ m}) \times (3,5 + 0,15 \text{ m}) \times 0,15 \text{ m}] + [6 \times (19,6 \text{ m} + (0,15 \text{ m} \times 8)) \times (8 \text{ m} + (0,15 \text{ m} \times \\
 &2)) \times 0,15 \text{ m}] \\
 &= 179,48 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

➤ Volume beton atap

$$\begin{aligned}
 &= \text{Volume beton lantai} \\
 &= 179,48 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

➤ Volume beton antara kompartemen

$$\begin{aligned}
 &= \text{jumlah susunan paralel} \times [(\text{kompartemen ABR} + \text{AF}) - \text{lubang pipa}] \\
 &= 6 \times [(\text{jumlah kompartemen} \times (\text{tebal} \times \text{H total} \times \text{lebar})) - (\text{jumlah kompartemen} \times \text{jumlah pipa per} \\
 &\text{kompartemen} \times (\pi \times ((\text{d} / 2)^2) \times \text{tebal beton})] \\
 &= 6 \times [(8 \times (0,15 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 8 \text{ m}) - (8 \times 13 \times (3,14 \times ((0,1 \text{ m} / 2)^2) \times 0,15 \text{ m}))] \\
 &= 144,22 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

➤ Pemasangan pipa air kotor 100 mm

Panjang di pasaran	= 6 m
Panjang yang dibutuhkan per pipa	= 2 m
Total pipa 1 ABR	= 8 kompartemen x 13 pipa
	= 104 pipa
Panjang total pipa 1 ABR+AF	= 104 x 2 m = 208 m
Jumlah pipa yang dibutuhkan untuk ABR+AF	= (208 m / 6 m per batang) x 6 ABR+AF
	= 208 batang

➤ Volume total beton

$$\begin{aligned}
 &= \text{Volume beton dinding} + \text{Volume beton lantai} + \text{Volume beton atap} + \text{Volume beton antara} \\
 &\text{kompartemen} \\
 &= 128,01 \text{ m}^3 + 179,48 \text{ m}^3 + 179,48 \text{ m}^3 + 144,22 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$= 631,19 \text{ m}^3$$

➤ Volume bekisting dinding

= Volume beton dinding

$$= 128,01 \text{ m}^3$$

➤ Volume bekisting lantai

= volume beton lantai

$$= 179,48 \text{ m}^3$$

➤ Volume bekisting atap

= volume beton atap

$$= 179,48 \text{ m}^3$$

➤ Volume bekisting antar kompartemen

= volume beton antar kompartemen

$$= 144,22 \text{ m}^3$$

➤ Pembuatan bouwplank

= jumlah susunan paralel x ( lebar + (tebal x 2)) x ( (panjang BP+ABR+AF) + (tebal x 2)) x 0,2 m

$$= 6 \times [( 8 \text{ m} + (0,15 \text{ m} \times 2) ) \times ((7 \text{ m} + 19,6 \text{ m}) + (0,15 \text{ m} \times 2)) \times 0,2 \text{ m}]$$

$$= 268,90 \text{ m}^3$$

➤ Pemasangan trucus bambu

= jumlah susunan paralel x lebar + (tebal x 2)) x ( (panjang BP+ABR+AF) + (tebal x 2)) x tinggi bambu

$$= 6 \times [( 8 \text{ m} + (0,15 \text{ m} \times 2) ) \times ((7 \text{ m} + 19,6 \text{ m} + (0,15 \text{ m} \times 2)) \times 0,2 \text{ m}]$$

$$= 268,90 \text{ m}^3$$

➤ Urugan pasir dipadatkan

= jumlah susunan paralel x ( lebar + (tebal x 2)) x ((panjang BP+ABR+AF) + (tebal x 2)) x tinggi pasir

$$= 6 \times [( 8 \text{ m} + (0,15 \text{ m} \times 2) ) \times ((7 \text{ m} + 19,6 \text{ m} + (0,15 \text{ m} \times 2)) \times 0,1 \text{ m}]$$

$$= 134,45 \text{ m}^3$$

➤ Lantai kerja K-250

= jumlah susunan paralel x ( lebar + (tebal x 2)) x ((panjang BP+ABR+AF) + (tebal x 2)) x tinggi lantai

$$= 6 \times [( 8 \text{ m} + (0,15 \text{ m} \times 2) ) \times ((7 \text{ m} + 19,6 \text{ m} + (0,15 \text{ m} \times 2)) \times 0,05 \text{ m}]$$

$$= 67,22 \text{ m}^3$$

➤ Kedalaman penanaman IPAL

= H total + tebal dinding atas + tebal dinding bawah

$$= 2,5 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,15 \text{ m}$$

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

➤ Kedalaman galian tanah

= kedalaman penanaman IPAL + tinggi terucus bambu + tinggi urugan pasir dipadatkan + tinggi lantai kerja

$$= 2,8 \text{ m} + 0,2 \text{ m} + 0,1 \text{ m} + 0,05 \text{ m}$$

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

➤ Sheet pile

Pekerjaan pembuatan *sheet pile* menggunakan baja untuk pengaman galian agar tanah tidak longsor karena penanaman cukup dalam dan luas. Perhitungan volume pembuatan sheet pile dilakukan dengan cara sebagai berikut.

• Panjang *sheet pile*

= ((panjang total BP+ABR+AF) + (tebal beton x jumlah sekat)) + 0,5 x 2

$$= ((7 + 19,6) + (0,15 \times 8)) + (0,5 \times 2)$$

$$= 28,87 \text{ m}$$

• Lebar *sheet pile*

= (lebar total + lebar beton x (jumlah susunan paralel+1)) + 0,5 x 2

$$= ( 8 \times 6) + (0,15 \times 7)) + (0,5 \times 2)$$

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

• Volume panjang *sheet pile*

= panjang x lebar kayu x kedalaman galian x 2  
= 28,87 m x 0,06 m x 3,2 m x 2  
= 11 m<sup>3</sup>

- Volume lebar *sheet pile*

= lebar x lebar kayu x kedalaman galian x 2  
= 50,1 m x 0,06 m x 3,2 m x 2  
= 19,02 m<sup>3</sup>

- Volume total *sheet pile*

= 11 m<sup>3</sup> + 19,02 m<sup>3</sup>  
= 29,9 m<sup>3</sup>

- Pekerjaan penggalian tanah untuk konstruksi

Panjang = pekerjaan *sheet pile* = 28,87 m

Lebar = pekerjaan *sheet pile* = 50,1 m

Tinggi = 3,2 m

Volume penggalian tanah untuk konstruksi

= panjang x lebar x tinggi  
= 28,87 m x 50,1 m x 3,2 m  
= 4.576,9 m<sup>3</sup>

- Pengangkutan tanah keluar proyek

= pekerjaan volume penggalian tanah untuk konstruksi  
= 4.576,9 m<sup>3</sup>

- Pekerjaan Pembesian dengan besi beton (polos)

Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan dan volume antar kompartemen yaitu (128,01 m<sup>3</sup> + 144,22 m). Besi yang digunakan memiliki berat 110 kg/m<sup>3</sup>, sehingga diperoleh berat besi yaitu

= Volume pembesian x berat besi  
= (128,01 m<sup>3</sup> + 144,22 m) x 110 kg/m<sup>3</sup>  
= 29.944,96 kg

- Pekerjaan pipa

Jumlah pipa yang dibutuhkan hingga unit desinfeksi sepanjang 35,25 m. Panjang pipa perbatang adalah 6 m, maka dibutuhkan 6 batang pipa. Pipa yang digunakan diameter 100 mm.

- Aksesoris pipa

Aksesoris pipa yang dibutuhkan adalah Tee sebanyak 1 buah dan Bend 90° sebanyak 416 buah.

- Pekerjaan Pembersihan Lapangan

= luas *sheet pile*  
= 1.446,40 m<sup>2</sup>

- Pekerjaan Pemasangan Media Sarang Tawon

= total volume media  
= volume media 1 kompartemen AF x jumlah kompartemen AF  
= 35,84 m<sup>3</sup> x 3 = 107,52 m<sup>3</sup>

Setelah diperoleh perhitungan kuantitas, maka dapat dilakukan perhitungan anggaran biaya yang mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2018.

**Tabel 4.29 RAB ABR + Aerobic Biofilter Cluster 1**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	1446.40	23,259	33,642,285
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	4576.90	114,107	522,256,306
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	134.45	258,043	34,693,205
4	Pemasangan (sewa) Sheet Pile Baja (Tinggi = 6 m) untuk Pengaman Galian/Tebing Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	29.99	873,884	26,203,937
5	Pembuatan Bouwplank/Titik	m <sup>3</sup>	268.90	111,393	29,953,060
6	Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3 m	m <sup>3</sup>	268.90	37,952	10,205,211
7	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	67.22	1,122,433	75,454,140
8	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	179.48	407,630	73,162,542
9	Pekerjaan Bekisting Atap	m <sup>3</sup>	179.48	407,630	73,162,542
10	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	128.01	397,683	50,905,595
11	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	631.19	1,122,433	708,471,368
12	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	29944.96	16,826	503,845,339
13	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	4576.90	54,099	247,605,923
14	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 100 mm	buah	214	798,591	170,898,411
15	Pemasangan Diffuser Aerobic Biofilter	buah	4	11,451,415	45,805,660
16	Bend PVC 90°	buah	416	70,200	29,203,200
17	T Socket Spigot PVC 100 mm x 100 mm	buah	1	21,000	21,000
18	Pemasangan Media Sarang Tawon	m <sup>3</sup>	107.52	67,415	7,248,461
<b>Total</b>					<b>2,642,738,186</b>

**Tabel 4.30 RAB ABR + Aerobic Biofilter Cluster 2**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	619.58	23,259	14,411,101
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	1951.68	114,107	222,700,457
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	56.27	258,043	14,519,293
4	Pemasangan (sewa) Sheet Pile Baja (Tinggi = 6 m) untuk Pengaman Galian/Tebing Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	18.91	873,884	16,524,971
5	Pembuatan Bouwplank/Titik	m <sup>3</sup>	112.53	111,393	12,535,517
6	Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3 m	m <sup>3</sup>	112.53	37,952	4,270,936
7	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	28.13	1,122,433	31,577,964
8	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	79.08	407,630	32,237,199
9	Pekerjaan Bekisting Atap	m <sup>3</sup>	79.08	407,630	32,237,199
10	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	73.63	397,683	29,283,263
11	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	301.79	1,122,433	338,735,281
12	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	15797.94	16,826	265,811,597
13	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	1951.68	54,099	105,584,081
14	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 80 mm	buah	147	452,505	66,518,192
15	Pemasangan Diffuser Aerobic Biofilter	buah	4	11,451,415	45,805,660
16	Bend PVC 90°	buah	288	70,200	20,217,600
17	T Socket Spigot PVC 80 mm x 80 mm	buah	1	21,000	21,000
18	Pemasangan Media Sarang Tawon	m <sup>3</sup>	69.89	67,415	4,711,500
<b>Total</b>					<b>1,257,702,811</b>

**Tabel 4.31 RAB ABR + Aerobic Biofilter Cluster 3**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	936.88	23,259	21,791,368
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	2951.19	114,107	336,750,638
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	86.30	258,043	22,268,165

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
4	Pemasangan (sewa) Sheet Pile Baja (Tinggi = 6 m) untuk Pengaman Galian/Tebing Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	23.23	873,884	20,298,811
5	Pembuatan Bouwplank/Titik	m <sup>3</sup>	172.59	111,393	19,225,658
6	Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3 m	m <sup>3</sup>	172.59	37,952	6,550,312
7	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	43.15	1,122,433	48,430,961
8	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	118.68	407,630	48,378,331
9	Pekerjaan Bekisting Atap	m <sup>3</sup>	118.68	407,630	48,378,331
10	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	97.02	397,683	38,584,760
11	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	440.37	1,122,433	494,284,543
12	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	22330.53	16,826	375,727,062
13	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	2951.19	54,099	159,656,191
14	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 80 mm	buah	180	452,505	81,450,847
15	Pemasangan Diffuser Aerobic Biofilter	buah	4	11,451,415	45,805,660
16	Bend PVC 90°	buah	352	70,200	24,710,400
17	T Socket Spigot PVC 80 mm x 80 mm	buah	1	21,000	21,000
18	Pemasangan Media Sarang Tawon	m <sup>3</sup>	84.67	67,415	5,708,163
<b>Total</b>					<b>1,798,021,201</b>

#### 4.7.2.4 Unit Desinfeksi

Contoh Perhitungan BOQ unit desinfeksi akan dilakukan pada *cluster* 1, yaitu sebagai berikut.

- Panjang bak pelarut = 1,6 m  
Panjang bak *baffled channel* = [(Jumlah sekat+1)x jarak antar sekat]+(jumlah sekat x tebal beton)  
= 5,7 m  
Lebar bak pelarut = 1,6 m  
Lebar bak *baffled channel* = 20 m  
Kedalaman bak pelarut = 1 m  
Kedalaman bak *baffled channel* = 0,25 m  
Tinggi freeboard = 0,3 m  
Tebal beton = 0,15 m  
H total bak pelarut = 1,3 m  
H total bak *baffled channel* = 0,55 m  
Jumlah sekat = 8 buah  
Jarak ujung sekat ke dinding = 0,5 m

➤ Volume beton dinding

$$= [2 \times (H \text{ total} \times \text{tebal beton} \times \text{lebar bak pelarut})] + [2 \times (H \text{ total} \times \text{tebal beton} \times \text{panjang bak pelarut})] + [2 \times (H \text{ total} \times \text{tebal beton} \times \text{lebar } \textit{baffled channel})] + [2 \times (H \text{ total} \times \text{tebal beton} \times \text{panjang } \textit{baffled channel})]$$

$$= [2 \times (1,3 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 1,6 \text{ m})] + [2 \times (1,3 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 1,6 \text{ m})] + [2 \times (0,55 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 20 \text{ m})] + [2 \times (0,55 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \times 5,7 \text{ m})]$$

$$= 5,49 \text{ m}^3$$

➤ Volume beton lantai

$$= [(\text{panjang Bak Pelarut} + (\text{tebal beton} \times 2)) \times (\text{lebar Bak Pelarut} + \text{tebal beton}) \times \text{tebal beton}] + [(\text{panjang } \textit{baffled channel} + (\text{tebal} \times 2)) \times (\text{lebar } \textit{baffled channel} + \text{tebal}) \times \text{tebal}]$$

$$= [(1,6 \text{ m} \times (0,15 \text{ m} \times 2)) \times (1,6 \text{ m} + 0,15 \text{ m}) \times 0,15 \text{ m}] + [(5,7 \text{ m} + (0,15 \text{ m} \times 2)) \times (20 \text{ m} + 0,15 \text{ m}) \times 0,15 \text{ m}]$$

$$= 18,63 \text{ m}^3$$

➤ Volume beton atap

$$= \text{Volume beton lantai}$$

$$= 18,63 \text{ m}^3$$



- Volume sekat  
 = jumlah sekat x [(lebar *baffled* – jarak ujung sekat ke dinding) x H total *baffled* x tebal]  
 = 8 x [(20 m – 0,5 m) x 0,55 m x 0,15 m]  
 = 12,87 m<sup>3</sup>
- Volume total beton  
 = Volume beton dinding + Volume beton lantai + Volume beton atap + Volume beton sekat  
 = 5,49 m<sup>3</sup> + 18,63 m<sup>3</sup> + 18,63 m<sup>3</sup> + 12,87 m<sup>3</sup>  
 = 55,63 m<sup>3</sup>
- Volume bekisting dinding  
 = Volume beton dinding  
 = 5,49 m<sup>3</sup>
- Volume bekisting lantai  
 = volume beton lantai  
 = 18,63 m<sup>3</sup>
- Volume bekisting atap  
 = volume beton atap  
 = 18,63 m<sup>3</sup>
- Volume sekat  
 = volume beton sekat  
 = 12,87 m<sup>3</sup>
- Pembuatan bouwplank pada *baffled channel*  
 = ( lebar + (tebal x 2)) x ( panjang + (tebal x 2)) x 0,2 m  
 = ( 20 m + (0,15 m x 2)) x (5,7 m + (0,15 m x 2)) x 0,2 m  
 = 24,36 m<sup>3</sup>
- Pemasangan trucuk bambu  
 = ( lebar + (tebal x 2)) x ( panjang + (tebal x 2)) x 0,2 m  
 = ( 20 m + (0,15 m x 2)) x (5,7 m + (0,15 m x 2)) x 0,2 m  
 = 24,36 m<sup>3</sup>
- Urugan pasir dipadatkan  
 = ( lebar + (tebal x 2)) x ( panjang + (tebal x 2)) x tinggi pasir  
 = ( 20 m + (0,15 m x 2)) x (5,7 m + (0,15 m x 2)) x 0,1 m  
 = 12,18 m<sup>3</sup>
- Lantai kerja K-250  
 = ( lebar + (tebal x 2)) x ( panjang + (tebal x 2)) x tinggi lantai  
 = ( 20 m + (0,15 m x 2)) x (5,7 m + (0,15 m x 2)) x 0,05 m  
 = 6,09 m<sup>3</sup>
- Kedalaman penanaman IPAL  
 = H total + tebal dinding atas + tebal dinding bawah  
 = 0,55 m + 0,15 m + 0,15 m  
 = 0,9 m
- Kedalaman galian tanah  
 = kedalaman penanaman IPAL + tinggi terucuk bambu + tinggi urugan pasir dipadatkan + tinggi lantai kerja  
 = 0,9 m + 0,2 m + 0,1 m + 0,05 m  
 = 1,2 m
- Pekerjaan penggalian tanah untuk konstruksi  
 Panjang = panjang *baffled* + tebal beton = 5,7 + 0,15 m = 5,85 m  
 Lebar = lebar *baffled* + lebar bak pelarut + tebal beton = 20 + 1,6 + 0,15 m = 21,8 m  
 Tinggi = kedalaman galian tanah = 1,2 m  
 Volume penggalian tanah untuk konstruksi  
 = panjang x lebar x tinggi

= 5,85 m x 21,8 m x 1,2 m

= 152,7 m<sup>3</sup>

➤ Pengangkutan tanah keluar proyek

= pekerjaan volume penggalian tanah untuk konstruksi

= 152,7 m<sup>3</sup>

➤ Pekerjaan Pembesian dengan besi beton (polos)

Volume pembesian didasarkan pada perhitungan volume dinding bangunan dan volume sekat yaitu (5,49 m<sup>3</sup> + 12,87 m). Besi yang digunakan memiliki berat 110 kg/m<sup>3</sup>, sehingga diperoleh berat besi yaitu

= Volume pembesian x berat besi

= (5,49 m<sup>3</sup> + 12,87 m) x 110 kg/m<sup>3</sup>

= 2.019,44 kg

➤ Pekerjaan pipa

Jumlah pipa yang dibutuhkan adalah 5 m pipa *outlet* dan 0,5 m pipa pembubuh kaporit. Panjang pipa perbatang adalah 6 m, maka dibutuhkan 1 batang pipa. Pipa yang digunakan diameter 100 mm.

➤ Pekerjaan Pembersihan Lapangan

= luas galian

= 127,24 m<sup>2</sup>

Setelah diperoleh perhitungan kuantitas, maka dapat dilakukan perhitungan anggaran biaya yang mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2018.

**Tabel 4.32 RAB Unit Desinfeksi Cluster 1**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	127.24	23,259	2,959,468
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	152.69	114,107	17,422,412
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	12.18	258,043	3,142,961
4	Pembuatan Bouwplank/Titik	m <sup>3</sup>	24.36	111,393	2,713,537
5	Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3 m	m <sup>3</sup>	24.36	37,952	924,520
6	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	6.09	1,122,433	6,835,615
7	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	18.63	407,630	7,595,668
8	Pekerjaan Bekisting Atap	m <sup>3</sup>	18.63	407,630	7,595,668
9	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	5.49	397,683	2,182,684
10	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	55.63	1,122,433	62,436,444
11	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	2019.44	16,826	33,978,434
12	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	152.69	54,099	8,260,106
13	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 100 mm	buah	1	798,591	798,591
<b>Total</b>					<b>156,846,108</b>

**Tabel 4.33 RAB Unit Desinfeksi Cluster 2**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	85.66	23,259	1,992,342
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	1.10	114,107	125,518
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	8.53	258,043	2,200,073
4	Pembuatan Bouwplank/Titik	m <sup>3</sup>	17.05	111,393	1,899,476
5	Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3 m	m <sup>3</sup>	17.05	37,952	647,164
6	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	4.26	1,122,433	4,784,931
7	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	12.92	407,630	5,266,065
8	Pekerjaan Bekisting Atap	m <sup>3</sup>	12.92	407,630	5,266,065
9	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	4.01	397,683	1,593,317
10	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	40.48	1,122,433	45,438,322
11	Pekerjaan Pembesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	1610.90	16,826	27,104,457

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
12	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	94.22	54,099	5,097,384
13	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 80 mm	buah	1	452,505	452,505
<b>Total</b>					<b>101,867,619</b>

**Tabel 4.34 RAB Unit Desinfeksi Cluster 3**

No	Uraian Kegiatan	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pembersihan Lapangan	m <sup>2</sup>	100.15	23,259	2,329,475
2	Penggalian Tanah Biasa untuk Konstruksi	m <sup>3</sup>	113.67	114,107	12,970,819
3	Pengurugan Pasir Padat	m <sup>3</sup>	9.80	258,043	2,530,083
4	Pembuatan Bouwplank/Titik	m <sup>3</sup>	19.61	111,393	2,184,397
5	Pemasangan Trucuk Bambu f 10 s/d 12 P.3 m	m <sup>3</sup>	19.61	37,952	744,239
6	Lantai Kerja K-250	m <sup>3</sup>	4.90	1,122,433	5,502,670
7	Pekerjaan Bekisting Lantai	m <sup>3</sup>	14.92	407,630	6,083,536
8	Pekerjaan Bekisting Atap	m <sup>3</sup>	14.92	407,630	6,083,536
9	Pekerjaan Bekisting Dinding	m <sup>3</sup>	4.54	397,683	1,807,118
10	Pekerjaan Beton K-250	m <sup>3</sup>	45.82	1,122,433	51,426,641
11	Pekerjaan Pemesian dengan Besi Beton (Polos/Ulir)	kg	1756.57	16,826	29,555,463
12	Pengangkutan Tanah Keluar Proyek	m <sup>3</sup>	113.67	54,099	6,149,570
13	Pemasangan Pipa Air Limbah Diameter 80 mm	buah	1	452,505	452,505
<b>Total</b>					<b>127,820,052</b>

#### 4.7.2.5 Rekapitulasi RAB IPAL

Setelah diketahui anggaran biaya yang dibutuhkan dari setiap unit IPAL, maka dapat dihitung total anggaran biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan IPAL di setiap *cluster*. Hasilnya adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.35 Rekapitulasi RAB IPAL**

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp)		
		Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
1	Pembuatan Sumur Pengumpul	158,512,003	93,921,930	104,870,224
2	Pembuatan <i>Distribution Box</i>	14,597,392	6,194,248	10,181,863
3	Pembuatan ABR + <i>Aerobic Biofilter</i>	2,642,738,186	1,257,702,811	1,798,021,201
4	Pembuatan Unit Desinfeksi	156,846,108	101,867,619	127,820,052
Jumlah		2,972,693,690	1,459,686,609	2,040,893,340
PPN 10%		297,269,369	145,968,661	204,089,334
Total		3,269,963,059	1,605,655,270	2,244,982,674
Dibulatkan		3,270,000,000	1,610,000,000	2,250,000,000

#### 4.7.4 BOQ dan RAB Sambungan Rumah

Dalam pembangunan sistem penyaluran air limbah, diperlukan adanya pipa sambungan rumah. Pipa sambungan rumah ini adalah pipa yang membawa air limbah dari tangki septik maupun air limbah cucian menuju pipa tersier yang ada di jalan di depan rumah penduduk. Dalam perhitungan BOQ dan RAB sambungan rumah ini, perlu diketahui berapa jumlah rumah penduduk yang akan dilayani. Adapun jumlah sambungan rumah pada setiap *cluster* adalah sebagai berikut.

- a. *Cluster 1* = 3.246 sambungan rumah
- b. *Cluster 2* = 1.065 sambungan rumah
- c. *Cluster 3* = 1889 sambungan rumah

Hasil perhitungan anggaran biaya yang dibutuhkan dalam pekerjaan sambungan rumah di setiap *cluster* dengan menggunakan analisa harga satuan pekerjaan 1 sambungan rumah secara tipikal dapat dilihat pada **Tabel 4.36** berikut ini.

**Tabel 4.36 BOQ dan RAB Sambungan Rumah**

No	Uraian Pekerjaan	Volume Satuan	Volume Total			Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)		
			Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3			Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
	Jumlah sambungan Rumah (Unit)		3246	1065	1889					
<b>A</b>	<b>Pekerjaan persiapan</b>									
1	Pengukuran dan Pemasangan Bouwplank	16	16	16	16	m'	36,880	590,080	590,080	590,080
	Jumlah							590,080	590,080	590,080
<b>B</b>	<b>Pekerjaan Galian dan Urugan</b>									
1	Galian Tanah	2.1	6816.6	2236.5	3966.9	m <sup>3</sup>	129,979	886,013,147	290,697,474	515,612,703
2	Urugan Tanah Kembali	1.17	3783.2	1241.2	2201.6	m <sup>3</sup>	43,326	163,909,971	53,778,225	95,386,918
3	Urugan Pasir Urug Bawah Pipa t= 10 cm	0.22	710.1	233.0	413.2	m <sup>3</sup>	161,564	114,720,183	37,639,247	66,761,068
4	Urugan Pasir Urug Selimut Pipa, t= 20 cm	0.72	2323.4	762.3	1352.1	m <sup>3</sup>	161,564	375,373,615	123,158,626	218,447,554
5	Pembuangan Tanah Sisa Galian Sekitar Lokasi	0.93	3033.4	995.3	1765.3	m <sup>3</sup>	56,994	172,888,096	56,723,913	100,611,711
6	Pek. Pemasangan Pipa uPVC Ø 4" (Sewerage Type)	4.75	15418.5	5058.8	8972.8	m <sup>3</sup>	165,435	2,550,752,070	836,891,853	1,484,402,544
7	Tee Y Ø6" x Ø4" (Sewerage Type)	1	3246	1065	1889	bh	338,160	1,097,667,360	360,140,400	638,784,240
8	Bend 45 Ø4" (Sewerage Type)	1	3246	1065	1889	bh	96,720	313,953,120	103,006,800	182,704,080
9	Socket Ø4" (Sewerage Type)	1	3246	1065	1889	bh	48,360	156,976,560	51,503,400	91,352,040
	Jumlah							5,832,254,122	1,913,539,938	3,394,062,858
<b>C</b>	<b>Pekerjaan Bak Kontrol</b>									
1	Pek. Galian Tanah Kedalaman ≤ 1 m	0.49	1,599.76	524.87	930.97	m <sup>3</sup>	129,979	207,934,628	68,222,544.41	121,006,935.59
2	Pek. Timbunan Tanah Kembali Dipadatkan	0.07	219.43	71.99	127.70	m <sup>3</sup>	43,326	9,507,062	3,119,230.04	5,532,606.15
3	Pek. Pembuangan Tanah Sisa Galian	0.43	1,380.33	452.88	803.28	m <sup>3</sup>	56,994	78,670,473	25,811,476.92	45,782,046.85
4	Pek. Urugan Pasir t= 5 cm	0.03	88.88	29.16	51.72	m <sup>3</sup>	161,564	14,359,034	4,711,143.19	8,356,196.70
5	Pek. Lantai Kerja Beton K.125, t= 5 cm	0.03	88.88	29.16	51.72	m <sup>3</sup>	1,396,468	124,111,720	40,720,573.57	72,226,444.57
6	Pek. Lantai Dasar Bak Kontrol t = 15 cm, Beton K.250	0.08	266.63	87.48	155.16	m <sup>3</sup>	1,521,006	405,540,447	133,056,246.32	236,003,050.98
7	Pek. Dinding Bak Kontrol t= 12 cm, Beton Bertulang K-250	0.16	526.63	172.79	306.47	m <sup>3</sup>	11,453,832	6,031,943,449	1,979,057,231.50	3,510,271,465.07
8	Pek. Banching Beton K.250	0.02	64.92	21.30	37.78	m <sup>3</sup>	1,521,006	98,743,717	32,397,430.32	57,463,611.15
9	Pek. Penutup Bak Kontrol (45x45x10 cm), Beton Bertulang K.250	1.00	3,246	1,065	1,889	m <sup>3</sup>	133,106	432,062,081	141,757,891.53	251,437,236.72
	Jumlah							7,402,872,611	2,428,853,768	4,308,079,594
<b>D</b>	<b>Pekerjaan Lain-Lain</b>									

No	Uraian Pekerjaan	Volume Satuan	Volume Total			Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)		
			Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3			Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
1	Pekerjaan <i>Dewatering</i>	1	1	1	1	ls	500,000	500,000	500,000	500,000
2	Pembersihan dan Perapihan Lokasi Pekerjaan	1	1	1	1	ls	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
Jumlah								1,500,000	1,500,000	1,500,000

**Tabel 4.37 Rekapitulasi RAB Sambungan Rumah**

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah Harga (Rp)		
		Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
1	Pekerjaan persiapan	590,080	590,080	590,080
2	Pekerjaan Galian dan Urugan	5,832,254,122	1,913,539,938	3,394,062,858
3	Pekerjaan Bak Kontrol	7,402,872,611	2,428,853,768	4,308,079,594
4	Pekerjaan Lain-Lain	1,500,000	1,500,000	1,500,000
Jumlah		13,237,216,813	4,344,483,786	7,704,232,532
PPN 10%		1,323,721,681	434,448,379	770,423,253
Total		14,560,938,494	4,778,932,165	8,474,655,785
Dibulatkan		14,570,000,000	4,780,000,000	8,480,000,000

#### 4.7.5 Total RAB SPAL dan IPAL

Biaya investasi dapat dihitung setelah diketahui total seluruh biaya dalam pembangunan SPAL dan IPAL yang dibutuhkan. Biaya yang dibutuhkan dalam pembangunan SPAL dan IPAL pada perencanaan ini adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.38 Rekapitulasi RAB SPAL dan IPAL**

No	Uraian	Jumlah Harga (Rp)		
		Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
1	Pekerjaan Jaringan Pipa Air Limbah	8,060,000,000	10,200,000,000	7,160,000,000
2	Pekerjaan Instalasi Pengolahan Air Limbah	3,270,000,000	1,610,000,000	2,250,000,000
3	Pekerjaan Pipa Sambungan Rumah	14,570,000,000	4,780,000,000	8,480,000,000
Total		25,900,000,000	16,590,000,000	17,890,000,000

Biaya investasi berhubungan dengan jumlah sambungan rumah yang dilayani. Adapun jumlah sambungan rumah di setiap *cluster* adalah:

Cluster 1 = 3.246 KK

Cluster 2 = 1.065 KK

Cluster 3 = 1.889

Sehingga biaya investasi yang dibutuhkan dari setiap sambungan rumah adalah sebagai berikut.

**Tabel 4.39 Biaya Investasi per Sambungan Rumah**

Cluster	Total Biaya (Rp)	Jumlah KK	Investasi per KK
1	25,900,000,000	3246	8,000,000
2	16,590,000,000	1065	15,600,000
3	17,890,000,000	1889	9,500,000

#### 4.8 Operasi dan Pemeliharaan

##### 4.8.1 Pemeliharaan

Keterlibatan masyarakat sangat dibutuhkan dalam pemeliharaan prasarana dan sarana SPAL dan IPAL yang dibangun. Di beberapa daerah, pilihan teknologi prasarana dan sarana pengolahan air limbah masih baru. Oleh sebab itu, masyarakat perlu mendapat pemahaman tentang cara penggunaan dan pengelolaan sarana agar tetap berfungsi dengan baik. Pengelolaan prasarana dan sarana ini sangat bergantung pada kemauan dan kemampuan masyarakat dalam mengoperasikan, memanfaatkan, serta memelihara. Maka dibutuhkan sebuah wadah organisasi sebagai penanggung jawab pengelolaan sehari-hari ditambah dengan menunjuk salah seorang yang dijadikan sebagai kader lingkungan agar dapat menularkan kepedulian bagi masyarakat yang lain. Secara birokrasi, kader lingkungan tetap berada dibawah arahan Kelurahan, RW, maupun RT setempat atau sesuai dengan peraturan yang berlaku pada wilayah setempat untuk kemudahan sosialisasi kepada masyarakat. Beberapa tugas dari kader lingkungan diantaranya:

- Membentuk wadah organisasi yang bertanggung jawab mengelola jaringan SPAL dan IPAL
- Menyusun rencana kegiatan program kerja tahunan untuk pengelolaan jaringan SPAL dan IPAL
- Berkomunikasi secara instruktif kepada Kelurahan, RW, dan RT setempat
- Kampanye peduli lingkungan dengan berpartisipasi aktif menjaga dan memelihara IPAL yang telah dibangun.

##### 4.8.2 Standard Operating Procedure (SOP)

*Standard Operating Procedure* atau tata cara operasional merupakan standar yang mengatur pengoperasian suatu alat mengenai cara kerja maupun tahap-tahap urutan dalam mengerjakan sesuatu. Maka dibutuhkan SOP dalam pengoperasian dan pemeliharaan jaringan SPAL dan bangunan IPAL. Dalam hal ini SOP ditujukan untuk pengguna yaitu masyarakat dan operator IPAL. SOP di bawah ini berdasarkan pada Petunjuk Teknis Sanitasi Berbasis Masyarakat Tahun 2017.

###### SOP pengguna:

- Tidak membuang sampah/ benda padat kedalam jaringan pipa air limbah dan bangunan pelengkap yang menyebabkan tersumbat.

- b. Tidak membuang limbah cair berbahan kimia kedalam jaringan pipa air limbah dan bangunan pelengkap yang menyebabkan membunuh bakteri dalam air limbah.
- c. Bertanggung jawab merawat bak kontrol dan *grease trap* dirumah masing- masing minimal membersihkan 3 hari sekali.
- d. Menggunakan sabun dan alat pembersih lain sewajarnya.

SOP Operator:

- a. Melakukan koordinasi kepada pengguna dalam menjaga bak kontrol dan *grease trap* masing-masing, serta *manhole* yang berada disekitar rumah mereka.
- b. Melakukan pengecekan sumur pengumpul dan bak distribusi minimal 1 minggu sekali.
- c. Melakukan pengecekan pompa dan *diffusers* beserta jaringan listriknya minimal 2 hari sekali.
- d. Melakukan perawatan IPAL *Aerobic Biofilter* dengan melakukan pembersihan media minimal 1 tahun sekali.
- e. Melakukan pengurasan lumpur selama 2 tahun sekali melalui jasa pengurasan setempat.

### 4.8.3 Biaya Retribusi

Pengelolaan dan pengembangan prasarana dan sarana yang telah dibangun tidak lepas dari tanggungjawab masyarakat. Hal ini dapat diwujudkan dengan rencana kerja yang nyata dan iuran secara berkelanjutan. Iuran dapat menumbuhkan rasa memiliki sehingga timbul kesadaran dan kepedulian. Besaran iuran dari masyarakat dihitung berdasarkan kesepakatan bersama sesuai kebutuhan operasional dan pemeliharaan SPAL dan IPAL yang dibangun. Berikut adalah rincian pengeluaran dana operasi dan pemeliharaan jaringan SPAL dan IPAL .

**Tabel 4.40 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Cluster 1**

No	Rincian Pengeluaran	Jumlah	Satuan	Biaya Satuan (Rp)	Biaya Retribusi (Rp)	Biaya per Bulan (Rp)
1	Pemeriksaan Sampael Effluen per 3 Bulan	1	kali	1,000,000	1,000,000	333,333
2	Listrik Pompa per Bulan	1	buah	4,000,000	4,000,000	4,000,000
3	Listrik Diffuser per Bulan	4	buah	3,000,000	12,000,000	12,000,000
4	Pembelian Bubuk Kaporit per Bulan	6167	kg	1,900	11,717,286	11,717,286
5	Pembersihan Media per 1 Tahun	4	buah	100,000	400,000	33,333
6	Pengurasan Lumpur per 2 Tahun	1	kali	500,000	500,000	20,833
7	Gaji Operator per Bulan	2	orang	1,500,000	3,000,000	3,000,000
<b>Jumlah</b>						<b>31,104,786</b>

**Tabel 4.41 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Cluster 2**

No	Rincian Pengeluaran	Jumlah	Satuan	Biaya Satuan (Rp)	Biaya Retribusi (Rp)	Biaya per Bulan (Rp)
1	Pemeriksaan Sampael Effluen per 3 Bulan	1	kali	1,000,000	1,000,000	333,333
2	Listrik Pompa per Bulan	1	buah	2,000,000	2,000,000	2,000,000
3	Listrik Diffuser per Bulan	4	buah	1,500,000	6,000,000	6,000,000
4	Pembelian Bubuk Kaporit per Bulan	2647	kg	1,900	5,028,617	5,028,617
5	Pembersihan Media per 1 Tahun	4	buah	100,000	400,000	33,333
6	Pengurasan Lumpur per 2 Tahun	1	kali	500,000	500,000	20,833
7	Gaji Operator per Bulan	2	orang	1,500,000	3,000,000	3,000,000
<b>Jumlah</b>						<b>16,416,117</b>

**Tabel 4.42 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Cluster 3**

No	Rincian Pengeluaran	Jumlah	Satuan	Biaya Satuan (Rp)	Biaya Retribusi (Rp)	Biaya per Bulan (Rp)
1	Pemeriksaan Sampael Effluen per 3 Bulan	1	kali	1,000,000	1,000,000	333,333
2	Listrik Pompa per Bulan	1	buah	4,000,000	4,000,000	4,000,000
3	Listrik Diffuser per Bulan	4	buah	2,000,000	8,000,000	8,000,000
4	Pembelian Bubuk Kaporit per Bulan	4012	kg	1,900	7,622,668	7,622,668
5	Pembersihan Media per 1 Tahun	4	buah	100,000	400,000	33,333
6	Pengurasan Lumpur per 2 Tahun	1	kali	500,000	500,000	20,833
7	Gaji Operator per Bulan	2	orang	1,500,000	3,000,000	3,000,000
<b>Jumlah</b>						<b>23,010,168</b>

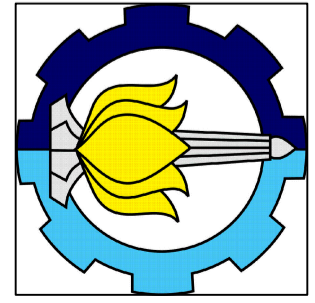
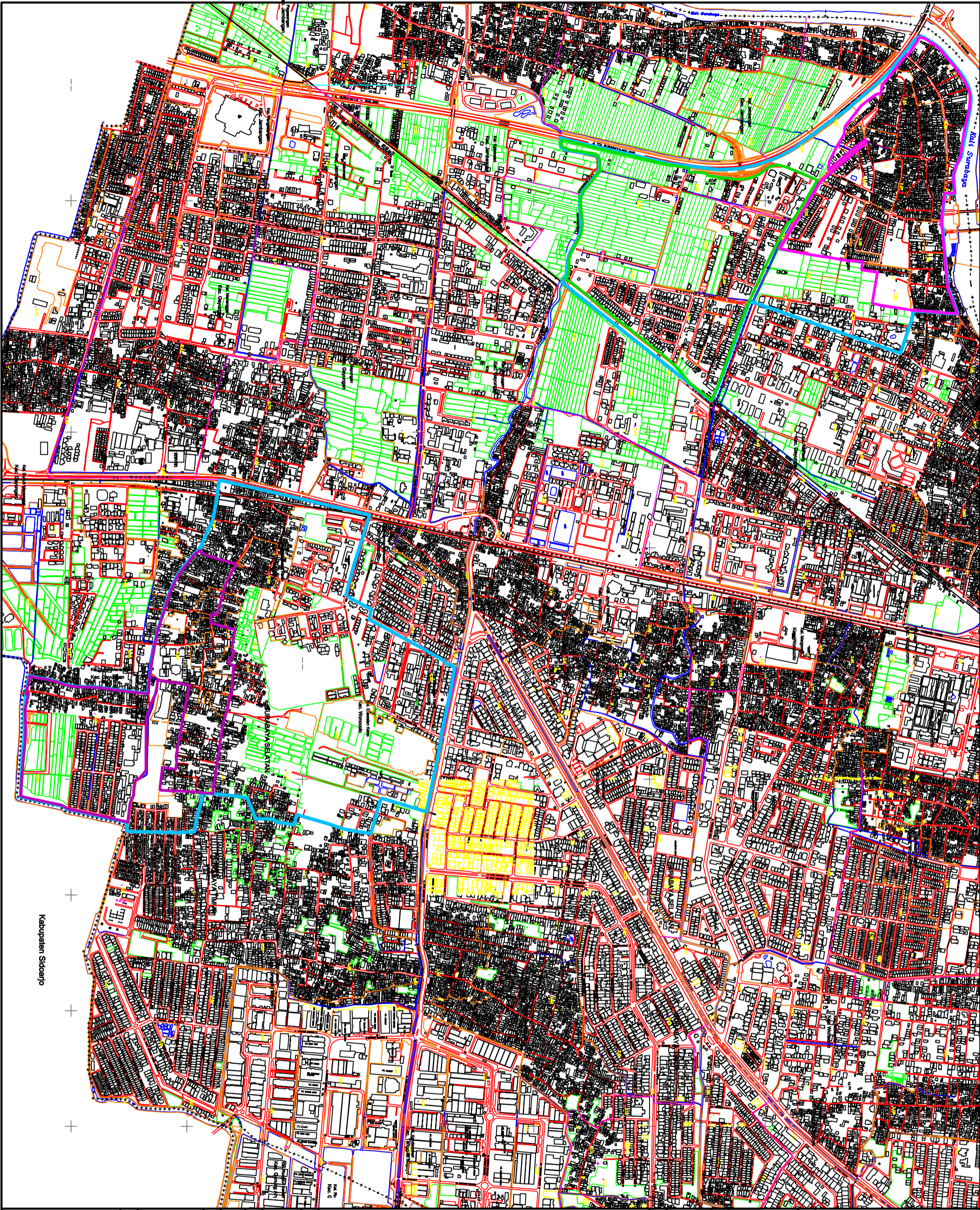
Setelah diperoleh biaya retribusi per bulan, maka dapat diketahui berapa jumlah biaya iuran warga per bulan per Kepala Keluarga sesuai dengan pembagian *cluster*. Penghuni rusun Jambangan di *cluster* 2 dan Siwalankerto di *cluster* 3 yang ikut dalam pelayanan IPAL diikutsertakan dalam iuran warga untuk operasi dan pemeliharaan IPAL.

**Tabel 4.43 Biaya Retribusi Setiap Bulan per Kepala Keluarga**

Cluster	Biay Retribusi per Bulan (Rp)	Jumlah KK (Permukiman + Rusun)	Iuran Warga (KK)
1	31,104,786	3246	9,582
2	16,416,117	1113	14,749
3	23,010,168	1987	11,580

Untuk memudahkan pengumpulan iuran maka biaya retribusi perlu dibulatkan, sehingga biaya retribusi berturut-turut dari *Cluster* 1,2, dan 3 adalah Rp 10.000, Rp 15.000, dan Rp 12.000. Kelebihan dari biaya retribusi disimpan sebagai uang kas bersama untuk kebutuhan lain.






**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**

-  Batas Kelurahan Karah
-  Batas Cluster 1
-  Batas Cluster 2
-  Batas Kelurahan Siwalankerto
-  Batas Cluster 3

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

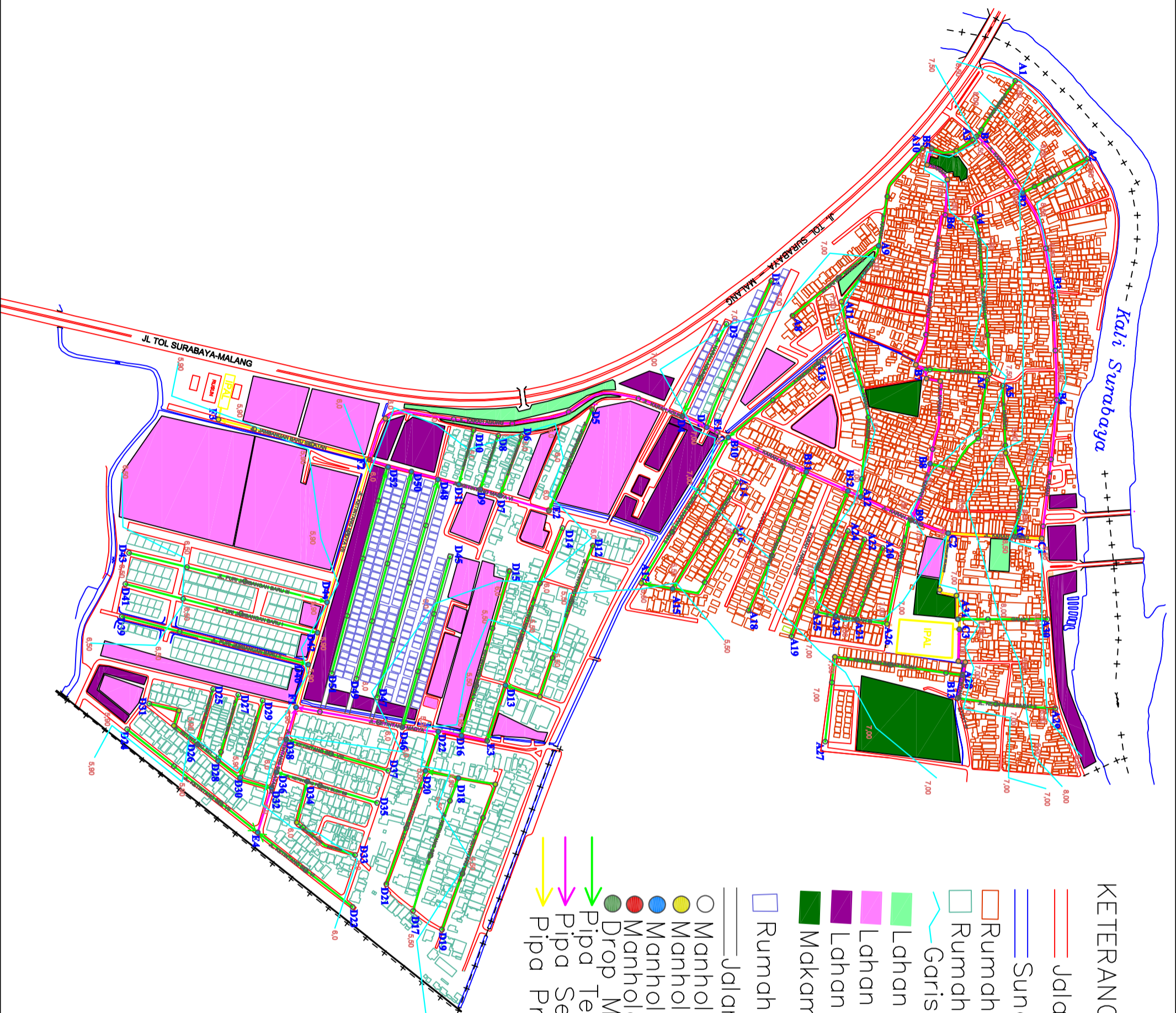
PETA KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO

**SKALA**

1:750.000

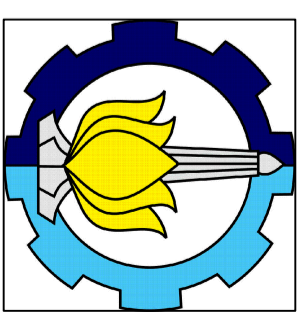
**NOMOR**

1



**KETERANGAN:**

- Jalan
- Sungai / Saluran Drainase
- Rumah Cluster 1
- Rumah Cluster 2
- Garis Kontur
- Lahan RTH
- Lahan Fasilitas Umum
- Lahan Komersial
- Makam
- Rumah Proyeksi
- Jalan Proyeksi
- Manhole Lurus
- Manhole Belokan
- Manhole Pertigaan
- Manhole Perempatan
- Drop Manhole
- Pipa Tersier
- Pipa Sekunder
- Pipa Primer



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIMALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

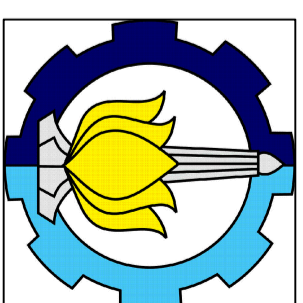
**JUDUL GAMBAR**

PETA SPAL CLUSTER 1 DAN 2

<b>SKALA</b>	<b>NOMOR</b>
--------------	--------------

**1:350.000**

**2**



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**

- Jalan
- Sungai/Saluran Drainase
- Rumah Cluster 3
- Garis Kontur
- Lahan RTH
- Lahan Fasilitas Umum
- Lahan Komersial
- Makam
- Manhole Lurus
- Manhole Belokan
- Manhole Pertigaan
- Manhole Perpempatan
- Drop Manhole
- Pipa Tersier
- Pipa Sekunder
- Pipa Primer

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

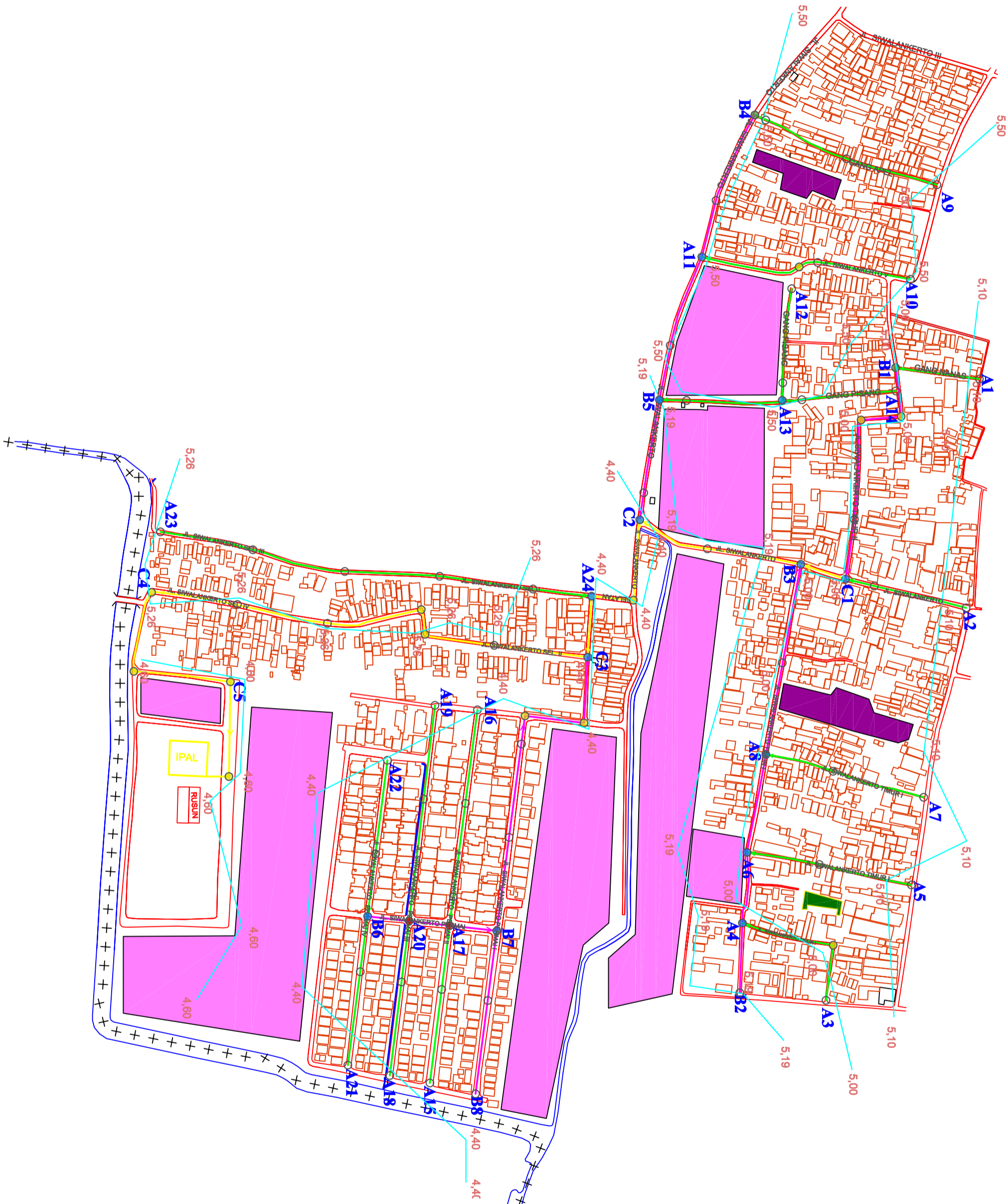
**JUDUL GAMBAR**

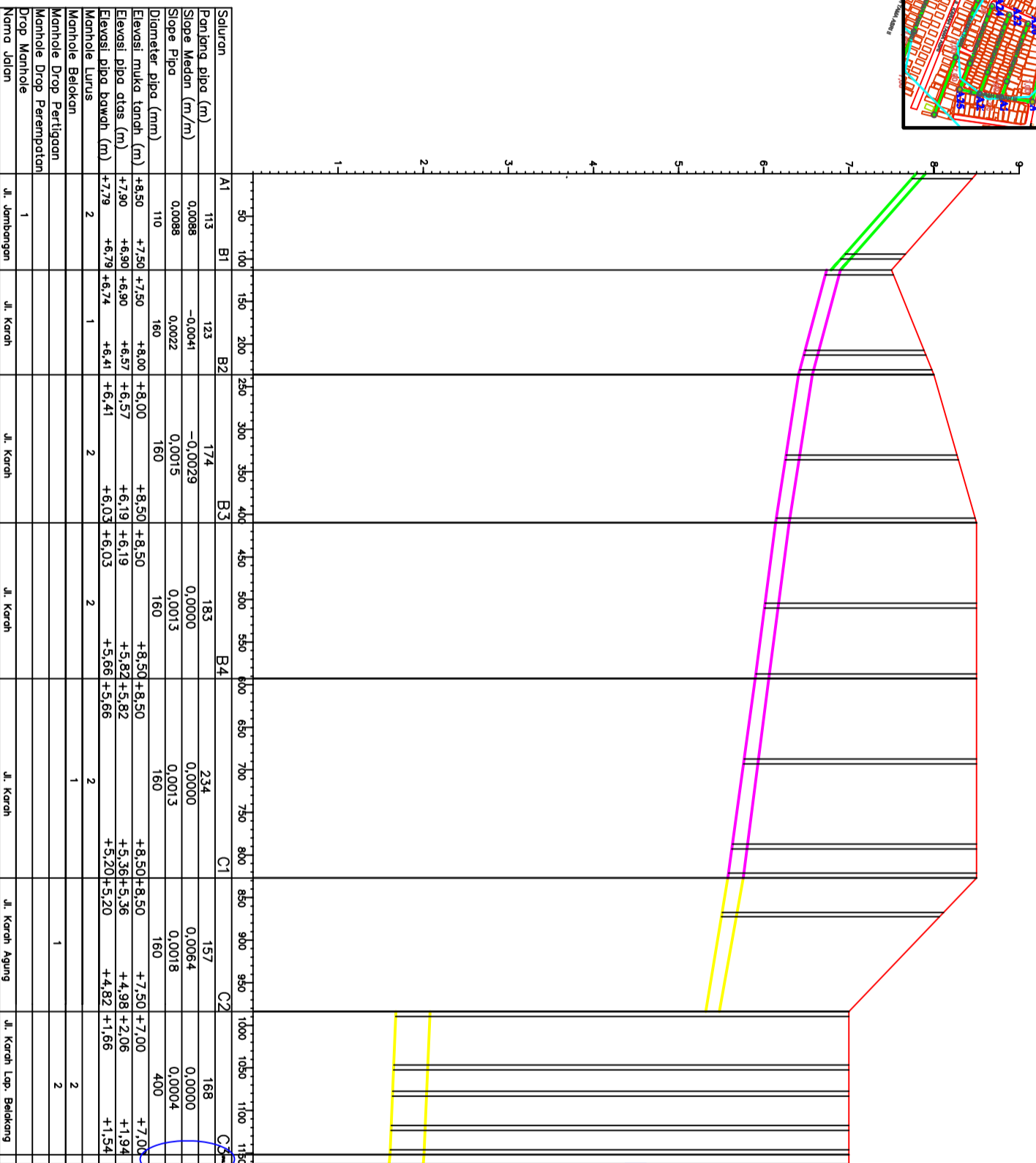
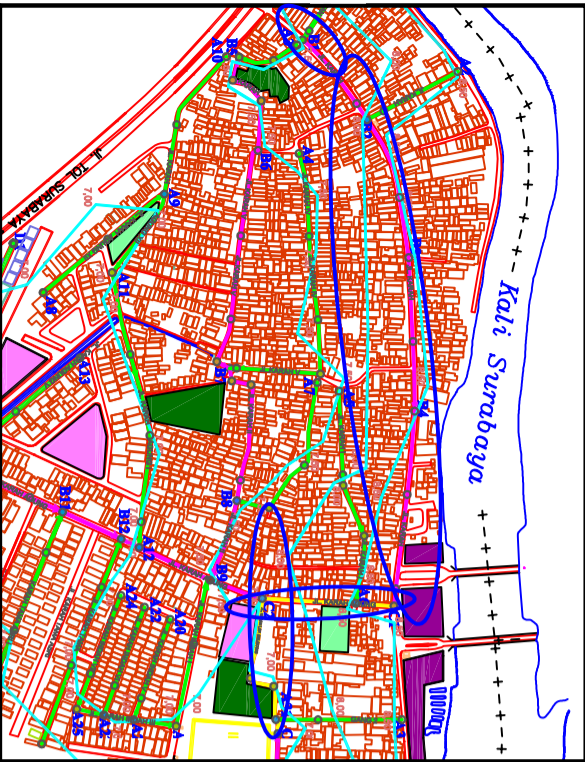
PETA SPAL CLUSTER 3

SKALA                      NOMOR

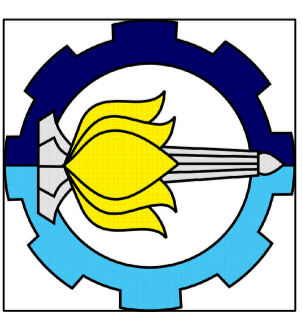
**1:200.000**

**3**





Soluran	C3	IPALU
Panjang pipa (m)	11	
Slope Medan (m/m)	0,0000	
Slope Pipa	0,0004	
Diameter pipa (mm)	400	
Elevasi muka tanah (m)	+7,00	+7,00
Elevasi pipa atas (m)	+1,94	+1,93
Elevasi pipa bawah (m)	+1,54	+1,53
Manhole Lurus		
Manhole Belokan		
Manhole Drop Peristiwa		
Manhole Drop Perempatan		
Nama Jalan	Jl. Kerah Lp. Belakng	



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIMALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**

- Muka Tanah
- Pipa Primer
- Pipa Sekunder
- Pipa Tersier
- ||| Manhole

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

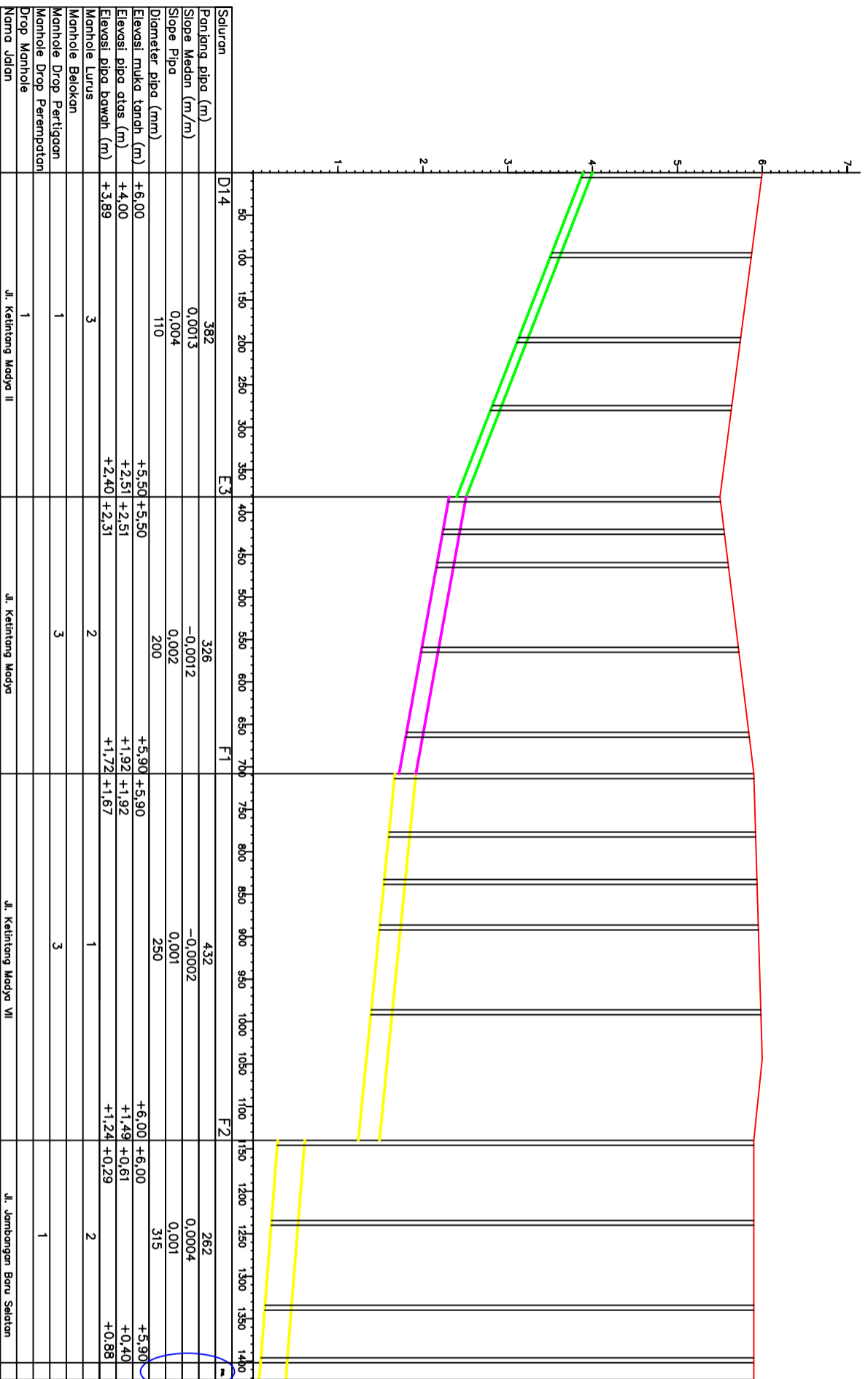
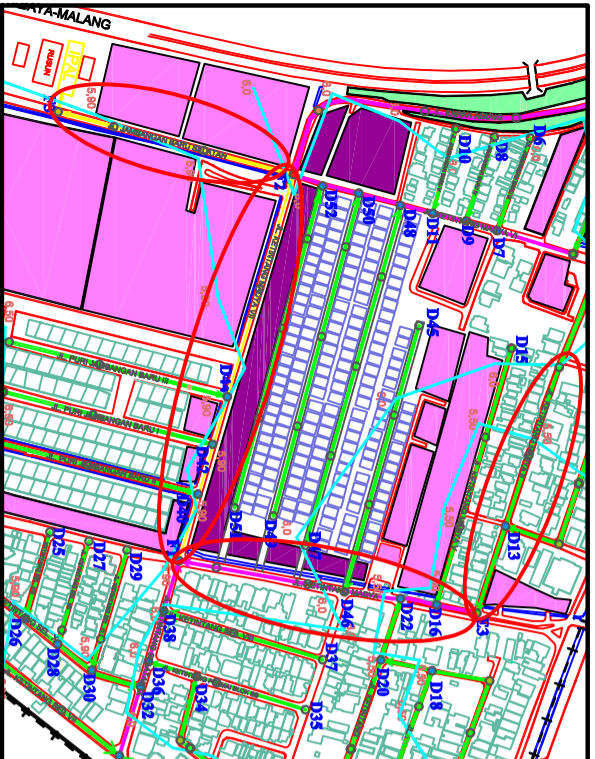
Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

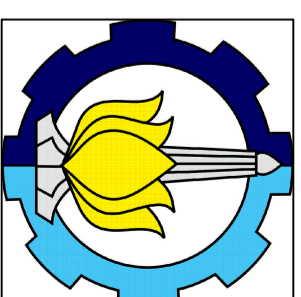
**PROFIL HIDROLIS CLUSTER 1**

SKALA	NOMOR

Vertikal = 1:65  
Horizontal = 1:6500



Saluran	F3	IPAL
Panjang pipa (m)	20	
Slope Medan (m/m)	0,0000	
Slope Pipa	0,001	
Diameter pipa (mm)	315	
Elevasi muka tanah (m)	+5,90	+5,90
Elevasi pipa atas (m)	+0,40	+0,38
Elevasi pipa bawah (m)	+0,88	+0,06
Manhole Lurus	1	
Manhole Belokan		
Manhole Drop Perempatan		
Manhole Drop Perempatan		
Manhole Drop Perempatan		
Nama Jalan	Jl. Jambangan Baru Selatan	



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIMALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**

- Muka Tanah
- Pipa Primer
- Pipa Sekunder
- Pipa Tersier
- ||| Manhole

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

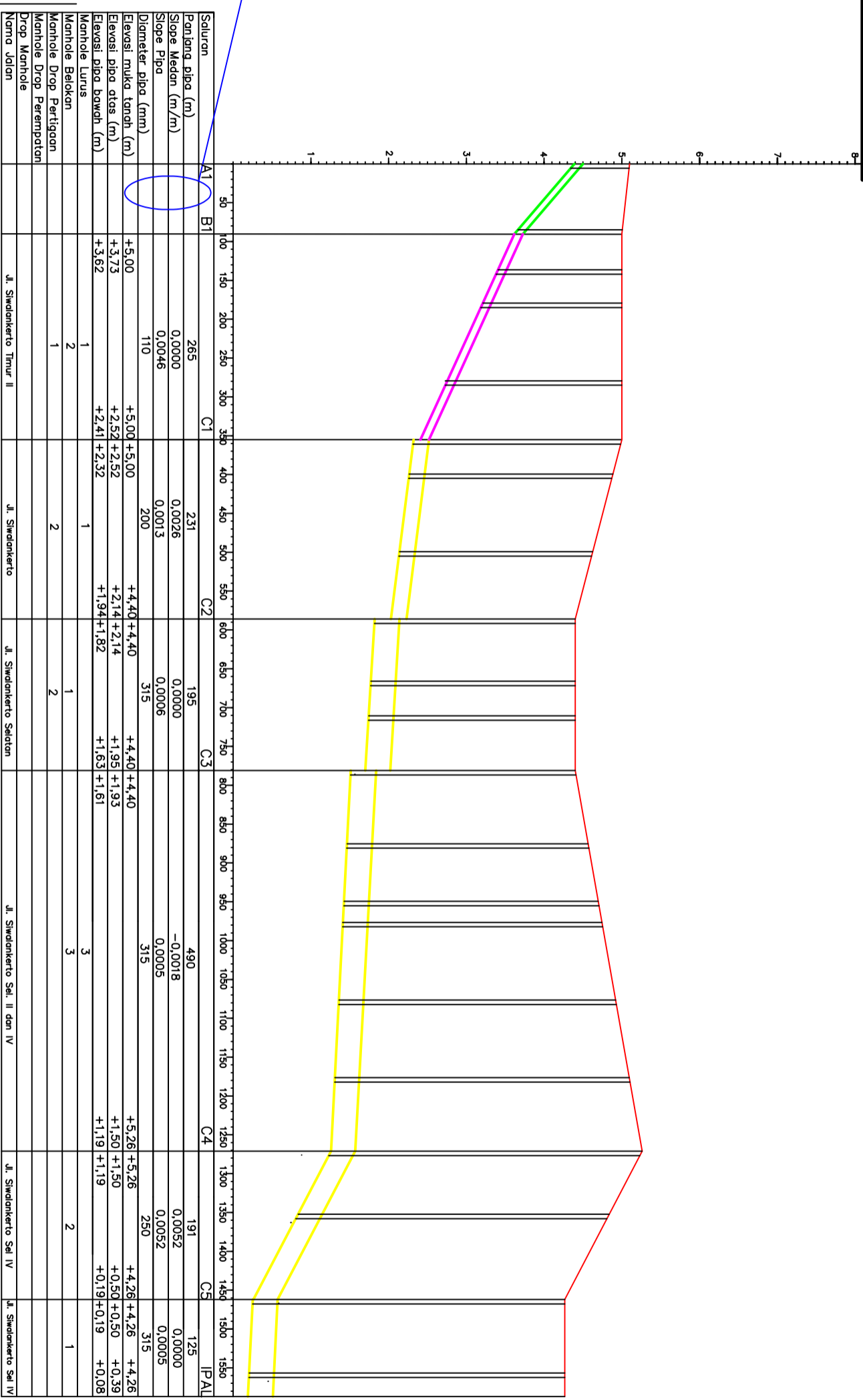
PROFIL HIDROLIS CLUSTER 2

**SKALA**

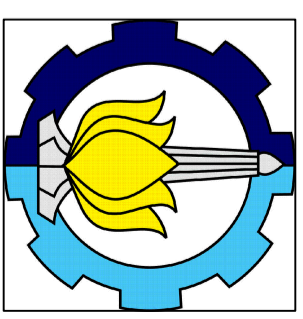
**NOMOR**

Vertikal = 1:65  
Horizontal = 1:6500

**5**



Saluran	A1	B1
Panjang pipa (m)	90	
Slope Medan (m/m)	0,0011	
Slope Pipa	0,0086	
Diameter pipa (mm)	110	
Elevasi muka tanah (m)	+5,10	+5,00
Elevasi pipa atas (m)	+4,50	+3,73
Elevasi pipa bawah (m)	+3,39	+3,62
Manhole Lurus	1	
Manhole Belokan		
Manhole Drop Partigaoan		
Manhole Drop Perempatan		
Drop Manhole		
Nama Jalan	1	Gang Nanas



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**

- Muka Tanah
- Pipa Primer
- Pipa Sekunder
- Pipa Tersier

||| Manhole

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

**PROFIL HIDROLIS CLUSTER 3**

SKALA	NOMOR

Vertikal = 1:65  
Horizontal = 1:6500

## Cluster 1

Jalur Pipa	Total Manhole	Manhole Lurus	Manhole Belokan	Manhole Pertigaan	Manhole Perempatan	Drop Manhole	Kedalaman (m)
A1-B1	3	2	-	-	-	-	0,96
A2-B2	3	2	-	-	-	-	0,96
A3-B5	3	1	1	1	-	-	1,13
A4-B7	6	4	1	1	-	-	1,79
A5-A6	4	2	2	-	-	-	2,66
A7-B8	4	2	1	1	-	-	1,38
A8-A9	2	2	-	-	-	-	1,71
A10-A11	4	2	1	1	-	-	2,56
A11-A12	3	3	-	-	-	-	3,11
A13-B10	2	2	-	-	-	-	2,55
A14-A15	2	2	-	-	-	-	1,77
A16-A17	4	2	1	1	-	-	1,86
A17-B10	2	2	-	-	-	-	4,47
A18-B11	4	3	1	1	-	-	2,01
A19-B12	4	3	-	1	-	-	2,29
A20-A21	2	2	-	-	-	-	1,95
A22-A23	2	2	-	-	-	-	1,78
A24-A25	3	2	1	-	-	-	2,53
A25-A26	3	-	1	2	-	-	2,89
A26-B9	1	1	-	-	-	-	3,43
A27-A28	5	4	1	-	-	-	2,50
A29-B13	3	2	-	-	-	-	0,86
A30-A31	2	2	-	-	-	-	0,86
B1-B2	1	1	-	-	-	-	1,74
B2-B3	2	2	-	-	-	-	2,62
B3-B4	2	2	-	-	-	-	2,99
B4-C1	3	2	1	-	-	-	3,45
B5-B6	3	1	2	-	-	-	1,58
B6-B7	3	2	1	-	-	-	2,08
B7-B8	3	1	2	-	-	-	2,34
B8-B9	0	-	-	-	-	-	2,29
B10-B11	2	1	-	1	-	-	4,90
B11-B12	0	-	-	-	-	-	5,16
B12-C2	3	-	-	2	-	-	5,91
B13-C3	3	3	-	1	-	-	1,20
C1-C2	1	-	-	1	-	-	2,83
C2-C3	4	-	2	2	-	-	5,61
C3-IPAL	0	-	-	2	-	-	5,62

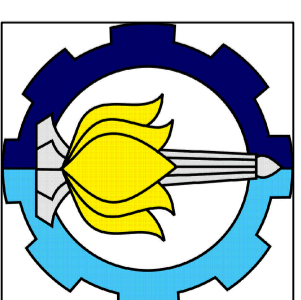
## Daftar Manhole

## Cluster 2

Jalur Pipa	Jumlah Manhole	Manhole Lurus	Manhole Belokan	Manhole Pertigaan	Manhole Perempatan	Drop Manhole	Kedalaman (m)
D1-D2	3	3	-	-	-	-	2,74
D3-D4	2	2	-	-	-	-	2,59
D5-E2	3	2	1	-	-	1	1,99
D6-D7	1	1	-	-	-	-	1,57
D8-D9	1	1	-	-	-	-	1,50
D10-D11	1	1	-	-	-	-	1,67
D12-D13	4	3	1	-	-	-	1,87
D14-E3	5	3	-	1	-	1	3,25
D15-D16	3	3	-	-	-	-	1,93
D17-D18	3	3	-	-	-	-	2,88
D19-D20	5	3	1	1	-	-	3,74
D21-D22	3	2	-	1	-	-	4,07
D23-E4	2	2	-	-	-	-	2,22
D24-E4	3	3	-	-	-	-	2,42
D25-D26	1	1	-	-	-	-	1,97
D27-D28	2	2	-	-	-	-	2,19
D29-D30	2	2	-	-	-	-	2,42
D31-D32	6	1	2	3	-	-	3,62
D33-D34	3	2	1	-	-	-	1,87
D35-D36	3	2	-	1	-	-	2,36
D37-D38	2	2	-	-	-	-	2,39
D39-D40	3	3	-	-	-	-	2,02
D41-D42	3	3	-	-	-	-	4,09
D43-D44	3	3	1	-	-	-	4,19
D45-D46	3	3	-	-	-	-	3,78
D47-D48	4	4	-	-	-	-	2,94
D49-D50	4	4	-	-	-	-	2,82
D51-D52	4	4	-	-	-	-	3,92
E1-F2	8	5	1	2	-	-	5,55
E2-F2	6	-	-	6	-	-	2,43
E3-F1	5	2	-	3	-	-	4,33
E4-F1	5	-	-	5	-	-	3,95
F1-F2	4	1	-	3	-	-	4,91
F2-F3	3	2	-	-	-	1	5,97
F3-IPAL	1	-	1	-	-	-	5,99

## Cluster 3

Jalur Pipa	Jumlah Manhole	Manhole Lurus	Manhole Belokan	Manhole Pertigaan	Manhole Perempatan	Drop Manhole	Kedalaman (m)
A1-B1	2	1	-	-	-	1	1,53
A2-C1	2	2	-	-	-	-	2,74
A3-A4	2	1	1	-	-	-	1,33
A5-A6	2	2	-	-	-	-	1,39
A7-A8	2	2	-	-	-	-	1,23
A9-B4	4	3	-	-	-	1	1,53
A10-A11	3	2	1	-	-	-	1,54
A12-A13	2	2	-	-	-	-	1,26
A14-B5	5	3	-	2	-	-	1,91
A15-A17	2	2	-	-	-	-	1,63
A16-A17	3	3	-	-	-	-	1,63
A18-A20	2	2	-	-	-	-	1,76
A19-A20	3	3	-	-	-	-	1,76
A21-B6	2	2	-	-	-	-	1,62
A22-B6	2	2	-	-	-	-	1,62
A23-A24	5	5	-	-	-	-	1,25
B1-C1	4	1	2	1	-	-	2,74
B2-B3	5	2	-	3	-	-	2,05
B4-B5	3	2	-	1	-	-	2,00
B5-C2	1	1	-	-	-	-	2,57
B6-B7	3	3	-	-	-	-	2,03
B8-C3	8	4	2	2	-	2	2,78
C1-C2	3	1	-	2	-	-	2,61
C2-C3	3	3	-	2	-	-	2,92
C3-C4	6	3	3	-	-	-	4,22
C4-C5	2	-	2	-	-	-	4,22
C5-IPAL	1	-	1	-	-	-	4,33



### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

### DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

### KETERANGAN

Manhole yang Digambar

### MAHASISWA PERENCANA

OSTRY MELISA PURBA  
0321134000039

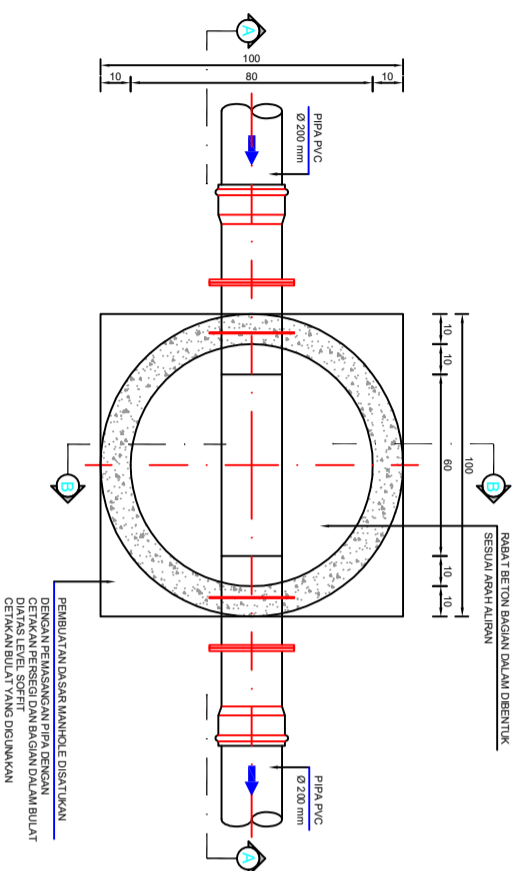
### DOSEN PEMBIMBING

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

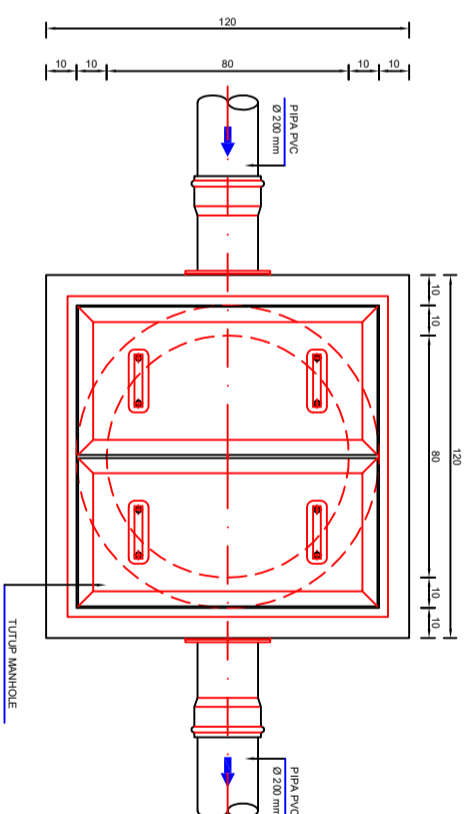
### JUDUL GAMBAR

### DAFTAR MANHOLE

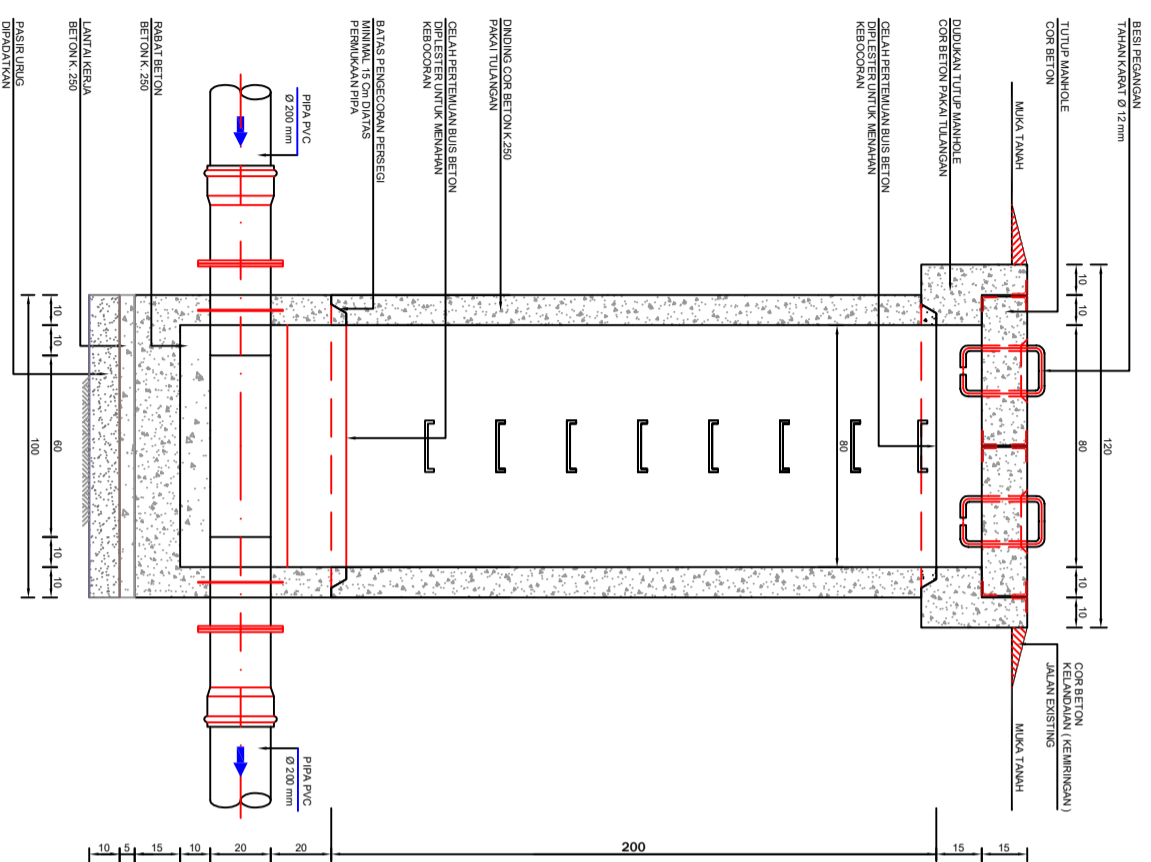
SKALA	NOMOR
-------	-------



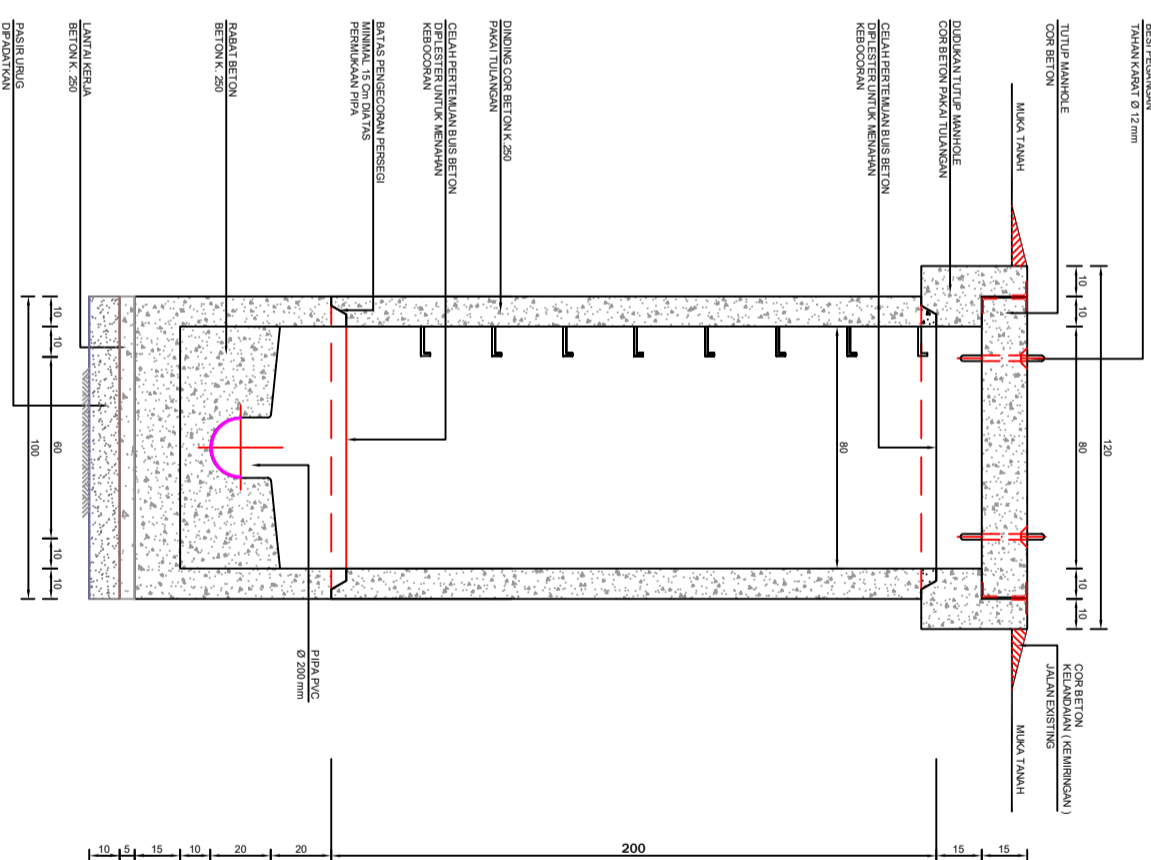
Dendh Manhole Lurus Saluran B4-B5 Cluster 3



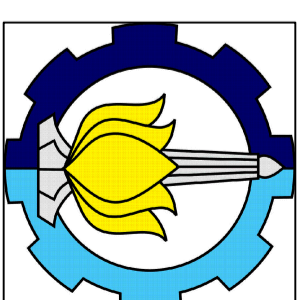
Tampak Atas Manhole Lurus Saluran B4-B5 Cluster 3



Potongan A-A



Potongan B-B



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KETERANGAN

MAHASISWA PERENCANA

OSTRY MELISSA PURBA  
0321 134000039

DOSEN PEMBIMBING

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

JUDUL GAMBAR

TIPIKAL MANHOLE LURUS

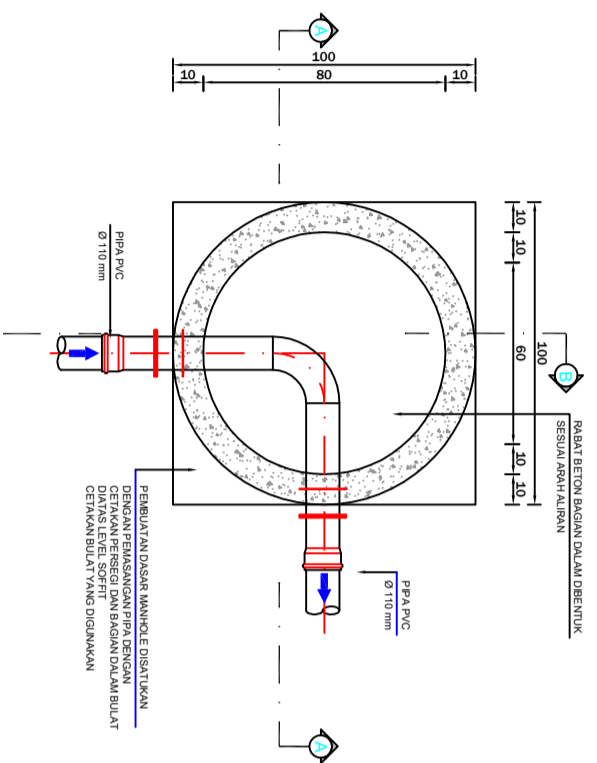
SKALA

NOMOR

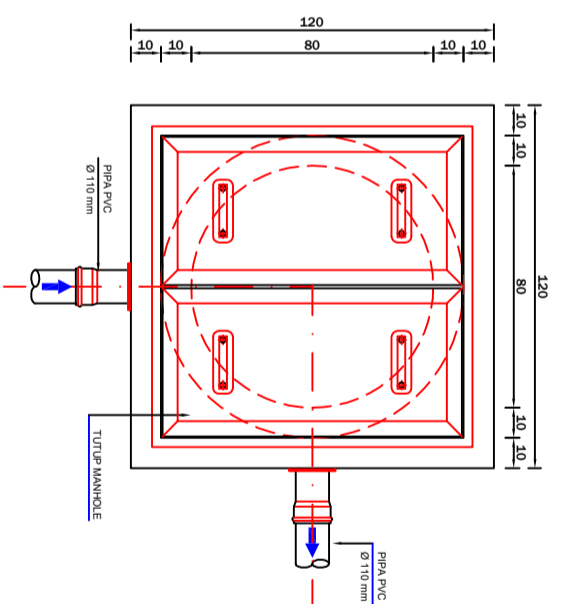
1:25

8

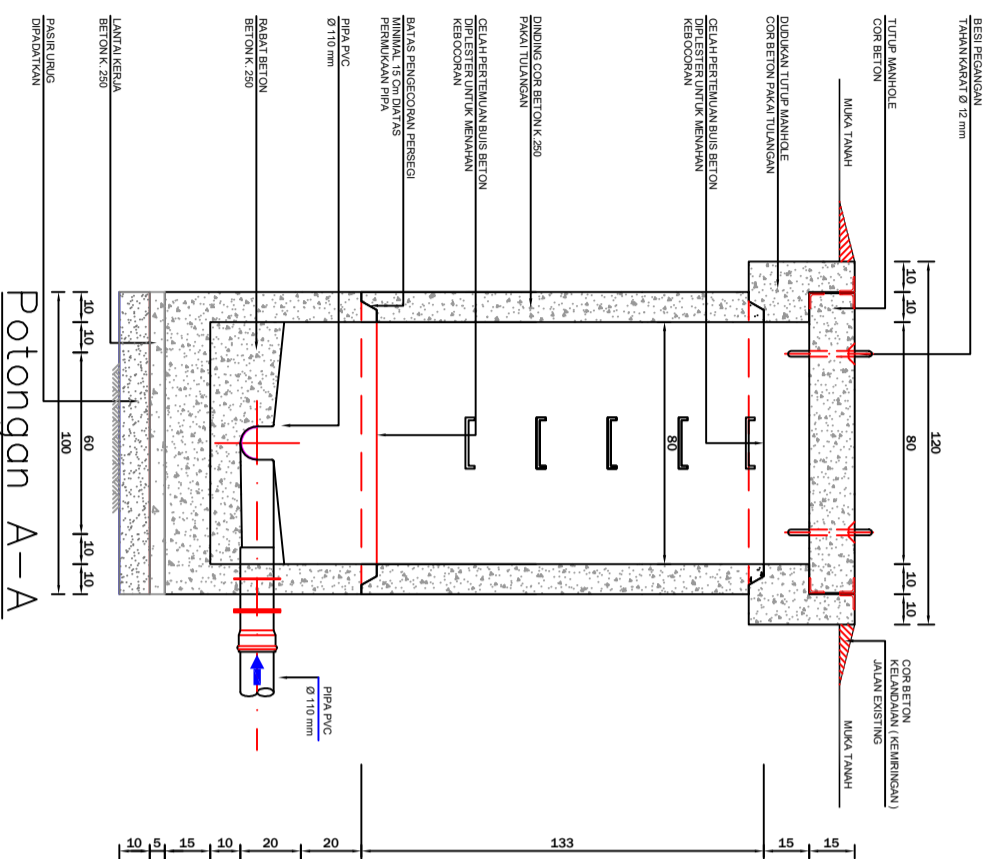




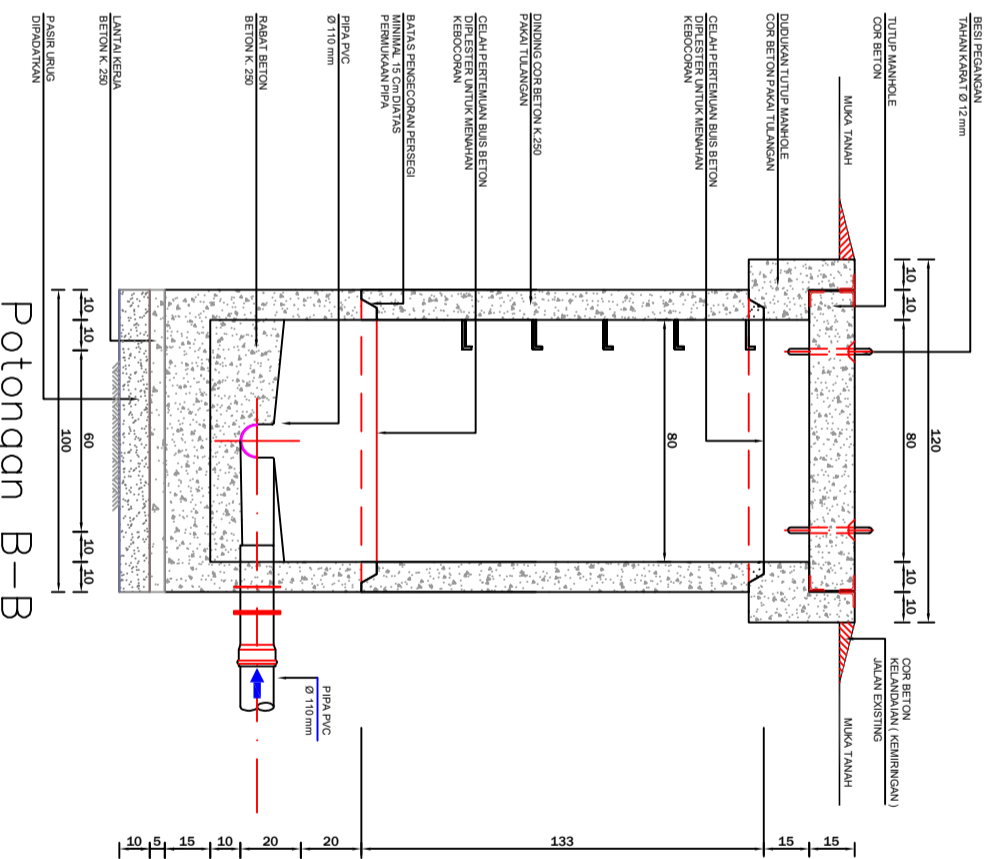
Dendah Manhole Belokan Saluran A3-A4 Cluster 3



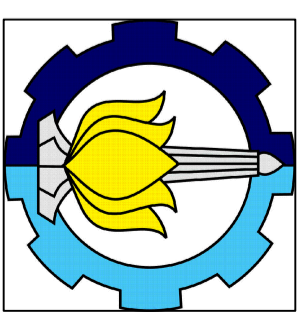
Tampak Atas Manhole Belokan Saluran A3-A4 Cluster 3



Potongan A-A



Potongan B-B



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KETERANGAN

MAHASISWA PERENCANA

OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

DOSEN PEMBIMBING

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

JUDUL GAMBAR

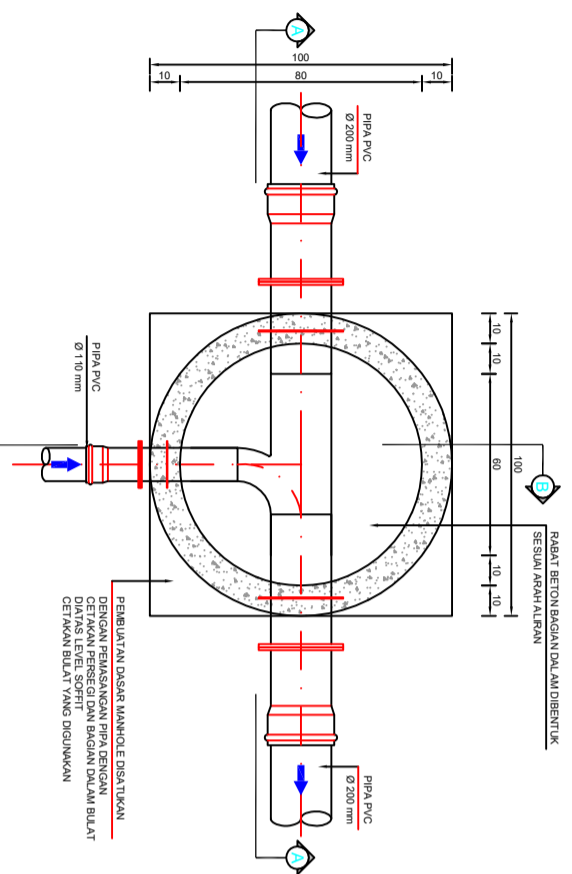
TIPIKAL MANHOLE BELOKAN

SKALA

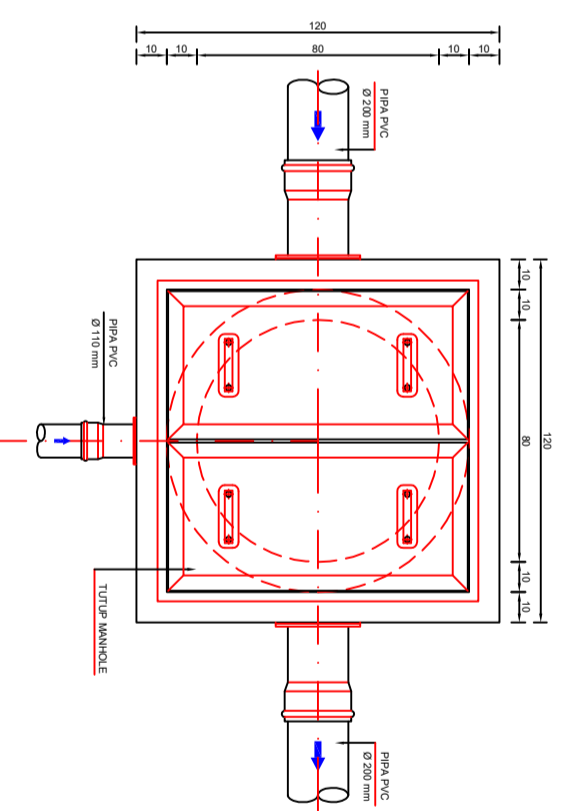
NOMOR

1:25

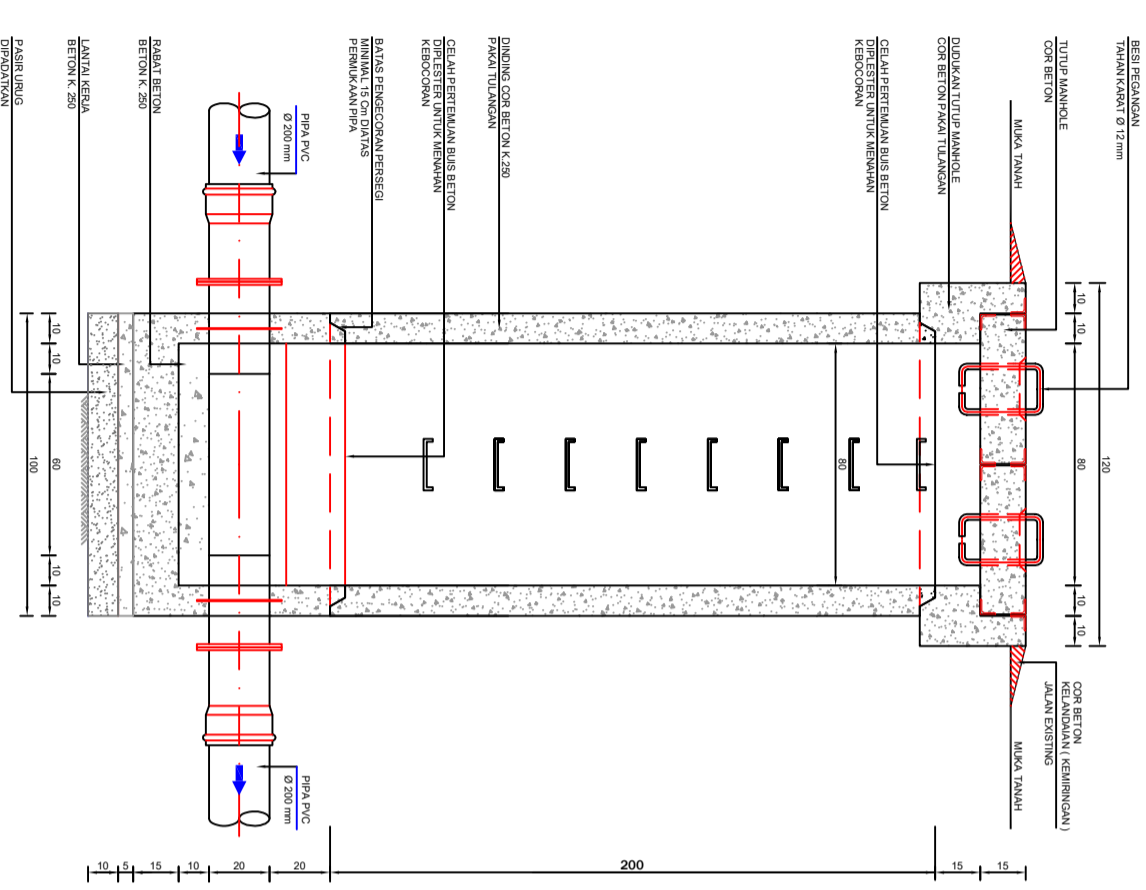
9



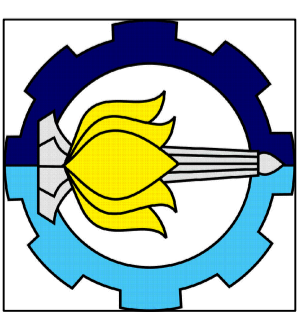
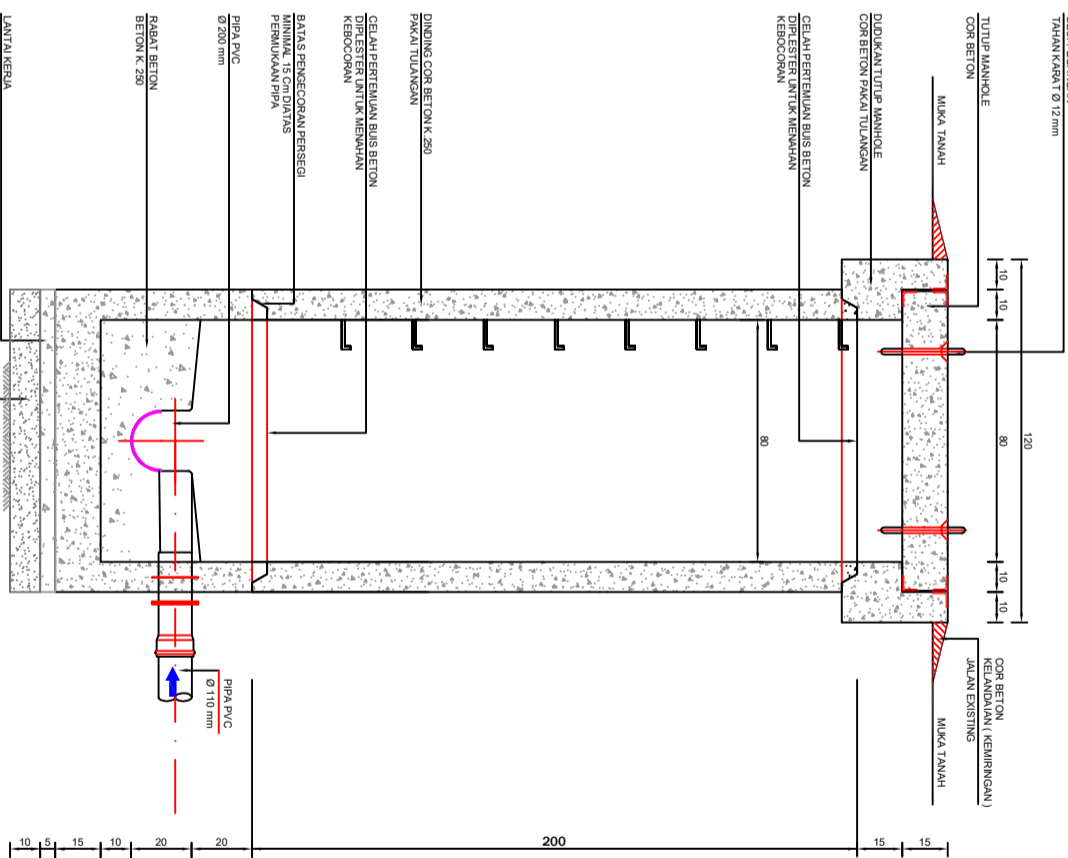
Denah Manhole Pertigaan Saluran B4-B5 Cluster 3



Tampak Atas Manhole Pertigaan Saluran B4-B5 Cluster 3



Potongan B-B



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KETERANGAN

MAHASISWA PERENCANA

OSTRY MELISSA PURBA  
0321 134000039

DOSEN PEMBIMBING

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

JUDUL GAMBAR

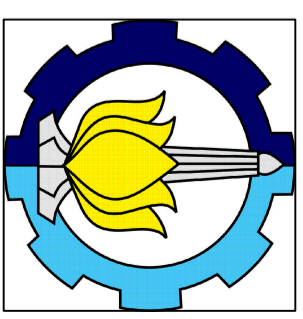
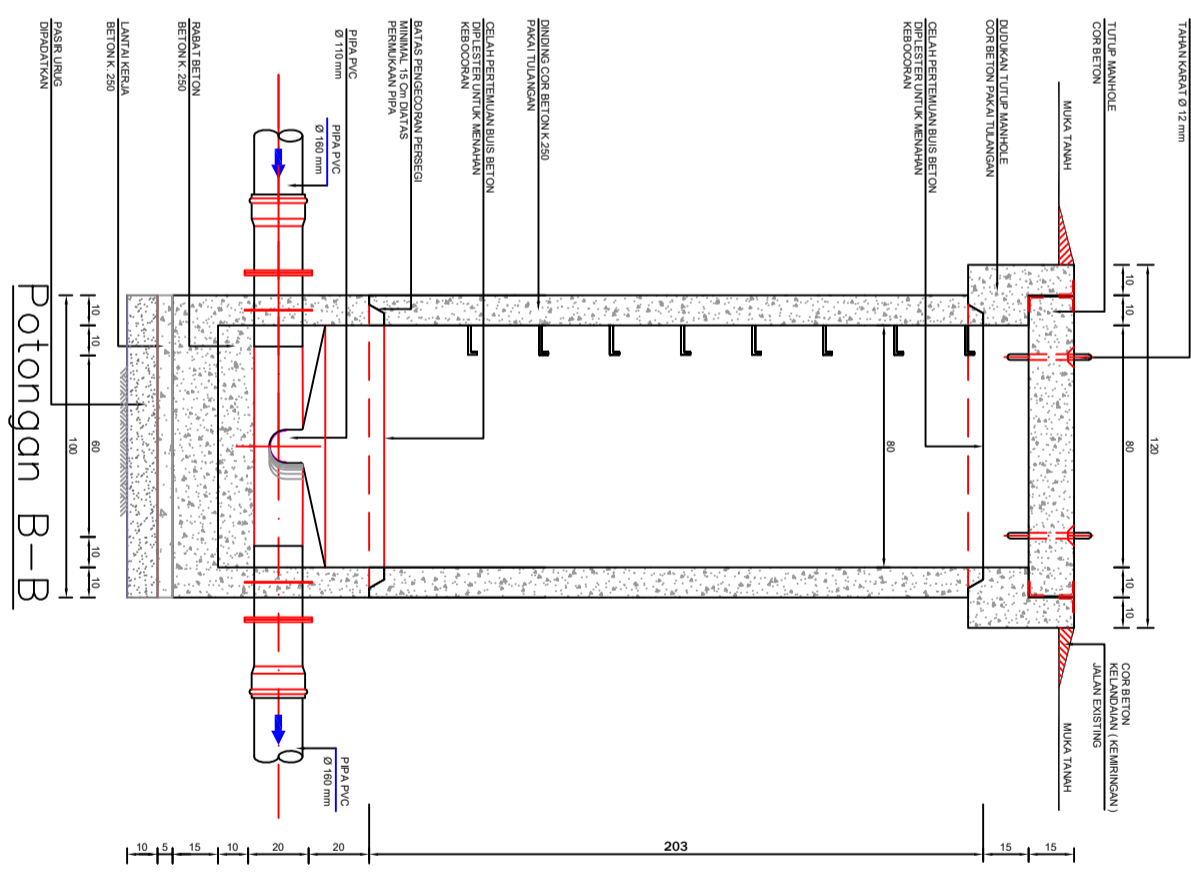
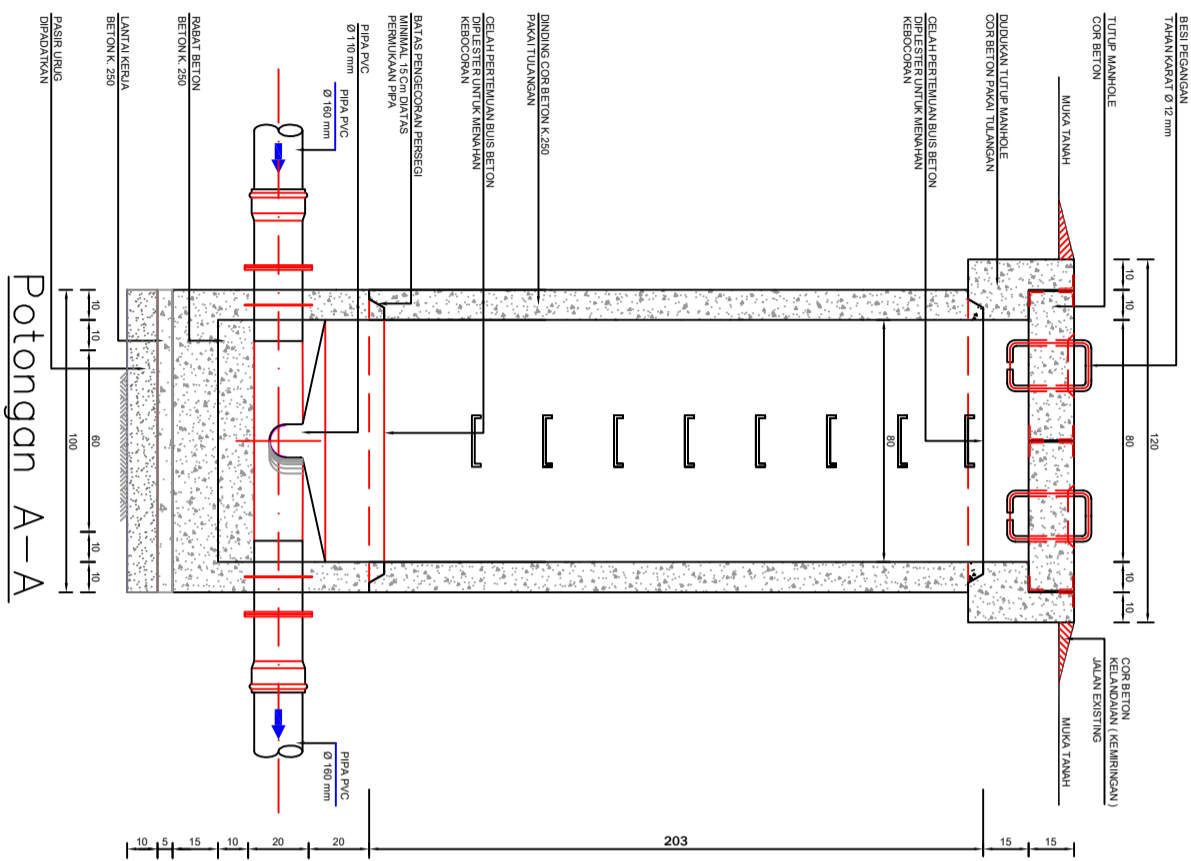
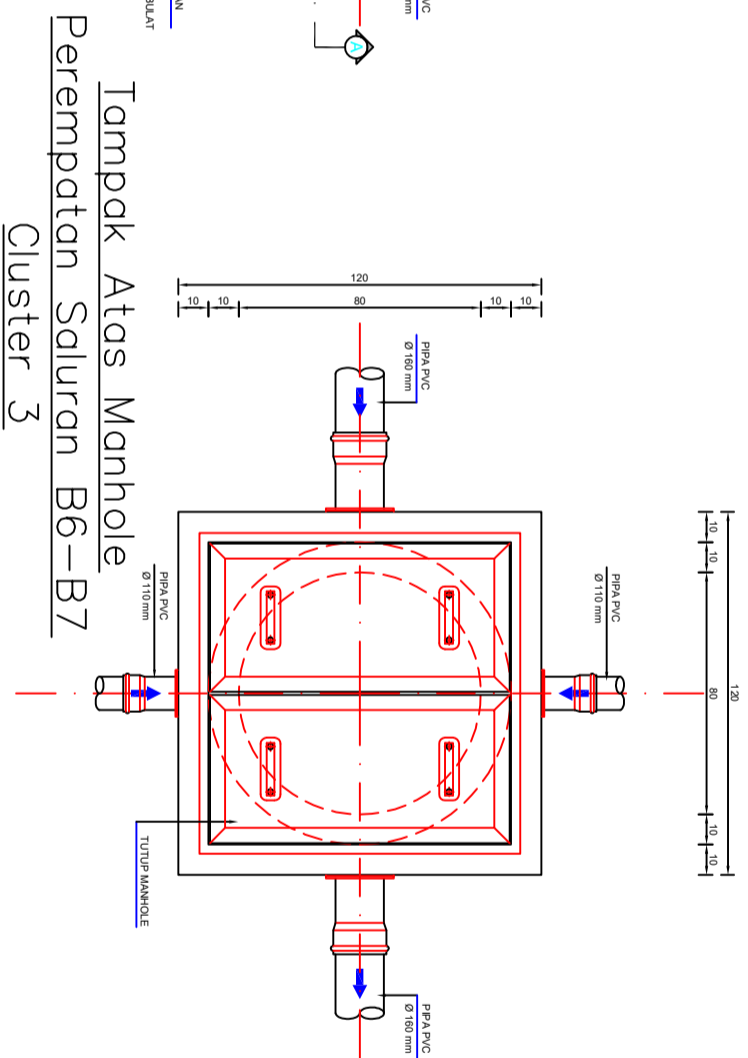
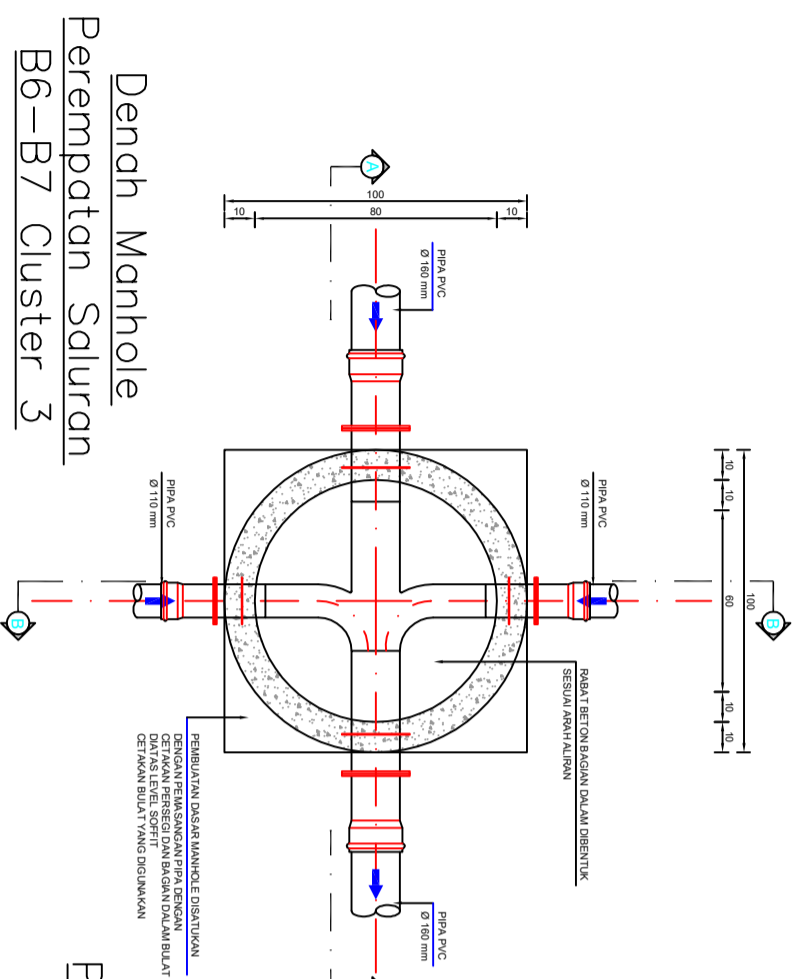
TIPIKAL MANHOLE PERTIGAAN

SKALA

NOMOR

1:25

10



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

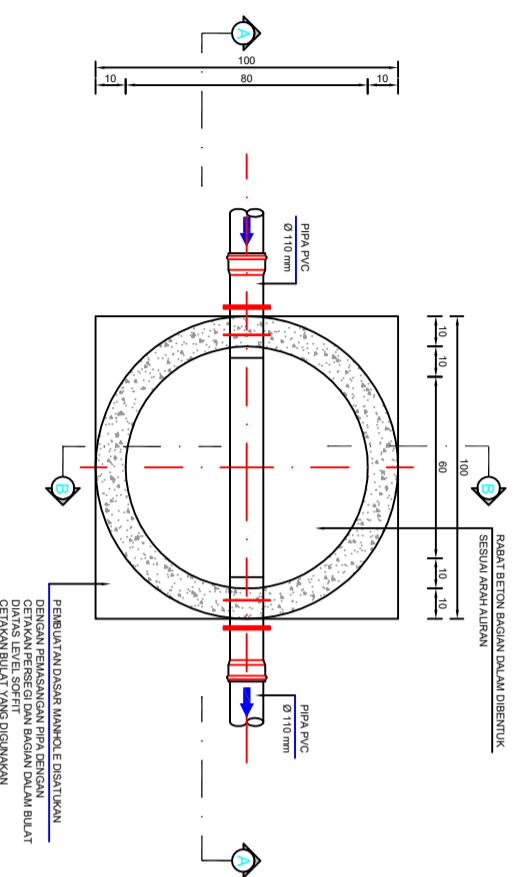
Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

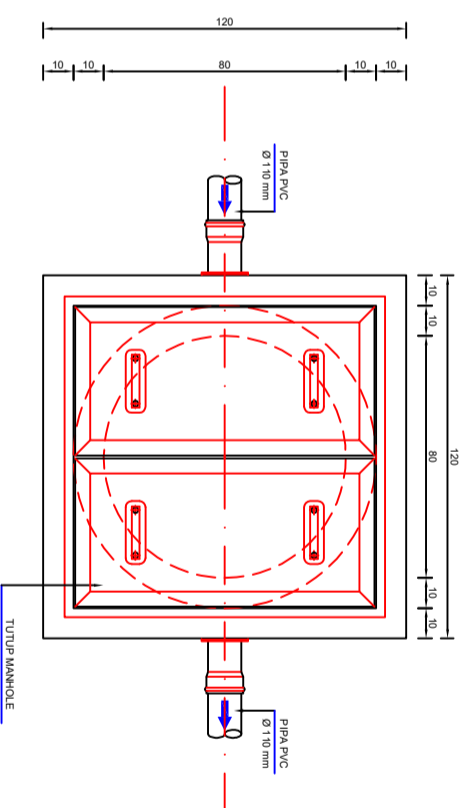
TIPIKAL MANHOLE PEREMPATAN

**SKALA**                      **NOMOR**

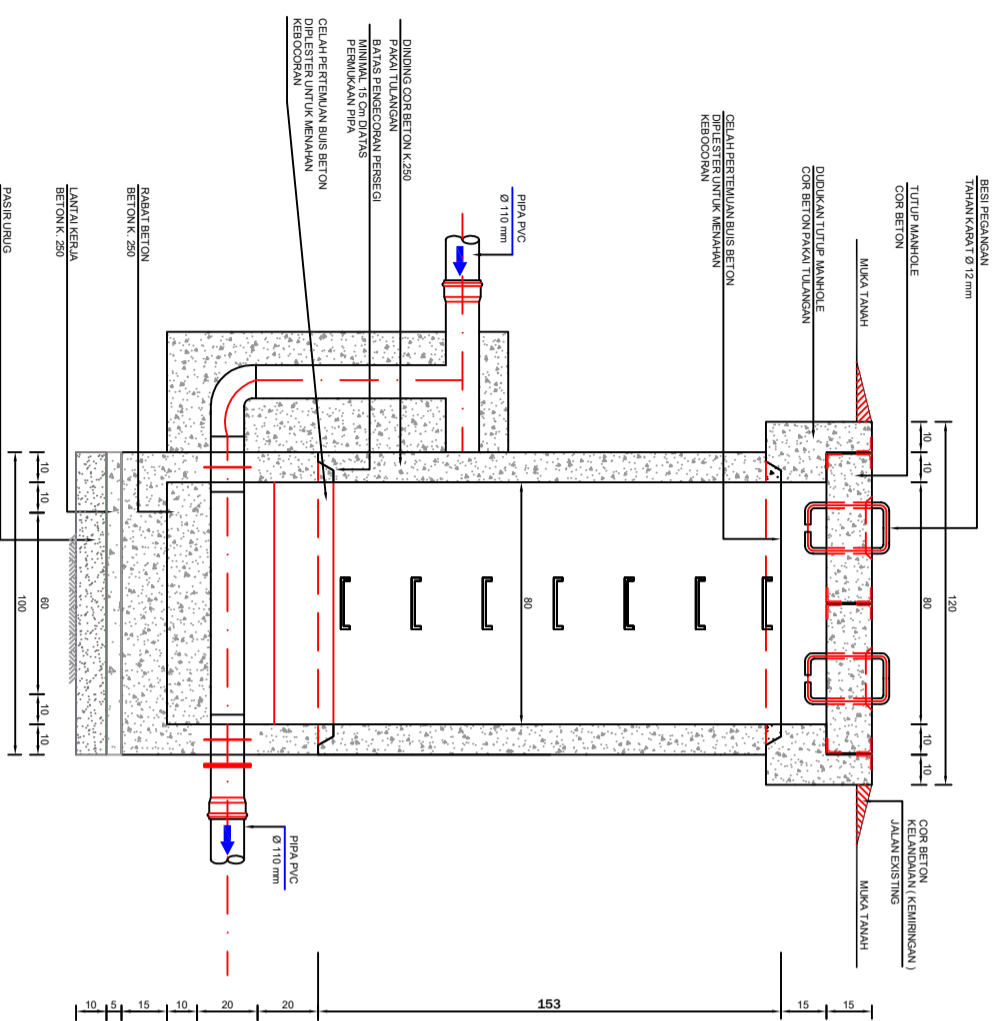
1:25                              11



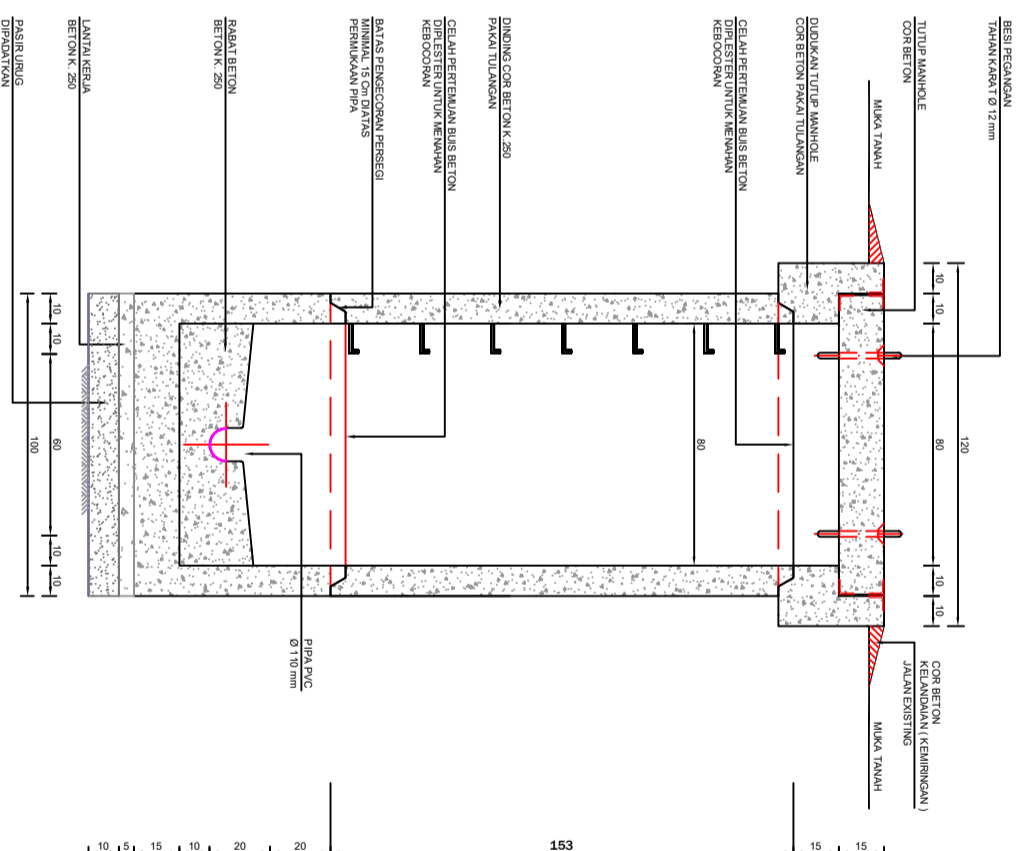
Dendh Drop Manhole Saluran  
A1-B1 Cluster 3



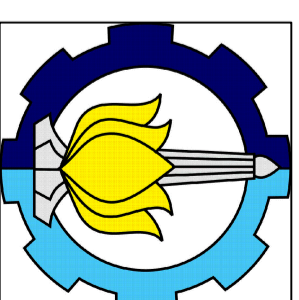
Tampak Atas Drop Manhole Saluran  
A1-B1 Cluster 3



Potongan A-A



Potongan B-B



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KETERANGAN

MAHASISWA PERENCANA

OSTRY MELISSA PURBA  
0321 134000039

DOSEN PEMBIMBING

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

JUDUL GAMBAR

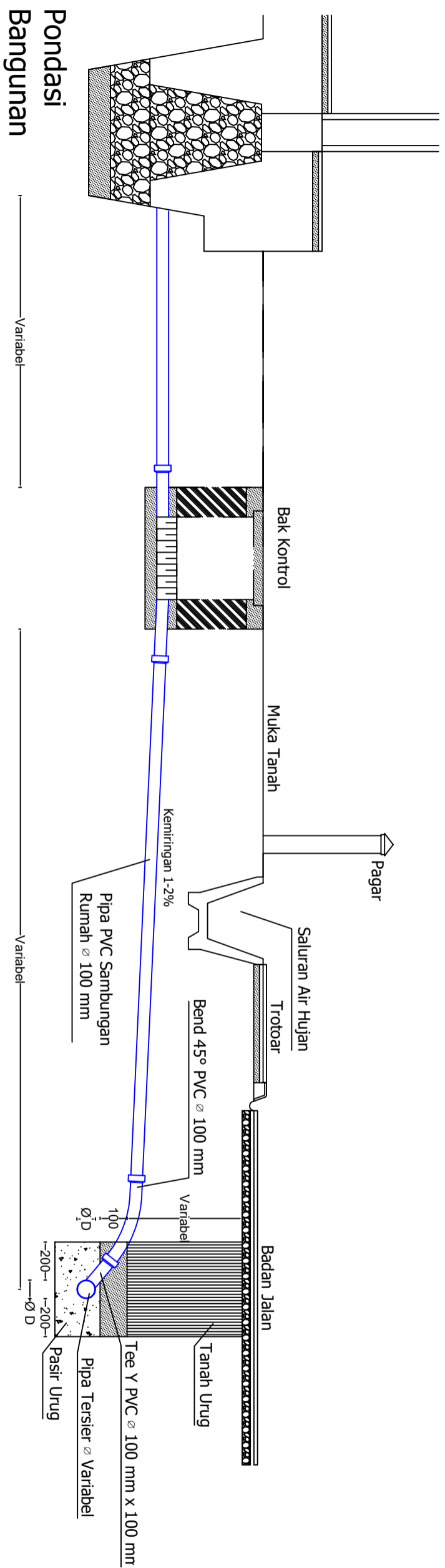
TIPIKAL DROP MANHOLE

SKALA

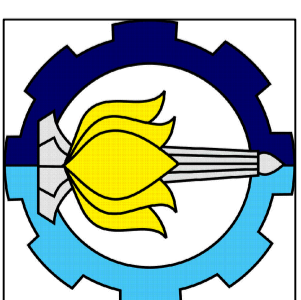
NOMOR

1:25

12



Tipikal Sambungan Rumah



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

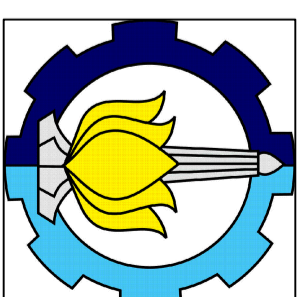
KETERANGAN

MAHASISWA PERENCANA  
OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039  
DOSEN PEMBIMBING  
Welly Herumurti, ST., M.Sc.  
JUDUL GAMBAR

TIPIKAL SAMBUNGAN RUMAH

SKALA NOMOR

1:40 13



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

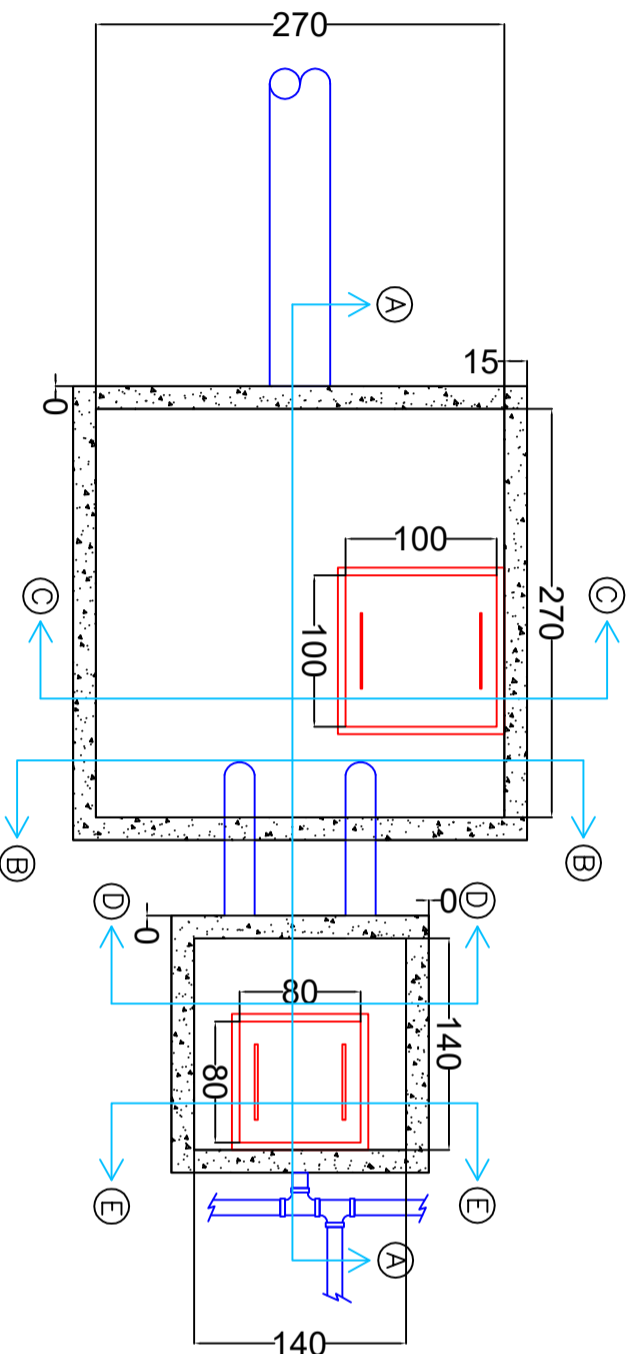
**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



Beton



Denah Sumur Pengumpul dan  
Distribution Box Cluster 1

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

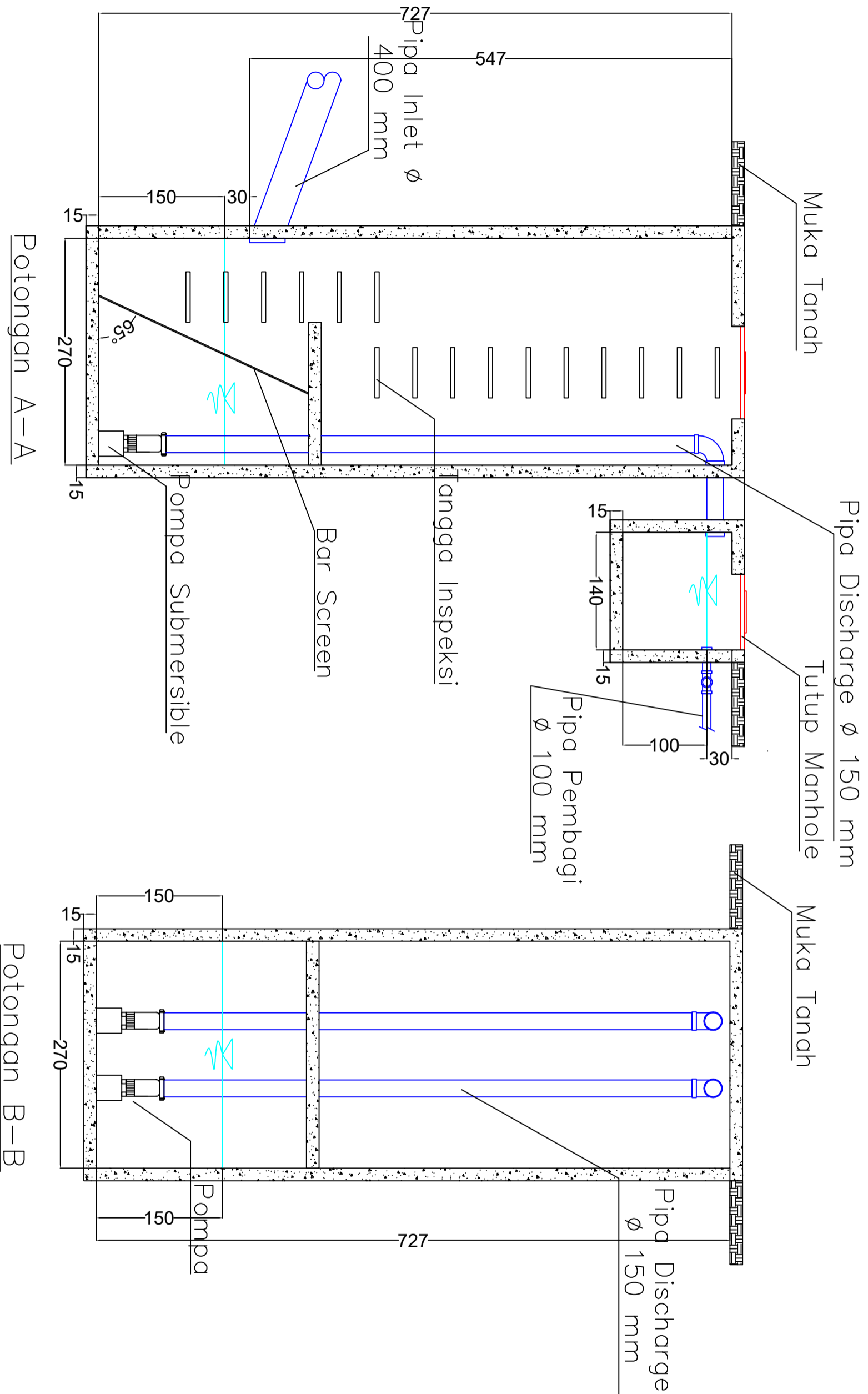
DENAH SUMUR PENGUMPUL  
DAN DISTRIBUTION BOX  
CLUSTER 1

SKALA

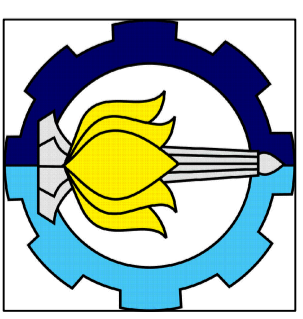
NOMOR

1:50

14



Potongan Sumur Pengumpul dan  
Distribution Box Cluster 1



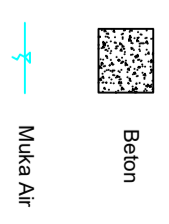
**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH  
DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN  
SIMALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA  
SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



**MAHASISWA PERENCANA**  
OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**  
Welly Herumurti, ST., M.Sc.

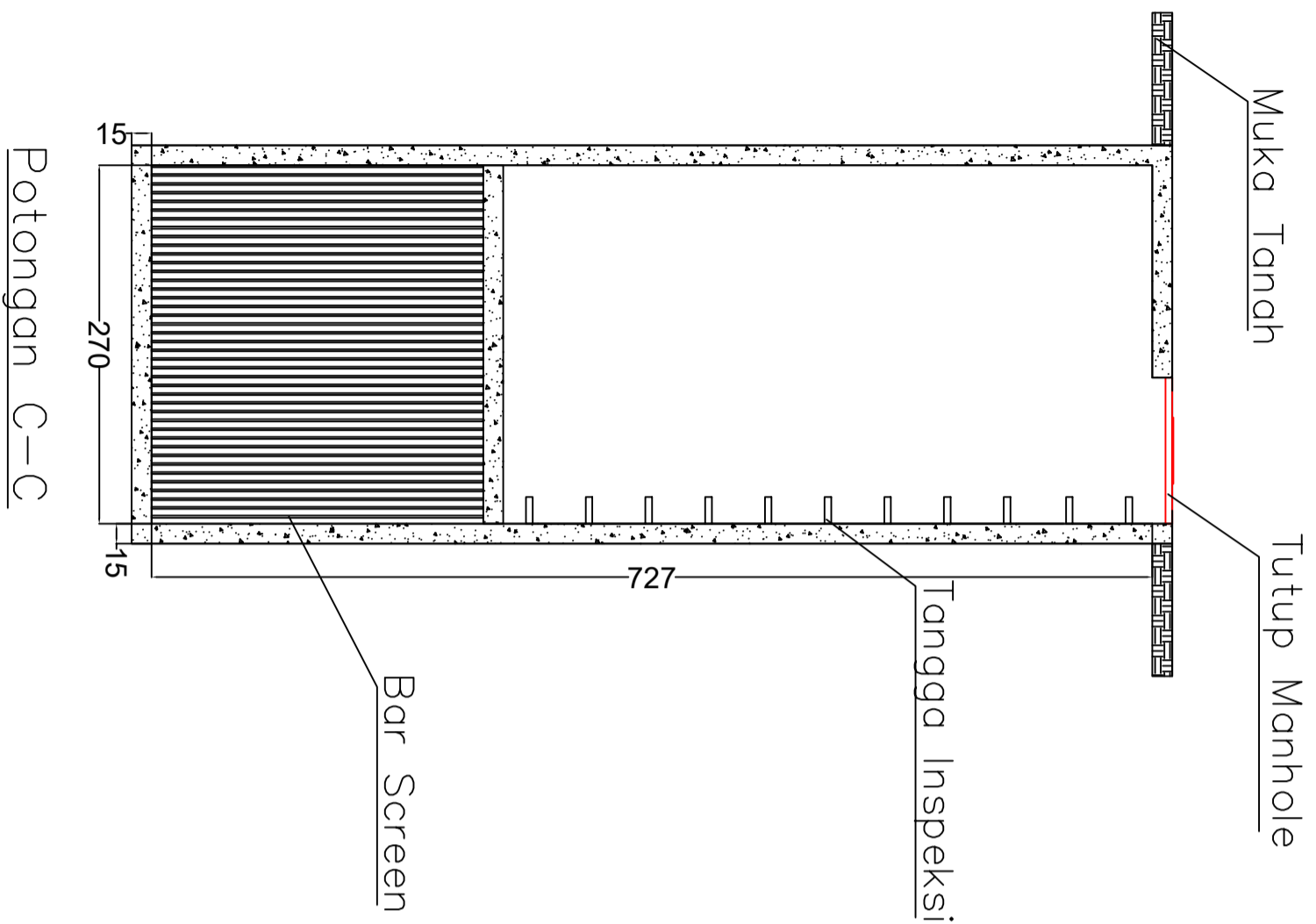
**JUDUL GAMBAR**  
POTONGAN A-A DAN B-B SUMUR  
PENGUMPUL DAN DISTRIBUTION  
BOX CLUSTER 1

**SKALA**

**NOMOR**

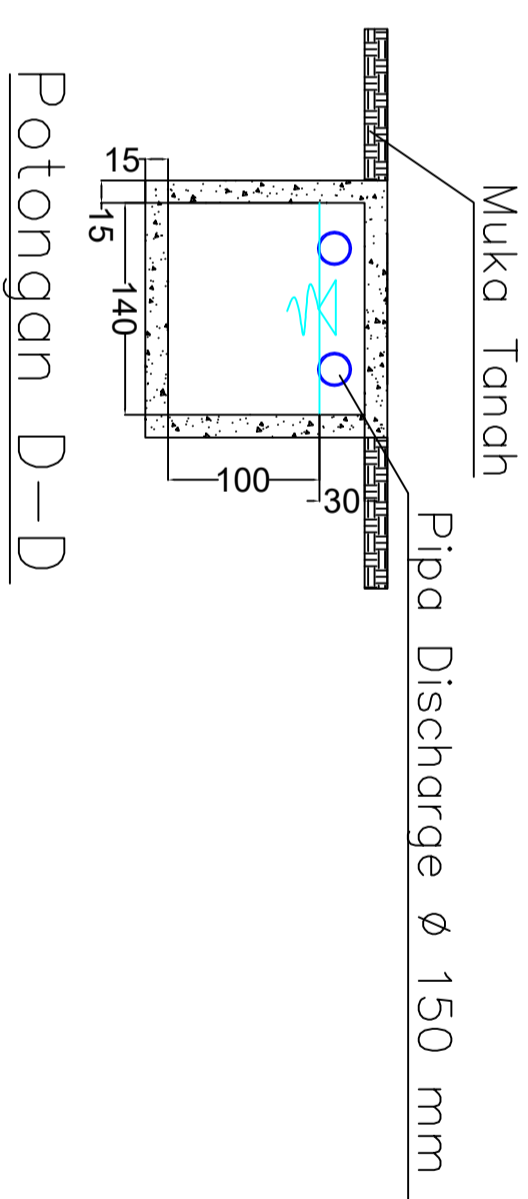
**1:50**

**15**

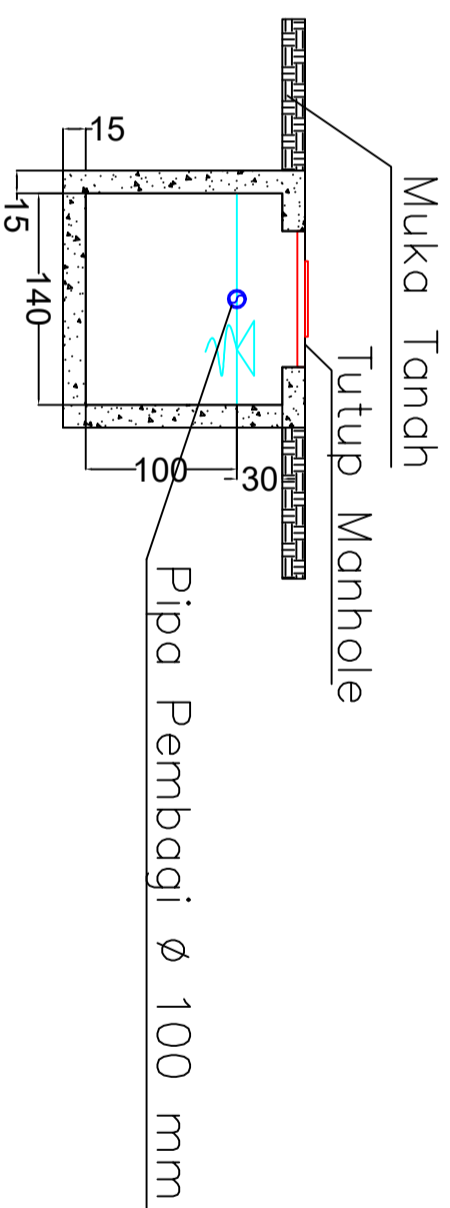


Potongan C-C

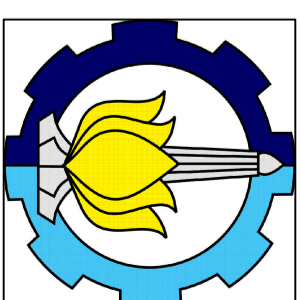
Potongan Sumur Pengumpul dan  
Distribution Box Cluster 1



Potongan D-D



Potongan E-E



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KETERANGAN



Beton



Muka Air

MAHASISWA PERENCANA

OSTRY MELISSA PURBA  
0321 1340000039

DOSEN PEMBIMBING

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

JUDUL GAMBAR

POTONGAN C-C, D-D, DAN E-E  
SUMUR PENGUMPUL DAN  
DISTRIBUTION BOX CLUSTER 1

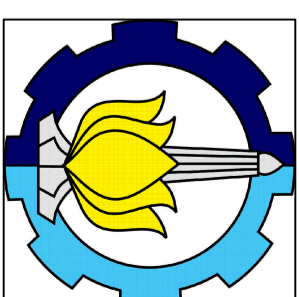
SKALA

NOMOR

1:50

16





**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

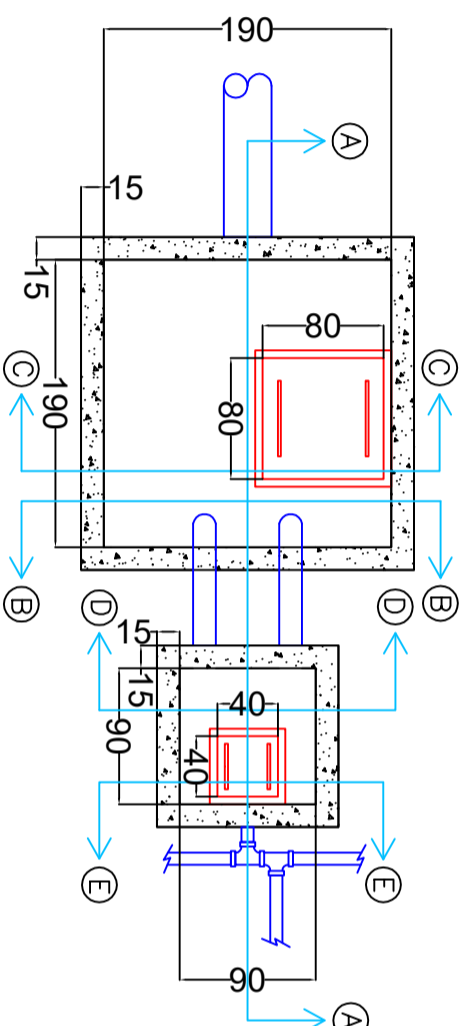
**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



Beton



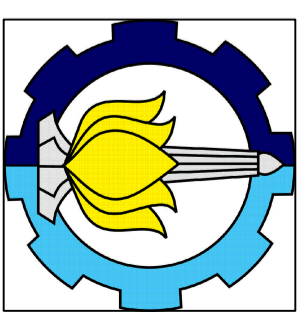
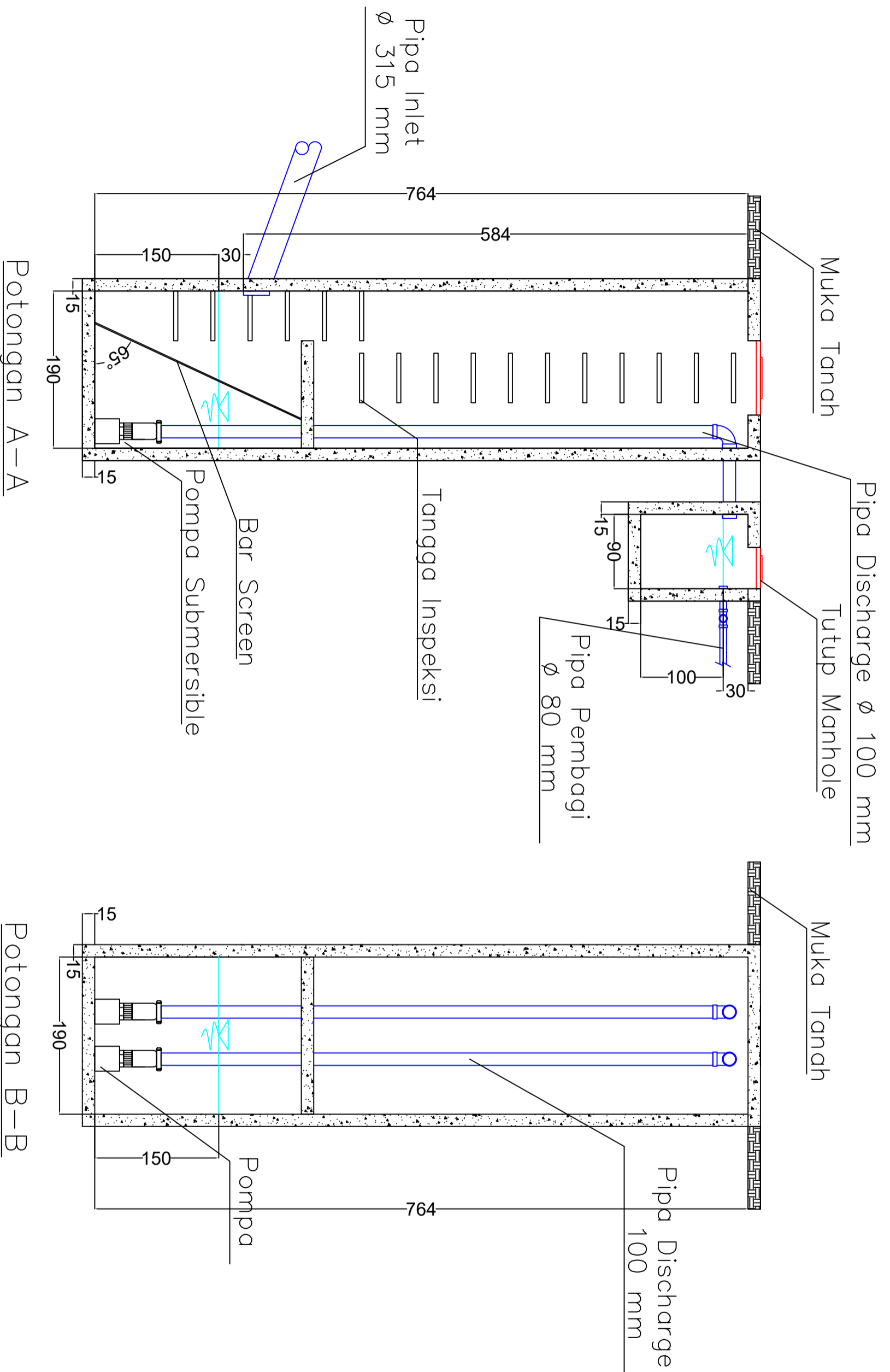
Denah Sumur Pengumpul dan  
Distribution Box Cluster 2

**MAHASISWA PERENCANA**  
OSTRY MELISA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**  
Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**  
DENAH SUMUR PENGUMPUL  
DAN DISTRIBUTION BOX  
CLUSTER 2

SKALA	NOMOR
1:50	17





**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**

-  Beton
-  Muka Air

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISSA PURBA  
0321 134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

POTONGAN A-A DAN B-B SUMUR PENGUMPUL DAN DISTRIBUTION BOX CLUSTER 2

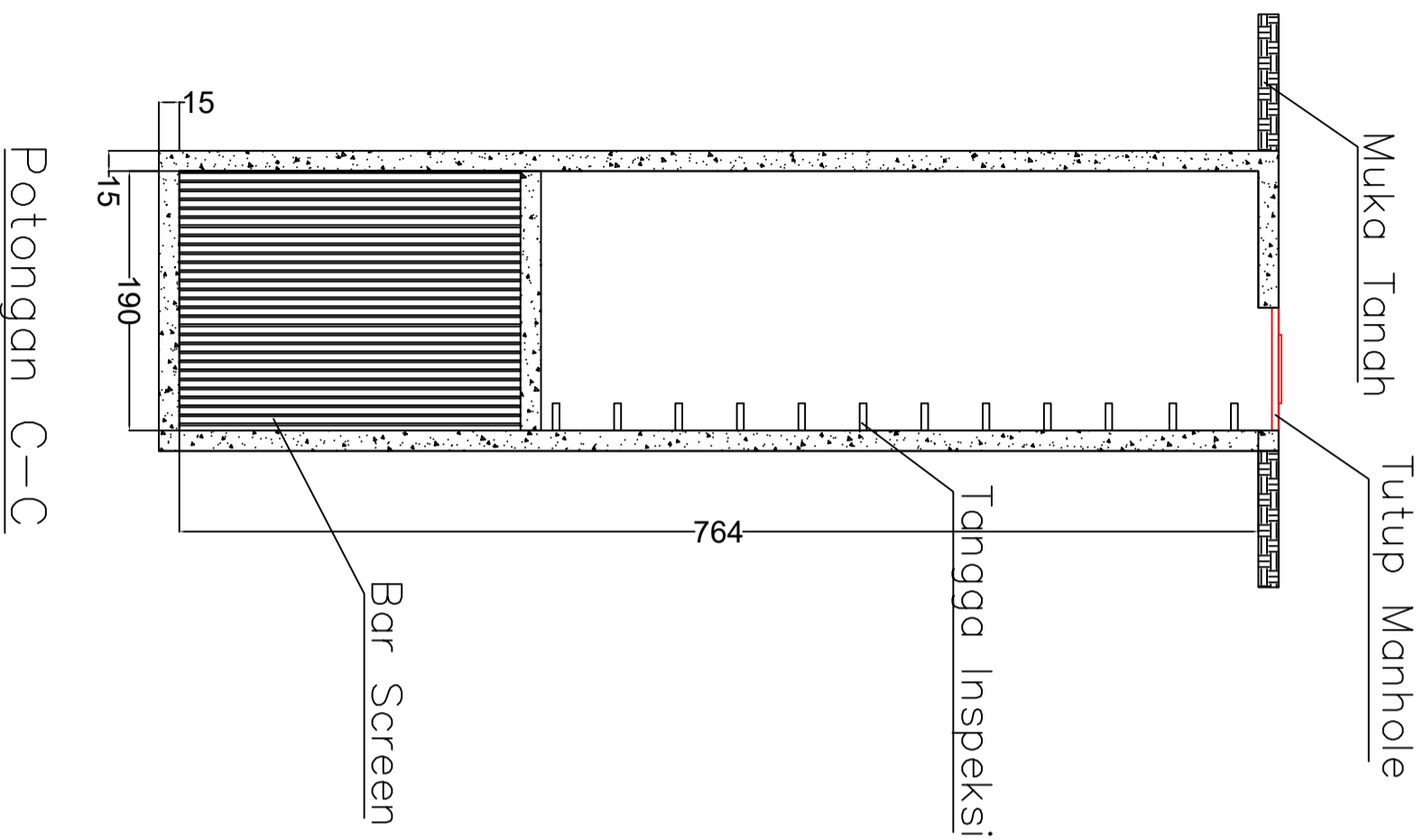
**SKALA**                      **NOMOR**

**1:50**                              **18**

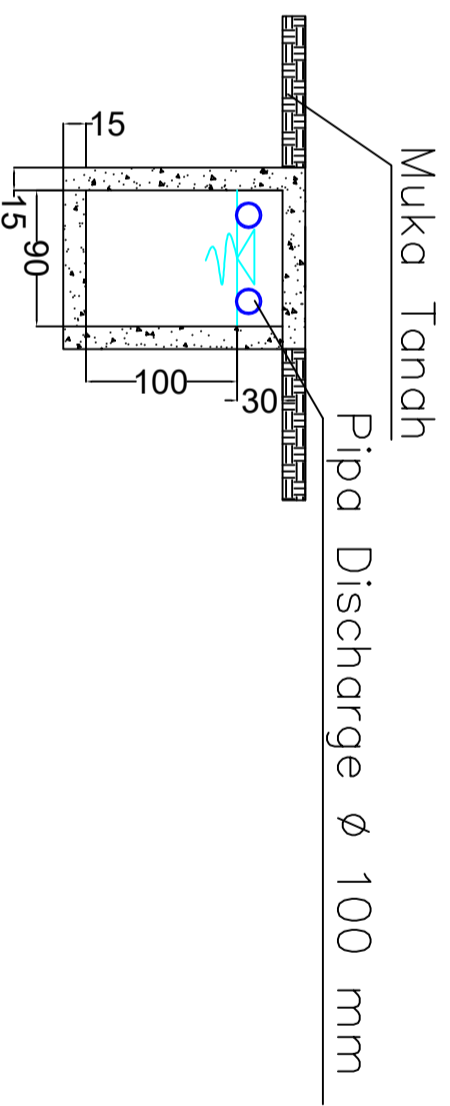
Potongan Sumur Pengumpul dan  
Distribution Box Cluster 2

Potongan A-A

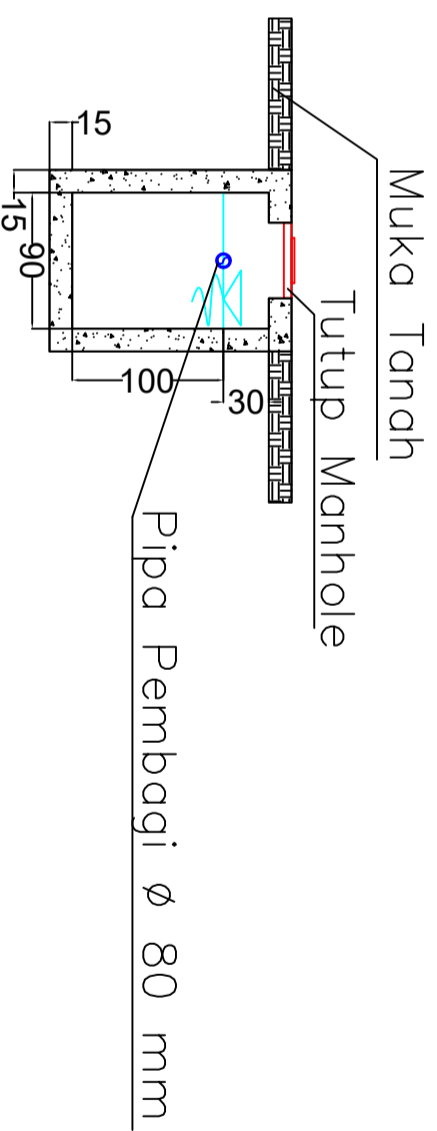
Potongan B-B



Potongan C-C

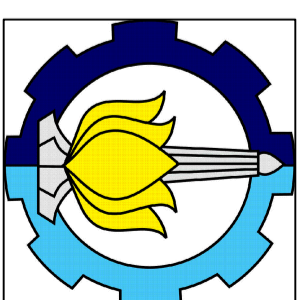


Potongan D-D



Potongan E-E

Potongan Sumur Pengumpul dan  
Distribution Box Cluster 2



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KETERANGAN



Beton



Muka Air

MAHASISWA PERENCANA

OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

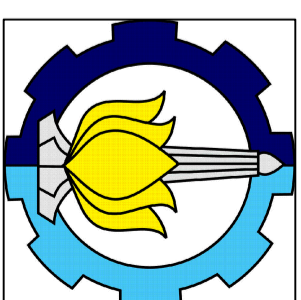
DOSEN PEMBIMBING

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

JUDUL GAMBAR

POTONGAN C-C, D-D, DAN E-E  
SUMUR PENGUMPUL DAN  
DISTRIBUTION BOX CLUSTER 2

SKALA	NOMOR
1:50	19



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

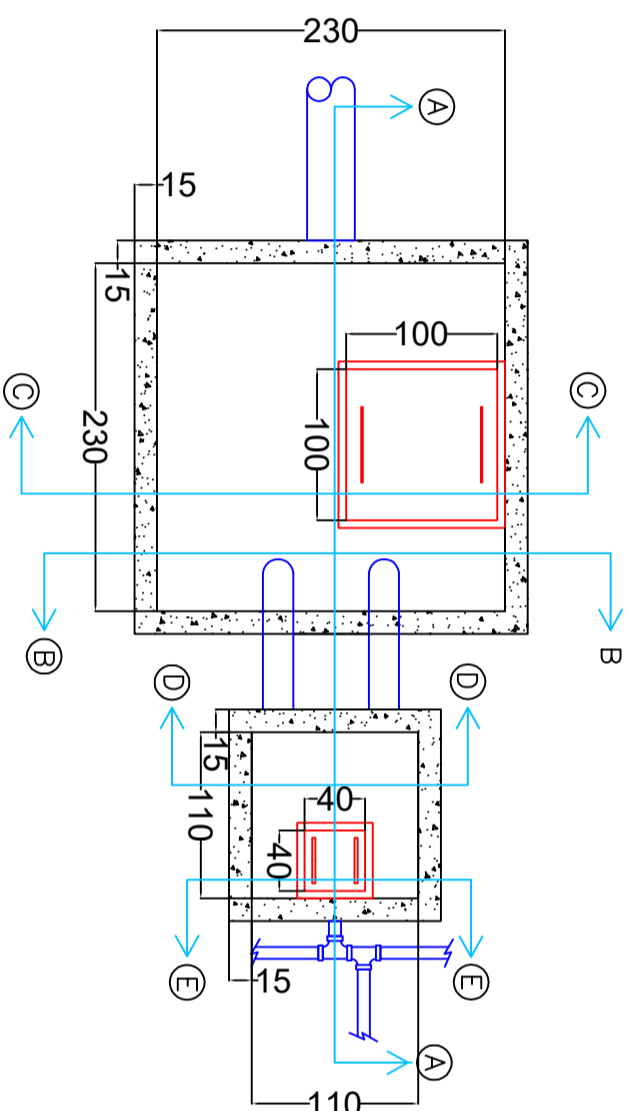
**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



Beton



Denah Sumur Pengumpul dan  
Distribution Box Cluster 3

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISA PURBA  
0321 134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

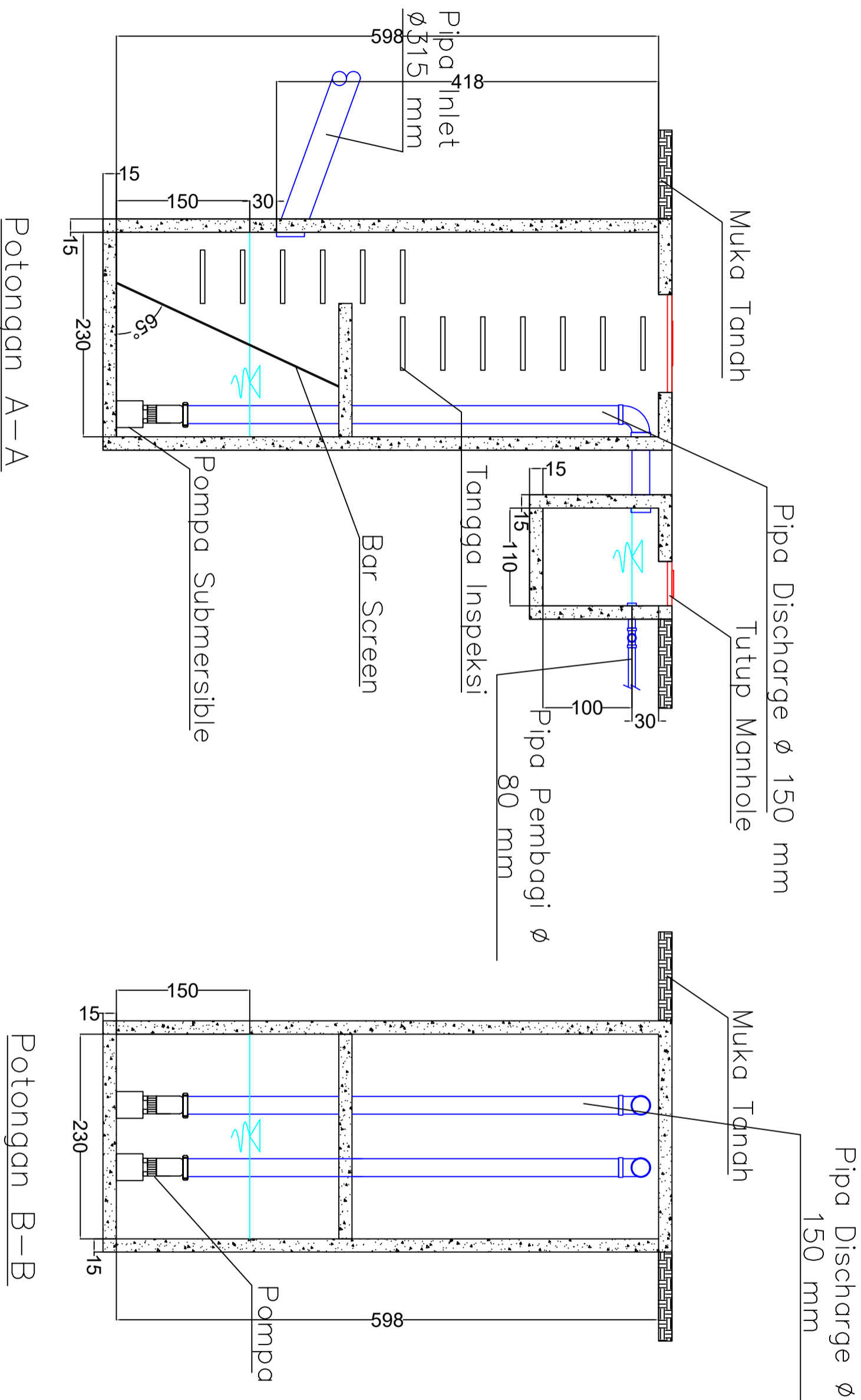
DENAH SUMUR PENGUMPUL  
DAN DISTRIBUTION BOX  
CLUSTER 3

SKALA

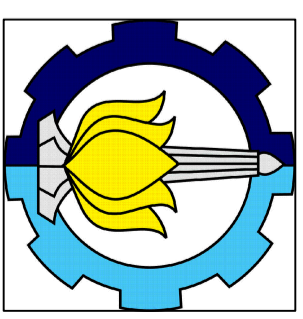
NOMOR

1:30

20



Potongan Sumur Pengumpul dan  
Distribusi Box Cluster 3



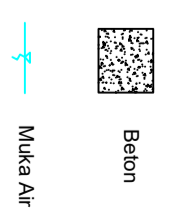
**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELILISA PURBA  
03211340000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

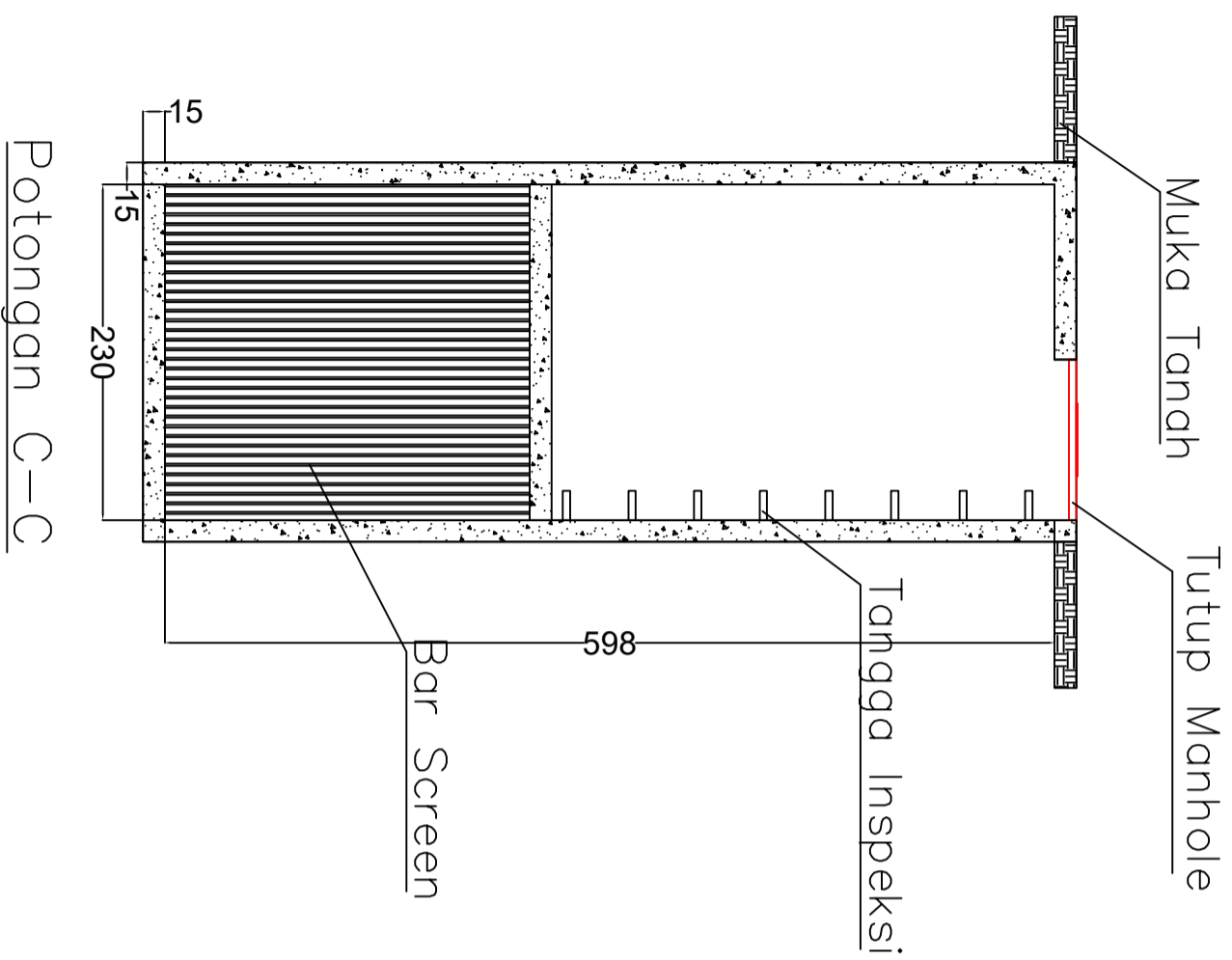
POTONGAN A-A DAN B-B SUMUR PENGUMPUL DAN DISTRIBUSI BOX CLUSTER 3

**SKALA**

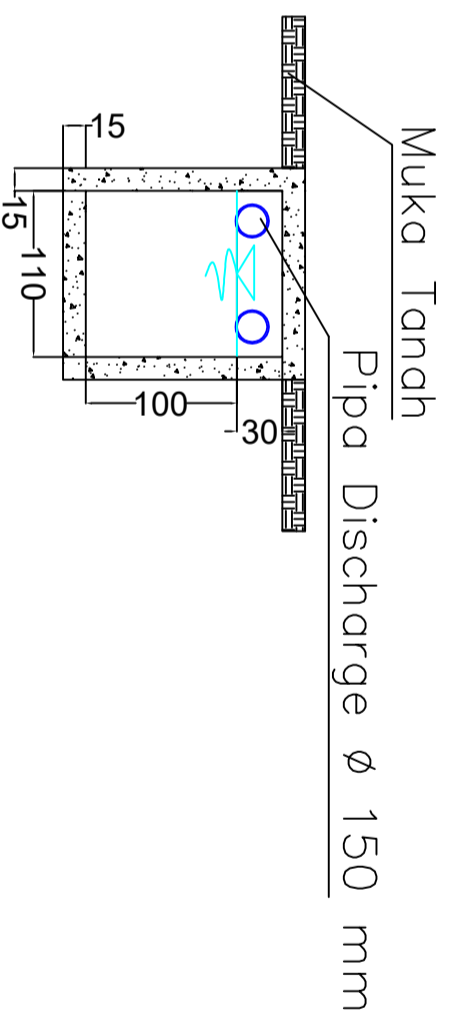
**NOMOR**

**1:50**

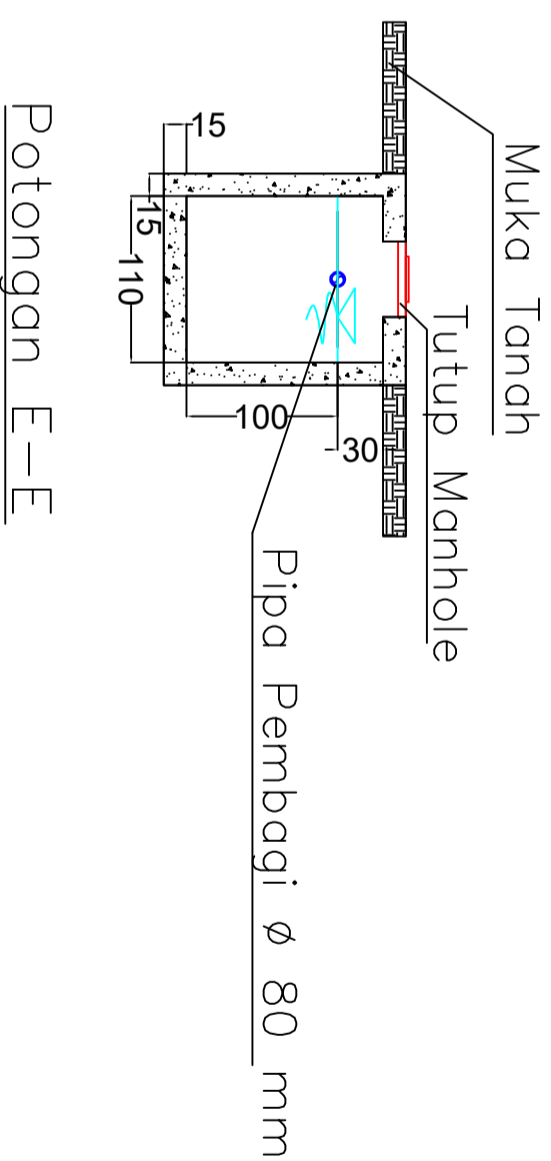
**21**



Potongan C-C

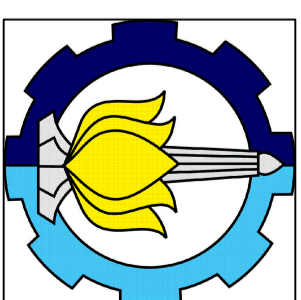


Potongan D-D



Potongan E-E

Potongan Sumur Pengumpul dan  
Distribution Box Cluster 3



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KETERANGAN



Beton



Muka Air

MAHASISWA PERENCANA

OSTRY MELISSA PURBA  
0321 1340000039

DOSEN PEMBIMBING

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

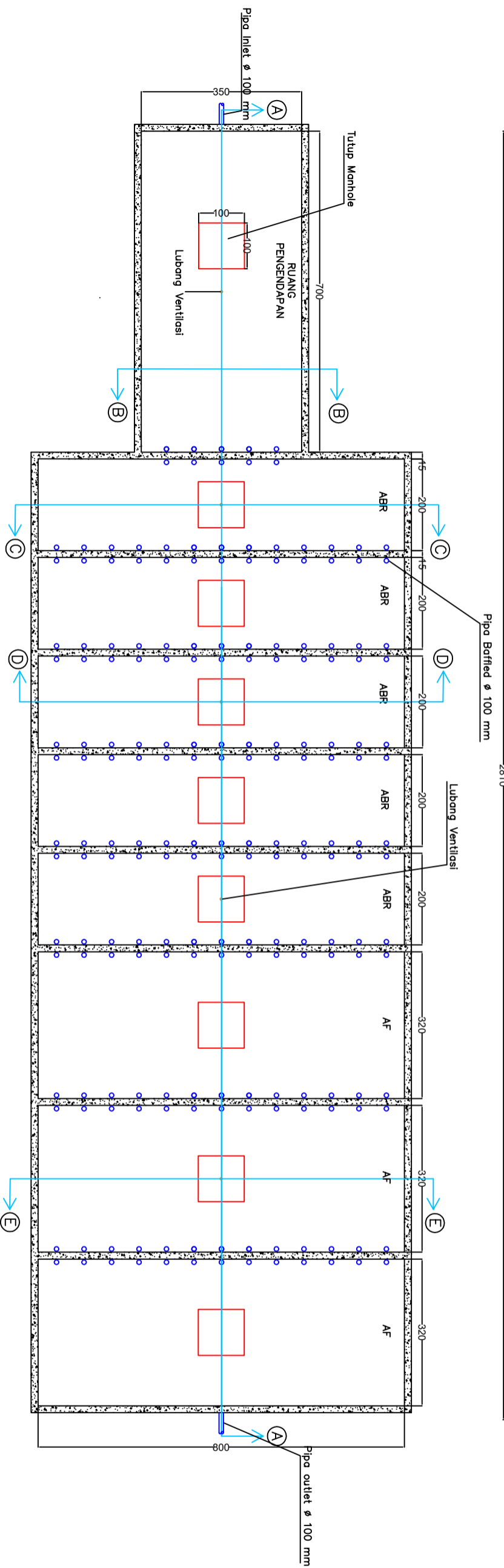
JUDUL GAMBAR

POTONGAN C-C, D-D, DAN E-E  
SUMUR PENGUMPUL DAN  
DISTRIBUTION BOX CLUSTER 3

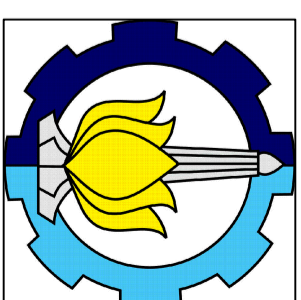
SKALA NOMOR

1:50

22



Denah ABR + Aerobic Biofilter (AF) Cluster 1



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIWALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**

 Beton

 Muka Air

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

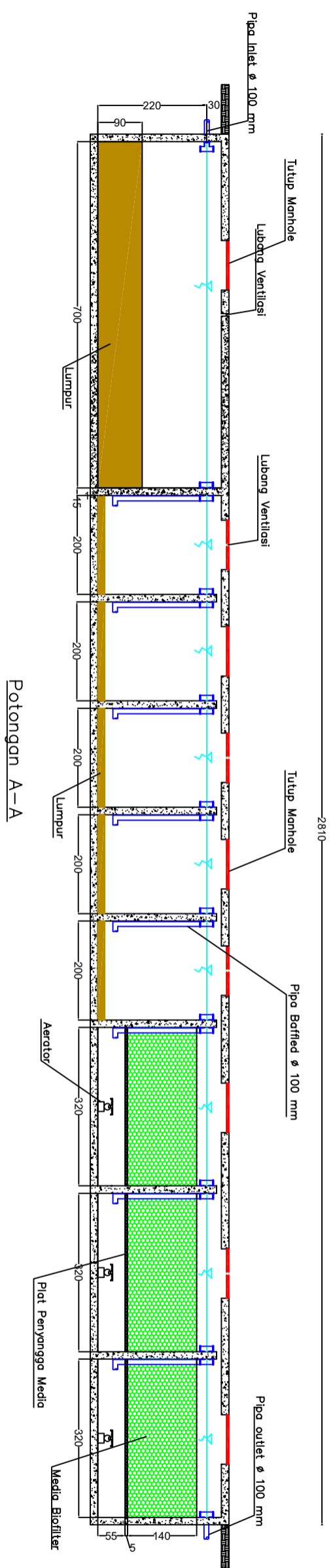
**JUDUL GAMBAR**

DENAH  
ABR + AF CLUSTER 1

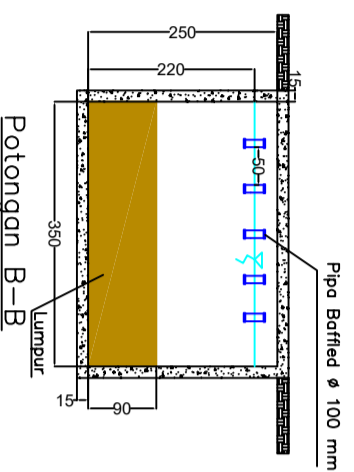
SKALA                      NOMOR

**1:100**

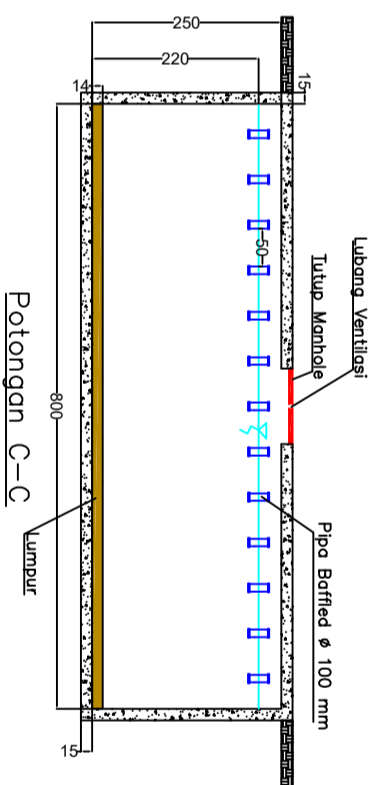
**23**



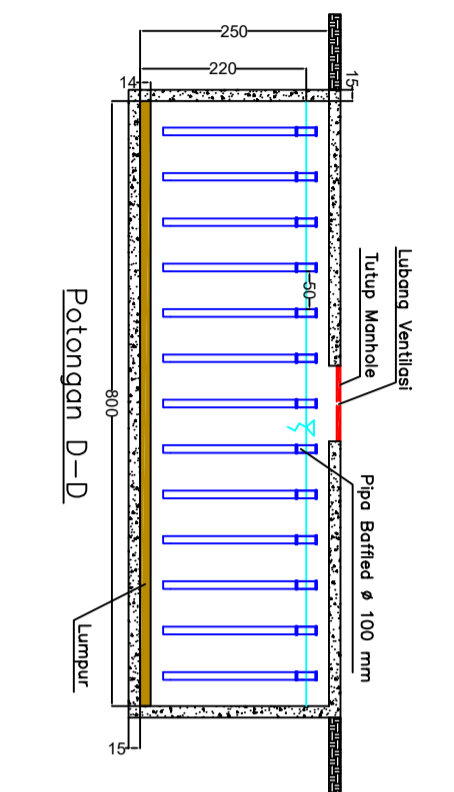
Potongan A-A



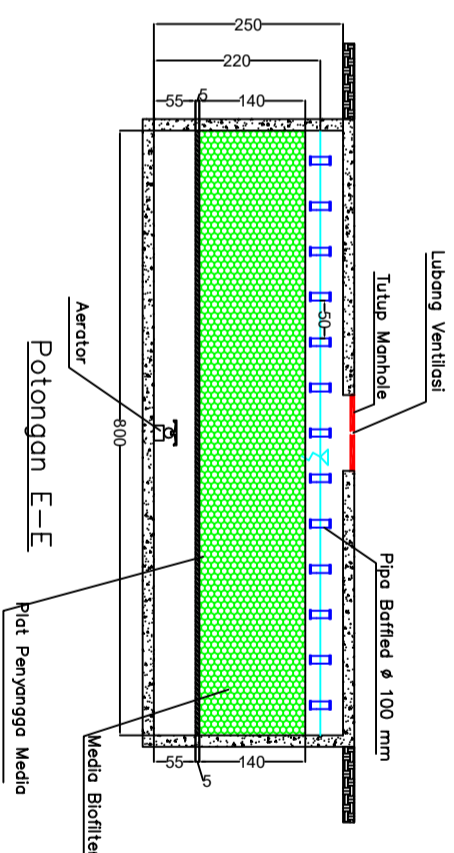
Potongan B-B



Potongan C-C

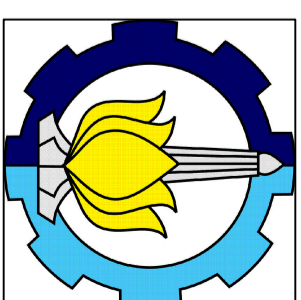


Potongan D-D



Potongan E-E

Potongan ABR + AF Cluster 1



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



Muka Air

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

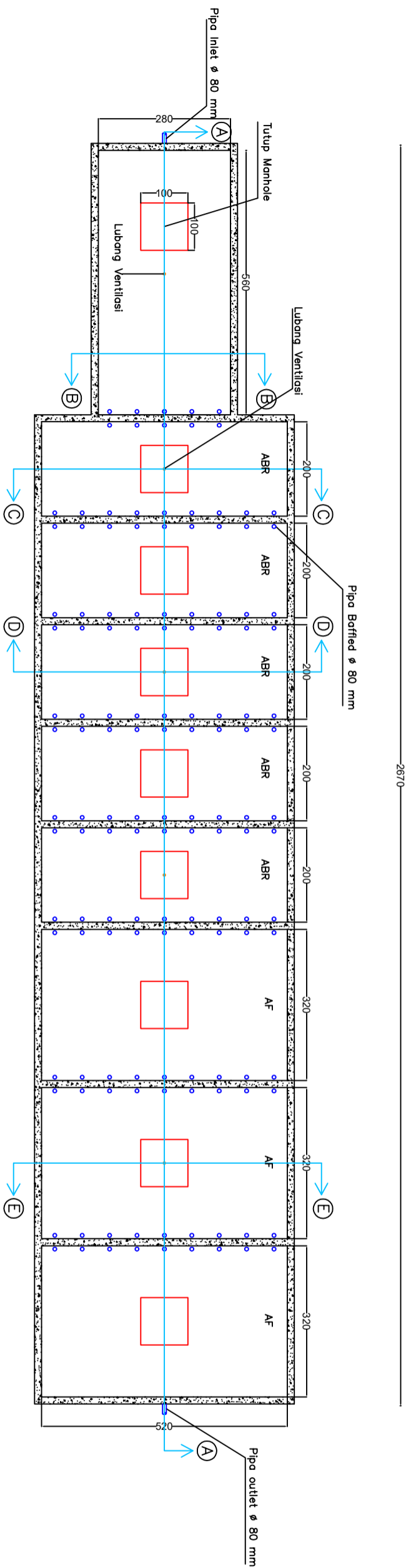
**JUDUL GAMBAR**

POTONGAN A-A, B-B, C-C, D-D,  
DAN E-E  
ABR + AF CLUSTER 1

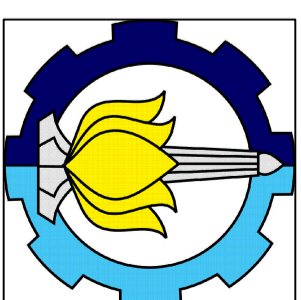
**SKALA**                      **NOMOR**

**1:100**                      **24**





Denah ABR + AF Cluster 2



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**

 Beton

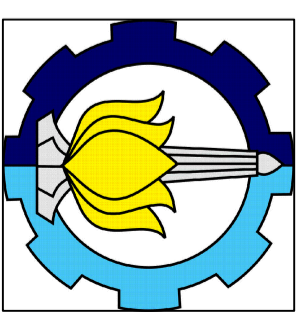
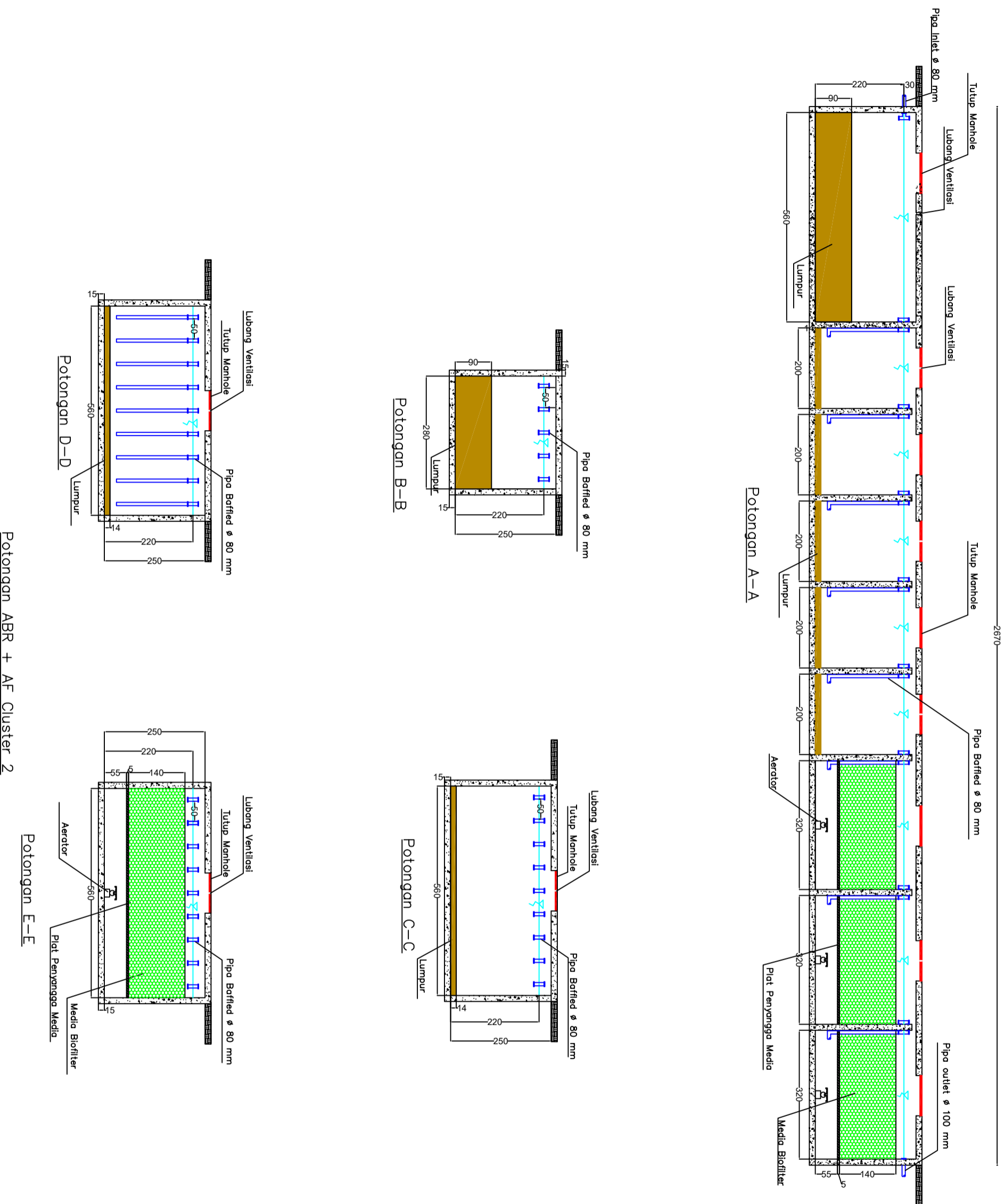
 Muka Air

**MAHASISWA PERENCANA**  
OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039  
**DOSEN PEMBIMBING**  
Welly Herumurti, ST., M.Sc.  
**JUDUL GAMBAR**

DENAH  
ABR + AF CLUSTER 2

SKALA                      NOMOR

**1:100                      25**



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



**MAHASISWA PERENCANA**  
OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**  
Welly Herumurti, ST., M.Sc.

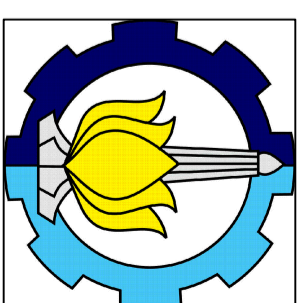
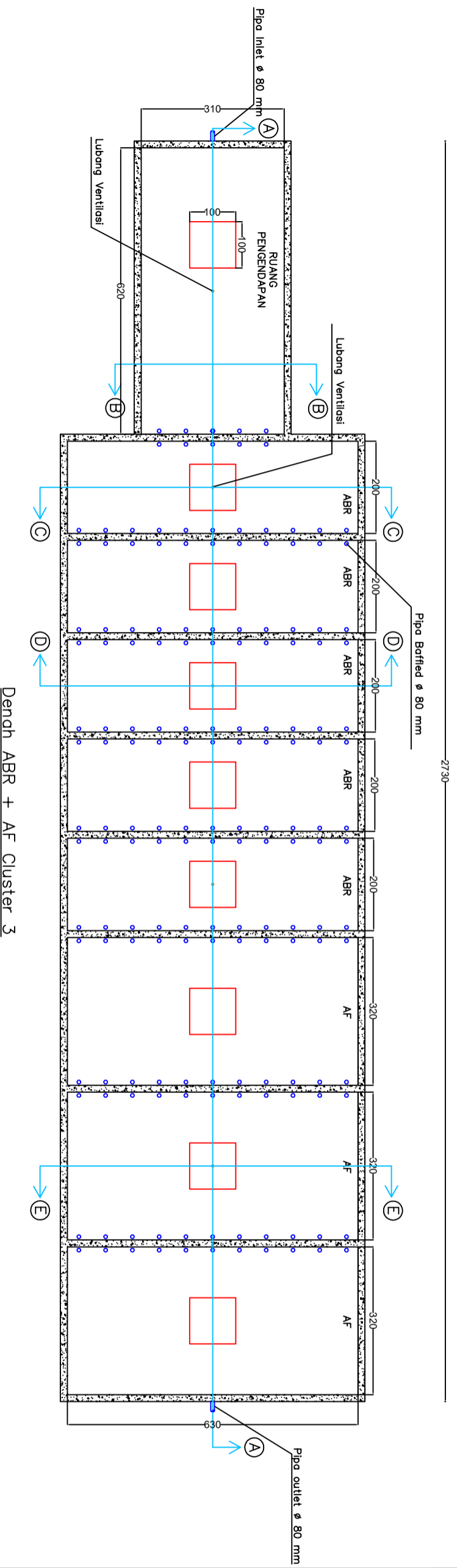
**JUDUL GAMBAR**  
POTONGAN A-A, B-B, C-C, D-D,  
DAN E-E  
ABR + AF CLUSTER 2

**SKALA**

**NOMOR**

1:100

26



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



Muka Air

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MEILISA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

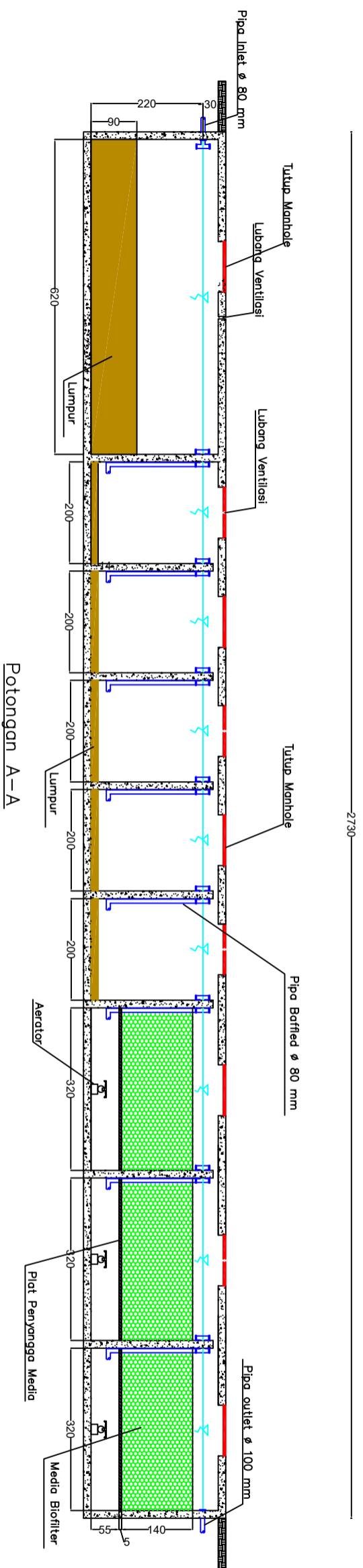
**JUDUL GAMBAR**

DENAH  
ABR + AF CLUSTER 3

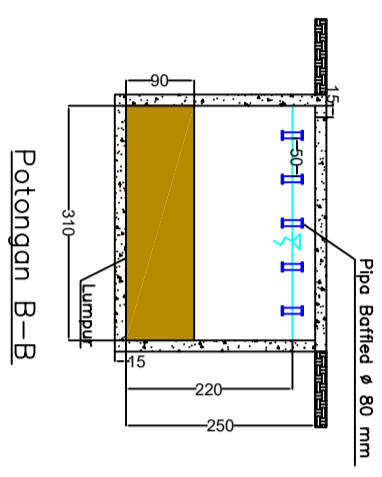
SKALA                      NOMOR

**1:100**

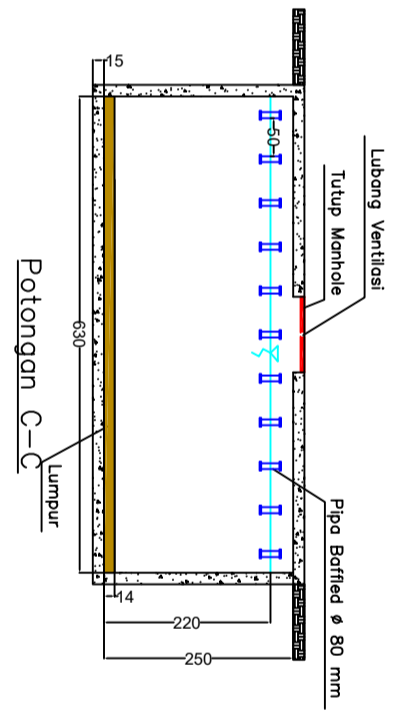
**27**



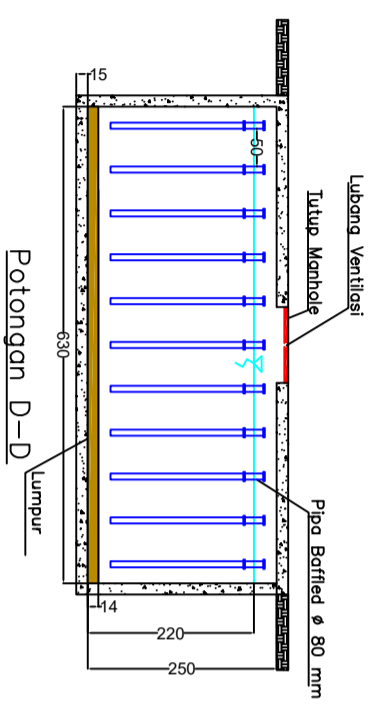
Potongan A-A



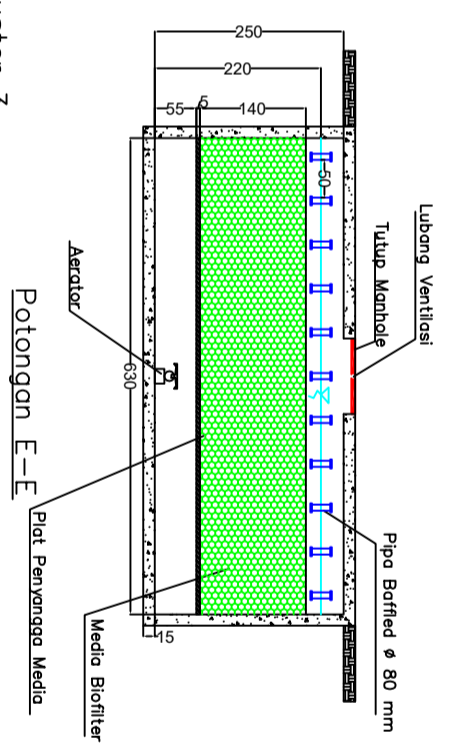
Potongan B-B



Potongan C-C

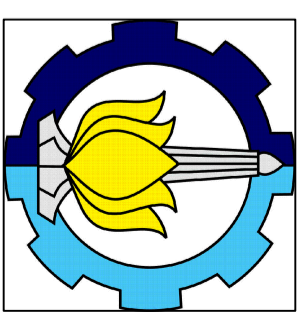


Potongan D-D



Potongan E-E

Potongan ABR + AF Cluster 3



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

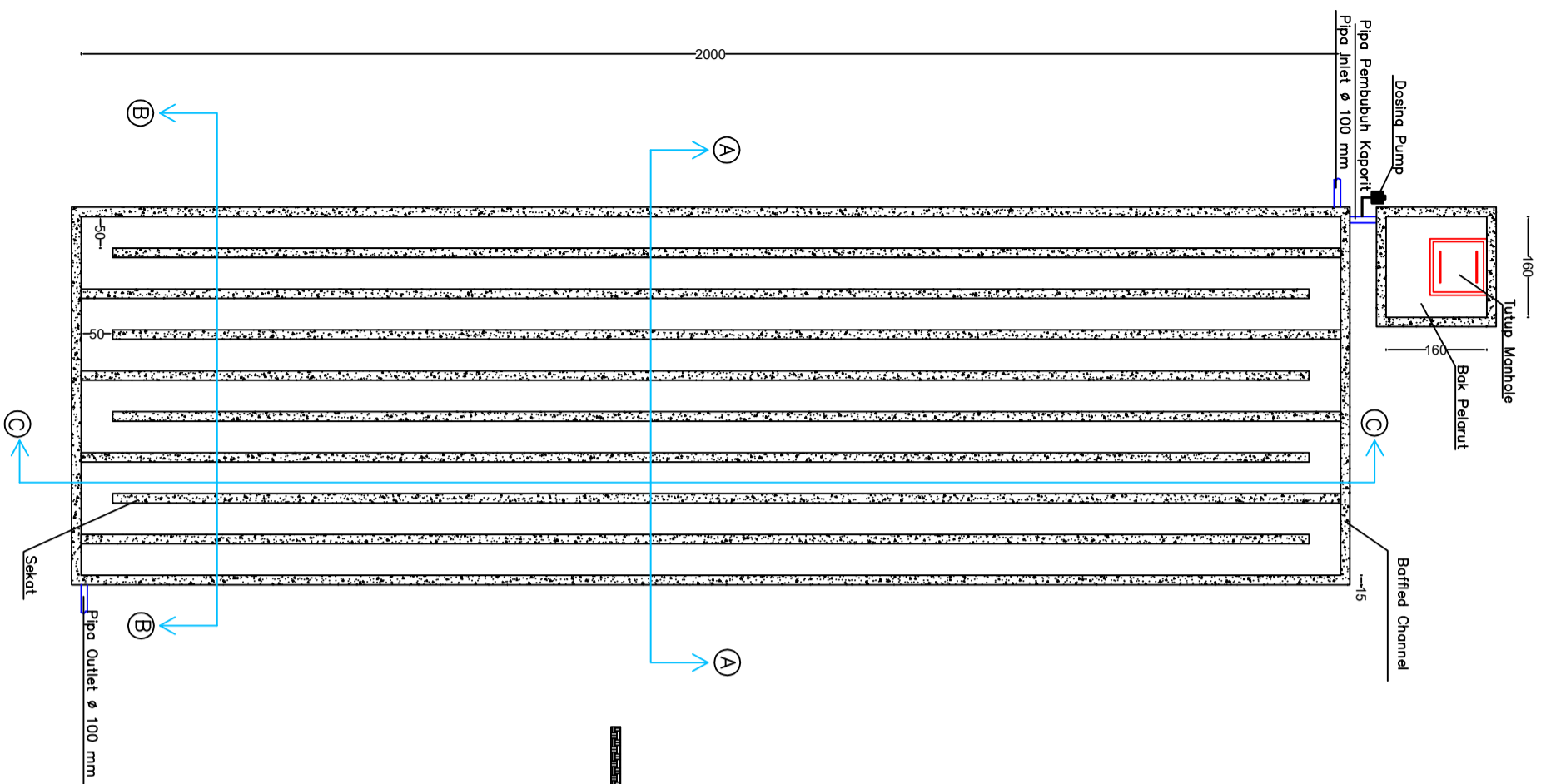
POTONGAN A-A, B-B, C-C, D-D,  
DAN E-E  
ABR + AF CLUSTER 3

**SKALA**

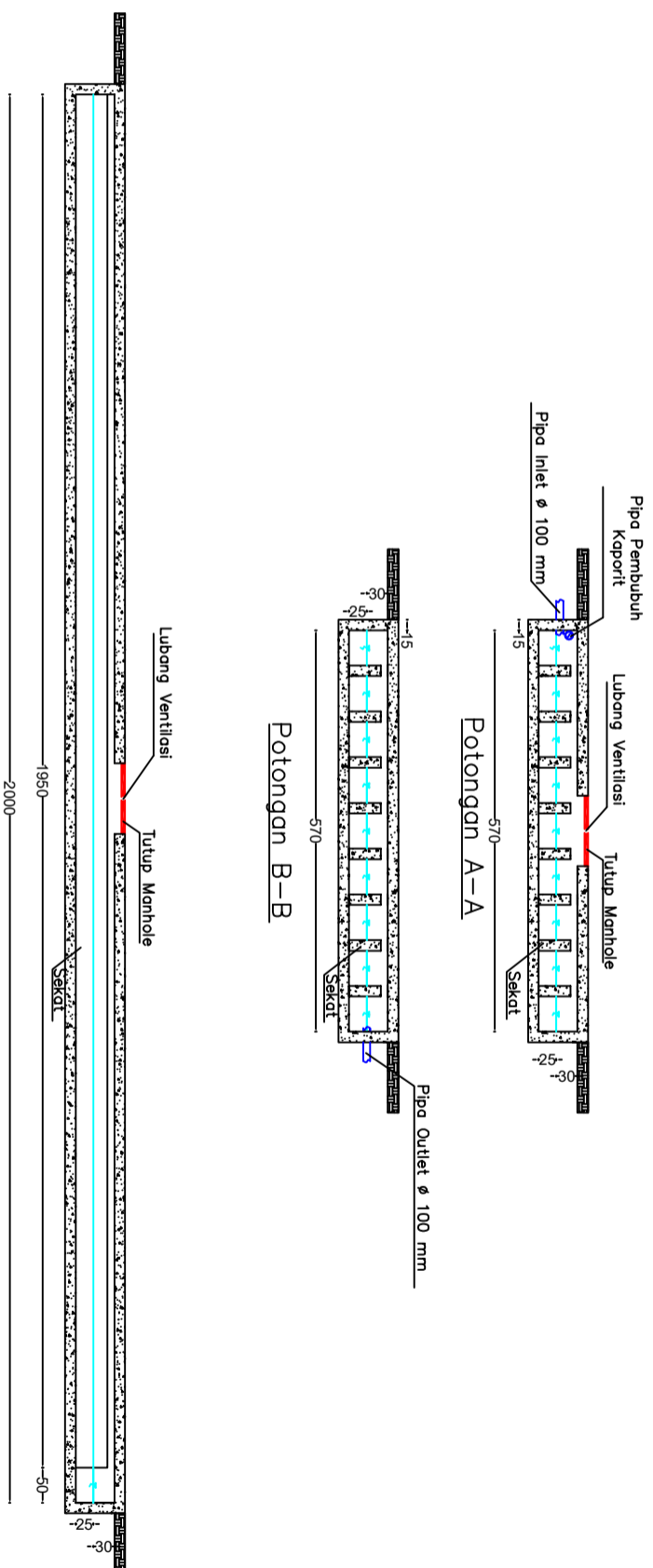
**NOMOR**

**1:100**

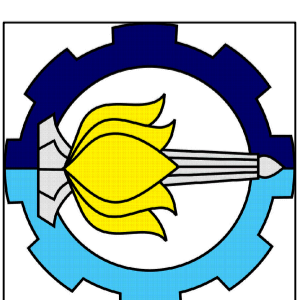
**28**



Denah Unit Desinfeksi Cluster 1



Potongan Unit Desinfeksi Cluster 1



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KETERANGAN



Beton

MAHASISWA PERENCANA

OSTRY MELISSA PURBA  
0321 134000039

DOSEN PEMBIMBING

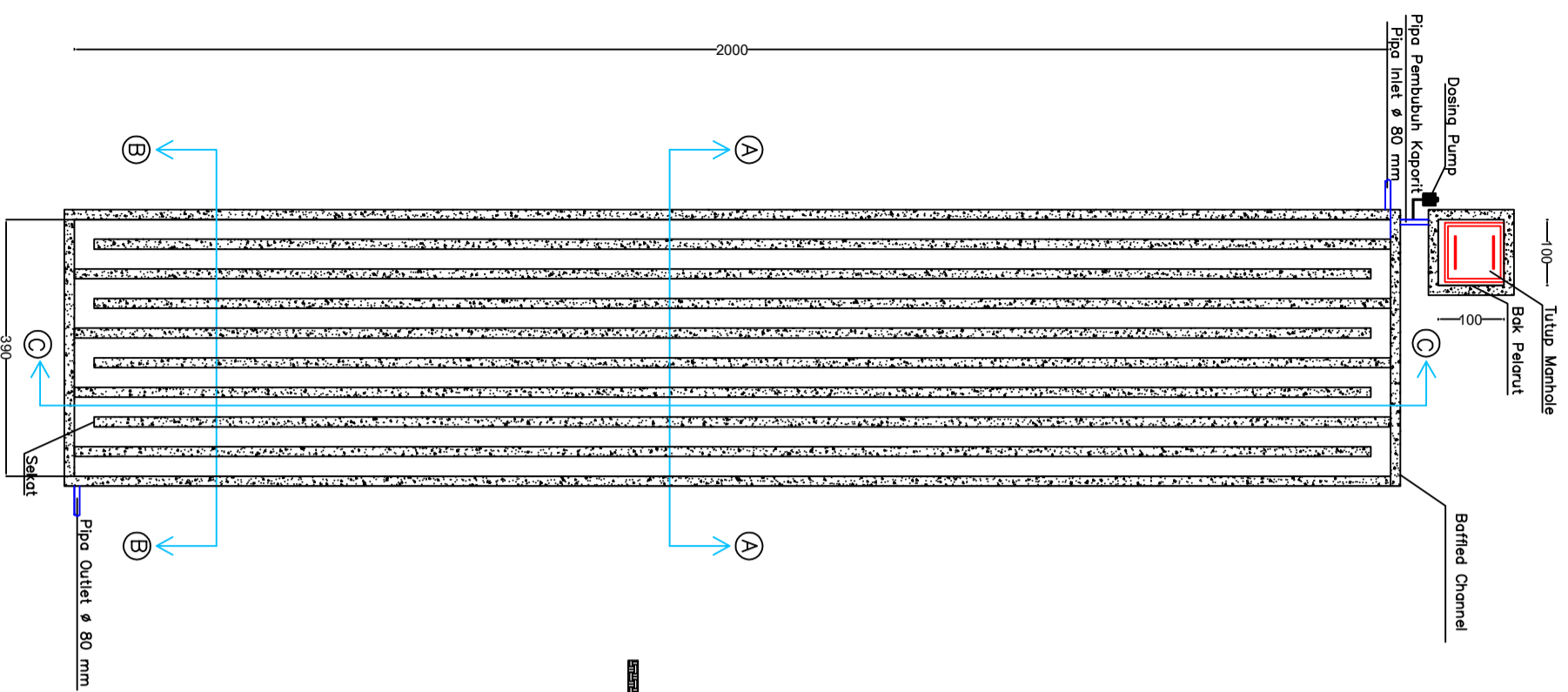
Welly Herumurti, ST., M.Sc.

JUDUL GAMBAR

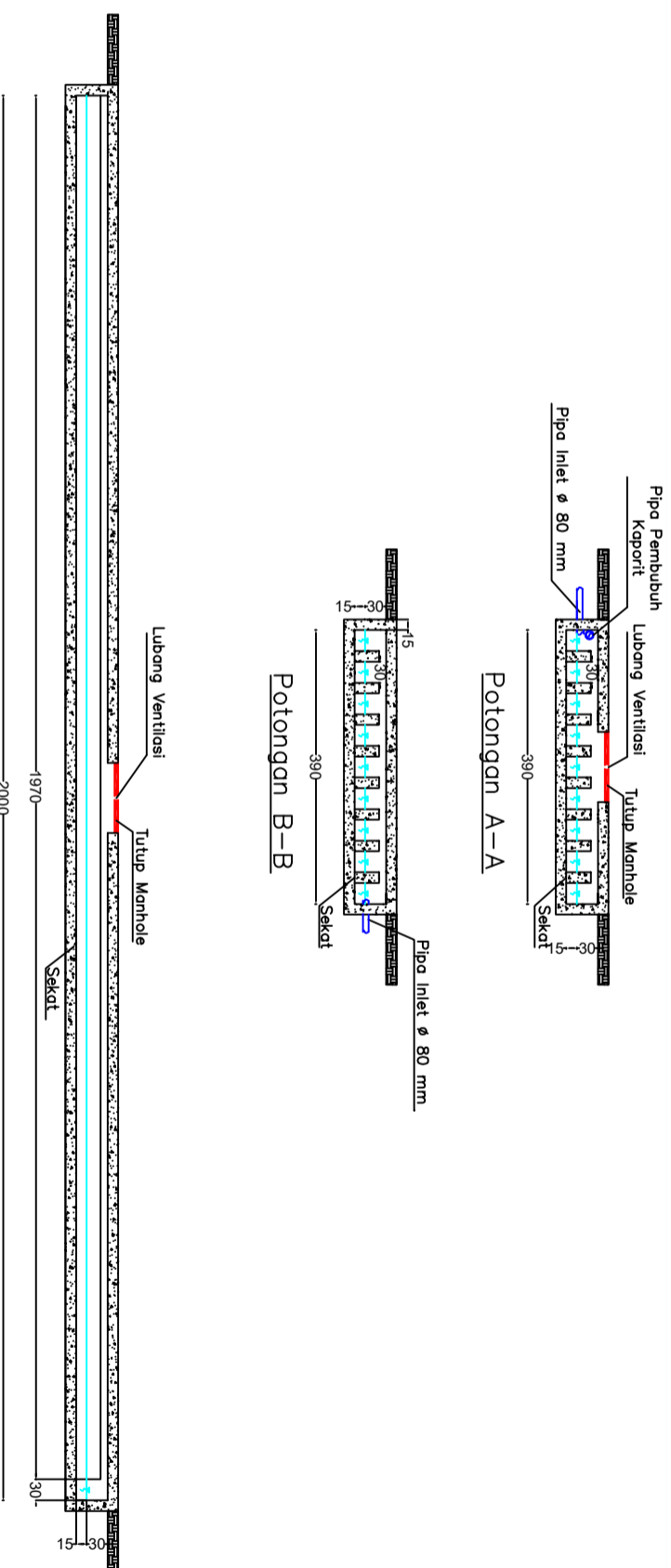
DENAH DAN POTONGAN UNIT  
DESINFEKSI CLUSTER 1

SKALA NOMOR

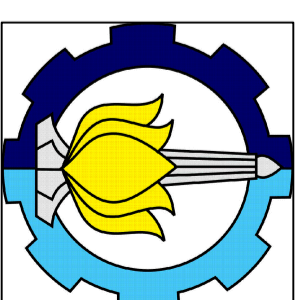
1:100 29



Denah Unit Desinfeksi Cluster 2



Potongan Unit Desinfeksi Cluster 2



JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

DEPARTEMEN

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

KETERANGAN



Beton

MAHASISWA PERENCANA

OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

DOSEN PEMBIMBING

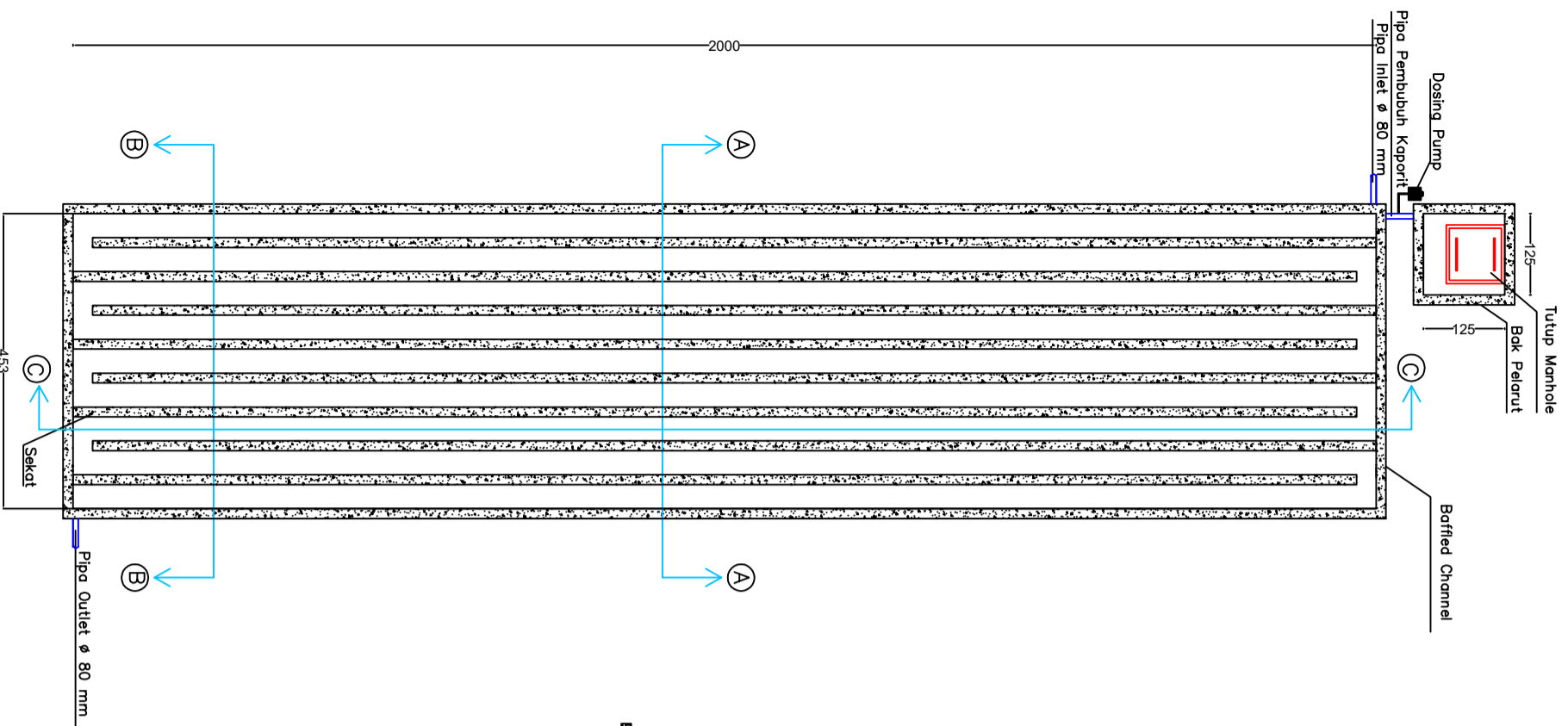
Welly Herumurti, ST., M.Sc.

JUDUL GAMBAR

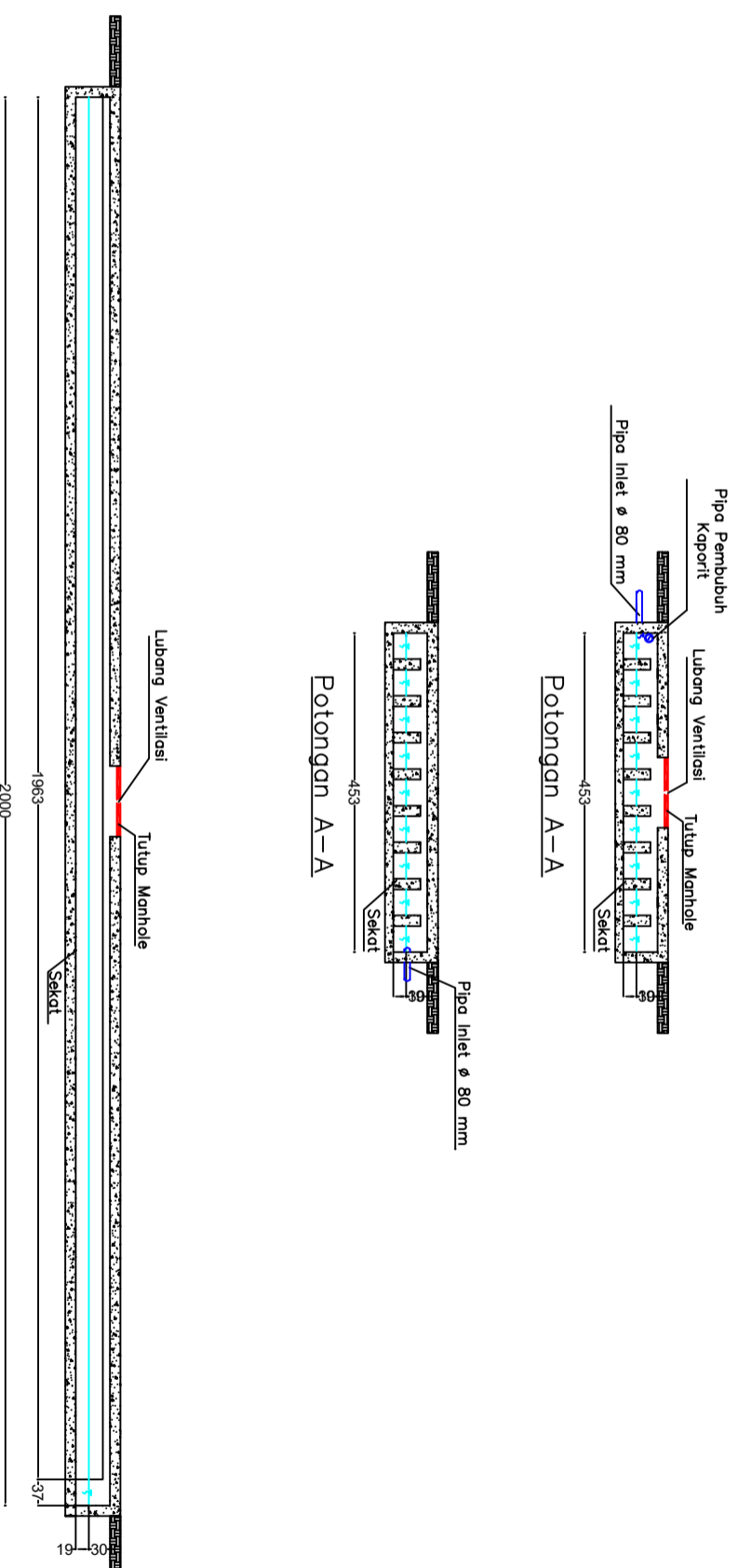
DENAH DAN POTONGAN UNIT  
DESINFEKSI CLUSTER 2

SKALA	NOMOR
-------	-------

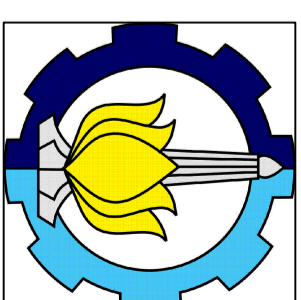
1:100	30
-------	----



Denah Unit Desinfeksi Cluster 3



Potongan Unit Desinfeksi Cluster 3



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



Beton

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

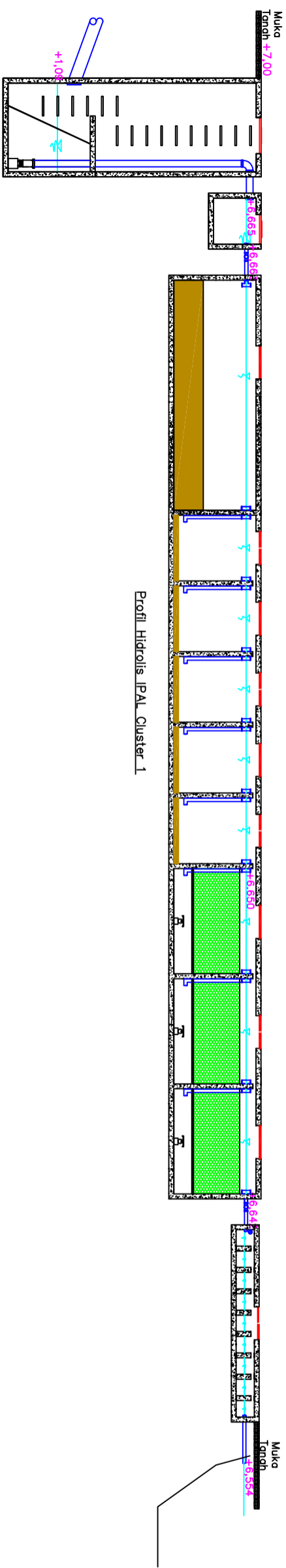
**JUDUL GAMBAR**

DENAH DAN POTONGAN UNIT  
DESINFEKSI CLUSTER 3

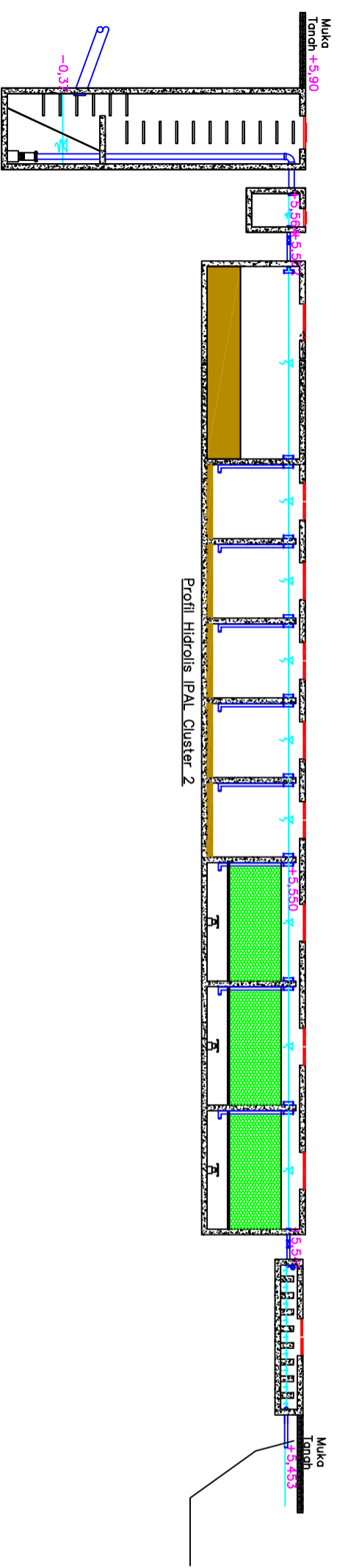
SKALA	NOMOR
1:100	31

1:100

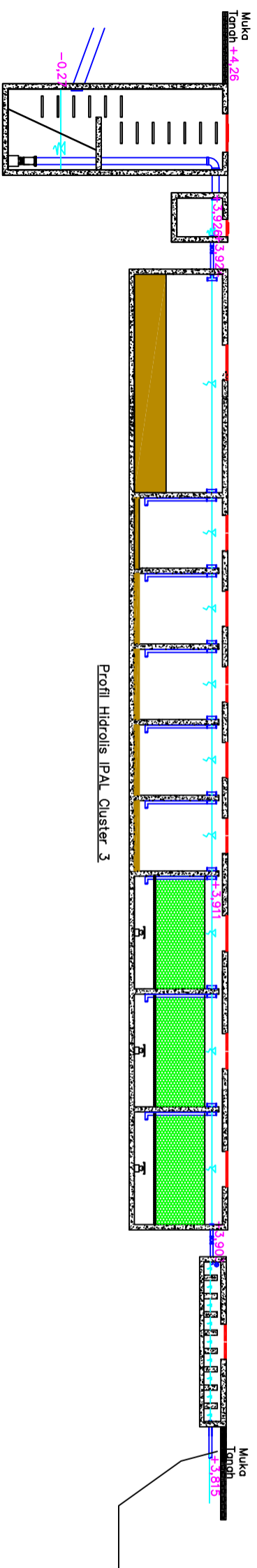
31



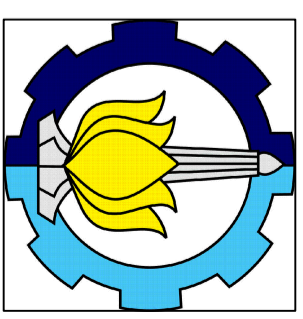
Profil Hidrolis IPAL Cluster 1



Profil Hidrolis IPAL Cluster 2



Profil Hidrolis IPAL Cluster 3



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



Beton



Muka Air

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISSA PURBA  
0321134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

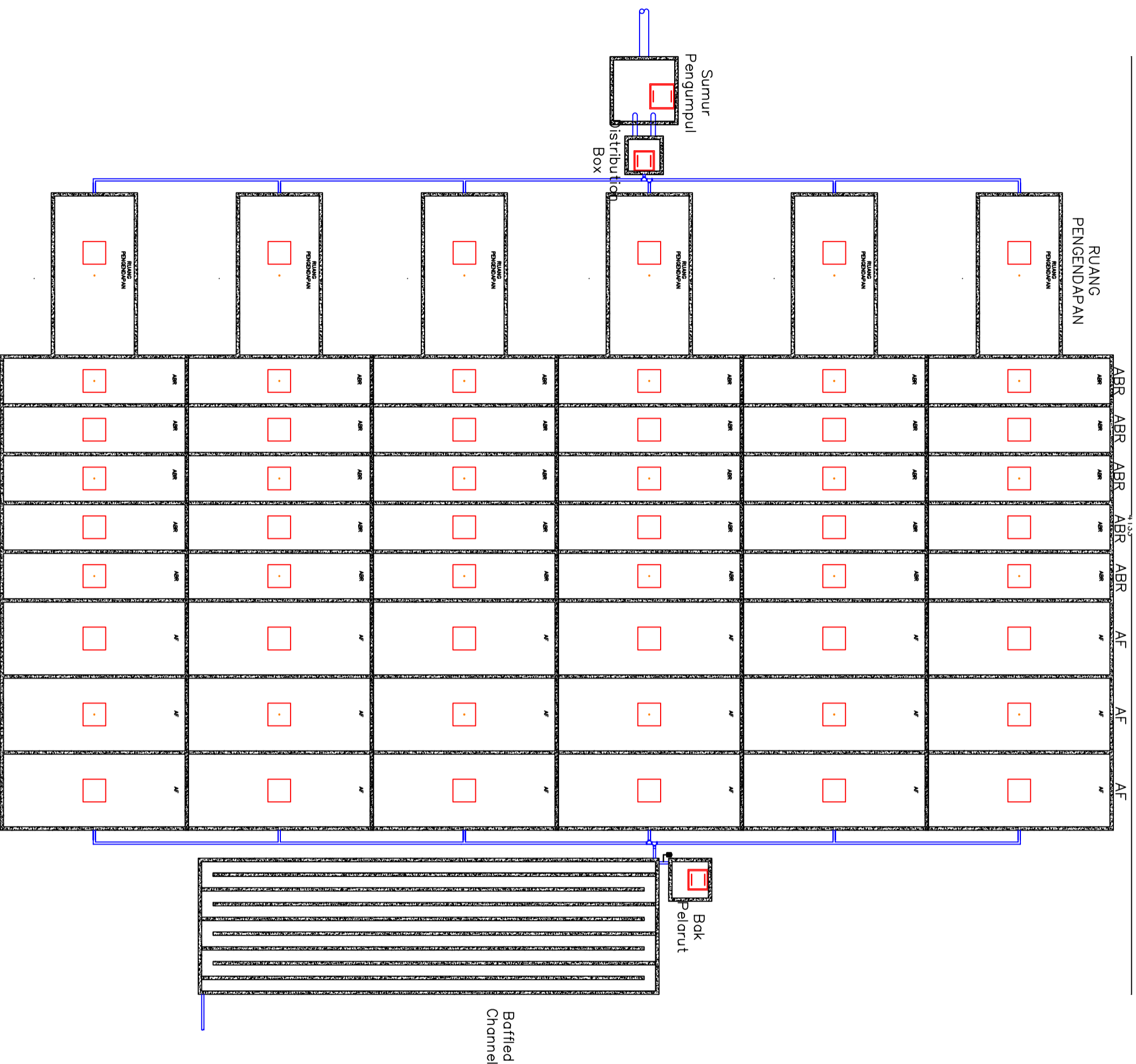
PROFIL HIDROLIS IPAL  
CLUSTER 1,2 DAN 3

SKALA                      NOMOR

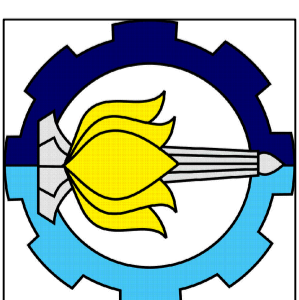
1:150

32





4905



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



Beton



Muka Air

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISSA PURBA  
0321 134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

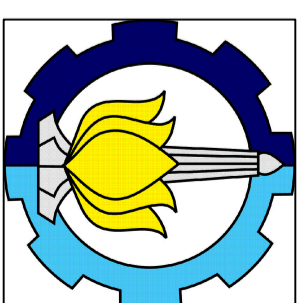
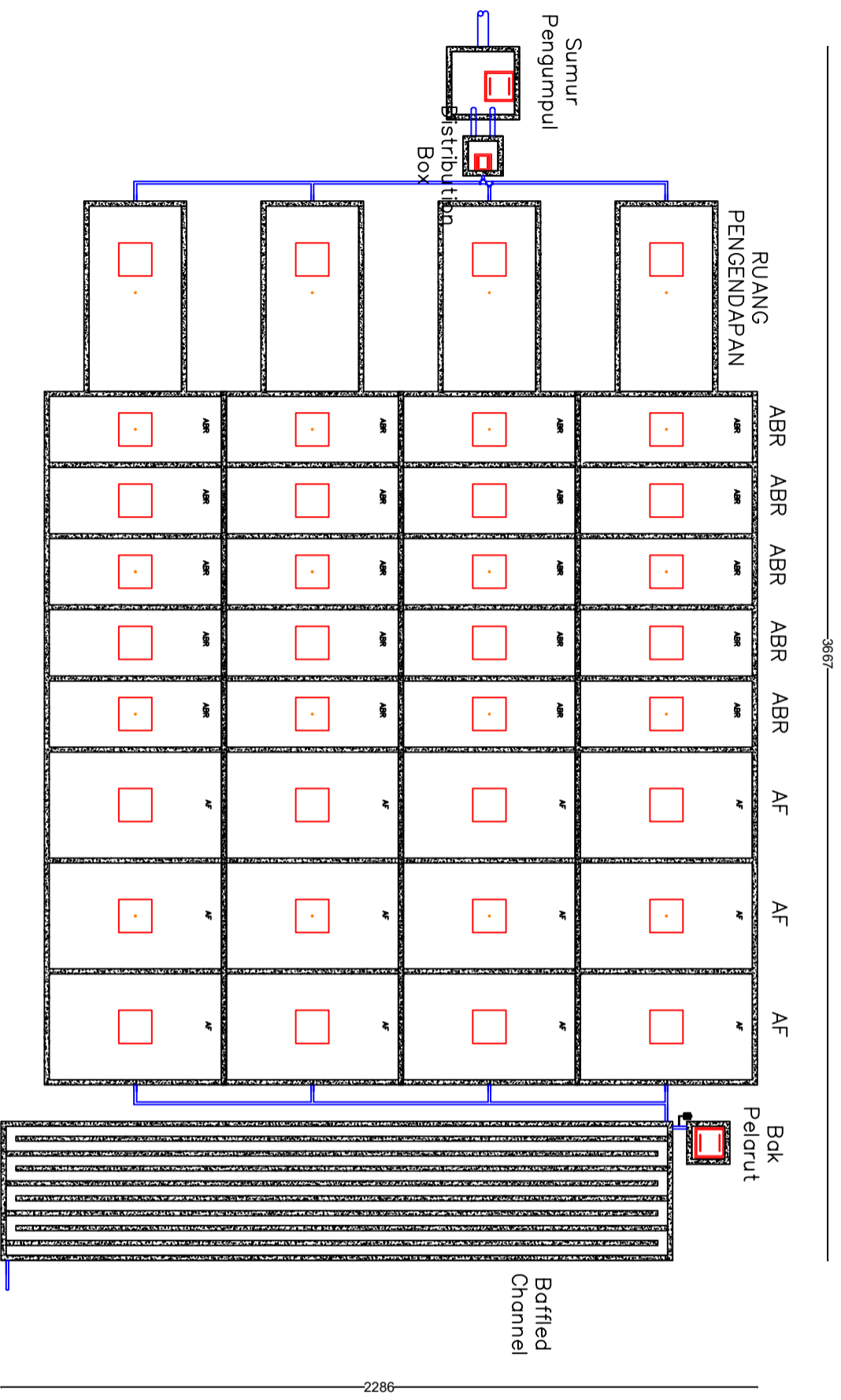
**JUDUL GAMBAR**

LAYOUT IPAL CLUSTER 1

SKALA	NOMOR
-------	-------

1:180

33



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



Muka Air

**MAHASISWA PERENCANA**

OSTRY MELISSA PURBA  
0321 134000039

**DOSEN PEMBIMBING**

Welly Herumurti, ST., M.Sc.

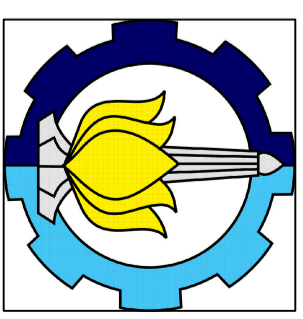
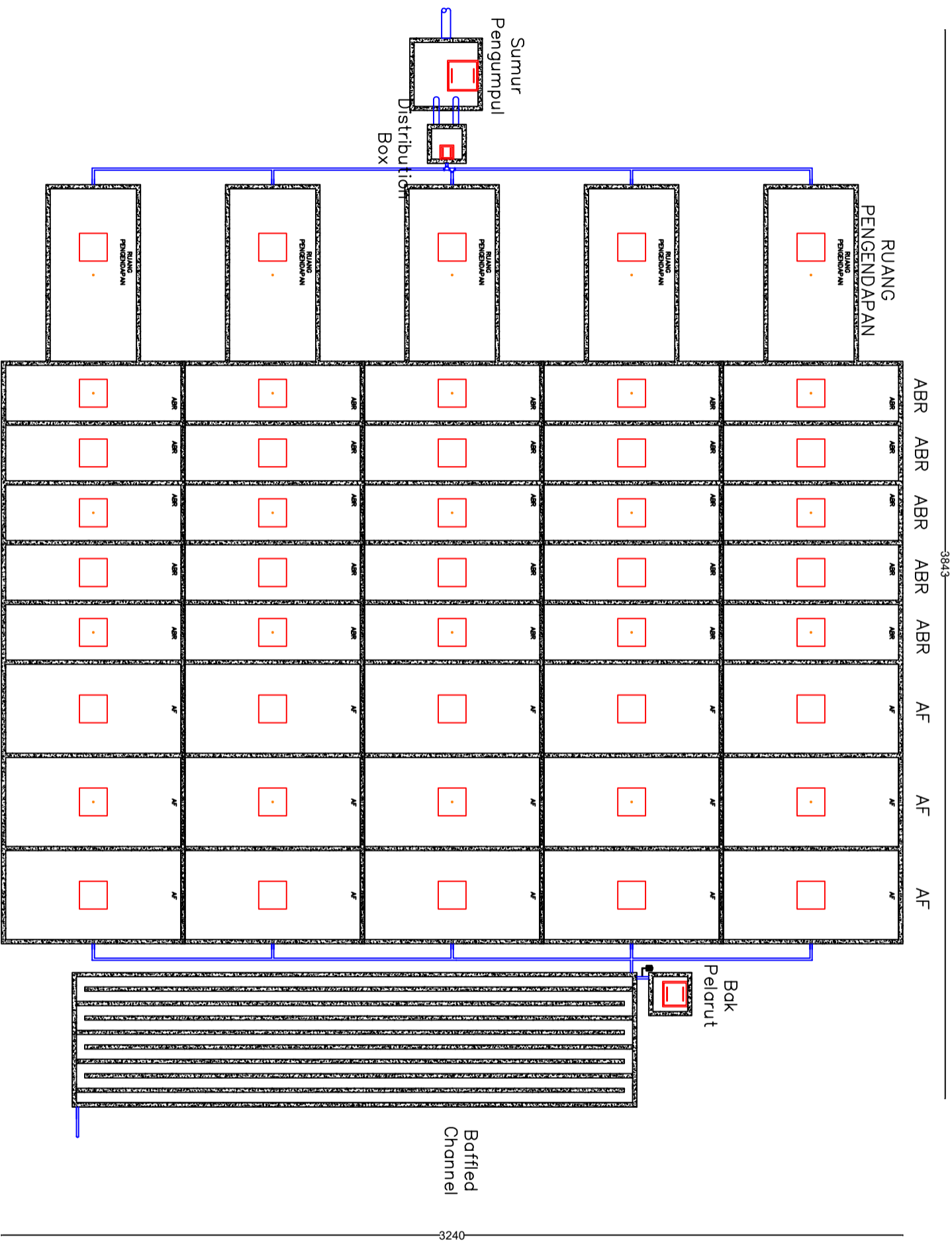
**JUDUL GAMBAR**

LAYOUT IPAL CLUSTER 2

SKALA	NOMOR
-------	-------

1:180

34



**JUDUL TUGAS AKHIR**

PERENCANAAN PENGELOLAAN AIR LIMBAH DOMESTIK KELURAHAN KARAH DAN SIVALANKERTO DI KAWASAN SURABAYA SELATAN

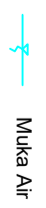
**DEPARTEMEN**

TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

**KETERANGAN**



Beton



Muka Air

**MAHASISWA PERENCANA**  
OSTRY MELISSA PURBA  
0321 1340000039

**DOSEN PEMBIMBING**  
Welly Herumurti, ST., M.Sc.

**JUDUL GAMBAR**

LAYOUT IPAL CLUSTER 3

**SKALA**                      **NOMOR**

**1:180**

**35**